



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INCIDENCIA DE LAS MODIFICACIONES DE LA NORMA E.030
EN EL PROYECTO DE UNA EDIFICACIÓN DE DIEZ NIVELES
EN LA CIUDAD DE PUNO AL AÑO 2018.”**

TESIS

PRESENTADA POR:

WILLIAM MARLON ÑACA INGALUQUE

JENNIFER NELLY QUENAYA NEYRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2020



DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y a mi patria a quienes tanto les
debo.

William Marlon Ñaca Ingaluque



DEDICATORIA

A mis padres Nelly y Máximo por darme la vida, por su constante preocupación para que me forme como una persona de bien, y permitirme desarrollarme como profesional.

A mis hermanos, Johnatan, Joseph, Anthony y Alexandra, por acompañarme y compartir experiencias que me fortalecieron como persona.

A William por la paciencia y disposición de conocimiento en la elaboración de la investigación.

Jennifer Nelly Quenaya Neyra



AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por habernos conducido por la senda de la sabiduría haciéndonos probar la dulzura del conocimiento.

A la Universidad Nacional del Altiplano por habernos acogido en sus aulas como una madre.

A nuestro asesor, Ing. Jaime Medina Leyva, por habernos acompañado en la elaboración de la investigación, dándonos sus valiosas apreciaciones en cada fase del estudio.

A nuestros docentes que nos ha conducido como lámparas de conocimiento en la Ingeniería Civil, y convertimos en lo que hoy somos, profesionales de ingeniería.

Y a nuestra familia que ha sido sostén de nuestros sueños y aspiraciones.

A nuestros amigos compañeros de nuestro destino.



ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------|----|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS | |
| RESUMEN | 21 |
| ABSTRACT | 22 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | |
|--|----|
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 23 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 24 |
| 1.2.1. PREGUNTA GENERAL | 24 |
| 1.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS..... | 24 |
| 1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 24 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN (UTILIDAD E IMPORTANCIA) | 27 |
| 1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 29 |
| 1.5.1. OBJETIVO GENERAL | 29 |
| 1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 29 |
| 1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 29 |
| 1.6.1. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN | 29 |
| 1.6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 30 |

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

| | |
|--|----|
| 2.1. MARCO TEÓRICO..... | 33 |
| 2.1.1. CONCEPTOS RELATIVOS AL DISEÑO SÍSMICO | 33 |
| 2.1.2. REQUISITOS ESTRUCTURALES | 35 |



| | |
|---|----|
| 2.1.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO..... | 40 |
| 2.1.4. AISLAMIENTO SÍSMICO | 48 |
| 2.2. MARCO CONCEPTUAL..... | 59 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|--|----|
| 3.1. LA UNIDAD DE ESTUDIO | 64 |
| 3.1.1. IDENTIFICACIÓN..... | 64 |
| 3.1.2. CARACTERIZACIÓN | 65 |
| 3.1.3. EJES DE ESTUDIO..... | 67 |
| 3.1.4. CATEGORIZACIÓN..... | 68 |
| 3.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACION (METODOLÓGICOS)..... | 69 |
| 3.3. HERRAMIENTAS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 69 |
| 3.4. INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 69 |
| 3.5. ESQUEMA DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS | 70 |
| 3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE LA INVESTIGACIÓN | 71 |
| 3.6.1. PROPÓSITO DEL ESTUDIO EN RELACIÓN A LAS CATEGORÍAS .. | 71 |
| 3.7. MODELOS | 72 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|---|-----|
| 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS (EN LOS INSTRUMENTOS: MODELOS)..... | 229 |
| 4.2. EXPOSICIÓN DE LAS COMPARACIONES Y EVALUACIÓN DE LOS MODELOS ESTUDIADOS..... | 230 |
| 4.2.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M11 Y M21)..... | 231 |
| 4.2.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M12 Y M22)..... | 257 |



| | |
|--|------------|
| 4.2.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M13 Y M23)..... | 283 |
| 4.2.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M31 Y M32)..... | 310 |
| 4.2.5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M11, M21, M12, M22, M13, M23, M31 Y M32)..... | 332 |
| V. CONCLUSIONES | 355 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 363 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 364 |
| ANEXOS..... | 366 |

TEMA: NORMA SISMORRESISTENTE E.030

ÁREA: ESTRUCTURAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 DE ENERO DEL 2020



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M11 | 78 |
| Tabla 2. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M11 de acorde a la Norma E.030 del 2003..... | 80 |
| Tabla 3. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M11 | 82 |
| Tabla 4. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M11 | 82 |
| Tabla 5. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M11 | 83 |
| Tabla 6. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M11 | 84 |
| Tabla 7. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M11 | 84 |
| Tabla 8. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M11 | 85 |
| Tabla 9. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M11 | 86 |
| Tabla 10. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M11 | 86 |
| Tabla 11. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M11 | 87 |
| Tabla 12. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11 | 89 |
| Tabla 13. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11 | 89 |
| Tabla 14. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11 | 90 |
| Tabla 15. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11 | 90 |
| Tabla 16. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M11 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 91 |
| Tabla 17. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M11..... | 93 |
| Tabla 18. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M11..... | 93 |
| Tabla 19. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M11 | 94 |
| Tabla 20. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M11 | 94 |
| Tabla 21. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M11 | 95 |
| Tabla 22. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M11 | 95 |
| Tabla 23. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M11 | 96 |
| Tabla 24. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M11 | 97 |
| Tabla 25. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M11 | 97 |
| Tabla 26. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11 | 99 |
| Tabla 27. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11 | 99 |
| Tabla 28. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11 | 100 |
| Tabla 29. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11 | 100 |
| Tabla 30. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M21 | 103 |
| Tabla 31. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M21 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 104 |
| Tabla 32. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M21..... | 106 |
| Tabla 33. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M21..... | 107 |
| Tabla 34. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M21 | 107 |
| Tabla 35. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M21 | 108 |
| Tabla 36. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M21 | 108 |
| Tabla 37. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M21 | 110 |
| Tabla 38. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M21 | 110 |
| Tabla 39. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M21 | 111 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 40. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M21 | 112 |
| Tabla 41. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M21 | 112 |
| Tabla 42. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M21 | 113 |
| Tabla 43. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M21 | 115 |
| Tabla 44. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M21 | 116 |
| Tabla 45. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M21 | 116 |
| Tabla 46. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M21 | 116 |
| Tabla 47. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M12 | 120 |
| Tabla 48. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M12 de acorde a la Norma E.030 del 2003..... | 121 |
| Tabla 49. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M12 | 123 |
| Tabla 50. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M12 | 124 |
| Tabla 51. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M12 | 124 |
| Tabla 52. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M12 | 125 |
| Tabla 53. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M12 | 126 |
| Tabla 54. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M12 | 127 |
| Tabla 55. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M12.. | 127 |
| Tabla 56. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M12 | 128 |
| Tabla 57. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y y en la dirección Y-Y del modelo M12 | 128 |
| Tabla 58. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M12 | 129 |
| Tabla 59. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12 | 131 |
| Tabla 60. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12 | 131 |
| Tabla 61. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12..... | 132 |
| Tabla 62. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12..... | 132 |
| Tabla 63. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 133 |
| Tabla 64. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M12..... | 135 |
| Tabla 65. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M12..... | 135 |
| Tabla 66. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M12 | 136 |
| Tabla 67. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M12 | 136 |
| Tabla 68. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M12 | 137 |
| Tabla 69. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M12 | 137 |
| Tabla 70. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M12 | 138 |
| Tabla 71. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M12 | 139 |
| Tabla 72. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M12 | 139 |
| Tabla 73. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12 | 141 |
| Tabla 74. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12 | 141 |
| Tabla 75. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12..... | 142 |
| Tabla 76. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12..... | 142 |
| Tabla 77. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M22 | 145 |
| Tabla 78. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M22 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 146 |
| Tabla 79. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M22..... | 149 |
| Tabla 80. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M22..... | 149 |



| | |
|--|-----|
| Tabla 81. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M22 | 149 |
| Tabla 82. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M22 | 150 |
| Tabla 83. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M22 | 150 |
| Tabla 84. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M22 | 152 |
| Tabla 85. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M22 | 152 |
| Tabla 86. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M22 | 153 |
| Tabla 87. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M22.. | 153 |
| Tabla 88. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M22 | 154 |
| Tabla 89. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M22 | 154 |
| Tabla 90. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M22 | 155 |
| Tabla 91. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M22 | 158 |
| Tabla 92. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M22 | 158 |
| Tabla 93. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M22..... | 159 |
| Tabla 94. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M22..... | 159 |
| Tabla 95. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M13 | 162 |
| Tabla 96. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2003..... | 163 |
| Tabla 97. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M13 | 165 |
| Tabla 98. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M13 | 166 |
| Tabla 99. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M13 | 166 |
| Tabla 100. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M13 | 167 |
| Tabla 101. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M13 | 168 |
| Tabla 102. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M13 | 169 |
| Tabla 103. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M13 | 169 |
| Tabla 104. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M13 | 170 |
| Tabla 105. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M13 | 170 |
| Tabla 106. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M13 | 171 |
| Tabla 107. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13 | 173 |
| Tabla 108. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13 | 173 |
| Tabla 109. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13..... | 174 |
| Tabla 110. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13..... | 174 |
| Tabla 111. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 176 |
| Tabla 112. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M13.... | 178 |
| Tabla 113. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M13.... | 178 |
| Tabla 114. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M13 | 179 |
| Tabla 115. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M13 | 179 |
| Tabla 116. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Railegght del modelo M13 | 180 |
| Tabla 117. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Railegght del modelo M13 | 180 |
| Tabla 118. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M13 | 181 |
| Tabla 119. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M13 | 182 |
| Tabla 120. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M13 | 182 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 121. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13 | 184 |
| Tabla 122. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13 | 184 |
| Tabla 123. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13..... | 185 |
| Tabla 124. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13..... | 185 |
| Tabla 125. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M23 | 188 |
| Tabla 126. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M23 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 189 |
| Tabla 127. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M23.... | 191 |
| Tabla 128. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M23.... | 192 |
| Tabla 129. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M23 | 192 |
| Tabla 130. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M23 | 193 |
| Tabla 131. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M23 | 193 |
| Tabla 132. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M23 | 194 |
| Tabla 133. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M23 | 195 |
| Tabla 134. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M23 | 196 |
| Tabla 135. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M23 | 196 |
| Tabla 136. Distribución de fuerzas estáticas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M23 | 197 |
| Tabla 137. Distribución de fuerzas estáticas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M23 | 197 |
| Tabla 138. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M23 | 198 |
| Tabla 139. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M23 | 201 |
| Tabla 140. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M23 | 201 |
| Tabla 141. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M23..... | 202 |
| Tabla 142. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M23..... | 202 |
| Tabla 143. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el Modelo M31 | 205 |
| Tabla 144. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M31 de acorde a la Norma E.030 del 2003..... | 208 |
| Tabla 145. Datos de entrada para el prediseño del sistema de aislamiento para el Modelo M31 | 208 |
| Tabla 146. Propiedades Lineales: Rigidez (Kb) y Amortiguamiento(Cb) del sistema de aislamiento para el Modelo M31..... | 208 |
| Tabla 147. Propiedades Lineales: Pseudo-aceleración (S_{aM}), Factor de amortiguamiento (B_M) y Desplazamiento(D_M) del sistema de aislamiento para el Modelo M31 | 209 |
| Tabla 148. Propiedades lineales de los aisladores para el Modelo M31 | 209 |
| Tabla 149. Propiedades no lineales del sistema de aislamiento para el Modelo M31 | 209 |
| Tabla 150. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M31 | 211 |
| Tabla 151. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M31 | 212 |
| Tabla 152. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M31 | 213 |
| Tabla 153. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M31 | 214 |
| Tabla 154. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M31..... | 214 |
| Tabla 155. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M31..... | 214 |
| Tabla 156. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el Modelo M32..... | 218 |
| Tabla 157. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M32 de acorde a la Norma E.030 del 2018..... | 221 |
| Tabla 158. Datos de entrada para el prediseño del sistema de aislamiento para el Modelo M32 | 221 |
| Tabla 159. Propiedades Lineales: Rigidez (Kb) y Amortiguamiento(Cb) del sistema de aislamiento para el Modelo M32..... | 222 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 160. Propiedades Lineales: Pseudo-aceleración (S_{aM}), Factor de amortiguamiento (B_M) y Desplazamiento(D_M) del sistema de aislamiento para el Modelo M32 | 222 |
| Tabla 161. Propiedades lineales de los aisladores para el Modelo M32..... | 222 |
| Tabla 162. Propiedades no lineales del sistema de aislamiento para el Modelo M31 | 223 |
| Tabla 163. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M32 | 225 |
| Tabla 164. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M32 | 225 |
| Tabla 165. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M32 | 227 |
| Tabla 166. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M32 | 227 |
| Tabla 167. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M32..... | 228 |
| Tabla 168. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M32..... | 228 |
| Tabla 169. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M21 con respecto al modelo M11 | 231 |
| Tabla 170. Coeficientes Basales calculados para los modelos M11 y M21 en base a la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente | 232 |
| Tabla 171. Fuerza Cortante Estática de Entrepiso calculada para el modelo M11 | 233 |
| Tabla 172. Variación del Peso Sísmico calculado para el modelo M21 con respecto al modelo M11 | 233 |
| Tabla 173. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M21 con respecto al modelo M11 en la Dirección X-X..... | 234 |
| Tabla 174. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M21 con respecto al modelo M11 en la Dirección Y-Y..... | 234 |
| Tabla 175. Variación de los valores de la Fuerza Cortante de Entrepiso por el método directo | 236 |
| Tabla 176. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M21 con respecto al modelo M11 | 237 |
| Tabla 177. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y calculadas para los modelos M11 y M21 | 238 |
| Tabla 178. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M11 y M21..... | 241 |
| Tabla 179. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M11 y M21..... | 243 |
| Tabla 180. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M11 y M21..... | 245 |
| Tabla 181. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M11 y M21..... | 247 |
| Tabla 182. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección X de los modelos M11 y M21 | 250 |
| Tabla 183. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M11 y M21..... | 252 |
| Tabla 184. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección X de los modelos M11 y M21 | 254 |
| Tabla 185. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M11 y M21 | 256 |
| Tabla 186. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M22 con respecto al modelo M12..... | 258 |
| Tabla 187. Coeficientes Basales calculados para los modelos M12 y M22 en base a la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente | 259 |
| Tabla 188. Fuerza Cortante Estática de Entrepiso calculada para el modelo M12 | 260 |
| Tabla 189. Variación del Peso Sísmico calculado para el modelo M22 con respecto al modelo M12 | 260 |
| Tabla 190. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M22 con respecto al modelo M12 en la Dirección X-X..... | 261 |



| | |
|--|-----|
| Tabla 191. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M22 con respecto al modelo M12 en la Dirección Y-Y..... | 261 |
| Tabla 192. Variación de los valores de la Fuerza Cortante de Entrepiso por el método directo | 263 |
| Tabla 193. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X calculadas para los modelos M12 y M22 | 264 |
| Tabla 194. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y calculadas para los modelos M12 y M22 | 264 |
| Tabla 195. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M12 y M22..... | 267 |
| Tabla 196. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M12 y M22..... | 269 |
| Tabla 197. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M12 y M22..... | 271 |
| Tabla 198. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M12 y M22..... | 273 |
| Tabla 199. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección X de los modelos M12 y M22 | 276 |
| Tabla 200. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M12 y M22 | 278 |
| Tabla 201. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección X de los modelos M12 y M22 | 280 |
| Tabla 202. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M12 y M22 | 282 |
| Tabla 203. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M23 con respecto al modelo M13 | 284 |
| Tabla 204. Coeficiente Basal calculado para los modelos M13 y M23 en base a la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente | 285 |
| Tabla 205. Fuerza Cortante Estática de Entrepiso calculada para los modelos M13..... | 286 |
| Tabla 206. Peso Sísmico calculado para los modelos M13 y M23 | 287 |
| Tabla 207. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M23 con respecto al modelo M13 en la Dirección X-X..... | 287 |
| Tabla 208. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M23 con respecto al modelo M13 en la Dirección Y-Y..... | 288 |
| Tabla 209. Variación de los valores de la Fuerza Cortante de Entrepiso por el método directo | 289 |
| Tabla 210. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M23 con respecto al modelo M13 | 290 |
| Tabla 211. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y calculadas para los modelos M13 y M23 | 291 |
| Tabla 212. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M13 y M23..... | 294 |
| Tabla 213. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M13 y M23..... | 296 |
| Tabla 214. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M13 y M23..... | 298 |
| Tabla 215. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M13 y M23..... | 300 |
| Tabla 216. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección X de los modelos M13 y M23 | 303 |
| Tabla 217. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M13 y M23..... | 304 |
| Tabla 218. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección X de los modelos M13 y M23 | 306 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 219. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M13 y M23 | 308 |
| Tabla 220. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M32 con respecto al modelo M31 | 311 |
| Tabla 221. Variación del valor de la Fuerza Cortante Estática de Entrepiso del modelo M32 con respecto al modelo M31, ambos modelos con base aislada | 311 |
| Tabla 222. Variación del valor de la Fuerza Cortante Estática de Entrepiso del modelo M31, con base fija y base aislada | 312 |
| Tabla 223. Variación del valor de la Fuerza Cortante Estática de Entrepiso del modelo M32, con base fija y base aislada | 314 |
| Tabla 224. Variación del valor de la Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso del modelo M32 con respecto al modelo M31, ambos modelos con base aislada | 316 |
| Tabla 225. Variación del valor de la Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso del modelo M31, con base fija y base aislada | 316 |
| Tabla 226. Variación del valor de la Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso del modelo M32, con base fija y base aislada | 318 |
| Tabla 227. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático del modelo M31 | 320 |
| Tabla 228. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático del modelo M32 | 321 |
| Tabla 229. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico del modelo M31 | 324 |
| Tabla 230. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico del modelo M32 | 325 |
| Tabla 231. Derivas obtenidas del Análisis Estático del modelo M31 | 327 |
| Tabla 232. Derivas obtenidas del Análisis Estático del modelo M32 | 328 |
| Tabla 233. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico del modelo M31 | 330 |
| Tabla 234. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico del modelo M32 | 330 |
| Tabla 235. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según la Norma Sismorresistente E.030 empleada y según el sistema estructural empleado | 333 |
| Tabla 236. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según el sistema estructural de muros estructurales con base fija y base aislada | 335 |
| Tabla 237. Comparación de cantidades de concreto y variación porcentual según la norma E.030 aplicada (m ³) | 336 |
| Tabla 238. Comparación de cantidades de concreto y variación porcentual según la norma E.030 aplicada y el tipo de elemento estructural (m ³) | 339 |
| Tabla 239. Comparación de cantidades y variación porcentual de acero de refuerzo según la norma E.030 aplicada | 341 |
| Tabla 240. Comparación de cantidades de acero de refuerzo y variación porcentual según la norma E.030 aplicada y el tipo de elemento estructural (m ³) | 342 |
| Tabla 241. Comparación de cantidades y variación porcentual de las cantidades de concreto respecto al cambio de sistema estructural | 345 |
| Tabla 242. Comparación de cantidades de concreto y variación porcentual con respecto al cambio del sistema estructural y el tipo de elemento estructural (m ³) | 347 |
| Tabla 243. Comparación de cantidades y variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto al cambio de sistema estructural | 348 |
| Tabla 244. Comparación de cantidades de acero de refuerzo y variación porcentual con respecto al cambio del sistema estructural y el tipo de elemento estructural (m ³) | 350 |
| Tabla 245. Comparación de cantidades y variación porcentual del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de la norma E.030 aplicada | 352 |
| Tabla 246. Comparación de cantidades y variación porcentual del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de sistema estructural | 353 |



ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 1. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos óptimos M11 y M21 | 235 |
| Gráfico 2. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos óptimos M11 y M21 | 235 |
| Gráfico 3. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M11 y M21 | 238 |
| Gráfico 4. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y de los modelos M11 y M21..... | 239 |
| Gráfico 5. Espectro Sísmico de los modelos M11 y M21 calculadas según la Norma Sismorresistente E.030 | 239 |
| Gráfico 6. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M11 | 241 |
| Gráfico 7. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M11 y M21 | 242 |
| Gráfico 8. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M11 | 243 |
| Gráfico 9. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M11 y M21 | 244 |
| Gráfico 10. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M11..... | 246 |
| Gráfico 11. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M11 y M21 | 246 |
| Gráfico 12. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M11..... | 248 |
| Gráfico 13. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M11 y M21 | 248 |
| Gráfico 14. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M11 | 250 |
| Gráfico 15. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M11 y M21..... | 251 |
| Gráfico 16. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M11 | 253 |
| Gráfico 17. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M11 y M21..... | 253 |
| Gráfico 18. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M11..... | 255 |
| Gráfico 19. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M11 y M21..... | 255 |
| Gráfico 20. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M11..... | 256 |
| Gráfico 21. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M11 y M21..... | 257 |
| Gráfico 22. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M12 y M22 | 262 |
| Gráfico 23. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M12 y M22 | 262 |
| Gráfico 24. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M12 y M22 | 265 |
| Gráfico 25. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M12 y M22 | 265 |
| Gráfico 26. Espectro Sísmico de los modelos M12 y M22 calculadas según la Norma Sismorresistente E.030 | 266 |
| Gráfico 27. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M12 | 268 |
| Gráfico 28. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M12 y M22 | 268 |



| | |
|---|-----|
| Gráfico 29. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M12 | 270 |
| Gráfico 30. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M12 y M22 | 271 |
| Gráfico 31. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M12..... | 272 |
| Gráfico 32. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M12 y M22 | 272 |
| Gráfico 33. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M12..... | 274 |
| Gráfico 34. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M12 y M22 | 274 |
| Gráfico 35. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M12 | 276 |
| Gráfico 36. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M12 y M22..... | 277 |
| Gráfico 37. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M12 | 278 |
| Gráfico 38. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M12 y M22..... | 279 |
| Gráfico 39. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M12..... | 280 |
| Gráfico 40. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M12 y M22..... | 281 |
| Gráfico 41. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M12..... | 282 |
| Gráfico 42. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M12 y M22..... | 283 |
| Gráfico 43. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M13 y M23 | 288 |
| Gráfico 44. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M13 y M23 | 289 |
| Gráfico 45. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M13 y M23 | 291 |
| Gráfico 46. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M13 y M23 | 292 |
| Gráfico 47. Espectro Sísmico de los modelos M13 y M23 calculadas según la Norma Sismorresistente E.030 | 292 |
| Gráfico 48. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M13 | 294 |
| Gráfico 49. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M13 y M23 | 295 |
| Gráfico 50. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M13 | 297 |
| Gráfico 51. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M13 y M21 | 297 |
| Gráfico 52. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M13..... | 299 |
| Gráfico 53. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M13 y M23 | 300 |
| Gráfico 54. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M13..... | 301 |
| Gráfico 55. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M13 y M23 | 302 |
| Gráfico 56. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M13 | 303 |
| Gráfico 57. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M13 y M23..... | 304 |
| Gráfico 58. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M13 | 305 |



| | |
|---|-----|
| Gráfico 59. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M13 y M23..... | 305 |
| Gráfico 60. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M13..... | 307 |
| Gráfico 61. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M13 y M23..... | 307 |
| Gráfico 62. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M13..... | 309 |
| Gráfico 63. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M13 y M23..... | 309 |
| Gráfico 65. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M31, con base fija y base aislada | 312 |
| Gráfico 66. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M31, con base fija y base aislada | 313 |
| Gráfico 67. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M32, con base fija y base aislada | 314 |
| Gráfico 68. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M32, con base fija y base aislada | 315 |
| Gráfico 69. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M31, con base fija y base aislada..... | 317 |
| Gráfico 70. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M31, con base fija y base aislada..... | 317 |
| Gráfico 71. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M32, con base fija y base aislada..... | 319 |
| Gráfico 72. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M32, con base fija y base aislada..... | 319 |
| Gráfico 73. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32 | 322 |
| Gráfico 74. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32 | 323 |
| Gráfico 75. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32 | 326 |
| Gráfico 76. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32 | 326 |
| Gráfico 77. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32..... | 328 |
| Gráfico 78. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32..... | 329 |
| Gráfico 79. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32..... | 331 |
| Gráfico 80. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32..... | 331 |
| Gráfico 81. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según el sistema estructural y la modificación de la norma Sismorresistente del año 2003 al año 2018 empleado | 334 |
| Gráfico 82. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según el sistema estructural dual con base fija y base aislada | 335 |
| Gráfico 83. Variación porcentual de las cantidades de concreto respecto a la modificación de la norma E.030 | 337 |
| Gráfico 84. Variación porcentual de las cantidades de concreto en losas de cimentación respecto a la modificación de la norma E.030 | 339 |
| Gráfico 85. Variación porcentual de las cantidades de concreto en columnas y/o placas respecto a la modificación de la norma E.030 | 340 |
| Gráfico 86. Variación porcentual de las cantidades de concreto en vigas respecto a la modificación de la norma E.030..... | 340 |
| Gráfico 87 Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto a la modificación de la norma E.030..... | 341 |



| | |
|---|-----|
| Gráfico 88. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo en losas de cimentación respecto a la modificación de la norma E.030..... | 343 |
| Gráfico 89. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo en columnas y/o placas respecto a la modificación de la norma E.030..... | 343 |
| Gráfico 90. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo en vigas respecto a la modificación de la norma E.030..... | 344 |
| Gráfico 91. Comparación de cantidades de concreto respecto al cambio de sistema estructural | 345 |
| Gráfico 92. Variación porcentual de las cantidades de acero de concreto respecto al cambio de sistema estructural | 346 |
| Gráfico 93. Variación de las cantidades de concreto en losas de cimentación, columnas y/o placas, y vigas con respecto al cambio del sistema estructural | 348 |
| Gráfico 94. Comparación de cantidades de acero de refuerzo respecto al cambio de sistema estructural | 349 |
| Gráfico 95. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto al cambio de sistema estructural | 349 |
| Gráfico 96. Variación de las cantidades de acero de refuerzo en losas de cimentación, columnas y/o placas, y vigas con respecto al cambio del sistema estructural | 351 |
| Gráfico 97. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto a la modificación de la norma E.030..... | 352 |
| Gráfico 98. Comparación del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de sistema estructural | 353 |
| Gráfico 99. Variación porcentual del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de sistema estructural | 354 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Distribución de fuerzas laterales con la altura según el método estático..... | 41 |
| Figura 2. Excentricidad de diseño para determinación de efectos de torsión | 42 |
| Figura 3. Determinación del centro de torsión..... | 43 |
| Figura 4. Respuesta sísmica | 45 |
| Figura 5. Espectro de aceleraciones (Componentes N-S/ Sismo del 2007 – Perú)..... | 50 |
| Figura 6. Aumento del Espectro de aceleraciones (Componentes N-S/ Sismo del 2007 – Perú) 50 | |
| Figura 7. Plano de Ubicación del Proyecto..... | 64 |
| Figura 8. Vistas Panorámicas del edificio de 10 niveles. (a) Vista Lateral (b) Vista Frontal | 67 |
| Figura 9. Estructuración modelo M11 | 77 |
| Figura 10. Estructuración modelo M21 | 102 |
| Figura 11. Estructuración modelo M12 | 119 |
| Figura 12. Estructuración modelo M22. | 144 |
| Figura 13. Estructuración modelo M13 | 161 |
| Figura 14. Estructuración modelo M23. | 187 |
| Figura 15. Estructuración modelo M31 | 204 |
| Figura 16. Estructuración modelo M31. (a)Vista en elevación del modelo en ETABS v.16.2.1. (b)Vista en 3D del modelo en ETABS v.16.2.1..... | 205 |
| Figura 17. Estructuración modelo M32 | 217 |
| Figura 18. Estructuración modelo M32. (a)Vista en elevación del modelo en ETABS v16.2.1. (b)Vista en 3D del modelo en ETABS v16.2.1..... | 218 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones
- NTP: Norma Técnica Peruana
- E030: Norma Técnica E030 Diseño Sismorresistente
- E031: Norma Técnica E031 Aislamiento Sísmico
- E020: Norma Técnica E020 Cargas
- E050: Norma Técnica E050 Suelos y Cimentaciones
- E060: Norma Técnica E060 Concreto Armado
- LDRB: Low Damping Rubber Bearing
- HDRB: High Damping Rubber Bearing
- LRB: Laminated Rubber Bearing
- FPS: Friction Pendulum System
- DBE: Design Basis Earthquake
- MCE: Maximum Credible Earthquake



RESUMEN

La investigación tiene como objetivo evaluar la incidencia de las modificaciones de la Norma E.030 desde el 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018. Su nivel de estudio será de tipo explicativo bajo un enfoque cualitativo. Para estudiar la incidencia de las modificaciones de la Norma Sismorresistente E.030, se evaluó la respuesta estructural y su estimación económica, para este propósito se plantearon ocho modelos, divididos en dos grupos de cuatro; conforme a la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y a la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, cada grupo contiene tres modelos basados en los sistemas estructurales de Concreto Armado: Sistema de Pórticos, Sistema Dual y Sistema de Muros Estructurales; además un modelo adicional con sistema de aisladores en la base tipo LRB. Para la evaluación de la incidencia de la respuesta estructural, los indicadores de estudio son las áreas de las secciones de las columnas y/o placas, las fuerzas cortantes sísmicas, los desplazamientos y derivas, obtenidas en el análisis estático lineal y el análisis dinámico espectral. Para la evaluación de la incidencia económica, el indicador de estudio es el presupuesto de la partida estructuras, y sus análisis de costos unitarios de sus componentes. Con la investigación se demuestra que la modificación de la Norma Sismorresistente E.030 para el caso de estudio, incide tanto en la respuesta estructural y presupuesto de obra, el cual depende de la estructuración elegida, resultando el sistema dual el más afectado y el sistema de muros estructurales el de menor incidencia.

Palabras clave: Incidencia, Norma E.030, Concreto armado, Análisis Estructural, Derivas.



ABSTRACT

The objective of the investigation is to evaluate the incidence of the modifications of the E.030 Norm from 2003 to 2018, in the different structural systems of Reinforced Concrete that are contemplated in it, in the approach of a building project of ten levels in the City of Puno in 2018. Its level of study will be explanatory under a qualitative approach. In order to study the incidence of the modifications of the E.030 Seismic Standard, the structural response and its economic estimation were evaluated. For this purpose, eight models were proposed, divided into two groups of four; According to the E.030 Earthquake Resistant Norm of 2003 and the 2018 Earthquake Resistant Norm E.030, each group contains three models based on Reinforced Concrete structural systems: Portal System, Dual System and Structural Wall System; in addition to an additional model with LRB base isolator system. For the evaluation of the incidence of the structural response, the study indicators are the areas of the sections of the columns and / or plates, the seismic shear forces, the displacements and drifts, obtained in the linear static analysis and the dynamic spectral analysis. For the evaluation of the economic impact, the study indicator is the budget of structures, and their analysis of the unit costs of their components. The research shows that the modification of the E.030 Earthquake Resistant Norm for the case study affects both the structural response and the work budget, which depends on the chosen structuring, resulting in the dual system being the most affected and the system structural walls the one with the least incidence.

Keywords: Incidence, Norm E.030, Reinforced concrete, Structural Analysis, Drift.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial existe una tendencia de mejorar la respuesta sísmica de las estructuras ante los eventos sísmicos, el cual origina modificaciones a las reglamentaciones sobre el diseño sísmico de las edificaciones que han hecho referencia a muchas investigaciones y a los últimos eventos sísmicos ocurridos en el planeta, pues debido a ellos se notaban las fallas estructurales más recurrentes en las estructuras, por lo que concluyen que los factores de seguridad deben aumentar. Es así que, en nuestro país, con el fin de garantizar un diseño óptimo y funcional de la infraestructura, continuamente busca la mejora en la seguridad ante los eventos sísmicos que se dan en el territorio peruano, es que la Norma E.030 ha sufrido modificaciones con el fin de mejorar la resistencia de los miembros estructurales ante un evento sísmico.

Las modificaciones de la norma ha originado nuevos paradigmas en el diseño de edificios, que hacen que la metodología de su aplicación cambie con respecto a la normativa anterior, es entonces que el análisis de los aspectos que se han modificado y además de su metodología de aplicación es una preocupación para el diseño estructural de edificios, por lo que esta investigación tiene el objetivo de evaluar las incidencias de las modificaciones de la Norma E.030, en este caso particular para un el diseño de edificios de 10 niveles con diferentes sistemas estructurales aplicados. Tales incidencias se pueden estudiar con respecto a la parte estructural, referentes al cambio de los coeficientes sísmicos de la Norma, que origina un incremento de las áreas de las secciones de las columnas, los pesos, las fuerzas cortantes y modifica los espectros sísmicos, los cuales varían con respecto al sistema estructural aplicado; y con respecto a la parte económica, como consecuencia del aumento de los materiales que se emplearán para cada



sistema estructural, con el propósito de reconocer la metodología que nos permita elegir el modelo más económico.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PREGUNTA GENERAL

¿Cómo incide las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018?

1.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- ¿Cuáles son las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, al aplicarlas en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018?
- ¿Cómo incide en la respuesta estructural las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018?
- ¿Cómo incide económicamente las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018?

1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la Tesis “Comparación estructural y económica de edificio de 7 pisos ante modificación de la Norma E.030 diseño sismorresistente” (León Ingaruca & Gutierrez Morales, 2018), toma como referencia la Tesis “Diseño de un Edificio de Oficinas en



Miraflores” desarrollada por el tesista Gabriel Moyano Rostworowski en el año 2016, para comparar la incidencia del cambio de Norma E.030, con respecto a la parte estructural. Su unidad de estudio es un edificio de siete pisos, que se cimienta sobre un terreno de capacidad portante de 4.00 kg/cm^2 . En esta investigación, se analiza y diseña la estructura de un edificio propuesto en la tesis referencial usando la norma vigente de diseño sismorresistente, luego se realiza una comparación estructural y económica. La comparación de resultados en cuanto a la estructura es sobre parámetros sísmicos, periodos, cortante basal, los desplazamientos, la junta sísmica, las fuerzas internas en un elemento estructural representativo, como tales son viga, columna y placa.

Los resultados obtenidos muestran que las secciones de los elementos estructurales obtenidos en la tesis de referencia, a excepción de la cimentación, fueron suficientes para el cumplimiento de los requisitos de rigidez y resistencia en el nuevo modelo. La deriva máxima obtenida, el cual fue de 0.0038 acorde con la norma vigente en ese entonces se encontraba por debajo del límite permisible que exigía la norma. En ese estudio concluye que el parámetro que tuvo mayor influencia en el análisis fue el factor zona (Z) debido a la modificación de la norma E.030, resaltando que el parámetro T_L tuvo incidencia nula, porque los periodos obtenidos en ambas direcciones de análisis resultaron menores a 2.5 segundos. La junta sísmica reglamentaria cambió de ser 5.5 cm a ser 7.0 cm. Resaltando que las fuerzas internas en las placas, vigas y columnas presentan un incremento entre 10% y 20%. Por otro lado, las dimensiones de las zapatas se incrementaron y traduciéndose en el aumento del 65% en el metrado de concreto.

En la investigación “Optimización en la selección de sistemas estructurales para el diseño de edificios de gran altura de concreto armado para resistir fuerzas sísmicas” (Katkhoda & Knaa, 2012), se estudia la aplicación de una solución a la optimización en la selección de sistemas estructurales para el diseño de edificios residenciales de gran



altura de concreto reforzado (RC) a través del estudio y diseño de tres modelos de edificios de estructura de gran altura RC, que consisten en: (10-15-20) pisos donde se basó en el algoritmo genético (GA) para encontrar modelos de diseño que faciliten el acceso a las soluciones óptimas, en el que se aplicó el Ciclo de Análisis-Diseño técnico para determinar las dimensiones óptimas de la sección transversal de todos elementos de concreto armado en edificios de gran altura, lo que determina el mejor sistema estructural, para garantizar que las dimensiones sean económicas, es decir lograr el ahorro en cantidades de concreto y acero.

En la investigación “Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente” (Blanco, 2012), tiene como objetivo indicar algunas recomendaciones mínimas que deben ser tomadas en cuenta tanto por ingenieros como por arquitectos, para lograr un mejor desempeño de las edificaciones de concreto armado ante la presencia de sismos. En este se investiga y recopila información sobre el comportamiento sismorresistente de algunas edificaciones a nivel mundial, analizando las causas de los daños y su posible solución para su disminución en el futuro. En la investigación se analizan algunas recomendaciones indicadas en el Perú y en otros países, tanto en las normas vigentes, como en las experiencias previas, para resumirlas y dar un punto de partida a los profesionales para lograr un diseño sismorresistente.

La Tesis “Influencia de la estructuración sísmica en el proceso del diseño estructural en edificios” (Alvarado-Salguero, Jiménez-Velasco, Pineda Renderos, 2008). Estudio realizado en El Salvador. En esta investigación se demuestra cómo influye la estructuración sísmica en el proceso del diseño de estructuras de concreto reforzado. El estudio del grado de influencia se muestra por medio de un análisis comparativo entre sistemas estructurales y sus propiedades, partiendo desde el desarrollo de varios aspectos a tomar en cuenta para llevar a cabo el desarrollo de un sistema determinado, hasta una



evaluación comparativa entre la correcta aplicación de dichos parámetros y la inadecuada aplicación de estos, mostrando además los efectos que la estructura sufre de acuerdo a las variaciones aplicadas. La investigación se ha basado en códigos de El Salvador y códigos internacionales (RSEC, ACI, ASCE, LRFD, RCDF, etc.) que dan los parámetros para la seguridad estructural, que deberá tener la estructura durante su existencia.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN (UTILIDAD E IMPORTANCIA)

El Perú es un país altamente sísmico, y es probable que en cuestión de tiempo vuelva a ocurrir otro sismo de gran magnitud con foco a diferentes niveles de profundidad y epicentro en cualquier lugar de nuestro territorio. Sin embargo, los escenarios observados en cada área urbana, después de ocurrido un sismo de gran magnitud, han mostrado que el principal problema no es el sismo, sino el crecimiento desordenado de las ciudades sobre suelos reconocidos como de alto riesgo (suelos no compactos, laderas de cerros, orillas de ríos y quebradas) y con la construcción de viviendas no adecuadas para soportar altos niveles de sacudimiento de suelo (materiales no adecuados y falta de orientación técnica). Es por ello que la investigación se justifica en la elaboración de un proyecto a nivel estructural de un edificio de 10 niveles ubicada en la Ciudad de Puno al 2018, que cumpla con todas las condiciones reglamentadas en la Norma Sismorresistente E030, en la que se incluyen los estudios básicos del terreno de fundación.

Las normas sísmicas tienen el objetivo de proporcionar recomendaciones y lineamientos para el diseño de edificaciones seguras ante la ocurrencia de movimientos sísmicos. Las normas son desarrolladas con base en los avances del conocimiento en el área, y aprobadas por distintas instancias del mundo académico, profesional y gubernamental, con el fin del diseño y construcción de edificaciones lo suficientemente seguras (en caso de terremotos), como para salvaguardar las vidas humanas que albergan.



Además de buscar preservar las vidas humanas, las normas modernas incluyen lineamientos para reducir las pérdidas y costos económicos derivados de los daños que pueden sufrir las edificaciones después de un evento sísmico. En el Perú la autoridad competente de su elaboración es el Comité Permanente de Evaluación de Norma de Diseño Sismorresistente E.030. La Norma Sismorresistente peruana al ser relativamente joven está en constante evaluación, actualización y modernización. Es de conocimiento común entre los ingenieros proyectistas del área de estructuras, que las normas sismorresistentes tienden a ser más conservadoras, incluyendo la norma peruana, y es por ello que es necesario evaluar la incidencia de las modificaciones de la Norma Sismorresistente en la proyección de una edificación, tanto en la respuesta estructural y económicamente. El incremento de las secciones de los elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes debido a las nuevas restricciones, conlleva a elevar los costos de ejecución del proyecto, demandando mayores presupuestos lo que puede ser adverso para los intereses de los propietarios de las edificaciones. Será labor de los ingenieros proyectistas reducir esa brecha de incrementos de costos, mediante soluciones óptimas en el diseño estructural.

La innovación en ingeniería sísmica puede entenderse a partir del planteamiento de sistemas estructurales, ya sea tradicionales o innovadores, que puedan controlar el nivel de daño en los diferentes sub-sistemas de las edificaciones a través de controlar adecuadamente su respuesta dinámica durante excitaciones sísmicas de diferente intensidad (Terán, 2002). La investigación también se justifica en la innovación, mediante la búsqueda de la mejor estructuración, evaluada en base la respuesta dinámica de la estructura para un edificio de 10 niveles en la Ciudad de Puno al año 2018. Dentro de las soluciones tradicionales se evalúan todos los sistemas estructurales de concreto armado, y dentro de las soluciones innovadoras, se evalúa la solución de aislamiento en la base.



Sin embargo, los resultados que se obtengan se evaluarán también en base al presupuesto que demanden.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia de las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar la Norma E.030 del año 2003 y sus modificaciones en el año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018.
- Evaluar la incidencia en la respuesta estructural de las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018.
- Evaluar la incidencia económica de las modificaciones de la Norma E.030 del año 2003 al año 2018, en los diferentes sistemas estructurales de Concreto Armado que se contemplan en la misma, en el planteamiento de un proyecto de edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno en el 2018.

1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo EXPLICATIVO porque determinaremos las causas de las incidencias por la modificación de la Norma E030, para generar un sentido



de entendimiento, más allá de sólo describirlos hasta abordar a una metodología de diseño estructural que cumpla con la norma actual.

Los estudios explicativos se diferencian de los estudios descriptivos porque van más allá de la descripción de hechos, conceptos o fenómenos, es decir son dirigidos a responder las causas de los eventos y fenómenos sociales o físicos. Su objetivo se centra en explicar la causa de un fenómeno y en qué condiciones ocurre, o por qué se relacionan dos o más variables.

1.6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

A. SEGÚN SU ENFOQUE

Esta investigación del tipo CUALITATIVA porque se dispondrá de información que alude a los rasgos, características, elementos o componentes de la unidad de estudio. No es un estudio cuantitativo porque no disponemos de información numérica relacionable o correlacionable, que se pueda manipular, ni información estadística puesto que se trata de un estudio de caso.

Es de tipo ESPECIALIZADO, porque versa sobre un problema propio de la ingeniería civil.

B. POR SU FINALIDAD

Es de tipo APLICADA porque tiene por finalidad resolver un problema, que en esta investigación es conocer cómo influyen las modificaciones de la Norma E.030 en el proyecto de construcción de un edificio.

C. POR EL TIEMPO QUE COMPRENDE

Es de tipo SECCIONAL O SINCRÓNICA porque la investigación se desarrolla en un momento determinado, cuando la Norma E.030 sufre modificaciones, que también es conocido como del tipo TRANSVERSAL.



Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernandez Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2006, pág. 208).

D. POR LA DIMENSIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Es del tipo MICRO INVESTIGACIÓN porque el objeto de investigación es reducido, porque se limita a edificios de concreto armado de varios niveles.

E. POR LA FUENTE DE INFORMACIÓN

La investigación se desarrolla con INFORMACIÓN PRIMARIA, porque los datos serán recogidos por los investigadores de la unidad de estudio.

F. POR EL ÁMBITO DOCUMENTAL

Es del tipo DE LABORATORIO, porque en esta investigación se observará el problema en cuanto la aplicación de la normativa vigente en comparación de la normativa anterior.

1.7. MUESTRA Y UNIDAD DE ESTUDIO

1.7.1. MUESTRA

La muestra es de tipo no estadístico, es decir corresponde a un caso elegido en particular. En este tipo de muestreo, todas las unidades que componen la población no tienen la misma posibilidad de ser seleccionadas "también es conocido como muestreo por conveniencia, no es aleatorio, razón por la que se desconoce la probabilidad de selección de cada unidad o elemento de la población", (PINEDA et al 1994, p 119). Por lo que el cálculo de nivel de significancia propio de las investigaciones cuantitativas no es posible, más si se puede obtener la representatividad puesto que en la investigación cualitativa, "la lógica de la muestra se basa en estudiar a profundidad algo a fin de que



sea válido. Usualmente esto se hace en pocos casos seleccionados en forma intencionada".

(PINEDA et al, 1994, p. 120).

1.7.2. UNIDAD DE ESTUDIO

La unidad de estudio de esta investigación consiste en un edificio nuevo de departamentos de 10 niveles, dos departamentos de dos dormitorios en el primer nivel, dos departamentos completos por nivel en los niveles 2, 3, 4 ,5 y 6 tipo flat, y 8 departamentos dúplex que corresponden a los niveles 7, 8, 9 y 10, en el cual se aplicará la Norma E.30 de los años 2003 y 2018, y en el que se analizarán las incidencias de la aplicación de la norma, en cuanto a su respuesta sísmica y costos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. CONCEPTOS RELATIVOS AL DISEÑO SÍSMICO

- *Propósitos del diseño antisísmico*

Los propósitos de las construcciones antisísmicas, respecto a los sismos de pequeña y mediana magnitud, que comparativamente son de gran frecuencia, son la seguridad humana y el mantenimiento de las facultades de la estructura y protección de los bienes naturales. Respecto a los sismos severos de rara ocurrencia se piensa principalmente en la seguridad humana. (Oshiro Higa).

- *Comportamiento Estructural*

Cuando el suelo vibra por el efecto sísmico, en el edificio impacta, en sentido horizontal, la fuerza de inercia. La magnitud de esta fuerza de inercia (fuerza horizontal) está estrechamente relacionada a las propiedades del edificio y a las propiedades del suelo, y no puede pensarse por separado. Cuando en el edificio acciona la fuerza lateral en cada sección de miembro del armazón estructural se originan esfuerzos, como los momentos de flexión, fuerzas cortantes, fuerzas axiales, etc. y en razón a estos esfuerzos en las secciones se generan fatigas o deformaciones. Luego viene la acumulación de las deformaciones en las secciones, lo que genera en los extremos de miembros como columnas, vigas, etc., la deformación lateral, deformación vertical, así como la deformación por giro o volteo, y la combinación de cada una de estas deformaciones originan la deformación lateral total de piso.

En la relación entre las deformaciones y los esfuerzos unitarios de los materiales que conforman los miembros, existen condiciones elásticas y condiciones plásticas. Más aún en la deformación lateral del edificio, en momento en que sobre esta acciona

gradualmente la fuerza lateral, igualmente existen condiciones elásticas y plásticas. Si ampliamos un tanto de esta explicación tenemos, la fuerza lateral dentro de pequeña esfera, generan en cada sección de miembro, esfuerzos pequeños y de aquí resulta que la deformación de sección está dentro del límite elástico. En estos linderos, la relación entre la deformación lateral del edificio y la fuerza lateral, es aproximadamente lineal. Esta última expresión tiene la siguiente explicación. En las edificaciones comunes, existe un alto porcentaje de irregularidades tanto en lo que concierne a pisos como a tramos. Por lo que aun en condiciones de esfuerzos muy bajos, no se cumple a cabalidad la relación lineal. No obstante, si eliminamos la fuerza lateral, la deformación en la sección se anula y se reintegra a la condición primigenia. En este lindero, la deformación total del edificio está dentro de la limitación elástica. (Oshiro Higa).

- ***Diseño Estructural***

El diseño estructural debe asegurar la vida de las personas, así como los muebles; etc., que se encuentran dentro de la edificación antes las cargas, sismos, vientos, nieve, etc. que como fuerzas externas accionan sobre el edificio, y los planos estructurales representan la expresión escrita del diseño. En el diseño también se añaden las consideraciones de la funcionalidad, así como los principios de economía. La edificación, además de ser hermosa, debe ser funcional, económica y de alta eficiencia.

El proceso de diseño estructural, por lo general sigue el siguiente orden:

- a. ***Plan estructural***

En el plan estructural, así como se trata de mantener la funcionalidad del edificio, se trata de establecer un armazón que absorba las cargas y las fuerzas externas. Asimismo, prever su transmisión hacia una determinada naturaleza de suelo. Tanto la carga vertical con la fuerza lateral en algún momento se trasmite al suelo. Aunque en el proceso de la transmisión de la fuerza existen diversas condiciones, también existen métodos o medidas



que satisfacen esas condiciones y dentro de algunos de esos métodos, ya que sea el análisis se realice como un armazón o como un edificio, paralelo al análisis del equilibrio de la estructura total, se deberá elegir el método más conveniente y eficiente.

b. *Cálculo estructural*

El cálculo estructural no es sino una extensión del plan estructural, y se trata simplemente de comprobarlo en forma numérica. El cálculo estructural se efectúa de la siguiente manera:

Cargas: cálculos de las cargas verticales y horizontales.

Esfuerzos: cálculos de los esfuerzos que se generan en cada miembro del armazón estructural debido a las cargas.

Secciones: Calculo de la cantidad de refuerzos necesarios y la confirmación de las dimensiones de las secciones en proporción a los esfuerzos unitarios permisibles de los materiales, por la acción combinada de los esfuerzos que generan cada carga.

Cimentación: cálculo de la cantidad de refuerzos y dimensiones requeridas de la cimentación a donde se transmiten las cargas de los miembros de la estructura superior, basada en los resultados de los estudios de suelo.

c. *Elaboración de planos de estructura*

En los estudios de concreto armado los siguientes planos estructurales son; Plano de cimentación, plano de cada piso, Detalles de cimentación, Lista de las secciones de placas, losas, vigas principales, secundarias, columnas, Planos de detalles de las disposiciones de los pórticos, Clases de materiales empleados. Estratos del terreno. Resistencia requerida del suelo.

2.1.2. REQUISITOS ESTRUCTURALES

Estos requisitos reflejan los conceptos básicos indicados en los distintos documentos normativos, reglamentarios y referenciales dentro del tema del diseño sismo



resistente, todos con la misma finalidad de obtener una estructura capaz de mantener la operatividad y la seguridad luego de un sismo severo.

A. RESISTENCIA Y RIGIDEZ

Esteva (1980) explica que el diseño sismorresistente no consiste en producir estructuras capaces de soportar una serie de fuerzas laterales, sino que implica producir sistemas que se caractericen por su óptima combinación de resistencia, rigidez y capacidad de disipar energía y deformarse dúctilmente. Estas propiedades podrán permitir que la estructura responda a los sismos frecuentes y moderados sin sufrir daños significativos, mientras que para sismos severos no pongan en peligro el contenido, la seguridad de los ocupantes ni la estabilidad de la misma estructura.

Mediante una adecuada combinación de resistencia y ductilidad en la estructura, se logra cumplir uno de los principales objetivos del diseño sismorresistente, el que es proteger las vidas durante un sismo frecuente, moderado o severo. Ambos factores aseguran que la edificación esté protegida del colapso parcial o total durante un sismo de gran intensidad, mediante la disipación de energía tanto por deformaciones elásticas y deformaciones y daños elásticos.

El aporte de rigidez a la estructura, permite cumplir con el principal objetivo, el cual menciona que se debe reducir los daños en la edificación, proteger el contenido y reducir la sensación de movimiento por parte de los ocupantes durante un sismo frecuente o moderado, y en menor medida en sismos severos. Las bajas deformaciones y aceleraciones de la edificación exigen menos incursiones inelásticas de la estructura.

i. Trayectoria de cargas

Un comportamiento deseado es aquel que permite que las cargas sean transmitidas, desde sus puntos de aplicación hasta los apoyos, procurando que el trayecto sea sencillo, cómodo, sin complejidades ni irregularidades (Torroja, 1957). La



complejidad que pueden tener los esfuerzos en esta trayectoria dentro de la estructura refleja la irregularidad presente en altura o elevación, la cual pretende evitar en edificaciones en zonas sísmicas.

ii. Estados límites

Cuando una estructura o una parte de ella exceden en esfuerzos y/o deformaciones a las consideradas en el diseño, pueden llegar a algunos de los estados límites del material o del elemento. Estos estados límite representan mecanismos en que la funcionalidad de la estructura componente se va degradando. Los estados límites para estructuras de concreto armado pueden ser divididos en tres grupos básicos (Wight & MacGregor, 2012):

a. Estados límites últimos:

Estos estados límites involucran el colapso de componentes o la estructura de manera parcial o total. Debido a la pérdida de vidas y bienes que podría ocasionar estos estados límites debes tener una baja probabilidad de ocurrencia.

b. Estados límites de servicio:

Consisten en una alteración o interrupción de la funcionalidad de la estructura. Ya que no involucra pérdidas de vidas ni daños mayores de los bienes, pueden permitirse un mayor porcentaje de probabilidad.

c. Estados límites especiales

Estos casos corresponden a condiciones o cargas poco normales. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes; daño o colapso en sismos severos, tsunamis, exposición a altas temperaturas, daños por explosiones o colisiones vehiculares, corrosión o deterioración.



i. COMPORTAMIENTO DE PÓRTICOS Y MUROS

Los pórticos o marcos dúctiles, interactuando con los muros de concreto armado, pueden generar una estructura con una significativa fuente de disipación de energía, sobre todo para los entresijos superiores. Asimismo, debido a la gran rigidez lateral de los muros, se tiene buen control de las derivas de entresijo y, principalmente, se reduce el riesgo de generarse rótulas plásticas en las columnas.

Un edificio principalmente conformado por pórticos mostrará una deformación en elevación principalmente del tipo corte, similar a una columna empotrada en sus extremos. Por otro lado, la edificación conformada sólo por muros mostrará un comportamiento como una viga en volado sometida a flexión (Paulay & Priestley, 1992). La combinación adecuada de ambos sistemas permitirá lograr una configuración suficientemente rígida para limitar las deformaciones, pero también flexible como para reducir su pseudo aceleración de diseño.

ii. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

El aporte de los elementos no estructurales resulta significativo, no sólo como un riesgo para los usuarios en el lapso de evacuación, sino como parte interactiva de la misma estructura. Ya es conocido el efecto que generan los muros de tabiquería con las columnas o muros durante el sismo. En el caso de tabiques construidos de manera adosada a la estructura, por más que no lo consideremos en el análisis, estos muros no estructurales darán un aporte en la rigidez y en la masa de la edificación, lo cual podría alterar el comportamiento de la estructura. Sin embargo, esta nueva configuración no siempre es perjudicial.

iii. DERIVAS O DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS

Las derivas de entresijo consisten en el cociente del desplazamiento relativo o diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos dividido por la altura



entre tales niveles. Muchos códigos de diseño y reglamentos limitan la deriva máxima de entrepiso de la edificación, exigiendo así un mínimo de rigidez estructural en la edificación.

El control de estos desplazamientos se torna importante por tres motivos: (1) estabilidad estructural, (2) integridad estructural y daños potenciales a componentes no estructurales y (3) comodidad del usuario durante y después del movimiento. (Naeim, 2001)

La protección del contenido de la edificación, así como la percepción de los usuarios del movimiento sísmico, están relacionadas a la deriva que sufre la estructura. Un buen control de derivas permite reducir los daños al contenido y la aceleración que sufren las personas dentro de la edificación. Como se sabe, la rigidez que brindan los muros de concreto a la estructura permite obtener desplazamientos menores.

B. DUCTILIDAD

Uno de los requisitos del buen desempeño sísmico es la disipación de energía. Esto se logra generalmente, bajo la filosofía del diseño sismo resistente, mediante disipación de energía histérica en la estructura. Estos daños se traducen, para edificaciones de concreto armado, como formación de rótulas plásticas. Además, estos daños, junto a los desplazamientos laterales, no deben perjudicar, según su uso, con la operatividad de la edificación.

La ductilidad es la capacidad de la estructura para soportar deformaciones inelásticas (debido a la formación de rótulas plásticas) sin reducción significativa de la resistencia. La ductilidad de una estructura permite predecir la capacidad total de deformación que posee, lo que es el criterio más importante para el diseño de estructuras bajo cargas sísmicas.

2.1.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO

Existen diversos procedimientos para calcular las solicitaciones que el sismo de diseño introduce en la estructura. Los métodos aceptados por las normas tienen distinto nivel de refinamiento y se subdividen en dos grupos: los de tipo estático y los dinámicos. En los primeros se aplica a la estructura un sistema de cargas laterales cuyo efecto estático se supone equivalente al de la acción sísmica. En los segundos se realiza un análisis de la respuesta dinámica de un modelo generalmente simplificado.

A. ANÁLISIS ESTÁTICO

Los métodos de este tipo se basan generalmente en la determinación de la fuerza lateral total (cortante en la base) a partir de la fuerza de inercia que se induce en un sistema equivalente de un grado de libertad, para luego distribuir esta cortante en fuerzas concentradas a diferentes alturas de la estructura obtenidas suponiendo que ésta va a vibrar esencialmente en su primer modo natural (Meli Piralla, 2002). Debe, sin embargo, evitarse su empleo en estructuras que tengan geometrías muy irregulares en planta o elevación, o distribuciones no uniformes de masas y rigideces.

La fuerza cortante basal, según la norma E-030, se determina con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \times U \times S \times C \times P}{R}$$

Dónde: Z: Factor de zona, U: Factor de uso, S: Factor de suelo, C: Factor de amplificación sísmica, P: Peso de la edificación, R: Factor de reducción.

Una vez determinada la fuerza cortante en la base, debe definirse cuáles son las fuerzas individuales aplicadas en cada masa, las que sumadas dan lugar a dicha cortante total. El RDF acepta la hipótesis de que la distribución de aceleraciones en los diferentes

niveles de la estructura es lineal, partiendo de cero en la base hasta un máximo, a_M , en la punta (figura 2). De ello resulta que la fuerza lateral en cada piso vale:

$$F_i = \frac{P_i}{g} a_i = \frac{P_i h_i}{g H} a_M$$

$$V = \sum F_i = \frac{a_M}{H} \frac{\sum P_i h_i}{g}$$

$$a_M = \frac{V H g}{\sum P_i h_i}$$

$$F_i = \frac{P_i h_i}{\sum P_i h_i} V$$

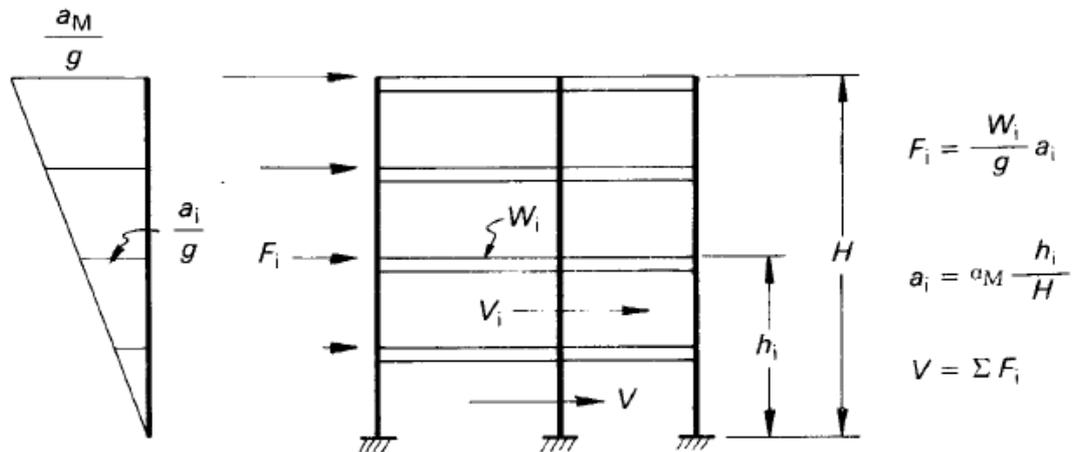


Figura 1. Distribución de fuerzas laterales con la altura según el método estático

Con lo anterior se resuelve el problema a nivel bidimensional. La estructura es, sin embargo, tridimensional y debe ubicarse la posición de las fuerzas sísmicas en la planta de cada nivel. Tratándose de fuerzas de inercia, debe pensarse en una serie de fuerzas elementales aplicadas en cada unidad de masa del piso en cuestión. Es usual que el piso tenga una estructura que lo haga muy rígido en su plano, de manera que se moverá como un cuerpo rígido y podrá considerarse la resultante de dichas fuerzas elementales aplicada en el centro de masa del piso en cuestión (Figura 3). Esta fuerza de inercia debe

ser resistida por los diferentes elementos verticales que constituyen la estructura. Cuando no hay excentricidad entre las resultantes de las fuerzas actuantes y resistentes, las fuerzas sísmicas actuantes producen un movimiento de traslación del sistema de entrepiso a la fuerza cortante lateral que se requiere para producir un desplazamiento unitario del piso. Los elementos que constituyen a la rigidez lateral del entrepiso son generalmente marcos planos o muros; así que pueden identificarse ejes en los que están colocados los elementos resistentes. Cada eje tomará una fracción de la fuerza actuante proporcional a su rigidez de entrepiso, o sea:

$$V_j = V \frac{R_j}{\sum R_j}$$

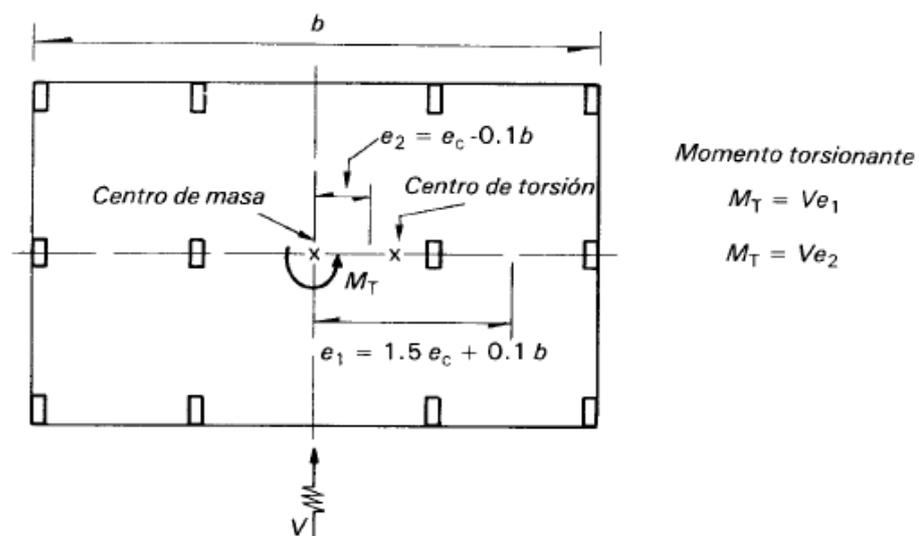


Figura 2. Excentricidad de diseño para determinación de efectos de torsión

En que V_j es la fracción de la fuerza cortante lateral en el piso en estudio, V , que es absorbida por el eje j , R_j es la rigidez de entrepiso del eje j .

Cuando las rigideces de cada eje están distribuidas de manera simétrica en el piso, la resultante de las fuerzas resistentes coincide con el centro geométrico de la planta y, por lo tanto, en general con la línea de acción de la fuerza actuante. Es frecuente, sin embargo, que los ejes de más rigidez no estén dispuestos simétricamente, en cuyo caso la resultante de las fuerzas resistentes estará situada en un punto llamado centro de torsión

o centroide de rigideces.

Al no coincidir este centroide con la línea de acción de la fuerza cortante, se produce un par de torsión de magnitud igual al producto de la fuerza cortante de entrepiso por la distancia entre el centro de masa y el centro de torsión. El centro de torsión tiene, por equilibrio estático, las coordenadas siguientes:

$$x_T = \frac{\sum R_{iy} x_i}{\sum R_{iy}} \quad y_T = \frac{\sum R_{ix} y_i}{\sum R_{ix}}$$

En que como se ilustra en la figura 4, R_{ix} y R_{iy} , son las rigideces de entrepiso de cada eje en dirección “y” y “x” respectivamente; x_i y y_i son las distancias de cada eje, en dirección x o y, con respecto al centro de masa.

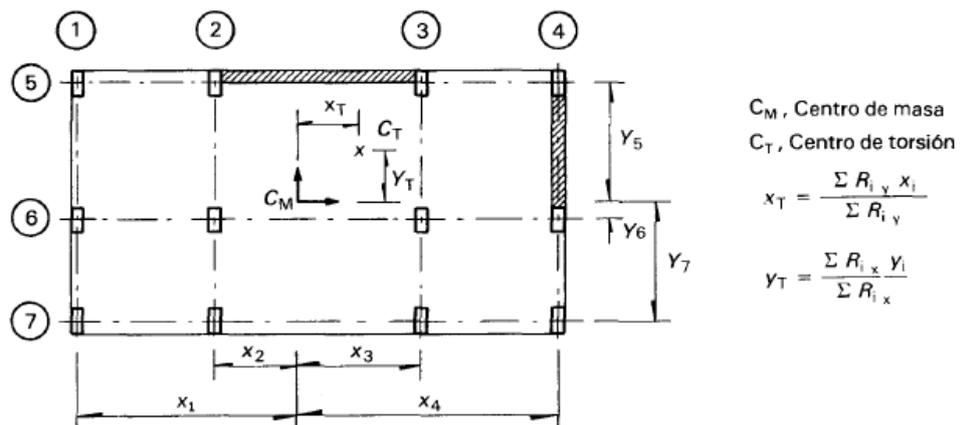


Figura 3. Determinación del centro de torsión

El par de torsión da lugar a que el piso, además del movimiento de traslación sufra una rotación, por la cual algunos ejes estarán sujetos a fuerzas cortantes que son aditivas a las producidas por la traslación, mientras que en otros las cortantes son de signos contrarios. Hay que notar que una excentricidad en dirección x produce cortantes tanto en los ejes orientados en dirección X, como en los orientados en la dirección Y. La magnitud de la cortante que toma cada eje se determina como



$$V_{ix} = \frac{R_{ix}y_{iT}}{\sum(R_{ix}y_{iT}^2 + R_{iy}x_{iT}^2)} V_x e_y$$

Con el procedimiento descrito se llega a determinar el sistema de fuerzas que actúa en cada eje resistente y se puede sí realizar el análisis de los elementos planos que constituyen la estructura.

B. ANÁLISIS DINÁMICO

i. Conceptos de dinámica estructural

El término dinámica puede definirse simplemente como variable en el tiempo; por tanto, una carga dinámica es cualquier carga cuya magnitud, dirección, y / o la posición varía con el tiempo. De manera similar, la respuesta estructural a una carga dinámica, es decir, las tensiones y deflexiones resultantes también varían en el tiempo o son dinámicas. (Clough & Penzien, 2003).

Se dice que una acción tiene un carácter dinámico si varía con el tiempo y da origen a las fuerzas de inercia en las estructuras. Todas las características de las cargas dinámicas (módulo, dirección, sentido, punto de aplicación), o sólo algunas de ellas, varían con el tiempo (Barbat & Canet, 1994).

ii. Espectro de Respuesta Sísmico

Se define como respuesta dinámica cualquier cantidad que pueda caracterizar el efecto de las cargas dinámicas en una estructura. En la figura 4 se ilustra que la respuesta dinámica de una estructura producida por un movimiento del terreno en su base y puede consistir en desplazamientos, velocidades, aceleraciones, tensiones, deformaciones, etc. (Barbat & Canet, 1994).

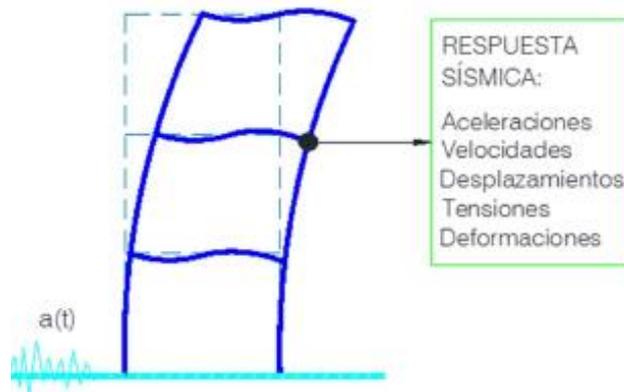


Figura 4. Respuesta sísmica

El concepto de Espectro de Respuesta fue introducido por M.A. Biot en 1932, y fue ampliamente usado por G.W. Housner (1910-2008). Es un concepto práctico que caracteriza los movimientos sísmicos y el efecto sobre las estructuras. Los espectros resumen la manera en que las estructuras responden a las vibraciones producidas por diferentes sismos. Cuando la base de un edificio entra en vibración ésta se transmite a su estructura, que también comienza a vibrar. En un sistema completamente rígido, la vibración del edificio sería exactamente la misma de la de su base. Sin embargo, como las estructuras tienen siempre una cierta flexibilidad, la vibración de la estructura puede amplificarse o disminuir respecto a la del suelo: las aceleraciones de la base y de la estructura son diferentes.

En general, para el diseño sismorresistente basado en el cálculo de fuerzas, se utilizan espectros de aceleraciones, ya que conociendo el período natural de vibración del sistema y entrando en el “espectro”, se puede conseguir la aceleración máxima de respuesta del sistema. Como se conoce la masa de la estructura, el valor de la fuerza cortante basal máxima, puede entonces calcularse a partir de la multiplicación de la masa y la aceleración espectral.

Los espectros de respuesta se construyen para cada registro de terremoto. Pero, para el diseño de estructuras, se busca representar muchos movimientos sísmicos y sus efectos sobre las estructuras. Por ello, en las normas o códigos sísmicos, se proponen los llamados “espectros de diseño”. Se trata de espectros suavizados que representan una envolvente de

los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen mediante procedimientos estadísticos.

iii. Grados de libertad

Se entiende por grados de libertad dinámicos, al número de parámetros desconocidos, que determinan la ubicación de las masas del sistema ante todas las probables deformaciones elásticas de sus elementos. Este número puede ser determinado por la mínima cantidad de conexiones adicionales, que son necesarias ingresarlos al sistema para fijar todas las masas.

Sistema de un grado de libertad.

La formulación de la ecuación de movimiento para un sistema estructural dinámico con 1 GDL puede ser obtenida por varias vías, como se describe en la bibliografía.

Un sistema de linealidad elástica estructural o mecánica es normalmente definido a través de sus propiedades físicas esenciales de masa del sistema, propiedades elásticas y amortiguamiento. La ecuación de equilibrio dinámico puede ser definida por:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = f(t)$$

Donde m , c y k son constantes a lo largo del tiempo. $f(t)$ representa las fuerzas externas aplicadas al sistema estructural (variables a lo largo del tiempo) y $\ddot{u}(t)$, $\dot{u}(t)$ y $u(t)$ representan las historias de aceleraciones, de velocidades y desplazamientos a lo largo del tiempo.

Sistema de varios grados de libertad.

En general, el análisis de la respuesta dinámica de estructuras implica la consideración de varios grados de libertad, no siendo posible la simplificación para solamente 1GDL.

En este análisis, la determinación de la respuesta dinámica es usualmente realizada adoptando un modelo matemático adecuado que contemple las propiedades físicas y geométricas de la estructura analizada.

La ecuación que aproxima el comportamiento dinámico de una estructura, discretizada en N grados de libertad, sujeta a una fuerza exterior puede ser definida a través de un sistema de N ecuaciones diferenciales lineales de 2do orden. Dado por:

$$\underline{m}\ddot{\underline{u}}(t) + \underline{c}\dot{\underline{u}}(t) + \underline{k}\underline{u}(t) = \vec{f}(t)$$

Donde \underline{m} , \underline{c} y \underline{k} corresponden respectivamente a las matrices de masa, de amortiguamiento y de rigidez de un modelo estructural, y $\ddot{\underline{u}}$, $\dot{\underline{u}}$ y \underline{u} corresponden respectivamente a los vectores con las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos y $\vec{f}(t)$ representa el vector de fuerzas exteriores aplicadas a cada grado de libertad.

iv. Análisis modal espectral

El análisis modal espectral (o método de la respuesta espectral) es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. El método implica el cálculo solamente de los valores máximos de los desplazamientos - y las aceleraciones - en cada modo usando un espectro de diseño, el mismo que representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos, con algunas consideraciones adicionales expuestas en los códigos de diseño. Luego se combinan estos valores máximos, por ejemplo, mediante un promedio



ponderado entre la media y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tales valores máximos; otro método es el de la combinación cuadrática completa (método CQC), que considera además una correlación entre los valores modales máximos. De este modo, se obtienen los valores más probables de desplazamientos y fuerzas.

2.1.4. AISLAMIENTO SÍSMICO

A. EL DISEÑO CONVENCIONAL Y LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Para lograr un desempeño sismorresistente aceptable de las estructuras, las normas de diseño sísmico se han enfocado en limitar las distorsiones de entrepisos y adoptar un nivel de ductilidad o capacidad estructural para disipar energía, mediante la incursión de la estructura en el rango no lineal. Este concepto de diseño se denomina “tradicional” y tiene una gran desventaja, ya que solo controla los daños relacionados a las distorsiones de entrepiso, pero no considera los daños provenientes de altos niveles de aceleraciones, que son la causa principal del alto índice de daño de los componentes no estructurales (Naeim, 2000).

Para resolver el problema del análisis y diseño tradicional, se han desarrollado en las últimas décadas los sistemas de protección sísmica, entre los que destacan los aisladores sísmicos, los cuales tienen por objetivo controlar el daño estructural de las edificaciones, mediante el control de distorsiones y aceleraciones en cada nivel.

B. OBJETIVOS DEL EMPLEO DE SISTEMAS DE AISLACIÓN SÍSMICA

Con los sistemas de aislación sísmica se busca desacoplar el movimiento de la estructura de los movimientos del suelo interponiendo dispositivos estructurales (aisladores) con poca rigidez horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su cimentación o a nivel del cielo del primer subterráneo.



Estos sistemas permiten modificar la respuesta dinámica de las estructuras mejorando su desempeño estructural y alcanzando satisfactoriamente los siguientes objetivos (Mayes y Naeim, 2000):

- Incrementar la seguridad de las edificaciones y su operatividad después de la ocurrencia de un evento sísmico (se alcanza el nivel de desempeño de ocupación inmediata).
- Reducir el daño por deformaciones elevadas en componentes estructurales y no estructurales.
- Reducir las aceleraciones de entrepiso para minimizar los daños relacionados con los contenidos.
- Reducir las fuerzas sísmicas laterales de diseño.
- Incrementar formas alternativas de construcción con limitada capacidad de ductilidad (como el concreto pre esforzado) en regiones de alto peligro sísmico.
- Mejorar el comportamiento estructural de edificaciones antiguas debido a solicitaciones sísmicas.

C. PRINCIPIOS DE LA AISLACIÓN SÍSMICA

Los sistemas de aislación sísmica permiten modificar la respuesta dinámica de la estructura aumentando su periodo fundamental de vibración respecto al período de vibración que tendría en la condición de base fija. De esta manera, al introducir alta flexibilidad (o poca rigidez) horizontal se aumenta el período fundamental de vibración de la estructura alejándola de la zona de mayor demanda de energía sísmica (zona de periodos cortos en el espectro de diseño), lo cual resulta eficiente en estructuras rígidas apoyadas sobre terrenos firmes.

También es importante considerar que con el incremento del periodo fundamental de vibración se incrementa el desplazamiento lateral espectral (tiende a ser igual del desplazamiento lateral del suelo), el cual es absorbido por los dispositivos de aislación sísmica (Fig. 6). Estos dispositivos también permiten minimizar los desplazamientos laterales relativos de entrepiso (drifts) y sus respectivas aceleraciones, logrando que se transmitan esfuerzos cortantes a niveles moderados o bajos a la superestructura (estructura que se encuentra apoyada sobre el sistema de aislación sísmica).

Generalmente, esta superestructura adquiere un movimiento similar al de un bloque rígido, sin experimentar deformación importante o daño durante la acción del sismo. La Fig. 7 muestra el diagrama de flujo de operación de los aisladores sísmicos.

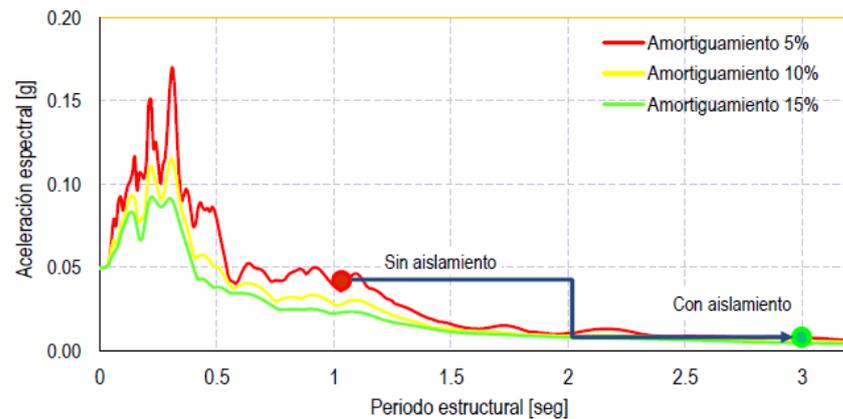


Figura 5. Espectro de aceleraciones (Componentes N-S/ Sismo del 2007 – Perú)

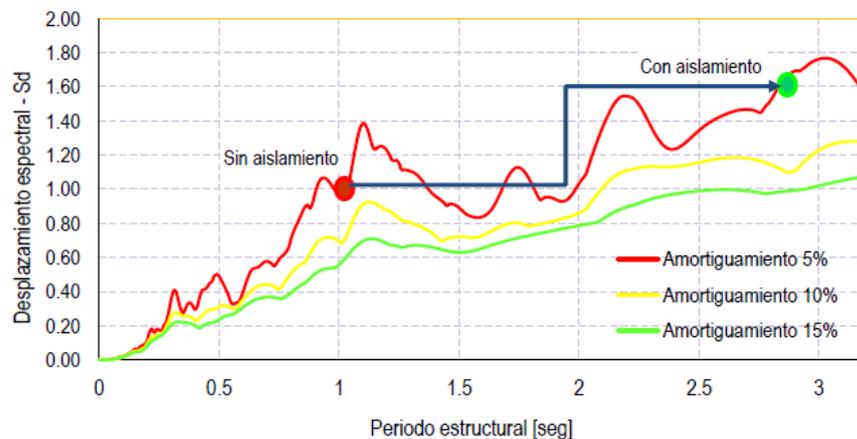


Figura 6. Aumento del Espectro de aceleraciones (Componentes N-S/ Sismo del 2007 – Perú)



D. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE AISLACIÓN SÍSMICA

Estos sistemas presentan las siguientes características fundamentales:

- *Flexibilidad horizontal:* alargamiento del período fundamental de vibración de la estructura lo suficiente para reducir la aceleración espectral de diseño.
- *Amortiguamiento y disipación de la energía:* reduciendo la demanda de deformación lateral entre la estructura y el suelo base para que pueda ser controlada a niveles prácticos de diseño.
- *Rigidez lateral adecuada bajo cargas de servicio:* tales como viento y sismos menores, evitando vibraciones parásitas molestas.
- *Gran rigidez vertical,* en orden similar a las columnas de construcción convencionales, para resistir las cargas de diseño.

E. FACTIBILIDAD E IMPACTO DEL USO DE SISTEMAS DE AISLACIÓN SÍSMICA

Las características de las estructuras donde la incorporación de los sistemas de aislación sísmica resulta efectiva, son las siguientes:

- Estructuras ubicadas en suelos con periodos de vibración predominantes bajos (suelos firmes).
- Estructuras de pocos niveles (rígidas).
- Estructuras que puedan desplazarse libremente 25 cm o más, sin chocar con otras estructuras.
- Estructuras que soportan fuerzas de viento u otras cargas que no sean de naturaleza sísmica que resulten menores al 10% del peso total de la estructura, calculado como la suma del total de la carga muerta más un porcentaje de carga viva.



- Estructuras con relaciones de esbeltez $\text{Altura/Ancho} \leq 1,5$.

Aunque cada proyecto debe ser evaluado individualmente en su etapa inicial, existen diferencias sustanciales en el uso de sistemas de aislación sísmica para edificaciones nuevas y aquellas estructuras existentes que serán reforzadas. A continuación, se realiza una breve descripción de las principales consideraciones para el uso del sistema de aislación sísmica en función al tipo de estructura a implementar.

F. TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS

Existen diversos tipos de aisladores sísmicos, cada uno con características propias en cuanto a sus mecanismos de acción, materiales, costos de implementación, estudios teóricos y tipos de estructuras en donde es más conveniente su uso. Entre los aisladores sísmicos más desarrollados se encuentran:

AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Estos dispositivos están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero vulcanizadas entre sí. Las láminas de elastómeros proporcionan la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura y el suelo, mientras que las láminas de acero proporcionan la rigidez vertical del sistema del sistema de aislación. Estos aisladores dependen de la amplitud de la deformación a la que son sometidos, y en menor grado a la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento. Entre estos dispositivos tenemos:



a. Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento - Low Damping Rubber Bearing (LDRB).

Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos y consisten en un conjunto intercalado de capas de acero y caucho, el cual es vulcanizado para lograr la adherencia entre ambos materiales. Al intercalar el caucho con el acero se aumenta su capacidad para resistir cargas de gravedad y su estabilidad para soportar cargas laterales. En estos dispositivos, también se colocan placas de acero en la zona superior e inferior que sirven para confinar el núcleo y evitar la compresión del caucho ante cargas de gravedad.

Características:

- Pueden ser de goma natural o sintética.
- Su comportamiento es lineal-elástico a bajas deformaciones y lineal-viscoso a altas deformaciones.
- Tienen una razón de amortiguamiento crítico menor a 7% para valores de deformaciones angulares menores a 200%.

Ventajas:

- Son simples de fabricar.
- Son fáciles de modelar (modelo lineal).
- No tienen una respuesta muy sensible a las variaciones de carga en el tiempo, la temperatura o el envejecimiento.

Desventajas:

- Necesitan sistemas de amortiguamiento suplementario.



b. Aisladores elastoméricos de Alto amortiguamiento - High Damping Rubber Bearing (HDRB)

Una característica importante de estos aisladores es que sus propiedades dinámicas son sensibles al cambio de frecuencia y temperatura que generan reducción de rigidez y amortiguamiento. Por ejemplo, cuando los dispositivos están sujetos a ciclos de movimiento, presentan mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabilizan luego del tercer ciclo de carga. Por lo tanto, su comportamiento inicial puede ser apreciablemente diferente bajo distintos ciclos de carga y deformación, siendo sus propiedades iniciales recuperables en el tiempo (horas o días).

Características:

- Alcanzan grandes deformaciones de corte de 2 a 3.5.
- Incrementar el amortiguamiento por incorporación de carbón negro extrafino, aceites o resinas.
- Su razón de amortiguamiento crítico es de 10 a 20% para una deformación de corte igual a 100%.
- Su módulo de elasticidad de corte varía de 17 a 64 Kg/cm².
- El amortiguamiento efectivo depende de los elastómeros, de la presión de contacto, la velocidad de carga y de los incrementos de temperatura ambiente.

Ventajas:

- Combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento
- Su fabricación es relativamente sencillo

Desventajas:

- A elevadas temperaturas su rigidez horizontal y su amortiguamiento decrecen.
- Con el incremento de la carga axial su rigidez horizontal tiende a disminuir.



- Las propiedades mecánicas del caucho natural se pueden degradar con la exposición prolongada al oxígeno y al ozono.

AISLADORES DE FRICCIÓN O DESLIZADORES FRICCIONALES

Estos aisladores utilizan una superficie de deslizamiento, generalmente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), siendo el más usado el “Teflón”. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente al suelo, logrando disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante la acción del sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.), y el envejecimiento. Estos sistemas requieren mayor mantenimiento y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al valor adoptado en el diseño. Entre estos dispositivos se tiene:

a. Apoyos deslizantes planos o deslizadores friccionales - Sliding Bearing

Estos dispositivos son componentes mecánicamente más simples que los aisladores y proveen únicamente la propiedad de aislamiento de la estructura, debido a que no poseen la capacidad de retornar a su posición inicial de forma independiente. Por este motivo, se usan conjuntamente con otros tipos de aisladores. Consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la estructura y la otra a la cimentación, que poseen un bajo coeficiente de fricción, permitiendo los movimientos horizontales de la estructura. Poseen, generalmente, una capa de un material elastomérico con el fin de facilitar el movimiento del deslizador en caso de sismos (Nitche, 2011; Symans, 2004).

Características

- Estos aisladores no incrementan el periodo natural de vibración de la estructura, solamente limitan las fuerzas de corte transferidos dentro de la estructura.

Ventajas:

- Los deslizadores poseen un costo de fabricación menor a un aislador.
- Pueden ser modelados con un modelo simple elasto-plástico.

Desventajas:

- Requieren de mecanismos suplementarios de auto centrado para prevenir desplazamientos laterales permanentes del sistema de aislamiento.
- No resisten fuerzas laterales.

b. Péndulos de fricción - Friction Pendulum System (FPS)

Los péndulos friccionales cuentan con un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava que permite que la estructura regrese a su posición inicial debido a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad. La superficie de deslizamiento es revestida con Politetra Fluoro Etileno (PTFE), que es un material plástico que puede contar con relleno de varios materiales como vidrio, carbón, bronce y grafito. Los péndulos friccionales pueden ser de simple curvatura cóncava – Frictional pendulum, con una superficie de deslizamiento cóncavo, doble curvatura cóncava - Double Friction Pendulum, y el denominado triple péndulo - Triple Friction Pendulum, que incorpora tres péndulos en un solo apoyo, cada uno con propiedades seleccionadas para optimizar la respuesta de la estructura a diferentes fuerzas sísmicas y frecuencias de vibración. El péndulo simple mantiene la fricción constante, la rigidez lateral, y el periodo



de vibración constante para todos los niveles de movimientos sísmicos y desplazamientos laterales. En los aisladores tipo DFP y TFP, los mecanismos de péndulo se activan secuencialmente a medida que los movimientos sísmicos son mayores, siendo el principal beneficio su capacidad para acomodarse a grandes desplazamientos laterales comparado con el tipo FP con la misma curvatura. Los eventos sísmicos que poseen bajos niveles de desplazamientos y altas frecuencias de vibración son absorbidos por el péndulo interno de baja fricción y de periodo de vibración corto. Para los sismos más severos empleados para en Niveles de Diseño, tanto la fricción como el periodo de vibración aumentan, lo que resulta en menores desplazamientos laterales del apoyo y menor fuerza cortante basal en la estructura. Para los eventos sísmicos Máximos Creíbles, tanto la fricción del apoyo como la rigidez lateral aumentan, reduciendo el desplazamiento lateral del apoyo (Morgan y Mahin, 2011).

AISLADORES BASADOS EN RESORTES HELICOIDALES Y AMORTIGUAMIENTO VISCOSOS

Los aisladores sísmicos formados por un paquete de resortes helicoidales conectados en paralelo con amortiguadores viscosos - Base Control System BC, son actualmente una alternativa técnica válida dentro del incipiente mercado dominado casi exclusivamente por la opinión general sobre la efectividad de los aisladores compuestos por capas superpuestas de goma y metal. El sistema se destaca por su sencillez conceptual, ya que el medio flexible es lineal elástico, mientras que el amortiguamiento es puramente viscoso.

En general los sistemas de aislación más utilizados a nivel mundial, elastoméricos o friccionales poseen una importante rigidez vertical lo que no permite desacoplar eficientemente al edificio de la componente del movimiento del suelo en esa dirección.



Movimientos del suelo con características de falla cercana (presencia de pulsos importantes de velocidad y desplazamiento) presentan, en muchos casos, valores de aceleraciones verticales importantes comparados con las horizontales, por lo tanto, los dispositivos de aislamiento con rigideces verticales elevadas comparadas con las horizontales no son efectivos para desacoplar a la superestructura de la componente vertical del sismo (Falconi R. A y Tornello M. E, 2009; Stuardi et al., 2007).

Los aisladores helicoidales están compuestos por cajas de resortes y amortiguadores viscosos provistos en forma separada. Las cajas de resortes están formadas por carcasas metálicas que alojan y confinan adecuadamente una cantidad variable de resortes, dispuestos en forma matricial. Poseen placas auxiliares permiten su fijación a los elementos estructurales tales como las vigas del edificio. Para aumentar el amortiguamiento del sistema de aislación, estos dispositivos son instalados junto con amortiguadores viscoelástico. Tales amortiguadores están formados por una carcasa inferior que es un recipiente cilíndrico relleno de una masa viscosa, y una carcasa superior que contiene un pistón que se mueve dentro de la masa. Ambas carcasas se vinculan mediante un manguito de protección, para evitar la contaminación del amortiguador con polvo, o elementos extraños. La masa viscosa es un producto de formulación química especial, de manera que sus propiedades se mantienen prácticamente constantes con el paso del tiempo y con la temperatura. El amortiguador genera una fuerza viscosa, esto es, dependiente de la velocidad a través de una constante de amortiguamiento en las tres direcciones ortogonales del movimiento. La constante del amortiguador es una función de sus dimensiones, detalles de construcción internos, tipo de fluido y su viscosidad.

La frecuencia natural de vibración horizontal típica del sistema está comprendida entre 1 a 1,5 Hz, mientras que la frecuencia natural de vibración vertical está comprendida entre 3 y 3,5 Hz. La razón de amortiguamiento crítico modal puede ser materializada por



medio de los amortiguadores viscosos sin limitaciones técnicas, sus valores típicos no superan normalmente el 30% (Stuardi, 2008).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

A. COEFICIENTE DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Las vibraciones sísmicas son de características locales, y en cada país existen zonas u áreas una diferentes a otras. Desde las mismas estadísticas de sismos registrados donde en su historial se anotan, la ubicación del epicentro, así como los valores de las magnitudes, en ocasiones simplemente presumidas, a través de fórmulas específicas. En resumen, (Z) representa al coeficiente de zonificación de registro sísmico, y explica la razón de fuerza del sismo en relación a los registros de los movimientos telúricos del pasado, y los que se prevé ocurrirán en el futuro (Oshiro Higa).

B. PERFILES DE SUELO

La respuesta sísmica de las edificaciones depende de las vibraciones del suelo y del diseño estructural de las mismas; en algunos casos se puede llegar a la ruina de un edificio estructuralmente capaz de soportar un sismo, debido a las condiciones particulares del suelo.

La geología del lugar y las características del suelo tienen una gran influencia en el movimiento del terreno, ya que la aceleración en la base rocosa del emplazamiento de una obra, se ve modificada al pasar por los estratos de suelo hasta llegar a la cimentación de la estructura. Esto se debe a que el suelo actúa como un filtro, de modo que ajusta algunas características de la onda a sus propiedades dinámicas, con efectos de amplificación o atenuación de los movimientos, en combinación con otros factores, como el espesor del suelo y las características de amplitud y frecuencia de los movimientos originales.



En la norma peruana de Diseño Sismorresistente (E.030, 2016) la influencia del suelo en el movimiento sísmico está representado por el Factor de Suelo S . Por tanto, la aceleración máxima que recibe una estructura en su base será el producto ZS .

En la norma peruana (E.030, 2016) la influencia del suelo en el movimiento sísmico está representada por el Factor de Suelo S , el cual es mayor conforme el suelo se hace más blando. Además, se establecen parámetros de sitio adicionales que dependen del tipo de suelo, por ejemplo, los períodos que limitan la plataforma horizontal del espectro de aceleraciones T_P y T_L .

Las condiciones del suelo del sitio son importantes para determinar la categoría de diseño sísmico. Difícil, materiales de roca competentes transmiten de manera eficiente las sacudidas con alta frecuencia contenido de energía (de período corto) pero tienden a atenuar (filtrar) la agitación con contenido de energía de baja frecuencia (período largo). Los depósitos profundos de suelo blando transmiten movimiento de alta frecuencia de manera menos eficiente, pero tienden a amplificar el de baja frecuencia contenido energético. Si la naturaleza y profundidad de los diversos depósitos de suelo en un sitio son conocidos, los ingenieros geotécnicos pueden realizar un análisis de respuesta del sitio para determinar la importancia de estos efectos. Sin embargo, para la mayoría de los sitios, estos efectos pueden aproximarse si se conoce la naturaleza del suelo en el sitio. La Norma Sismorresistente E030, utiliza el concepto de clase de sitio para categorizar suelos comunes condiciones en amplias clases a las que se asignan efectos típicos de atenuación y amplificación del movimiento del suelo.

La clase de sitio se determina en base a las propiedades promedio del suelo dentro de los 30 metros de la superficie del suelo. Los ingenieros geotécnicos utilizan una variedad de parámetros para caracterizar las propiedades de ingeniería de estos suelos, incluidas las clasificaciones generales del suelo en cuanto al tipo de suelo (por ejemplo,



roca dura, arcilla blanda), el número de golpes (N) necesarios para impulsar una herramienta de penetración estándar 1 pie en el suelo usando un martillo estándar, la velocidad (vs) a la que las ondas de corte viajan a través del material medido por pruebas sónicas in situ y otras pruebas, y la resistencia al corte del suelo (su) medido utilizando procedimientos de prueba de laboratorio estándar. Listas de la tabla 4 las seis clases de sitios reconocidas por las disposiciones sísmicas recomendadas de NEHRP y los parámetros de ingeniería utilizados para definirlos. En muchos sitios, las naturalezas de los suelos variarán con la profundidad debajo de la superficie.

C. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN

La estructura amplifica la aceleración que recibe en su cimentación, en función de su periodo fundamental de vibración de acuerdo a la forma del espectro. En las normas sísmicas, esta amplificación depende, además del período de la estructura, de las características del suelo de cimentación.

La norma peruana de Diseño Sismorresistente (E.030, 2016) considera esta amplificación mediante el factor C. Es decir, que la aceleración de respuesta de una estructura queda definida por el producto ZSC.

D. FACTOR DE USO O IMPORTANCIA

A pesar de la multiplicidad de objetivos de desempeños y lo complicado que resulta tratar de satisfacerlos, los códigos sólo consideran un Factor de Uso o Importancia que modifica el espectro de acuerdo con el grupo de uso en que se encuentre la edificación. Así se le otorga un nivel de desempeño más confiable a la estructura, asumiendo que esto se consigue reduciendo las demandas de ductilidad del sistema para sismos raros o muy raros. En general, cuánto más importante sea el uso para el cual está



destinada la estructura, tanto mayor será el valor de este coeficiente, aumentando así su resistencia.

En la norma peruana de Diseño Sismorresistente (E.030, 2016) este valor es representado por el Factor de Uso factor U, por lo que tenemos que la aceleración de la estructura considerando su importancia es ZUSC.

E. FACTOR DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS

El factor de reducción de fuerzas sísmicas refleja las características de absorción y disipación de energía de la estructura resistente, así como la experiencia sobre el comportamiento sísmico de los diferentes tipos de estructuraciones y materiales empleados.

En la norma peruana de Diseño Sismorresistente (E.030, 2016) el Factor de Reducción de Fuerzas Sísmicas es representado por R, así que el coeficiente sísmico de esta norma sísmica queda definido como $ZUSC / R$.

F. ESTIMACIÓN DEL PESO

El peso propio de la estructura se define como la suma de todos los elementos estructurales, es decir la carga muerta y un porcentaje del peso de la sobrecarga del tipo de uso de la estructura, es decir la carga viva. Adicionando la carga de techo o carga de nieve, según establezca cada norma estudiada.

De acuerdo a la norma sísmica de Perú, el peso (P) se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga.

G. PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN

El tiempo que demora la estructura en repetir su modo de vibración es el periodo (T) para ese modo de vibración, el mayor de estos periodos es el periodo fundamental. El



periodo fundamental de vibración de una estructura, es el periodo con mayor masa traslacional y más crítico para la estructura.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LA UNIDAD DE ESTUDIO

3.1.1. IDENTIFICACIÓN

Ubicación geográfica del estudio

Departamento: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Puno

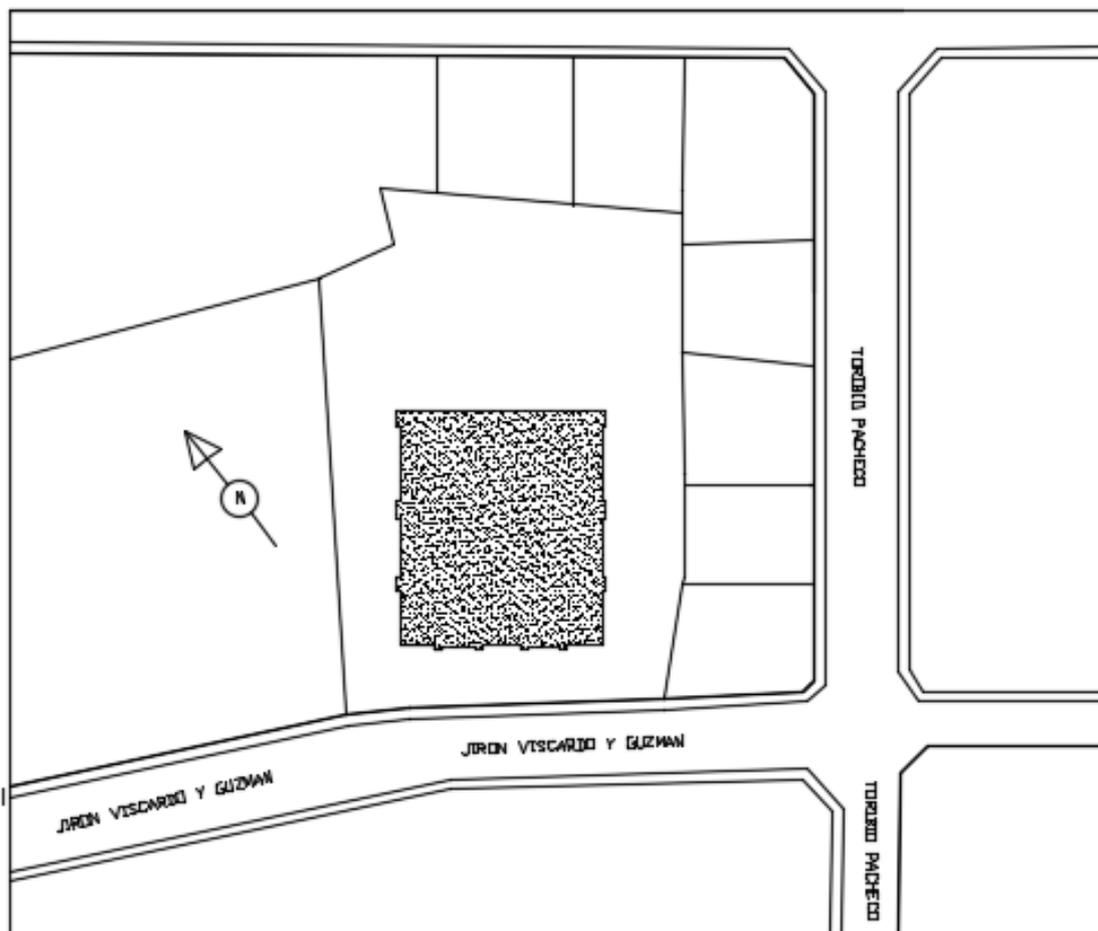


Figura 7. Plano de Ubicación del Proyecto



3.1.2. CARACTERIZACIÓN

A. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en un edificio de 10 niveles de concreto armado, que se cimentará en un suelo con capacidad portante de 1.65 kg/cm².

B. MEMORIA DESCRIPTIVA ARQUITECTÓNICA

El edificio estará destinado a departamentos. El acceso al edificio se realiza únicamente desde la fachada principal, y para el acceso a los niveles superiores cuenta con dos ascensores y una escalera; así mismo por seguridad ante eventos de emergencia se cuenta con una escalera de emergencia.

El edificio consta de 10 niveles. En el primer nivel se ubican dos departamentos tipo FLAT de dos dormitorios por departamento, con los ambientes de cocina, comedor, sala principal y una sala de estar. Además, este nivel cuenta con áreas destinadas a los servicios de lavandería general, gimnasio, botiquín y seguridad. Por otro lado, debido a la envergadura del edificio, en el mismo nivel se contará con un centro de instalaciones, cuartos de control de los mismos, y en cuanto al control de residuos se proyecta cuartos de almacenamiento de desechos orgánicos e inorgánicos que recolectan mediante ductos desechos de todos los departamentos, los cuales están debidamente aislados de los ocupantes del edificio y con acceso a personal autorizado.

En los niveles 2, 3, 4, 5, y 6 se ubican dos departamentos por piso tipo FLAT de tres dormitorios, que cuentan con los ambientes de cocina, comedor, sala principal, sala de estar, dos estudios y un almacén.

En los niveles 7, 8, 9, y 10 se ubican cuatro departamentos por piso tipo DUPLEX de tres dormitorios, donde los principales accesos estarán ubicados en los niveles 7 y 9, y la escalera de acceso al segundo nivel del departamento estará ubicada contigua a la sala

de estar, cada departamento cuenta con los ambientes de cocina, comedor, sala principal, sala de estar, estudios, almacén.

Con respecto a áreas libres externas a la estructura del edificio. La primera consta de un área destinada a estacionamiento ubicada al frontis del edificio, la misma que se extiende desde el límite de la acera hasta el borde de la estructura. La segunda área es un patio de uso común, que se ubica en la parte posterior al edificio, zona que se aprovechó para proyectar un tanque cisterna.

Para la dotación de agua al edificio, se contará con un sistema indirecto de abastecimiento que consta de un tanque cisterna, sistema de bombeo, rebombeo y tanque elevado. El tanque cisterna estará ubicado en el patio común y los tanques elevados estarán dispuestos de la siguiente manera: 4 de 1100 L en la quinta planta y 4 de 1100L en el techo.

C. PLANOS

Los planos de arquitectura se muestran en los anexos de la investigación. Sin embargo, en esa sección se muestran las vistas panorámicas de la unidad de estudio.



(a)



(b)

Figura 8. Vistas Panorámicas del edificio de 10 niveles. (a) Vista Lateral (b) Vista Frontal

3.1.3. EJES DE ESTUDIO

Análisis y diseño estructural

A. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Enfocado al análisis estático y análisis dinámico bajo los criterios de la Norma Sismorresistente E.030 y sus modificaciones. Por lo que en esta investigación ensayamos sobre la unidad de estudio la aplicación de la Norma E.030 del año 2003 y la Norma E.030 del año 2018.

B. DISEÑO ESTRUCTURAL

El método empleado para diseñar los elementos de concreto armado será el método de Diseño por Resistencia donde las cargas actuantes se amplifican por factores y se usa combinaciones que dependen del tipo de carga especificadas en la Norma de Concreto Armado E.060.



3.1.4. CATEGORIZACIÓN

Las categorías que se pueden estudiar en la unidad de estudio en cuanto al análisis y diseño estructural que se puede realizar en una edificación, en aplicación del Reglamento Nacional de Edificaciones.

a. GENERAL:

Dentro de las más importantes que se pueden estudiar tenemos:

- Fuerza cortante
- Espectro sísmico
- Desplazamiento
- Derivas
- Cimentaciones
- Niveles de desempeño
- Aislamiento y disipación sísmica de la estructura
- Vulnerabilidad sísmica
- Formación de rótulas plásticas en pórticos
- Presupuesto

b. CATEGORÍAS CONSIDERADAS EN LA INVESTIGACIÓN

Las categorías estudiadas en la investigación son:

- Fuerza cortante
- Espectro sísmico
- Desplazamiento
- Derivas
- Presupuesto



3.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACION (METODOLÓGICOS)

Los instrumentos considerados en esta investigación son los Fichas Estructurales de cada modelo, que constan de: Especificaciones Técnicas, Memorias de Cálculo, Resultados del Modelamiento en el Programa ETABs v.16.2.1, y resumen de costos de la partida de estructuras de los diferentes modelos.

3.3. HERRAMIENTAS DE LA INVESTIGACIÓN

- Legislación de construcción en el Perú
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma de Diseño Sismorresistente E.030 y sus modificatorias,
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020 de Cargas (2006)
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones (2006).
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.060 de Concreto Armado (2009)
- Programas Informáticos
- ✓ Microsoft Office
- ✓ Software Autodesk AutoCAD v.20
- ✓ Software ETABs v.16.2.1

3.4. INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN

Los indicadores que se consideran en esta investigación son los que se derivan de la aplicación de la norma E030 y sus modificaciones. Respecto a la respuesta sísmica son las fuerzas cortantes, los espectros de respuesta, los desplazamientos, las derivas, las cuales resultan de manipular las áreas de sus columnas y/o placas de cada modelo; para mostrar las incidencias que produce la modificación de la Norma E.030 se usaron porcentajes y diferencias entre los diferentes modelos.

3.5. ESQUEMA DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

MODELAMIENTO:

| | | | VARIABLE INDEPENDIENTE FIJA: NORMA | |
|--|---|--|--|---|
| | | | 1 | 2 |
| | | | APLICACIÓN DE LA NORMA E030-2003 | APLICACIÓN DE LA NORMA E030-2018 |
| VARIABLE DEPENDIENTE MANIPULADA: SECCIONES DE COLUMNAS Y PLACAS | 1 | Área de las secciones con sólo columnas | Se manipula las áreas controlando el límite admitido para las derivas a partir de las secciones predimensionadas, modelo al que denominamos M11 (que cumplan con la Norma del 2003). | Se plantea el modelo M21 manipulando las áreas de las secciones de las columnas a partir de las áreas predimensionadas, controlando el límite admitido para las derivas (que cumplan con la Norma vigente a la actualidad). |
| | 2 | Área de las secciones de las columnas con x% placas | Se manipula las áreas, considerando el uso de placas controlando el límite admitido para las derivas, modelo al que denominamos M12 (que cumplan con la Norma del 2003) | Se plantea el modelo M22 manipulando las áreas, controlando el límite admitido para las derivas (que cumplan con la Norma vigente a la actualidad) |
| | 3 | Área de las secciones de las columnas (con placas al 100%) | Se manipula las áreas, considerando el uso de placas controlando el límite admitido para las derivas, modelo al que denominamos M13 (que cumplan con la Norma del 2003) | Se plantea el modelo M23 manipulando las áreas, controlando el límite admitido para las derivas (que cumplan con la Norma vigente a la actualidad) |

| | | | VARIABLE INDEPENDIENTE FIJA: NORMA | |
|--|---|---|--|--|
| | | | 1 | 2 |
| | | | APLICACIÓN DE LA NORMA E030-2003 | APLICACIÓN DE LA NORMA E030-2018 |
| VARIABLE DEPENDIENTE MANIPULADA: SECCIONES DE | 1 | Modelos básicos sin aisladores SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES | Se usa como modelo de control un modelo M31 de base fija, el cual se diseña conforme a las Norma E030 – 2003, sin necesariamente cumplir con los límites admitidos para las derivas. | Se usa como modelo de control un modelo M32 de base fija, el cual se diseña conforme a las Norma E030 – 2003, sin necesariamente cumplir con los límites admitidos para las derivas. |
| | 2 | Modelos con aplicación de aisladores SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES | Se plantea el modelo aplicando el uso de aisladores sobre el modelo de M31 de base fija al que se denominará M31 de base aislada. | Se plantea el modelo aplicando el uso de aisladores sobre el modelo de M32 de base fija al que se denominará M32 de base aislada. |

3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

- **FUERZAS CORTANTES:** Es el conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supone las masas concentradas en pisos.
- **ESPECTRO SÍSMICO:** Es el espectro elástico de respuesta, que relaciona la aceleración, mide la reacción de la estructura ante la vibración del suelo que soporta.
- **DESPLAZAMIENTOS LATERALES:** Es el desplazamiento lateral sísmico, incluyendo el desplazamiento adicional debido a torsión provocada y accidental, requerido para la verificación de derivas.
- **DERIVAS:** Es el cociente entre la diferencia de desplazamiento laterales de dos niveles consecutivos de la estructura entre la altura de dicho entrepiso.

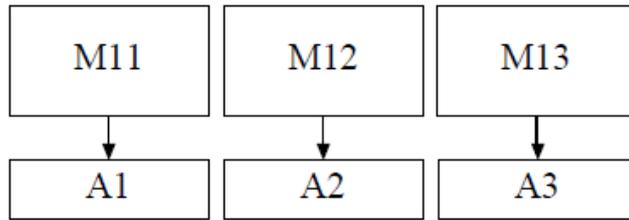
3.6.1. PROPÓSITO DEL ESTUDIO EN RELACIÓN A LAS CATEGORÍAS

| | | | VARIABLES O CATEGORÍAS INDEPENDIENTES |
|-------------------------------|---|-----------------------|---|
| | | | 1 |
| | | | INCIDENCIA MODIFICACIÓN DE LA NORMA |
| VARIABLES DEPENDIENTES | 1 | Fuerza cortante | Se evaluará las variaciones de las fuerzas cortantes. |
| | 2 | Espectro de respuesta | Se evaluará las variaciones de los espectros de respuesta. |
| | 3 | Desplazamiento | Se evaluará las variaciones de los desplazamientos |
| | 4 | Derivas | Se hará comparaciones en los cálculos de las derivas cuando cumplan con la Norma correspondiente |
| | 5 | Presupuesto | Se evaluará las variaciones de presupuestos de la partida de estructuras indicando su variación porcentual. |

3.7. MODELOS

MODELOS BASADOS EN LA NORMA E.030 DEL 2003

Áreas obtenidas al verificar
las derivas máximas y la
regularidad estructural



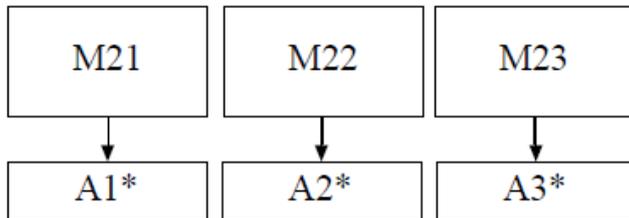
CONTROL DE DERIVAS MÁXIMAS

Deriva Máxima
Control de derivas en base a
la norma E030 del 2003
Control de derivas en base a
la norma E030 del 2018

| | | |
|--------|--------|--------|
| 0.007 | 0.007 | 0.007 |
| 0.0069 | 0.0069 | 0.0069 |
| 0.0074 | 0.0074 | 0.0074 |

MODELOS BASADOS EN LA NORMA E.030 DEL 2018

Áreas obtenidas al verificar
las derivas máximas y la
regularidad estructural

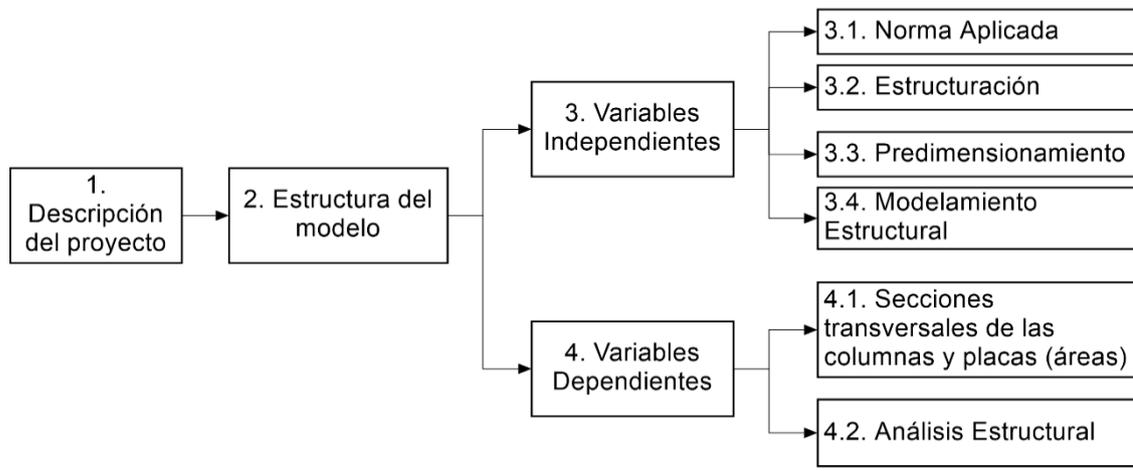


CONTROL DE DERIVAS MÁXIMAS

Deriva Máxima
Control de derivas en base a
la norma E030 del 2018

| | | |
|--------|--------|--------|
| 0.007 | 0.007 | 0.007 |
| 0.0069 | 0.0069 | 0.0069 |

CONTENIDO DE LA FICHA



1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Describe las características geométricas de la estructura, dando valores de las distancias entre ejes, y de las alturas de entrepiso del edificio, las que serán consideradas para la elaboración del modelo matemático.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO

Describe el Sistema Estructural del modelo.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Se define la norma aplicada para la elaboración del modelo. Esta variable es determinante porque rige todos los procedimientos de la elaboración de los modelos, además valida de alguna forma los resultados obtenidos.

B. ESTRUCTURACIÓN

En este ítem, se define los ejes principales y secundarios, además se visualiza la distribución de los elementos estructurales, haciendo énfasis en las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas (columnas y placas).

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En este ítem, se muestra los resultados del predimensionamiento de los elementos estructurales en base fue a fuerzas de gravedad, usando formulaciones y recomendaciones dadas en las diferentes bibliografías de diseño estructural.

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

El modelamiento matemático de la estructura se realizará en el programa ETABs v16.2.1, y para elaborarse requerirá dimensiones geométricas de la estructura, distribución de ejes, secciones de los elementos estructurales, datos que se dieron en los anteriores ítems. Sin embargo, también se requiere otros datos, como son las propiedades mecánicas de los materiales empleados, así como las solicitaciones a los que será sometido la estructura, los cuales serán desarrollados en los siguientes sub ítems.

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

En el sub ítem se describe las propiedades mecánicas del concreto y acero. Los datos del concreto, corresponden al material que se usará en mayor porcentaje, sin embargo, cabe precisar que además de este material existirá

elementos estructurales y no estructurales, que usarán menores resistencias a la compresión.

ii. CARGAS ACTUANTES

Se consideran las solicitaciones de gravedad, carga permanente y carga viva, actuantes en el edificio, las que se reglamentan en la norma peruana E.020 Cargas.

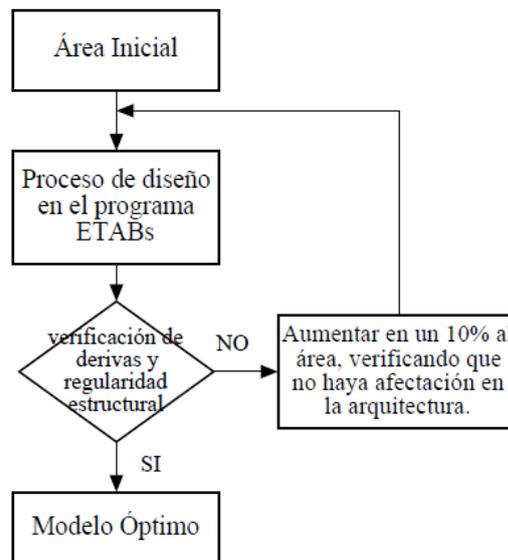
En este ítem también se desarrolla las combinaciones de carga.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE COLUMNAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas, se realizará el siguiente procedimiento:



B. SECCIONES OBTENIDAS

En este ítem se define las secciones finales de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas (columnas y placas) que corresponden a un modelo óptimo, que cumple con las restricciones de derivas máximas dadas en la Norma Sismorresistente E.030 aplicada.

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2003

En una tabla se resume los parámetros sísmicos correspondientes al proyecto de edificios de diez niveles ubicada en la Ciudad de Puno, y los correspondientes al modelo matemático, según la Norma Sismorresistente E.030 aplicada.

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

En tablas se muestra las diferentes verificaciones de irregularidad, con los datos obtenidos del modelo elaborado en el programa ETABS v16.2.1.

- i. Irregularidades estructurales en altura
- ii. Irregularidades estructurales en planta

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH

En este ítem se muestra la obtención del periodo con la expresión de Rayleigh para cada una de las direcciones estudiadas, además se adjunta los valores de los periodos de los modos de vibración correspondientes a porcentajes de masas representativas dados por el programa ETABS.v16.2.1.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN



En este ítem se muestra el peso de la edificación por elemento estructural y por entrepiso. Considerando que el aporte de peso se calcula desde la mitad de un piso hasta la mitad del piso superior.

E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

En este ítem se calcula la fuerza cortante basal y su distribución en los entrepisos, consignando el procedimiento de su cálculo.

F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En este ítem se verifica que la fuerza cortante dinámica sea mayor que el 80% de la fuerza cortante estática para estructuras regulares, y de 90% para estructuras irregulares, tal como indica la norma.

G. ESPECTRO SÍSMICO

En este ítem se visualiza el espectro sísmico de pseudo aceleraciones, el que se define por los datos obtenidos en el ítem A.

H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

Es este ítem se muestra los resultados obtenidos del modelo elaborado en el programa ETABs v.16.2.1.

- i. Derivas obtenidas del Análisis Estático
- ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico



MODELO M11

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M11*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE COLUMNAS
 - B. SECCIONES OBTENIDAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2003
 - B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
 - C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH
 - D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN
 - E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE
 - F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE
 - G. ESPECTRO SÍSMICO
 - H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO M11

La estructura del *Modelo M11* pertenece al sistema estructural de pórticos, donde el 100% de los elementos resistentes a corte son columnas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M11* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente del 2003. El *Modelo M11* es un modelo ideal que se conseguirá luego de realizar iteraciones. Las iteraciones consisten en modificaciones de las áreas de elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, que en este *Modelo M11* son únicamente columnas. El método para la iteración consiste en la adición de un 10% del área de la columna por iteración, hasta que se obtenga el modelo ideal. En esta ficha se muestra los resultados obtenidos sólo del modelo ideal, obviando los resultados de las iteraciones.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un

primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.

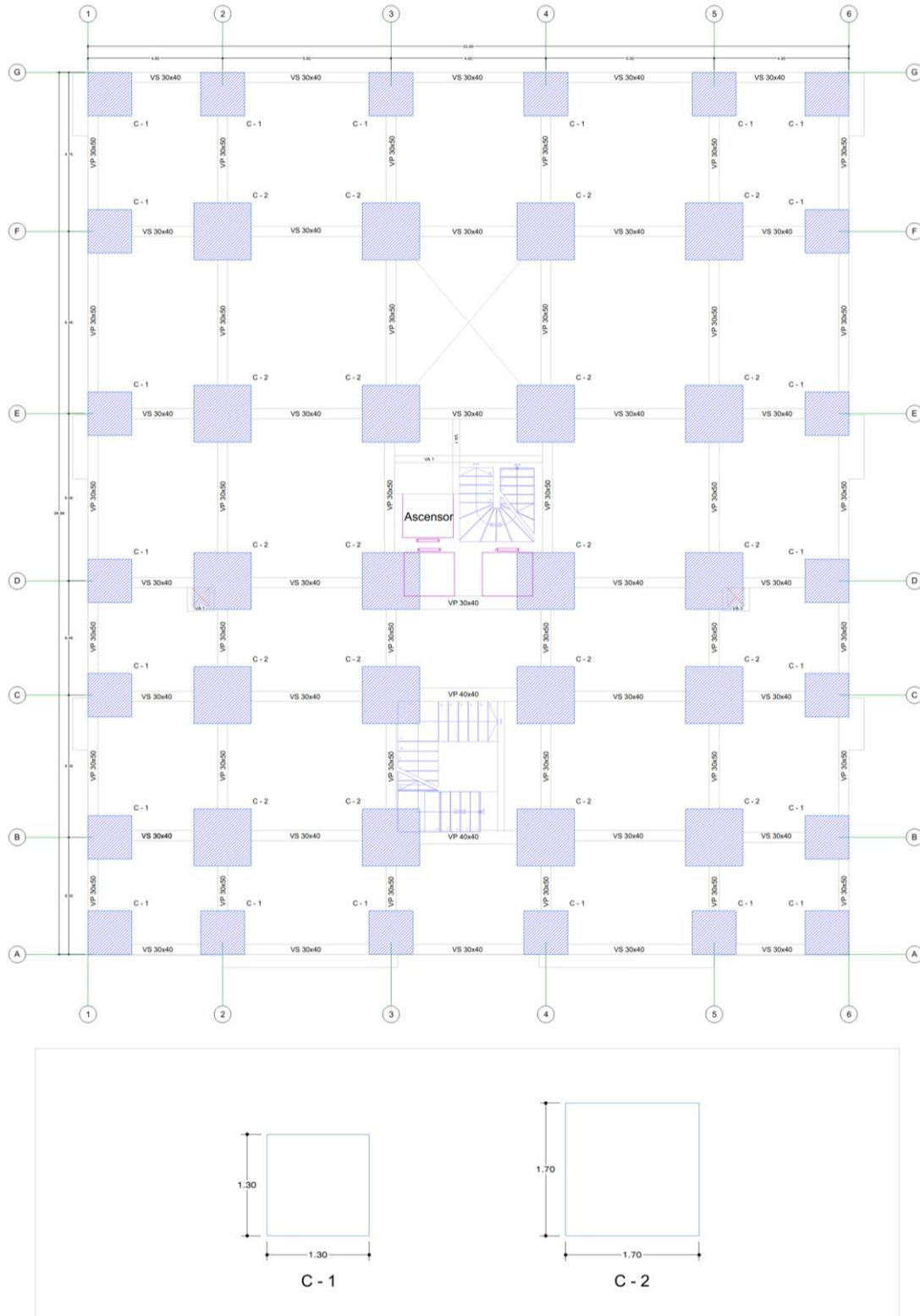


Figura 9. Estructuración modelo M11

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 1. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M11

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | MÉTODO USADO | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|--|---|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = \frac{l}{25} \rightarrow \frac{l}{18}$ $h_l = 0.25 \text{ m y } h_l = 0.28 \text{ m}$ | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h \geq \frac{L_n}{10} \text{ ó } \frac{L_n}{12}$ $h \geq \frac{5.45}{10} \text{ ó } \frac{5.45}{12}, h \geq 0.545 \text{ o } 0.454$ $0.5h < b_w < 0.67h$ $0.5(50) < b_w < 0.67(50)$ $0.25 < b_w < .33$ | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = \frac{L_n}{14}$ $h = \frac{5}{14} = 0.40 \text{ m}$ $b = \frac{h}{2}$ $b = \frac{0.40}{2} = 0.20 \text{ m}$ <p>según la Norma Técnica Peruana</p> $b \geq 0.25 \text{ m}$ | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 30 \text{ m}$ |
| d. PLACAS | $L_{min} = \frac{V_{basal}}{\varphi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot 0.8}$ <p>En zonas de alta sismicidad:</p> $b_{minplaca} = 20 \text{ cm}$ | $b_{minplaca} = 25 \text{ cm}$ |
| e. ESCALERA | <p>Las dimensiones de la escalera se determinan con las fórmulas:</p> <p>a) Garganta:</p> $\frac{l}{25} \leq t \leq \frac{l}{20}$ $\frac{2.90}{25} \leq t \leq \frac{2.90}{20}$ $0.12 \leq t \leq 0.15, \text{ elegimos } t = 0.15 \text{ m}$ <p>De la arquitectura preliminar determinamos si son adecuadas las dimensiones que tenemos según la fórmula:</p> <p>b) Paso (P) y contrapaso (C)</p> $0.61 \leq 2 * C + P \leq 0.65$ $0.61 \leq 2 * 17.5 + 30 \leq 0.65$ | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $E_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma E.020 Cargas. Las *Cargas Permanentes* consideran el peso propio de los elementos estructurales y la carga distribuida en losa que considera a la vez el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la *Carga Viva* se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas y de 500 kg/m² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas, se realizará el siguiente procedimiento:

- Predimensionamiento de las secciones de columnas por el Método Japonés.
- Modelamiento de la estructura en el programa ETABS v16.2.1, consignando las secciones de los otros elementos estructurales dados en el predimensionamiento, las propiedades de los materiales y las cargas dadas en la Norma E.020. Además de la Fuerza Cortante y el Espectro de Sísmico de Respuesta calculada para la iteración siguiendo los procedimientos de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.
- Verificación de derivas y los desplazamientos en base a los máximos permitidos por la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. Estos resultados además nos servirán para determinar si la estructura es regular, y de no serlo afectará en el cálculo de la Fuerza Cortante y Espectro Sísmico de Respuesta.
- Culminación de la prueba si cumple con los requerimientos dados por la Norma E030 del 2003, y en caso contrario se procede a variar la sección calculada de las columnas en un primer momento, adicionándole un 10% del área.



- e) Se sigue los pasos del ítem b), c) y d) hasta que se cumplan los requerimientos dados por la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

B. SECCIONES OBTENIDAS

| Secciones predimensionadas por el Método Japonés | | Secciones obtenidas para el <i>Modelo M11</i> , que corresponden al modelo ideal luego de realizar iteraciones | |
|--|---------|--|---------|
| Columna | Sección | Columna | Sección |
| C1 | 40x40 | C1 | 130x130 |
| C2 | 40x50 | C2 | 170x170 |
| C3 | 50x70 | | |
| C4 | 50x85 | | |
| C5 | 50x60 | | |
| C6 | 50x50 | | |

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2003

Tabla 2. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M11 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|-----------------------------|
| 1. Zonificación, <i>E.030-2003(Art.5)</i> | Zona Sísmica: 2 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno. | $Z = 0.30$ |
| 2. Condiciones Locales, <i>E.030-2003(Art.6)</i> | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos Intermedios | $S = 1.20$ $T_p = 0.6 s$ |
| 3. Categoría de las Edificaciones, <i>E.030-2003(Art.10)</i> | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones, <i>E.030-2003(Art.13)</i> | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 2, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 2, regular o irregular. | |
| 5. Configuración Estructural, <i>E.030-2003(Art.11)</i> | Irregularidad en Altura: Ninguna Irregularidad en Planta: Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | <i>Regular</i> |
| 6. Sistemas Estructurales, <i>E.030-2003(Art.12)</i> | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: Pórticos (* Si la estructura es irregular se multiplica R_o por $\frac{3}{4}$. | $R_o = 8$ |

Tabla 2. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M11 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|--|-----------------------|
| 7. <i>Periodo Fundamental de Vibración,</i> E.030-2003(Art.17-ítem 17.2) | Elementos resistentes en la dirección considerada: Edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos. Coeficiente para estimar el periodo fundamental: $C_T = 35$ Altura total de la edificación: $h_n = 30.5 \text{ m}$ Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{35} = 0.871 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.871 \text{ s}$ |
| 8. <i>Factor de Amplificación Sísmica,</i> E.030-2003(Art.7) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right); C \leq 2.5$ $C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.871}\right) = 1.722$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 1.722$ |
| 9. <i>Fuerza Cortante en la Base,</i> E.030-2003(Art.17-ítem 17.3) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.125$ $\frac{C}{R} = \frac{1.722}{8} = 0.215$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.215$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el Artículo 11. “Configuración estructural” de la Norma Sismorresistente E030 del 2003, las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis y los valores apropiados del factor de reducción de fuerza sísmica (Tabla N° 6).

Además, el Artículo 12. “Sistemas Estructurales” de la misma norma menciona que para estructuras irregulares, los valores de R deben ser tomados como $\frac{3}{4}$ de los anotados en la Tabla N°6.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---|-------------|----|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidad de Masa | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.4. Discontinuidad en los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez-Piso blando

Las sumatoria de áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte de un entrepiso, columnas, es igual a las sumatoria de área del piso adyacente, ya que todos los elementos se extienden del primer nivel al último nivel.

i.2. Irregularidad de masa

Tabla 3. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M11

| Piso | Peso (kgf) | P_i/P_{i+1} | $P_i/P_{i+1} < 1.5$ |
|---------|-------------|---------------|---------------------|
| Piso 10 | 741775.058 | | |
| Piso 9 | 1190073.225 | | |
| Piso 8 | 1187405.225 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 1190073.225 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 1168865.525 | 0.98 | REGULAR |
| Piso 5 | 1187688.665 | 1.02 | REGULAR |
| Piso 4 | 1183210.665 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 3 | 1183210.665 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 1183210.665 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 1 | 1251392.810 | 1.06 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ip |
|------------------------------------|-------------|----|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.3. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |

ii.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 4. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M11

| Piso | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Promedio | Deriva Prom. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Max. | D. Max. Inelástica | Deriva Max/Promedio | D. Max/Prom < 1.3 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Piso 10 | 0.000903 | 0.000781 | 0.000842 | 0.005052 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000903 | 0.005418 | 1.07 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000965 | 0.000825 | 0.000895 | 0.005370 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000965 | 0.005790 | 1.08 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001043 | 0.000878 | 0.000961 | 0.005763 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001043 | 0.006258 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001113 | 0.000924 | 0.001019 | 0.006111 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001113 | 0.006678 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001158 | 0.000949 | 0.001054 | 0.006321 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001158 | 0.006948 | 1.10 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001161 | 0.000939 | 0.001050 | 0.006300 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001161 | 0.006966 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001104 | 0.000882 | 0.000993 | 0.005958 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001104 | 0.006624 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000970 | 0.000765 | 0.000868 | 0.005205 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000970 | 0.005820 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000738 | 0.000573 | 0.000656 | 0.003933 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000738 | 0.004428 | 1.13 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000338 | 0.000258 | 0.000298 | 0.001788 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000338 | 0.002028 | 1.13 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 5. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M11

| Piso | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Promedio | Deriva Prom. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Max. | D. Max. Inelástica | Deriva Max/ Promedio | D. Max/ Prom < 1.3 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Piso 10 | 0.000435 | 0.000536 | 0.000486 | 0.002913 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000538 | 0.003228 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000490 | 0.000604 | 0.000547 | 0.003282 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000607 | 0.003642 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000558 | 0.000691 | 0.000625 | 0.003747 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000695 | 0.004170 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000624 | 0.000776 | 0.000700 | 0.004200 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000780 | 0.004680 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000676 | 0.000843 | 0.000760 | 0.004557 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000847 | 0.005082 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.000702 | 0.000878 | 0.000790 | 0.004740 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000883 | 0.005298 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.000692 | 0.000867 | 0.000780 | 0.004677 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000871 | 0.005226 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000629 | 0.000791 | 0.000710 | 0.004260 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000795 | 0.004770 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000498 | 0.000627 | 0.000563 | 0.003375 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000630 | 0.003780 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000239 | 0.000301 | 0.000270 | 0.001620 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000301 | 0.001806 | 1.11 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii.2. Esquinas Entrantes

La estructura presenta dos esquinas entrantes mínimas en la fachada principal, en la dirección X-X con una longitud de 4.6 m que representa el 20% de la longitud total, y en la dirección Y-Y con una longitud de 0.35 m que representa el 1.3% de la longitud total. En ambas direcciones no existe este tipo de irregularidad ya que no supera el 20% de la longitud, tal como indica la Norma.

ii.3. Discontinuidad del diafragma

El área total de los espacios vacíos en la edificación es de 49.42 m² que representa el 9.40 % del área total que es 526.015 m². Por lo tanto, no presenta este tipo de irregularidad, ya que no supera el 50% del área bruta.

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

De acuerdo a la investigación se considera como periodo inicial el obtenido en la Tabla 2, donde $T=0.871s$. El que se obtuvo del sub-ítem a) del ítem 17.2 "Periodo Fundamental" del Artículo 17. "Análisis Estático" de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. Considerando que el coeficiente para estimar el periodo fundamental es $C_T = 35$, el que corresponde a edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos, por otro lado la altura del edificio es de $h_n = 30.5 m$; con estos datos:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{35} = 0.871 s$$

En el sub-ítem b) del ítem 17.2 "Periodo Fundamental" del Artículo 17 "Análisis Estático" de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, también menciona que podrá usarse un procedimiento de análisis dinámico que considere las características de rigidez y distribución de masas en la estructura. Como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i)}}$$

Además, el artículo menciona que cuando el procedimiento dinámico no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental deberá tomarse como el 0.85 del valor obtenido.

- En la dirección X-X

Tabla 6. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 115814.171 | 2.596 | 5000522.973 | 300699.913 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 167531.322 | 2.343 | 6530853.807 | 392458.874 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 148920.565 | 2.075 | 5112521.622 | 309010.173 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 130979.033 | 1.788 | 3804171.898 | 234177.413 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 110694.467 | 1.483 | 2571713.253 | 164193.103 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 94237.541 | 1.169 | 1621938.473 | 110125.991 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 75711.478 | 0.855 | 864956.576 | 64733.314 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 57540.723 | 0.558 | 368937.580 | 32130.740 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 39369.969 | 0.300 | 106134.292 | 11791.306 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 22420.812 | 0.104 | 13483.057 | 2327.280 |
| TOTAL | | 11466905.728 | 963220.081 | | 25995233.532 | 1621648.106 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.803 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.683 \text{ s}$$

- En la dirección Y-Y

Tabla 7. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Techo | 30.50 | 741775.058 | 151661.414 | 1.882 | 2627590.090 | 285441.947 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 219386.254 | 1.736 | 3588171.882 | 380942.292 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 195015.026 | 1.572 | 2935416.861 | 306622.125 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 171520.163 | 1.385 | 2282498.574 | 237538.273 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 144957.040 | 1.175 | 1613490.294 | 170310.027 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 123406.304 | 0.947 | 1065354.844 | 116878.110 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 99145.983 | 0.710 | 596456.496 | 70393.648 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 75350.947 | 0.476 | 268425.171 | 35889.656 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 51555.911 | 0.263 | 81966.020 | 13569.516 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 29360.587 | 0.095 | 11198.914 | 2777.512 |
| TOTAL | | 11466905.728 | 1261359.630 | | 15070569.146 | 1620363.107 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.612 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.520 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.871 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X : 0.803 s Dirección Y-Y : 0.612 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.803s

correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa, de un 70.86%; y en la dirección “Y” se obtiene un valor de 0.612s correspondiente al segundo modo de vibración, con una masa de participación de 67.21%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Según el sub-ítem b. del ítem 16.3. “Peso de la edificación” del Artículo 16. “Generalidades” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación, para edificaciones de la categoría C, el 25% de la carga viva. Además, según el ítem d. del mismo artículo, en azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 8. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M11

| Entre piso | Altura (m) | Peso de Columnas (kgf) | Peso de vigas (kgf) | Peso de muros (kgf) | Peso de losa (kgf) | Peso de escalera (kgf) | Peso de Tanque Elevado (kgf) | Peso Total CM (kgf) | Peso Total CV (kgf) | Peso Total CM+0.25C V (kgf) |
|--------------|------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 | 3.25 | 740844.00 | 72824.26 | 195801.04 | 210406.00 | 5216.76 | | 1225092.06 | 105203.00 | 1251392.81 |
| 2 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1156909.92 | 105203.00 | 1183210.67 |
| 3 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1156909.92 | 105203.00 | 1183210.67 |
| 4 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1156909.92 | 105203.00 | 1183210.67 |
| 5 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.0 | 1161387.92 | 105203.00 | 1187688.67 |
| 6 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 170261.76 | 210406.00 | 5216.76 | | 1142564.78 | 105203.00 | 1168865.53 |
| 7 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1163772.48 | 105203.00 | 1190073.23 |
| 8 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 188801.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1161104.48 | 105203.00 | 1187405.23 |
| 9 | 3.00 | 683856.00 | 72824.26 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1163772.48 | 105203.00 | 1190073.23 |
| 10 | 1.50 | 341928.00 | 72824.26 | 87196.48 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.0 | 722049.50 | 78902.25 | 741775.06 |
| TOTAL | | 6952536.0 | 728242.6 | 1763427.2 | 2104060.0 | 52167.6 | 8956.0 | 11210473.4 | 1025729.3 | 11466905.7 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el ítem 17.3. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Donde el valor de C/R no deberá considerarse menor que: $C/R \geq 0.125$

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M11 se encuentran en la Tabla 2.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{1.868}{8} = 0.233 \geq 0.125 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} = \frac{0.30 \times 1 \times 1.868 \times 1}{8} = 0.084$$

$$V = 0.084 \times 11466905.73 \text{ gf} = 963220.081 \text{ kgf}$$

Tabla 9. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | $P_i \times h_i$ | $\frac{P_i \times h_i}{\text{Sum}(P_i \times h_i)}$ | F_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 22624139.254 | 0.120 | 963220.081 | 115814.171 | 115814.171 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 32727013.688 | 0.174 | 963220.081 | 167531.322 | 283345.492 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 29091428.013 | 0.155 | 963220.081 | 148920.565 | 432266.058 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 25586574.338 | 0.136 | 963220.081 | 130979.033 | 563245.091 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 21624012.213 | 0.115 | 963220.081 | 110694.467 | 673939.558 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 18409174.308 | 0.098 | 963220.081 | 94237.541 | 768177.099 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 14790133.313 | 0.079 | 963220.081 | 75711.478 | 843888.577 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 11240501.318 | 0.060 | 963220.081 | 57540.723 | 901429.301 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 7690869.323 | 0.041 | 963220.081 | 39369.969 | 940799.269 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 4379874.835 | 0.023 | 963220.081 | 22420.812 | 963220.081 |
| TOTAL | | | 188163720.60 | 1 | | 963220.081 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.451}{8} = 0.306 \geq 0.125 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.30 \times 1 \times 2.451 \times 1}{8} = 0.110$$

$$V = 0.110 \times 11466905.73 \text{ gf} = 903982.57 \text{ kgf}$$

Tabla 10. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | $P_i \times h_i$ | $\frac{P_i \times h_i}{\text{Sum}(P_i \times h_i)}$ | F_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 22624139.254 | 0.120 | 1261359.630 | 151661.414 | 151661.414 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 32727013.688 | 0.174 | 1261359.630 | 219386.254 | 371047.668 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 29091428.013 | 0.155 | 1261359.630 | 195015.026 | 566062.694 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 25586574.338 | 0.136 | 1261359.630 | 171520.163 | 737582.857 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 21624012.213 | 0.115 | 1261359.630 | 144957.040 | 882539.897 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 18409174.308 | 0.098 | 1261359.630 | 123406.304 | 1005946.201 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 14790133.313 | 0.079 | 1261359.630 | 99145.983 | 1105092.184 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 11240501.318 | 0.060 | 1261359.630 | 75350.947 | 1180443.132 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 7690869.323 | 0.041 | 1261359.630 | 51555.911 | 1231999.043 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 4379874.835 | 0.023 | 1261359.630 | 29360.587 | 1261359.630 |
| TOTAL | | | 188163720.60 | 1 | | 1261359.63 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La fuerza sísmica vertical, en el análisis estático se considera como una fracción del peso. Para las zonas 3 y 2 esta fracción será $\frac{2}{3} Z$ y para la zona 1 no será necesario considerar este efecto, tal como lo indica el ítem 17.6. "Fuerzas Sísmicas Verticales" del Artículo 17. "Análisis Estático" de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

Con respecto a la excentricidad accidental, el sub-ítem a) del ítem 17.5. "Efectos de Torsión" del Artículo 17. "Análisis Estático" de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, menciona que en el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral

estática actuante, se aplica para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), que se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, valor que se empleará para calcular un momento torsor accidental (M_{ti}) el que se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De la misma forma se usará esta excentricidad accidental de 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, para el cálculo de un momento torsor accidental en el análisis dinámico, así como lo menciona el *sub-ítem e.) "Efectos de Torsión"* del ítem 18.2. "Análisis por combinación modal espectral" del Artículo 17. "Análisis Dinámico" de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

Tabla 11. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M11

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 116383.560 | 135023.540 |
| Piso 9 | 253176.550 | 310380.190 |
| Piso 8 | 361438.290 | 459905.640 |
| Piso 7 | 450740.810 | 588773.670 |
| Piso 6 | 524385.030 | 696263.390 |
| Piso 5 | 587438.100 | 786556.070 |
| Piso 4 | 639236.770 | 857550.280 |
| Piso 3 | 679311.310 | 909238.070 |
| Piso 2 | 706273.740 | 941606.010 |
| Piso 1 | 719898.940 | 956670.470 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el *sub ítem c. "Fuerza Cortante Mínima en la base"* del ítem 18.2 "Análisis por combinación modal espectral" del Artículo 18 "Análisis Dinámico" de la Norma Sismorresistente del 2003, menciona que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 17 (17.3) para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Además, indica que, si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados, excepto los desplazamientos.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático X} (kgf)$ | 963220.081 | $V_{dinámico X} \geq 0.8V_{estático X}$ | 74.74% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico X} (kgf)$ | 719898.940 | | | |

- En la dirección Y-Y

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|------------|--------------|
| $V_{estático Y} (kgf)$ | 1261359.630 | $V_{dinámico Y} \geq 0.8V_{estático Y}$ | 75.84 % | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y} (kgf)$ | 956670.470 | | | |

G. ESPECTRO SÍSMICO

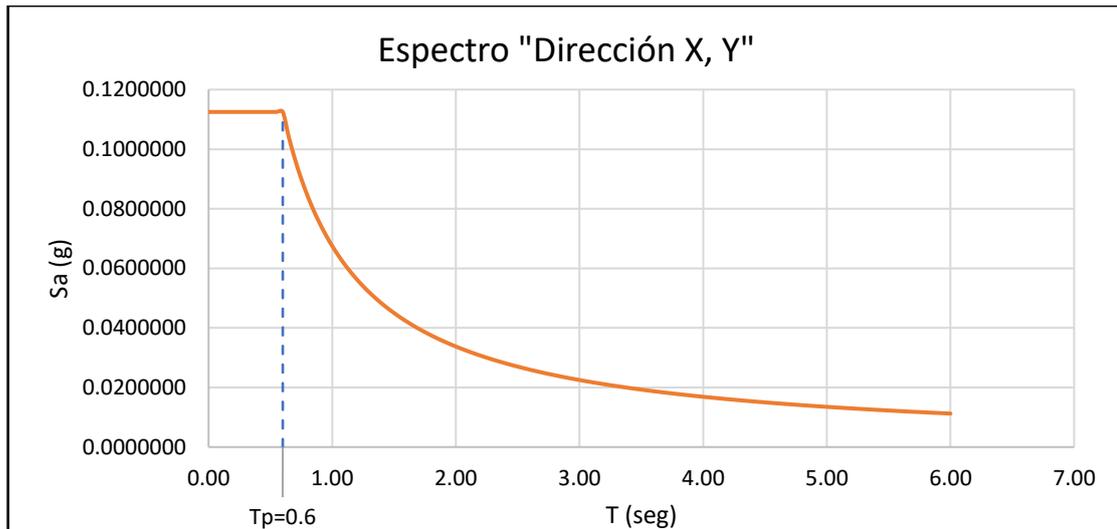
En el sub-ítem b. del ítem 18.2. “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 18 “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente del 2003, menciona que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

- Espectro en la Dirección X-X e Y-Y

| T (s) | C _x | S _a = $\frac{ZUCS}{R} \cdot g$ | 1.25 | 1.20 | 0.05400 | 2.90 | 0.52 | 0.02328 | 4.55 | 0.33 | 0.01484 |
|-------|----------------|--|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| 0.00 | 2.50 | 0.11250 | 1.30 | 1.15 | 0.05192 | 2.95 | 0.51 | 0.02288 | 4.60 | 0.33 | 0.01467 |
| 0.02 | 2.50 | 0.11250 | 1.35 | 1.11 | 0.05000 | 3.00 | 0.50 | 0.02250 | 4.65 | 0.32 | 0.01452 |
| 0.04 | 2.50 | 0.11250 | 1.40 | 1.07 | 0.04821 | 3.05 | 0.49 | 0.02213 | 4.70 | 0.32 | 0.01436 |
| 0.06 | 2.50 | 0.11250 | 1.45 | 1.03 | 0.04655 | 3.10 | 0.48 | 0.02177 | 4.75 | 0.32 | 0.01421 |
| 0.08 | 2.50 | 0.11250 | 1.50 | 1.00 | 0.04500 | 3.15 | 0.48 | 0.02143 | 4.80 | 0.31 | 0.01406 |
| 0.10 | 2.50 | 0.11250 | 1.55 | 0.97 | 0.04355 | 3.20 | 0.47 | 0.02109 | 4.85 | 0.31 | 0.01392 |
| 0.12 | 2.50 | 0.11250 | 1.60 | 0.94 | 0.04219 | 3.25 | 0.46 | 0.02077 | 4.90 | 0.31 | 0.01378 |
| 0.14 | 2.50 | 0.11250 | 1.65 | 0.91 | 0.04091 | 3.30 | 0.45 | 0.02045 | 4.95 | 0.30 | 0.01364 |
| 0.16 | 2.50 | 0.11250 | 1.70 | 0.88 | 0.03971 | 3.35 | 0.45 | 0.02015 | 5.00 | 0.30 | 0.01350 |
| 0.18 | 2.50 | 0.11250 | 1.75 | 0.86 | 0.03857 | 3.40 | 0.44 | 0.01985 | 5.05 | 0.30 | 0.01337 |
| 0.20 | 2.50 | 0.11250 | 1.80 | 0.83 | 0.03750 | 3.45 | 0.43 | 0.01957 | 5.10 | 0.29 | 0.01324 |
| 0.25 | 2.50 | 0.11250 | 1.85 | 0.81 | 0.03649 | 3.50 | 0.43 | 0.01929 | 5.15 | 0.29 | 0.01311 |
| 0.30 | 2.50 | 0.11250 | 1.90 | 0.79 | 0.03553 | 3.55 | 0.42 | 0.01901 | 5.20 | 0.29 | 0.01298 |
| 0.35 | 2.50 | 0.11250 | 1.95 | 0.77 | 0.03462 | 3.60 | 0.42 | 0.01875 | 5.25 | 0.29 | 0.01286 |
| 0.40 | 2.50 | 0.11250 | 2.00 | 0.75 | 0.03375 | 3.65 | 0.41 | 0.01849 | 5.30 | 0.28 | 0.01274 |
| 0.45 | 2.50 | 0.11250 | 2.05 | 0.73 | 0.03293 | 3.70 | 0.41 | 0.01824 | 5.35 | 0.28 | 0.01262 |
| 0.50 | 2.50 | 0.11250 | 2.10 | 0.71 | 0.03214 | 3.75 | 0.40 | 0.01800 | 5.40 | 0.28 | 0.01250 |
| 0.55 | 2.50 | 0.11250 | 2.15 | 0.70 | 0.03140 | 3.80 | 0.39 | 0.01776 | 5.45 | 0.28 | 0.01239 |
| 0.60 | 2.50 | 0.11250 | 2.20 | 0.68 | 0.03068 | 3.85 | 0.39 | 0.01753 | 5.50 | 0.27 | 0.01227 |
| 0.65 | 2.31 | 0.10385 | 2.25 | 0.67 | 0.03000 | 3.90 | 0.38 | 0.01731 | 5.55 | 0.27 | 0.01216 |
| 0.70 | 2.14 | 0.09643 | 2.30 | 0.65 | 0.02935 | 3.95 | 0.38 | 0.01709 | 5.60 | 0.27 | 0.01205 |
| 0.75 | 2.00 | 0.09000 | 2.35 | 0.64 | 0.02872 | 4.00 | 0.38 | 0.01688 | 5.65 | 0.27 | 0.01195 |
| 0.80 | 1.88 | 0.08438 | 2.40 | 0.63 | 0.02813 | 4.05 | 0.37 | 0.01667 | 5.70 | 0.26 | 0.01184 |
| 0.85 | 1.76 | 0.07941 | 2.45 | 0.61 | 0.02755 | 4.10 | 0.37 | 0.01646 | 5.75 | 0.26 | 0.01174 |
| 0.90 | 1.67 | 0.07500 | 2.50 | 0.60 | 0.02700 | 4.15 | 0.36 | 0.01627 | 5.80 | 0.26 | 0.01164 |
| 0.95 | 1.58 | 0.07105 | 2.55 | 0.59 | 0.02647 | 4.20 | 0.36 | 0.01607 | 5.85 | 0.26 | 0.01154 |
| 1.00 | 1.50 | 0.06750 | 2.60 | 0.58 | 0.02596 | 4.25 | 0.35 | 0.01588 | 5.90 | 0.25 | 0.01144 |
| 1.05 | 1.43 | 0.06429 | 2.65 | 0.57 | 0.02547 | 4.30 | 0.35 | 0.01570 | 5.95 | 0.25 | 0.01134 |
| 1.10 | 1.36 | 0.06136 | 2.70 | 0.56 | 0.02500 | 4.35 | 0.34 | 0.01552 | 6.00 | 0.25 | 0.01125 |
| 1.15 | 1.30 | 0.05870 | 2.75 | 0.55 | 0.02455 | 4.40 | 0.34 | 0.01534 | | | |
| 1.20 | 1.25 | 0.05625 | 2.80 | 0.54 | 0.02411 | 4.45 | 0.34 | 0.01517 | | | |
| | | | 2.85 | 0.53 | 0.02368 | 4.50 | 0.33 | 0.01500 | | | |



H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

El ítem 15.1. “Desplazamientos Laterales Permisibles” del artículo 15. “Desplazamientos Laterales” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, indica que el máximo desplazamiento relativo no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso 0.007 para estructuras cuando el material predominante es el concreto armado.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 12. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.865 | 0.000903 | 0.005418 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.594 | 0.000965 | 0.005792 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.304 | 0.001043 | 0.006258 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.992 | 0.001113 | 0.006678 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.658 | 0.001158 | 0.006950 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.310 | 0.001161 | 0.006964 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.962 | 0.001104 | 0.006622 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.631 | 0.000970 | 0.005820 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.340 | 0.000738 | 0.004428 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.118 | 0.000338 | 0.002030 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 13. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.089 | 0.000536 | 0.003214 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.928 | 0.000604 | 0.003626 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.747 | 0.000691 | 0.004146 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.540 | 0.000776 | 0.004654 | 0.007 | CUMPLE |

Tabla 13. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 6 | 18.50 | 1.307 | 0.000843 | 0.005056 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.054 | 0.000878 | 0.005268 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.791 | 0.000867 | 0.005200 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.531 | 0.000791 | 0.004744 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.294 | 0.000627 | 0.003760 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.106 | 0.000301 | 0.001809 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 14. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.232 | 0.000713 | 0.004276 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.018 | 0.000760 | 0.004560 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.790 | 0.000818 | 0.004910 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.545 | 0.000870 | 0.005220 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.284 | 0.000901 | 0.005408 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.013 | 0.000900 | 0.005402 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.743 | 0.000854 | 0.005124 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.487 | 0.000749 | 0.004494 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.262 | 0.000570 | 0.003418 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.091 | 0.000261 | 0.001567 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 15. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.615 | 0.000419 | 0.002512 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.489 | 0.000471 | 0.002826 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.348 | 0.000538 | 0.003226 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.187 | 0.000602 | 0.003612 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.006 | 0.000653 | 0.003916 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.810 | 0.000678 | 0.004070 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.607 | 0.000667 | 0.004004 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.407 | 0.000607 | 0.003642 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.224 | 0.000480 | 0.002878 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.081 | 0.000230 | 0.001380 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

VERIFICACIÓN DEL MODELO M11 CON LA NORMA E.030 DEL 2018

1. DESCRIPCIÓN DE LA VERIFICACIÓN DEL MODELO M11

Para la verificación del *Modelo M11* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente del 2018. La configuración arquitectónica, las propiedades de los materiales, secciones de los elementos no se modificarán para este modelo de verificación.

2. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta verificación se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

3. VARIABLES DEPENDIENTES

3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018

Tabla 16. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M11 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|--|---|
| 1. Zonificación, E.030-2018 (Art.10) | Zona Sísmica: 3 | $Z = 0.35$ |
| 2. Condiciones Geotécnicas, E.030-2018(Art.12) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 s$ $T_L = 2.0s$ |
| 3. Categoría de la Edificación y Factor de Uso(U), E.030 2018(Art.15) | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Sistema Estructural y Restricciones de Irregularidad, E.030-2018(Art.16, Art.17 y Art.21) | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, no se permiten irregularidades extremas. | |
| 5. Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, E.030-2018(Art.18) | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: Pórticos | $R_o = 8$ |
| 6. Factores de Irregularidad (I_a y I_p) E.030-2018(Art.20) | Irregularidad en Altura, I_a : Ninguna Irregularidad en Planta, I_p : Ninguna (*). Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $I_a = 1$ $I_p = 1$ |
| 7. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R E.030-2018(Art.22) | $R_x = R_o \cdot I_a \cdot I_p$ | $R_x = 8$ |
| 8. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2018(Art.28-ítem 28.4) | Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{35} = 0.871 s$ | $T = 0.871 s$ |

Tabla 16. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M11 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|--|-----------------------|
| | (*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | |
| 9. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, E.030-2018(Art.28-ítem 28.3) | Exponente relacionado con el periodo fundamental: Para $T \leq 0.5$ s, $k = 1.0$ Para $T > 0.5$ s, $k = (0.75 + 0.5 T)$ $k = (0.75 + 0.5 \times 0.871)$ (*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $k = 1.186$ |
| 10. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por la siguiente expresión: $T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.817}\right) = 1.722$ (*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 1.722$ |
| 11-. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018(Art.28-ítem 28.2) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.11$ $\frac{C}{R} = \frac{1.722}{8} = 0.215$ (*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.215$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018.

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando e Irregularidad Extrema de Rigidez

- En la Dirección X-X

Tabla 17. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M11

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | k_i | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | k_i | |
| | | | | | | > 0.7 | $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.8$ | > 0.6 | $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.7$ | |
| Piso 10 | 138959.68 | 2.99 | 17.97 | 9.33 | 14891.94 | | | | | |
| Piso 9 | 336843.63 | 2.70 | 16.19 | 8.63 | 39013.62 | | | | | REGULAR |
| Piso 8 | 509693.48 | 2.39 | 14.33 | 7.56 | 67419.77 | 1.73 | | 1.73 | | REGULAR |
| Piso 7 | 658740.02 | 2.05 | 12.33 | 6.77 | 97357.46 | 1.44 | | 1.44 | | REGULAR |
| Piso 6 | 781868.38 | 1.70 | 10.21 | 5.56 | 140618.75 | 1.44 | 2.07 | 1.44 | 2.07 | REGULAR |
| Piso 5 | 883918.81 | 1.34 | 8.03 | 4.65 | 190114.60 | 1.35 | 1.87 | 1.35 | 1.87 | REGULAR |
| Piso 4 | 963278.38 | 0.98 | 5.86 | 3.38 | 285061.07 | 1.50 | 2.00 | 1.50 | 2.00 | REGULAR |
| Piso 3 | 1021135.40 | 0.64 | 3.82 | 2.48 | 411184.43 | 1.44 | 2.00 | 1.44 | 2.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 1058510.05 | 0.34 | 2.05 | 1.34 | 791113.64 | 1.92 | 2.68 | 1.92 | 2.68 | REGULAR |
| Piso 1 | 1077889.14 | 0.12 | 0.71 | 0.71 | 1523733.59 | 1.93 | 3.07 | 1.93 | 3.07 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 18. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M11

| Piso | V_{yi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | k_i | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | k_i | |
| | | | | | | > 0.7 | $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.8$ | > 0.6 | $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.7$ | |
| Piso 10 | 174110.87 | 2.13 | 12.77 | 6.54 | 26639.57 | | | | | |
| Piso 9 | 424515.32 | 1.96 | 11.77 | 6.23 | 68129.57 | | | | | |
| Piso 8 | 645667.58 | 1.78 | 10.66 | 5.54 | 116487.62 | 1.71 | | 1.71 | | REGULAR |
| Piso 7 | 838758.44 | 1.56 | 9.38 | 5.11 | 164057.12 | 1.41 | | 1.41 | | REGULAR |
| Piso 6 | 1000577.97 | 1.33 | 7.95 | 4.27 | 234481.15 | 1.43 | 2.02 | 1.43 | 2.02 | REGULAR |
| Piso 5 | 1136981.60 | 1.07 | 6.40 | 3.68 | 308626.93 | 1.32 | 1.80 | 1.32 | 1.80 | REGULAR |
| Piso 4 | 1245257.57 | 0.80 | 4.80 | 2.72 | 457747.97 | 1.48 | 1.94 | 1.48 | 1.94 | REGULAR |
| Piso 3 | 1326292.31 | 0.54 | 3.21 | 2.08 | 638684.54 | 1.40 | 1.91 | 1.40 | 1.91 | REGULAR |
| Piso 2 | 1380571.28 | 0.30 | 1.78 | 1.14 | 1212942.61 | 1.90 | 2.59 | 1.90 | 2.59 | REGULAR |
| Piso 1 | 1410429.40 | 0.11 | 0.64 | 0.64 | 2213479.92 | 1.82 | 2.88 | 1.82 | 2.88 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. "Factores de Irregularidad (Ia, Ip)" de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---------------------------------------|-------------|----|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

ii.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 19. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M11

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/ D. Prom. | D. Max/ D. Prom. < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|----------------------|------------------------|
| Piso 10 | 0.001051 | 0.006306 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001051 | 0.000908 | 0.000980 | 0.005877 | 1.07 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001123 | 0.006738 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001123 | 0.000959 | 0.001041 | 0.006246 | 1.08 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001211 | 0.007266 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001211 | 0.001019 | 0.001115 | 0.006690 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001290 | 0.007740 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001290 | 0.001070 | 0.001180 | 0.007080 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001338 | 0.008028 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001338 | 0.001096 | 0.001217 | 0.007302 | 1.10 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001336 | 0.008016 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001336 | 0.001081 | 0.001209 | 0.007251 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001266 | 0.007596 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001266 | 0.001012 | 0.001139 | 0.006834 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001108 | 0.006648 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001108 | 0.000875 | 0.000992 | 0.005949 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000841 | 0.005046 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000841 | 0.000654 | 0.000748 | 0.004485 | 1.13 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000384 | 0.002304 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000384 | 0.000293 | 0.000339 | 0.002031 | 1.13 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 20. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M11

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Límite | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/ D. Prom. | D. Max/ D. Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Piso 10 | 0.000612 | 0.003672 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000494 | 0.000609 | 0.000471 | 0.002826 | 1.30 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000690 | 0.004140 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000556 | 0.000686 | 0.000536 | 0.003216 | 1.29 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000788 | 0.004728 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000633 | 0.000784 | 0.000617 | 0.003702 | 1.28 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000884 | 0.005304 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000708 | 0.000879 | 0.000695 | 0.004170 | 1.27 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000959 | 0.005754 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000765 | 0.000954 | 0.000757 | 0.004542 | 1.27 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.000997 | 0.005982 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000794 | 0.000992 | 0.000789 | 0.004734 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.000983 | 0.005898 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000780 | 0.000978 | 0.000779 | 0.004674 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000895 | 0.005370 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000709 | 0.000891 | 0.000711 | 0.004266 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000709 | 0.004254 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000560 | 0.000705 | 0.000565 | 0.003390 | 1.25 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000339 | 0.002034 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000268 | 3.39E-04 | 0.000272 | 0.001632 | 1.25 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

En el sub-ítem 28.4.2. del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28 “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018.

- En la dirección X-X

Tabla 21. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 138959.677 | 2.994 | 6650186.699 | 416073.065 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 197883.957 | 2.699 | 8669208.605 | 534088.800 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 172849.850 | 2.388 | 6769529.334 | 412713.587 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 149046.532 | 2.054 | 5022774.689 | 306201.196 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 123128.361 | 1.702 | 3384382.988 | 209515.220 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 102050.437 | 1.338 | 2126570.344 | 136553.689 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 79359.562 | 0.977 | 1129640.104 | 77542.228 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 57857.027 | 0.637 | 479959.479 | 36849.140 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 37374.648 | 0.341 | 137504.236 | 12741.018 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 19379.087 | 0.118 | 17394.873 | 2284.794 |
| TOTAL | | 11466905.728 | 1077889.138 | | 34387151.351 | 2144562.738 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.803 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.683 \text{ s}$$

- En la dirección Y-Y

Tabla 22. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 174110.872 | 2.128 | 3358410.933 | 370473.113 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 250404.450 | 1.962 | 4582521.297 | 491368.652 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 221152.256 | 1.776 | 3744863.309 | 392744.291 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 193090.866 | 1.563 | 2908428.154 | 301858.951 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 161819.527 | 1.325 | 2052709.083 | 214443.238 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 136403.627 | 1.067 | 1353184.482 | 145597.231 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 108275.970 | 0.800 | 756308.553 | 86566.638 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 81034.739 | 0.536 | 339678.058 | 43418.413 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 54278.972 | 0.296 | 103598.151 | 16061.148 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 29858.126 | 0.106 | 14113.759 | 3170.933 |
| TOTAL | | 11466905.728 | 1410429.404 | | 19213815.778 | 2065702.608 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.612 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.520 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.871 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X :0.803 s Dirección Y-Y :0.612 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.803s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa, de un 70.86%; y en la dirección "Y" se obtiene un valor de 0.612s correspondiente al segundo modo de vibración, con una masa de participación de 67.21%.

Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

El peso de la edificación no se modifica al utilizar la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el sub-ítem 28.2.1. del ítem 28.2. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M11 se encuentran en la Tabla 16.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{1.868}{8} = 0.233 \geq 0.11 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.868 \times 1.15}{8} = 0.094$$

$$V = 0.094 \times 11466905.73 \text{ kgf} = 1077889.138 \text{ kgf}$$

Tabla 23. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|-------|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 1.152 | 37970253.001 | 0.129 | 1077889.138 | 138959.677 | 138959.677 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 1.152 | 54071109.519 | 0.184 | 1077889.138 | 197883.957 | 336843.634 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 1.152 | 47230625.998 | 0.160 | 1077889.138 | 172849.850 | 509693.484 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 1.152 | 40726451.431 | 0.138 | 1077889.138 | 149046.532 | 658740.017 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 1.152 | 33644400.553 | 0.114 | 1077889.138 | 123128.361 | 781868.378 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 1.152 | 27884930.226 | 0.095 | 1077889.138 | 102050.437 | 883918.815 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 1.152 | 21684726.829 | 0.074 | 1077889.138 | 79359.562 | 963278.376 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 1.152 | 15809233.248 | 0.054 | 1077889.138 | 57857.027 | 1021135.403 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 1.152 | 10212493.797 | 0.035 | 1077889.138 | 37374.648 | 1058510.051 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 1.152 | 5295268.771 | 0.018 | 1077889.138 | 19379.087 | 1077889.138 |
| TOTAL | | | | 294529493.37 | 1 | | 1077889.138 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.451}{8} = 0.306 \geq 0.11 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.451 \times 1.15}{8} = 0.123$$

$$V = 0.123 \times 11466905.73 \text{ kgf} = 1410429.404 \text{ kgf}$$

Tabla 24. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M11

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|-------|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 741775.058 | 1.056 | 27396359.487 | 0.123 | 1410429.404 | 174110.872 | 174110.872 |
| Piso 9 | 27.50 | 1190073.225 | 1.056 | 39401160.090 | 0.178 | 1410429.404 | 250404.450 | 424515.321 |
| Piso 8 | 24.50 | 1187405.225 | 1.056 | 34798325.066 | 0.157 | 1410429.404 | 221152.256 | 645667.577 |
| Piso 7 | 21.50 | 1190073.225 | 1.056 | 30382863.182 | 0.137 | 1410429.404 | 193090.866 | 838758.444 |
| Piso 6 | 18.50 | 1168865.525 | 1.056 | 25462315.479 | 0.115 | 1410429.404 | 161819.527 | 1000577.971 |
| Piso 5 | 15.50 | 1187688.665 | 1.056 | 21463121.545 | 0.097 | 1410429.404 | 136403.627 | 1136981.598 |
| Piso 4 | 12.50 | 1183210.665 | 1.056 | 17037232.470 | 0.077 | 1410429.404 | 108275.970 | 1245257.568 |
| Piso 3 | 9.50 | 1183210.665 | 1.056 | 12750822.577 | 0.057 | 1410429.404 | 81034.739 | 1326292.307 |
| Piso 2 | 6.50 | 1183210.665 | 1.056 | 8540800.552 | 0.038 | 1410429.404 | 54278.972 | 1380571.279 |
| Piso 1 | 3.50 | 1251392.810 | 1.056 | 4698178.469 | 0.021 | 1410429.404 | 29858.126 | 1410429.404 |
| TOTAL | | | | 221931178.92 | 1 | | 1410429.404 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 25. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M11

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 130081.520 | 150992.430 |
| Piso 9 | 282939.350 | 347090.340 |
| Piso 8 | 403895.330 | 514302.790 |
| Piso 7 | 503660.940 | 658414.710 |
| Piso 6 | 585935.100 | 778619.460 |
| Piso 5 | 656384.910 | 879592.610 |
| Piso 4 | 714270.600 | 958984.060 |
| Piso 3 | 759064.160 | 1016785.030 |
| Piso 2 | 789208.540 | 1052980.730 |
| Piso 1 | 804445.400 | 1069826.430 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el sub-ítem 29.4.1. del ítem 29.4. "Fuerza Cortante Mínima". del Artículo 29 "Análisis Dinámico Modal Espectral" de la Norma Sismorresistente del 2018.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|--------------------------------|-------------|---|--------|------------------|
| $V_{\text{estático } X}$ (kgf) | 1077889.138 | $V_{\text{dinámico } X} \geq 0.8V_{\text{estático } X}$ | 74.63% | NO CUMPLE |
| $V_{\text{dinámico } X}$ (kgf) | 804445.400 | | | |

- En la dirección Y-Y

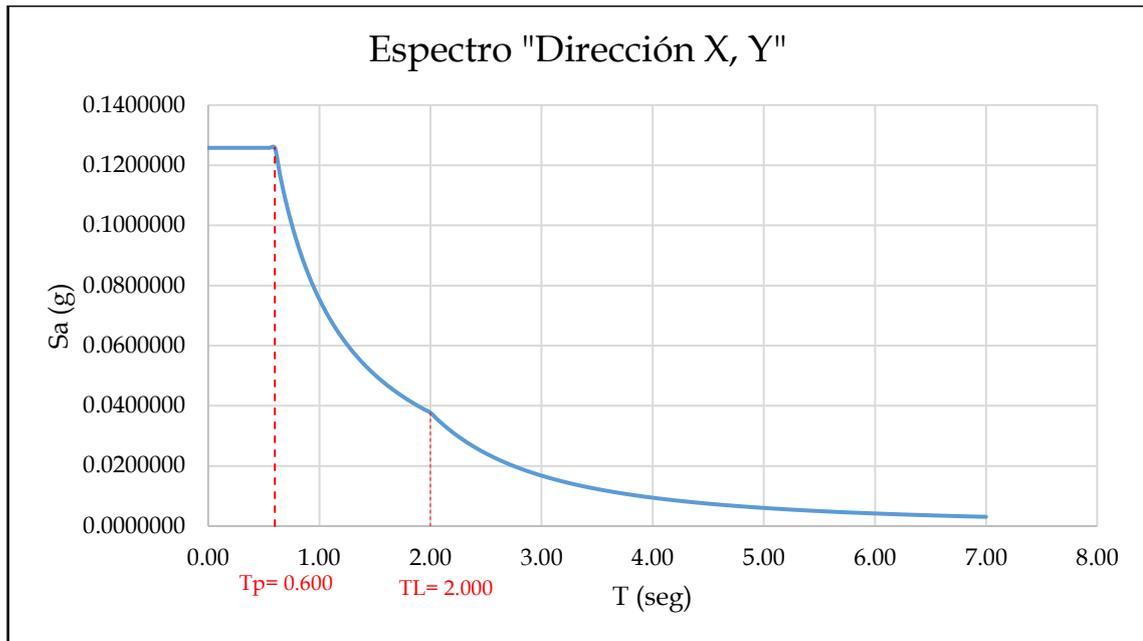
| | | | | |
|--------------------------------|-------------|---|--------|------------------|
| $V_{\text{estático } Y}$ (kgf) | 1410429.404 | $V_{\text{dinámico } Y} \geq 0.8V_{\text{estático } Y}$ | 75.85% | NO CUMPLE |
| $V_{\text{dinámico } Y}$ (kgf) | 1069826.430 | | | |

G. ESPECTRO SÍSMICO

Según el *sub-ítem 29.2.1.* del ítem 29.2. “*Aceleración Espectral*” del Artículo 29 “*Análisis Dinámico Modal Espectral*” de la Norma Sismorresistente del 2018.

- Espectro en la Dirección X-X y Y-Y

| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$ | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| 0.00 | 2.50 | 0.12578 | 1.50 | 1.00 | 0.05031 | 3.40 | 0.26 | 0.01306 | 5.30 | 0.11 | 0.00537 |
| 0.02 | 2.50 | 0.12578 | 1.55 | 0.97 | 0.04869 | 3.45 | 0.25 | 0.01268 | 5.35 | 0.10 | 0.00527 |
| 0.04 | 2.50 | 0.12578 | 1.60 | 0.94 | 0.04717 | 3.50 | 0.24 | 0.01232 | 5.40 | 0.10 | 0.00518 |
| 0.06 | 2.50 | 0.12578 | 1.65 | 0.91 | 0.04574 | 3.55 | 0.24 | 0.01198 | 5.45 | 0.10 | 0.00508 |
| 0.08 | 2.50 | 0.12578 | 1.70 | 0.88 | 0.04439 | 3.60 | 0.23 | 0.01165 | 5.50 | 0.10 | 0.00499 |
| 0.10 | 2.50 | 0.12578 | 1.75 | 0.86 | 0.04313 | 3.65 | 0.23 | 0.01133 | 5.55 | 0.10 | 0.00490 |
| 0.12 | 2.50 | 0.12578 | 1.80 | 0.83 | 0.04193 | 3.70 | 0.22 | 0.01103 | 5.60 | 0.10 | 0.00481 |
| 0.14 | 2.50 | 0.12578 | 1.85 | 0.81 | 0.04079 | 3.75 | 0.21 | 0.01073 | 5.65 | 0.09 | 0.00473 |
| 0.16 | 2.50 | 0.12578 | 1.90 | 0.79 | 0.03972 | 3.80 | 0.21 | 0.01045 | 5.70 | 0.09 | 0.00465 |
| 0.18 | 2.50 | 0.12578 | 1.95 | 0.77 | 0.03870 | 3.85 | 0.20 | 0.01018 | 5.75 | 0.09 | 0.00457 |
| 0.20 | 2.50 | 0.12578 | 2.00 | 0.75 | 0.03773 | 3.90 | 0.20 | 0.00992 | 5.80 | 0.09 | 0.00449 |
| 0.25 | 2.50 | 0.12578 | 2.05 | 0.71 | 0.03592 | 3.95 | 0.19 | 0.00967 | 5.85 | 0.09 | 0.00441 |
| 0.30 | 2.50 | 0.12578 | 2.10 | 0.68 | 0.03423 | 4.00 | 0.19 | 0.00943 | 5.90 | 0.09 | 0.00434 |
| 0.35 | 2.50 | 0.12578 | 2.15 | 0.65 | 0.03265 | 4.05 | 0.18 | 0.00920 | 5.95 | 0.08 | 0.00426 |
| 0.40 | 2.50 | 0.12578 | 2.20 | 0.62 | 0.03119 | 4.10 | 0.18 | 0.00898 | 6.00 | 0.08 | 0.00419 |
| 0.45 | 2.50 | 0.12578 | 2.25 | 0.59 | 0.02981 | 4.15 | 0.17 | 0.00876 | 6.05 | 0.08 | 0.00412 |
| 0.50 | 2.50 | 0.12578 | 2.30 | 0.57 | 0.02853 | 4.20 | 0.17 | 0.00856 | 6.10 | 0.08 | 0.00406 |
| 0.55 | 2.50 | 0.12578 | 2.35 | 0.54 | 0.02733 | 4.25 | 0.17 | 0.00836 | 6.15 | 0.08 | 0.00399 |
| 0.60 | 2.50 | 0.12578 | 2.40 | 0.52 | 0.02620 | 4.30 | 0.16 | 0.00816 | 6.20 | 0.08 | 0.00393 |
| 0.65 | 2.31 | 0.11611 | 2.45 | 0.50 | 0.02515 | 4.35 | 0.16 | 0.00798 | 6.25 | 0.08 | 0.00386 |
| 0.70 | 2.14 | 0.10781 | 2.50 | 0.48 | 0.02415 | 4.40 | 0.15 | 0.00780 | 6.30 | 0.08 | 0.00380 |
| 0.75 | 2.00 | 0.10063 | 2.55 | 0.46 | 0.02321 | 4.45 | 0.15 | 0.00762 | 6.35 | 0.07 | 0.00374 |
| 0.80 | 1.88 | 0.09434 | 2.60 | 0.44 | 0.02233 | 4.50 | 0.15 | 0.00745 | 6.40 | 0.07 | 0.00368 |
| 0.85 | 1.76 | 0.08879 | 2.65 | 0.43 | 0.02149 | 4.55 | 0.14 | 0.00729 | 6.45 | 0.07 | 0.00363 |
| 0.90 | 1.67 | 0.08385 | 2.70 | 0.41 | 0.02070 | 4.60 | 0.14 | 0.00713 | 6.50 | 0.07 | 0.00357 |
| 0.95 | 1.58 | 0.07944 | 2.75 | 0.40 | 0.01996 | 4.65 | 0.14 | 0.00698 | 6.55 | 0.07 | 0.00352 |
| 1.00 | 1.50 | 0.07547 | 2.80 | 0.38 | 0.01925 | 4.70 | 0.14 | 0.00683 | 6.60 | 0.07 | 0.00347 |
| 1.05 | 1.43 | 0.07188 | 2.85 | 0.37 | 0.01858 | 4.75 | 0.13 | 0.00669 | 6.65 | 0.07 | 0.00341 |
| 1.10 | 1.36 | 0.06861 | 2.90 | 0.36 | 0.01795 | 4.80 | 0.13 | 0.00655 | 6.70 | 0.07 | 0.00336 |
| 1.15 | 1.30 | 0.06563 | 2.95 | 0.34 | 0.01734 | 4.85 | 0.13 | 0.00642 | 6.75 | 0.07 | 0.00331 |
| 1.20 | 1.25 | 0.06289 | 3.00 | 0.33 | 0.01677 | 4.90 | 0.12 | 0.00629 | 6.80 | 0.06 | 0.00326 |
| 1.25 | 1.20 | 0.06038 | 3.05 | 0.32 | 0.01623 | 4.95 | 0.12 | 0.00616 | 6.85 | 0.06 | 0.00322 |
| 1.30 | 1.15 | 0.05805 | 3.10 | 0.31 | 0.01571 | 5.00 | 0.12 | 0.00604 | 6.90 | 0.06 | 0.00317 |
| 1.35 | 1.11 | 0.05590 | 3.15 | 0.30 | 0.01521 | 5.05 | 0.12 | 0.00592 | 6.95 | 0.06 | 0.00312 |
| 1.40 | 1.07 | 0.05391 | 3.20 | 0.29 | 0.01474 | 5.10 | 0.12 | 0.00580 | 7.00 | 0.06 | 0.00308 |
| 1.45 | 1.03 | 0.05205 | 3.25 | 0.28 | 0.01429 | 5.15 | 0.11 | 0.00569 | | | |
| | | | 3.30 | 0.28 | 0.01386 | 5.20 | 0.11 | 0.00558 | | | |
| | | | 3.35 | 0.27 | 0.01345 | 5.25 | 0.11 | 0.00548 | | | |



H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

Según el Artículo 32. "Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles" y el Artículo 31. "Determinación de Desplazamientos Laterales".

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 26. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.304 | 0.001051 | 0.006308 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.988 | 0.001123 | 0.006738 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.651 | 0.001211 | 0.007266 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.288 | 0.001290 | 0.007738 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.901 | 0.001338 | 0.008026 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.500 | 0.001336 | 0.008014 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.099 | 0.001266 | 0.007596 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.719 | 0.001109 | 0.006652 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.387 | 0.000841 | 0.005044 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.5 | 0.134 | 0.000384 | 0.002304 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 27. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.362 | 0.000609 | 0.003652 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.179 | 0.000687 | 0.004120 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.973 | 0.000784 | 0.004704 | 0.007 | CUMPLE |

Tabla 27. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 7 | 21.50 | 1.738 | 0.000879 | 0.005276 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.474 | 0.000954 | 0.005724 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.188 | 0.000992 | 0.005952 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.890 | 0.000977 | 0.005864 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.597 | 0.000891 | 0.005344 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.330 | 0.000705 | 0.004228 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.5 | 0.119 | 0.000339 | 0.002031 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 28. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M11

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.494 | 0.000796 | 0.004776 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.255 | 0.000849 | 0.005096 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.000 | 0.000914 | 0.005486 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.726 | 0.000972 | 0.005832 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.434 | 0.001007 | 0.006044 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.132 | 0.001006 | 0.006034 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.831 | 0.000954 | 0.005726 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.544 | 0.000837 | 0.005022 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.293 | 0.000637 | 0.003820 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.5 | 0.102 | 0.000292 | 0.001750 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 29. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M11

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.806 | 0.000468 | 0.002808 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.665 | 0.000527 | 0.003162 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.507 | 0.000601 | 0.003606 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.327 | 0.000673 | 0.004040 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.125 | 0.000730 | 0.004380 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.906 | 0.000758 | 0.004550 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.679 | 0.000746 | 0.004478 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.455 | 0.000679 | 0.004074 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.251 | 0.000536 | 0.003218 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.5 | 0.090 | 0.000257 | 0.001543 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M21

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M21*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS
 - B. SECCIONES OBTENIDAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018
 - B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
 - C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH
 - D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN
 - E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE
 - F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE
 - G. ESPECTRO SÍSMICO
 - H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

La estructura del *Modelo M21* pertenece al sistema estructural de pórticos, donde el 100% de los elementos resistentes a corte son columnas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M21* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente del 2018. El *Modelo M21* es un modelo ideal que se conseguirá luego de realizar iteraciones. Las iteraciones consisten en modificaciones de las áreas de elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, que en este *Modelo M21* son únicamente columnas. El método para la iteración consiste en la adición de un 10% del área de la columna por iteración, hasta que se obtenga el modelo ideal. En esta ficha se muestra los resultados obtenidos sólo del modelo ideal, obviando los resultados de las iteraciones.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido

secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.

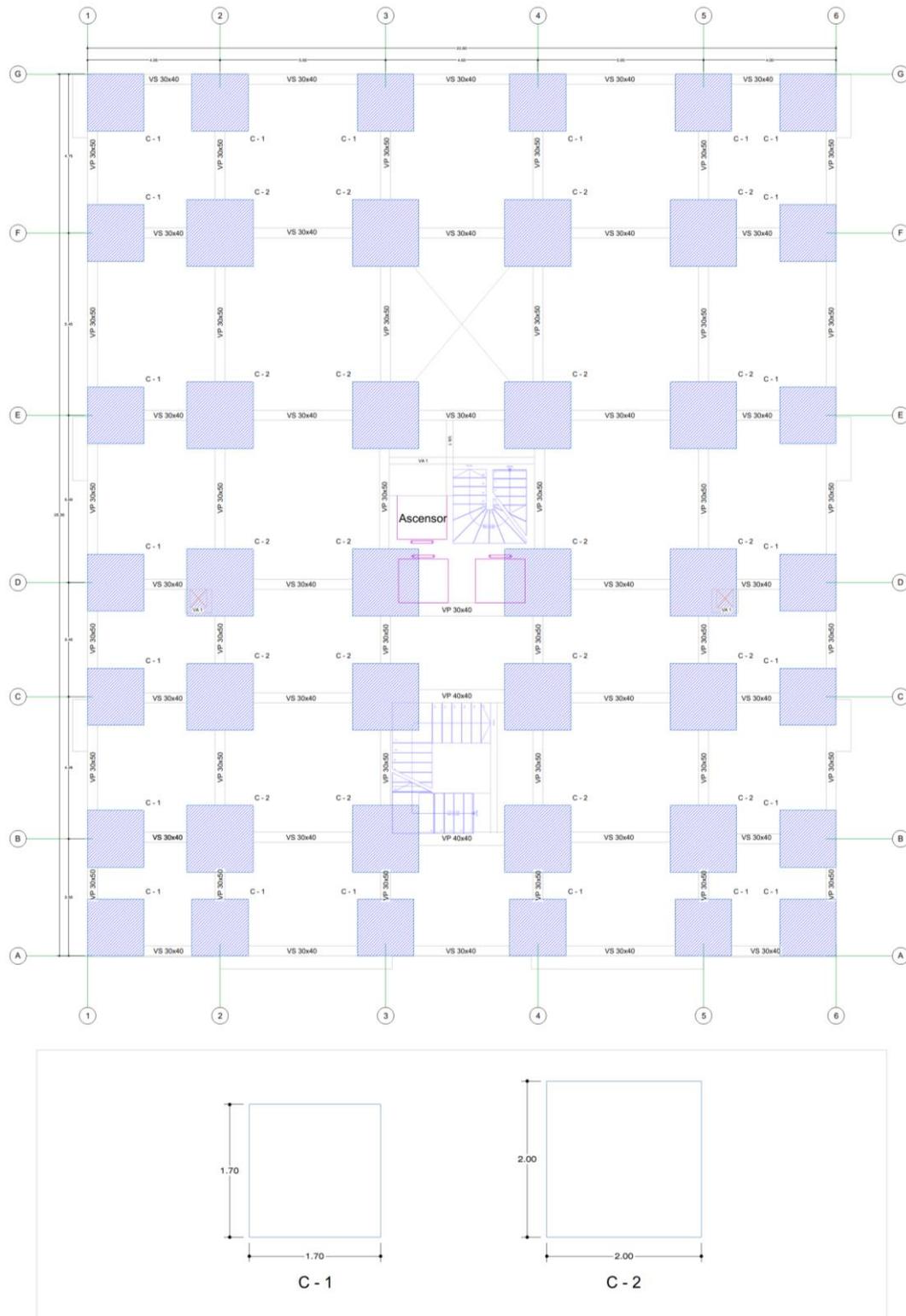


Figura 10. Estructuración modelo M21

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 30. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M21

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|---|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 30 \text{ cm}$ |
| d. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $E_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma E.020 Cargas. Las *Cargas Permanentes* consideran el peso propio de los elementos estructurales y la carga distribuida en losa que considera a la vez el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la *Carga Viva* se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas y de 500 kg/m² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas, se realizará el siguiente procedimiento:

- a) Predimensionamiento de las secciones de columnas po el Método Japonés.
- b) Modelamiento de la estructura en el programa ETABs v16.2.1, consignando las secciones de los otros elementos estructurales dados en el predimensionamiento, las propiedades de los materiales y las cargas dadas en la Norma E.020. Además de la Fuerza Cortante y el Espectro de Sísmico de Respuesta calculada para la iteración siguiendo los procedimientos de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.
- c) Verificación de derivas y los desplazamientos en base a los máximos permitidos por la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. Estos resultados además nos servirán para determinar si la estructura es regular, y de no serlo afectará en el cálculo de la Fuerza Cortante y Espectro Sísmico de Respuesta.
- d) Culminación de la prueba si cumple con los requerimientos dados por la Norma E030 del 2003, y en caso contrario se procede a variar la sección calculada de las columnas en un primer momento, aumentándola en un 10% del área.
- e) Se sigue los pasos del ítem b), c) y d) hasta que se cumplan los requerimientos dados por la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

B. SECCIONES OBTENIDAS

| Secciones predimensionadas por el Método Japonés. | | Secciones obtenidas para el <i>Modelo M21</i> , que corresponden al modelo ideal luego de realizar iteraciones. | |
|---|---------|---|---------|
| Columna | Sección | Columna | Sección |
| C1 | 40x40 | C1 | 170x170 |
| C2 | 40x50 | C2 | 200x200 |
| C3 | 50x70 | | |
| C4 | 50x85 | | |
| C5 | 50x60 | | |
| C6 | 50x50 | | |

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018

Tabla 31. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M21 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|--|--|
| 1. Zonificación, E.030-2018 (Art.10) | Zona Sísmica: 3 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno y distrito Puno. | $Z = 0.35$ |
| 2. Condiciones Geotécnicas, E.030-2018(Art.12) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios, que tiene las siguientes características: $V_s : 180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$ $N_{60}: 15 \text{ a } 50$ $S_u : 50 \text{ kPa a } 100 \text{ kPa}$ | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 \text{ s}$ $T_L = 2.0 \text{ s}$ |
| 3. Categoría de la Edificación y Factor de Uso(U), E.030 2018(Art.15) | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |

Tabla 31. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M21 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|---|------------------------|
| 4. Sistema Estructural y Restricciones de Irregularidad, E.030-2018(Art.16, Art.17 y Art.21) | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, no se permiten irregularidades extremas. | |
| 5. Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, E.030-2018(Art.18) | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: Pórticos | $R_o = 8$ |
| 6. Factores de Irregularidad (I_a y I_p) E.030-2018(Art.20) | Irregularidad en Altura, I_a : Ninguna Irregularidad en Planta, I_p : Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $I_a = 1$ $I_p = 1$ |
| 7. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R E.030-2018(Art.22) | $R_x = R_o \cdot I_a \cdot I_p$ | $R_x = 8$ |
| 8. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2018(Art.28-ítem 28.4) | Elementos resistentes en la dirección considerada: Pórticos de concreto armado sin muros de corte Coeficiente para estimar el periodo fundamental: $C_T = 35$ Altura total de la edificación: $h_n = 30.5 \text{ m}$ Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{35} = 0.871 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.871 \text{ s}$ |
| 9. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, E.030-2018(Art.28-ítem 28.3) | Exponente relacionado con el periodo fundamental: Para $T \leq 0.5 \text{ s}$, $k = 1.0$ Para $T > 0.5 \text{ s}$, $k = (0.75 + 0.5 T)$ $k = (0.75 + 0.5 \times 0.871)$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $k = 1.186$ |
| 10. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $T < T_p$, $C = 2.5$ $T_p < T < T_L$, $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ | $C = 1.721$ |

Tabla 31. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M21 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|---|-----------------------|
| | $T_L < T, C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$ $C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.871} \right) = 1.721$ (*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | |
| 11-. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018(Art.28-ítem 28.2) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.11$ $\frac{C}{R} = \frac{1.721}{8} = 0.215$ (*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.215$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_a se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando e Irregularidad Extrema de Rigidez

- En la Dirección X-X

Tabla 32. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M21

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.7$ | |
| Piso 10 | 193193.84 | 2.60 | 15.60 | 8.14 | 23721.06 | | | | | |
| Piso 9 | 483958.39 | 2.32 | 13.94 | 7.46 | 64896.40 | | | | | |
| Piso 8 | 739729.86 | 2.04 | 12.21 | 6.48 | 114155.84 | 1.76 | | 1.76 | | REGULAR |

Tabla 32. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M21

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|--------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1} > 0.7}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.8}$ | $\frac{k_i}{k_{i+1} > 0.6}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.7}$ | |
| | | | | | | Piso 7 | 961801.08 | 1.73 | 10.41 | |
| Piso 6 | 1147569.47 | 1.42 | 8.54 | 4.67 | 245553.45 | 1.46 | 2.12 | 1.46 | 2.12 | REGULAR |
| Piso 5 | 1302525.66 | 1.11 | 6.65 | 3.86 | 337144.91 | 1.37 | 1.92 | 1.37 | 1.92 | REGULAR |
| Piso 4 | 1424604.12 | 0.80 | 4.81 | 2.79 | 511380.62 | 1.52 | 2.04 | 1.52 | 2.04 | REGULAR |
| Piso 3 | 1514996.11 | 0.52 | 3.11 | 2.02 | 748811.84 | 1.46 | 2.05 | 1.46 | 2.05 | REGULAR |
| Piso 2 | 1574653.28 | 0.27 | 1.65 | 1.08 | 1455586.32 | 1.94 | 2.73 | 1.94 | 2.73 | REGULAR |
| Piso 1 | 1606874.70 | 0.09 | 0.56 | 0.56 | 2846040.91 | 1.96 | 3.14 | 1.96 | 3.14 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 33. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M21

| Piso | V_{yi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|--------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1} > 0.7}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.8}$ | $\frac{k_i}{k_{i+1} > 0.6}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.7}$ | |
| | | | | | | Piso 10 | 215277.30 | 1.68 | 10.11 | |
| Piso 9 | 541922.54 | 1.54 | 9.23 | 4.90 | 110591.92 | | | | | |
| Piso 8 | 831873.84 | 1.38 | 8.27 | 4.33 | 192269.64 | 1.74 | | 1.74 | | REGULAR |
| Piso 7 | 1086216.00 | 1.20 | 7.20 | 3.94 | 275801.34 | 1.43 | | 1.43 | | REGULAR |
| Piso 6 | 1301504.76 | 1.01 | 6.04 | 3.26 | 398818.64 | 1.45 | 2.07 | 1.45 | 2.07 | REGULAR |
| Piso 5 | 1483596.56 | 0.80 | 4.82 | 2.78 | 533475.93 | 1.34 | 1.85 | 1.34 | 1.85 | REGULAR |
| Piso 4 | 1629496.16 | 0.60 | 3.57 | 2.04 | 799478.05 | 1.50 | 1.99 | 1.50 | 1.99 | REGULAR |
| Piso 3 | 1739878.89 | 0.39 | 2.37 | 1.53 | 1134506.32 | 1.42 | 1.97 | 1.42 | 1.97 | REGULAR |
| Piso 2 | 1814932.48 | 0.22 | 1.29 | 0.83 | 2177744.76 | 1.92 | 2.65 | 1.92 | 2.65 | REGULAR |
| Piso 1 | 1857488.19 | 0.08 | 0.46 | 0.46 | 4052112.10 | 1.86 | 2.96 | 1.86 | 2.96 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

i.2. Irregularidad de Masa o Peso

Tabla 34. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M21

| Piso | Peso (kgf) | P_i/P_{i+1} | $P_i/P_{i+1} < 1.5$ |
|---------|-------------|---------------|---------------------|
| Piso 10 | 908901.458 | | |
| Piso 9 | 1532159.625 | | |
| Piso 8 | 1529491.625 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 1532159.625 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 1510951.925 | 0.99 | REGULAR |
| Piso 5 | 1529775.065 | 1.01 | REGULAR |
| Piso 4 | 1525297.065 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 3 | 1525297.065 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 1525297.065 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 1 | 1622639.210 | 1.06 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_p se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---------------------------------------|-------------|-------|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

ii.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 35. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M21

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/ D. Prom. | D. Max/ D. Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Piso 10 | 0.000984 | 0.005904 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000984 | 0.000860 | 0.000922 | 0.005532 | 1.07 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001030 | 0.006180 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001030 | 0.000893 | 0.000962 | 0.005769 | 1.07 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001084 | 0.006504 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001084 | 0.000930 | 0.001007 | 0.006042 | 1.08 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001127 | 0.006762 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001127 | 0.000957 | 0.001042 | 0.006252 | 1.08 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001145 | 0.006870 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001145 | 0.000961 | 0.001053 | 0.006318 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001121 | 0.006726 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001121 | 0.000932 | 0.001027 | 0.006159 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001043 | 0.006258 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001043 | 0.000859 | 0.000951 | 0.005706 | 1.10 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000898 | 0.005388 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000898 | 0.000731 | 0.000815 | 0.004887 | 1.10 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000669 | 0.004014 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000669 | 0.000538 | 0.000604 | 0.003621 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000301 | 0.001806 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000301 | 0.000239 | 0.000270 | 0.001620 | 1.11 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 36. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M21

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Límite | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/ D. Prom. | D. Max/ D. Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Piso 10 | 0.000538 | 0.003228 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000444 | 0.000535 | 0.000471 | 0.002826 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000587 | 0.003522 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000485 | 0.000584 | 0.000536 | 0.003216 | 1.10 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000649 | 0.003894 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000534 | 0.000646 | 0.000617 | 0.003702 | 1.05 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000708 | 0.004248 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000581 | 0.000705 | 0.000695 | 0.004170 | 1.02 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000751 | 0.004506 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000614 | 0.000747 | 0.000757 | 0.004542 | 0.99 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.000765 | 0.004590 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000624 | 0.000762 | 0.000789 | 0.004734 | 0.97 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.000740 | 0.004440 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000602 | 0.000736 | 0.000779 | 0.004674 | 0.95 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000661 | 0.003966 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000537 | 0.000658 | 0.000711 | 0.004266 | 0.93 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000513 | 0.003078 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000415 | 0.000510 | 0.000565 | 0.003390 | 0.91 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000241 | 0.001446 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000196 | 2.41E-04 | 0.000272 | 0.001632 | 0.89 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii.2. Esquinas Entrantes

La estructura presenta dos esquinas entrantes mínimas en la fachada principal, en la dirección X-X con una longitud de 4.6 m que representa el 20% de la longitud total, y en la dirección Y-Y con una longitud de 0.35 m que representa el 1.3% de la longitud total. En ambas direcciones no existe este tipo de irregularidad ya que no supera el 20% de la longitud, tal como indica la Norma.

ii.3. Discontinuidad del diafragma

El área total de los espacios vacíos en la edificación es de 49.42 m² que representa el 9.40 % del área total que es 526.015 m². Por lo tanto, no presenta este tipo de irregularidad, ya que no supera el 50% del área bruta.

Finalmente, el ítem 20.3 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)”, de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que si al aplicar las Tablas N° 8 y 9 se obtuvieron valores distintos de los factores I_a o I_p para las dos direcciones de análisis, se toma para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

De acuerdo a la investigación se considera como periodo inicial el obtenido en la Tabla 31, donde $T=0.871s$. El que se obtuvo del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018. Considerando que el coeficiente para estimar el periodo fundamental es $C_T = 35$, el que corresponde a edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean pórticos de concreto armado sin muros de corte, por otro lado la altura del edificio es de $h_n = 30.5 m$; con estos datos:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{35} = 0.871 s$$

En el sub-ítem 28.4.2. del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28 “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, menciona que, para determinar el periodo fundamental de vibración para cada dirección, alternativamente puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i)}}$$

Donde:

f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

d_i es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros de planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calculan suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando secciones sin fisurar.

Además, el sub-ítem 28.4.3. del mismo artículo menciona que cuando el análisis no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental T se toma como 0.85 del valor obtenido en la fórmula precedente.

- Periodo fundamental en la dirección X-X

Tabla 37. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M21

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 908901.458 | 193193.836 | 2.600 | 6145591.821 | 502361.932 |
| Piso 9 | 27.50 | 1532159.625 | 290764.550 | 2.323 | 8267325.591 | 675416.972 |
| Piso 8 | 24.50 | 1529491.625 | 255771.475 | 2.035 | 6336459.212 | 520597.260 |
| Piso 7 | 21.50 | 1532159.625 | 222071.215 | 1.734 | 4608424.342 | 385138.109 |
| Piso 6 | 18.50 | 1510951.925 | 185768.396 | 1.423 | 3058710.397 | 264311.274 |
| Piso 5 | 15.50 | 1529775.065 | 154956.190 | 1.108 | 1878727.833 | 171722.450 |
| Piso 4 | 12.50 | 1525297.065 | 122078.460 | 0.802 | 979854.266 | 97845.885 |
| Piso 3 | 9.50 | 1525297.065 | 90391.985 | 0.518 | 408484.087 | 46777.852 |
| Piso 2 | 6.50 | 1525297.065 | 59657.178 | 0.274 | 114847.792 | 16369.930 |
| Piso 1 | 3.50 | 1622639.210 | 32221.416 | 0.094 | 14368.162 | 3032.035 |
| TOTAL | | 14741969.728 | 1606874.700 | | 31812793.503 | 2683573.700 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.691 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.587 \text{ s}$$

- Periodo fundamental en la dirección Y-Y

Tabla 38. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M21

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 908901.458 | 215277.295 | 1.685 | 2579963.177 | 362699.187 |
| Piso 9 | 27.50 | 1532159.625 | 326645.243 | 1.538 | 3623295.269 | 502315.055 |
| Piso 8 | 24.50 | 1529491.625 | 289951.306 | 1.378 | 2902219.918 | 399407.924 |
| Piso 7 | 21.50 | 1532159.625 | 254342.157 | 1.200 | 2207413.153 | 305286.891 |
| Piso 6 | 18.50 | 1510951.925 | 215288.757 | 1.007 | 1533396.753 | 216881.893 |
| Piso 5 | 15.50 | 1529775.065 | 182091.801 | 0.803 | 986904.155 | 146256.134 |
| Piso 4 | 12.50 | 1525297.065 | 145899.601 | 0.595 | 540537.962 | 86854.032 |
| Piso 3 | 9.50 | 1525297.065 | 110382.727 | 0.395 | 237382.364 | 43545.986 |
| Piso 2 | 6.50 | 1525297.065 | 75053.596 | 0.215 | 70703.757 | 16159.039 |
| Piso 1 | 3.50 | 1622639.210 | 42555.704 | 0.076 | 9471.280 | 3251.256 |
| TOTAL | | 14741969.728 | 1857488.186 | | 14691287.788 | 2082657.397 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.533 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.453 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.871 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X :0.691 s Dirección Y-Y :0.533 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.69s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa, de un 69.69%; y en la dirección "Y" se obtiene un valor de 0.533s

correspondiente al segundo modo de vibración, con una masa de participación de 72.43%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Según el sub-ítem b) del Artículo 26. *Estimación del Peso* de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación, para edificaciones de la categoría C, el 25% de la carga viva. Además, según el ítem d) del mismo artículo, en azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 39. *Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M21*

| Entre piso | Altura (m) | Peso de Columnas (kgf) | Peso de vigas (kgf) | Peso de muros (kgf) | Peso de losa (kgf) | Peso de escalera (kgf) | Peso de Tanque Elevado (kgf) | Peso Total CM (kgf) | Peso Total CV (kgf) | Peso Total CM+0.25CV (kgf) |
|--------------|------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| 1 | 3.25 | 1119924.00 | 64990.66 | 195801.04 | 210406.00 | 5216.76 | | 1596338.46 | 105203.00 | 1622639.21 |
| 2 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1498996.32 | 105203.00 | 1525297.07 |
| 3 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1498996.32 | 105203.00 | 1525297.07 |
| 4 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1498996.32 | 105203.00 | 1525297.07 |
| 5 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 1503474.32 | 105203.00 | 1529775.07 |
| 6 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 170261.76 | 210406.00 | 5216.76 | | 1484651.18 | 105203.00 | 1510951.93 |
| 7 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1505858.88 | 105203.00 | 1532159.63 |
| 8 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 188801.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1503190.88 | 105203.00 | 1529491.63 |
| 9 | 3.00 | 1033776.00 | 64990.66 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1505858.88 | 105203.00 | 1532159.63 |
| 10 | 1.50 | 516888.00 | 64990.66 | 87196.48 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 889175.90 | 78902.25 | 908901.46 |
| TOTAL | | 10510056.0 | 649906.6 | 1763427.2 | 2104060.0 | 52167.6 | 8956.00 | 14485537.4 | 1025729.2 | 14741969.73 |

Fuente: *Elaborado por el equipo de trabajo*

E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el sub-ítem 28.2.1. del ítem 28.2. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Además, en el sub-ítem 28.2.2. del mismo artículo, menciona que el valor de C/R no deberá considerarse menor que: $C/R \geq 0.11$.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M21 se encuentran en la Tabla 31.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{2.174}{8} = 0.272 \geq 0.11$$

$$\frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.174 \times 1.15}{8} = 0.109$$

$$V = 0.109 \times 14741969.73 \text{ kgf} = 1606874.700 \text{ kgf}$$

Tabla 40. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M21

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|-------|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 908901.458 | 1.095 | 38355277.034 | 0.120 | 1606874.700 | 193193.836 | 193193.836 |
| Piso 9 | 27.50 | 1532159.625 | 1.095 | 57726245.698 | 0.181 | 1606874.700 | 290764.550 | 483958.386 |
| Piso 8 | 24.50 | 1529491.625 | 1.095 | 50778979.149 | 0.159 | 1606874.700 | 255771.475 | 739729.861 |
| Piso 7 | 21.50 | 1532159.625 | 1.095 | 44088378.592 | 0.138 | 1606874.700 | 222071.215 | 961801.076 |
| Piso 6 | 18.50 | 1510951.925 | 1.095 | 36881084.991 | 0.116 | 1606874.700 | 185768.396 | 1147569.472 |
| Piso 5 | 15.50 | 1529775.065 | 1.095 | 30763857.233 | 0.096 | 1606874.700 | 154956.190 | 1302525.662 |
| Piso 4 | 12.50 | 1525297.065 | 1.095 | 24236555.550 | 0.076 | 1606874.700 | 122078.460 | 1424604.122 |
| Piso 3 | 9.50 | 1525297.065 | 1.095 | 17945756.984 | 0.056 | 1606874.700 | 90391.985 | 1514996.107 |
| Piso 2 | 6.50 | 1525297.065 | 1.095 | 11843895.315 | 0.037 | 1606874.700 | 59657.178 | 1574653.285 |
| Piso 1 | 3.50 | 1622639.210 | 1.095 | 6397001.827 | 0.020 | 1606874.700 | 32221.416 | 1606874.700 |
| TOTAL | | | | 319017032.37 | 1 | | 1606874.700 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.500}{8} = 0.313 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.500 \times 1.15}{8} = 0.126$$

$$V = 0.126 \times 14741969.73 \text{ kgf} = 1857488.186 \text{ kgf}$$

Tabla 41. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M21

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|-------|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 908901.458 | 1.017 | 29329697.686 | 0.116 | 1857488.186 | 215277.295 | 215277.295 |
| Piso 9 | 27.50 | 1532159.625 | 1.017 | 44502632.001 | 0.176 | 1857488.186 | 326645.243 | 541922.538 |
| Piso 8 | 24.50 | 1529491.625 | 1.017 | 39503395.607 | 0.156 | 1857488.186 | 289951.306 | 831873.844 |
| Piso 7 | 21.50 | 1532159.625 | 1.017 | 34651952.329 | 0.137 | 1857488.186 | 254342.157 | 1086216.001 |
| Piso 6 | 18.50 | 1510951.925 | 1.017 | 29331259.231 | 0.116 | 1857488.186 | 215288.757 | 1301504.758 |
| Piso 5 | 15.50 | 1529775.065 | 1.017 | 24808456.739 | 0.098 | 1857488.186 | 182091.801 | 1483596.558 |
| Piso 4 | 12.50 | 1525297.065 | 1.017 | 19877577.840 | 0.079 | 1857488.186 | 145899.601 | 1629496.159 |
| Piso 3 | 9.50 | 1525297.065 | 1.017 | 15038706.354 | 0.059 | 1857488.186 | 110382.727 | 1739878.887 |
| Piso 2 | 6.50 | 1525297.065 | 1.017 | 10225413.085 | 0.040 | 1857488.186 | 75053.596 | 1814932.482 |
| Piso 1 | 3.50 | 1622639.210 | 1.017 | 5797852.110 | 0.023 | 1857488.186 | 42555.704 | 1857488.186 |
| TOTAL | | | | 253066942.98 | 1 | | 1857488.186 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La fuerza sísmica vertical, en el análisis estático se considera como una fracción del peso igual a 2/3 Z.U.S., tal como lo indica la el sub-ítem 28.6.1. del ítem 28.6. “Fuerzas Sísmicas Verticales” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Con respecto a la excentricidad accidental, el sub-ítem a) del ítem 28.5. “Excentricidad Accidental” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de

la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, menciona que en el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), que se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, valor que se empleará para calcular un momento torsor accidental (M_{ti}) el que se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De la misma forma se usará esta excentricidad accidental de 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, para el cálculo de un momento torsor accidental en el análisis dinámico, así como lo menciona el ítem 29.5 *Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)* del Artículo 29. *Análisis Dinámico Espectral* de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Tabla 42. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M21

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 180499.140 | 192592.240 |
| Piso 9 | 409069.560 | 452042.550 |
| Piso 8 | 592067.540 | 670283.100 |
| Piso 7 | 743084.690 | 856157.560 |
| Piso 6 | 866912.780 | 1010459.410 |
| Piso 5 | 970459.280 | 1138740.490 |
| Piso 4 | 1053259.060 | 1239184.170 |
| Piso 3 | 1115320.970 | 1312082.910 |
| Piso 2 | 1155747.050 | 1357699.980 |
| Piso 1 | 1175712.550 | 1379182.600 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el sub-ítem 29.4.1. del ítem 29.4. “Fuerza Cortante Mínima”. del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente del 2018, menciona para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Además, el sub-ítem 29.4.2. del mismo artículo menciona que si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados, excepto los desplazamientos.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático X} (kgf)$ | 1606874.700 | $V_{dinámico X} \geq 0.8V_{estático X}$ | 73.17% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico X} (kgf)$ | 1175712.550 | | | |

- En la dirección Y-Y

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático Y} (kgf)$ | 1857488.186 | $V_{dinámico Y} \geq 0.8V_{estático Y}$ | 74.25% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y} (kgf)$ | 1379182.600 | | | |

G. ESPECTRO SÍSMICO

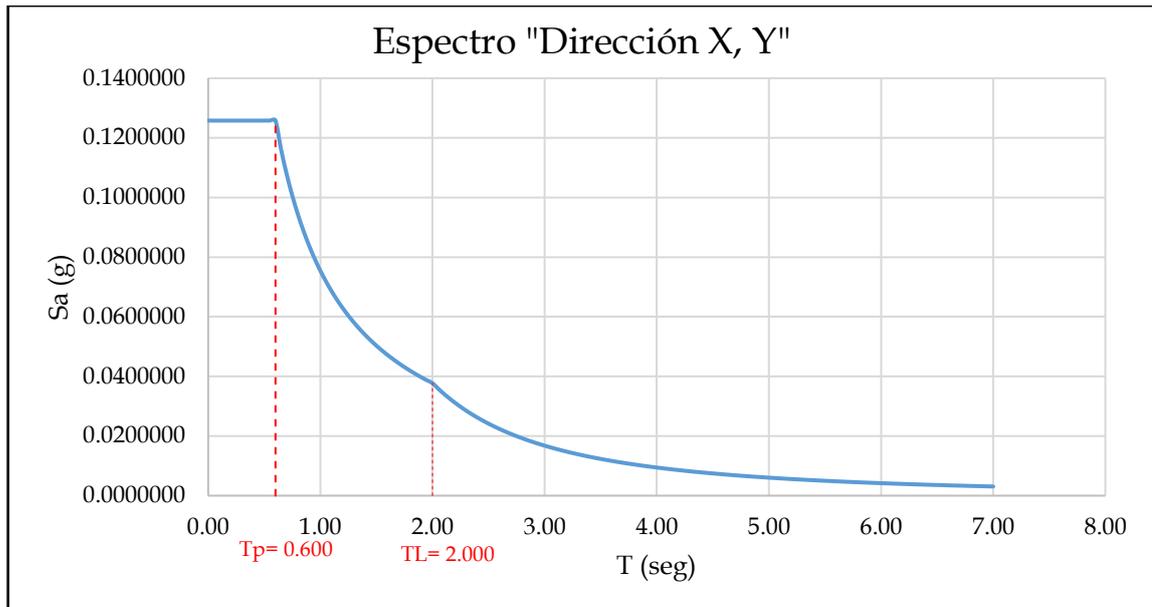
En el *sub-ítem 29.2.1.* del *ítem 29.2.* “Aceleración Espectral” del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente del 2018, menciona que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

En el *sub-ítem 29.2.2.* del mismo artículo, menciona que para el análisis en la dirección vertical puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, definidos en el artículo 14, excepto para la zona de periodos muy cortos ($T < 0.2 T_p$).

- Espectro en la Dirección X-X y Y-Y

| T (s) | C _x | S _a = $\frac{ZUCS}{R} \cdot g$ | | | | | | | | | |
|-------|----------------|--|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| 0.00 | 2.50 | 0.12578 | 1.45 | 1.03 | 0.05205 | 3.35 | 0.27 | 0.01345 | 5.25 | 0.11 | 0.00548 |
| 0.02 | 2.50 | 0.12578 | 1.50 | 1.00 | 0.05031 | 3.40 | 0.26 | 0.01306 | 5.30 | 0.11 | 0.00537 |
| 0.04 | 2.50 | 0.12578 | 1.55 | 0.97 | 0.04869 | 3.45 | 0.25 | 0.01268 | 5.35 | 0.10 | 0.00527 |
| 0.06 | 2.50 | 0.12578 | 1.60 | 0.94 | 0.04717 | 3.50 | 0.24 | 0.01232 | 5.40 | 0.10 | 0.00518 |
| 0.08 | 2.50 | 0.12578 | 1.65 | 0.91 | 0.04574 | 3.55 | 0.24 | 0.01198 | 5.45 | 0.10 | 0.00508 |
| 0.10 | 2.50 | 0.12578 | 1.70 | 0.88 | 0.04439 | 3.60 | 0.23 | 0.01165 | 5.50 | 0.10 | 0.00499 |
| 0.12 | 2.50 | 0.12578 | 1.75 | 0.86 | 0.04313 | 3.65 | 0.23 | 0.01133 | 5.55 | 0.10 | 0.00490 |
| 0.14 | 2.50 | 0.12578 | 1.80 | 0.83 | 0.04193 | 3.70 | 0.22 | 0.01103 | 5.60 | 0.10 | 0.00481 |
| 0.16 | 2.50 | 0.12578 | 1.85 | 0.81 | 0.04079 | 3.75 | 0.21 | 0.01073 | 5.65 | 0.09 | 0.00473 |
| 0.18 | 2.50 | 0.12578 | 1.90 | 0.79 | 0.03972 | 3.80 | 0.21 | 0.01045 | 5.70 | 0.09 | 0.00465 |
| 0.20 | 2.50 | 0.12578 | 1.95 | 0.77 | 0.03870 | 3.85 | 0.20 | 0.01018 | 5.75 | 0.09 | 0.00457 |
| 0.25 | 2.50 | 0.12578 | 2.00 | 0.75 | 0.03773 | 3.90 | 0.20 | 0.00992 | 5.80 | 0.09 | 0.00449 |
| 0.30 | 2.50 | 0.12578 | 2.05 | 0.71 | 0.03592 | 3.95 | 0.19 | 0.00967 | 5.85 | 0.09 | 0.00441 |
| 0.35 | 2.50 | 0.12578 | 2.10 | 0.68 | 0.03423 | 4.00 | 0.19 | 0.00943 | 5.90 | 0.09 | 0.00434 |
| 0.40 | 2.50 | 0.12578 | 2.15 | 0.65 | 0.03265 | 4.05 | 0.18 | 0.00920 | 5.95 | 0.08 | 0.00426 |
| 0.45 | 2.50 | 0.12578 | 2.20 | 0.62 | 0.03119 | 4.10 | 0.18 | 0.00898 | 6.00 | 0.08 | 0.00419 |
| 0.50 | 2.50 | 0.12578 | 2.25 | 0.59 | 0.02981 | 4.15 | 0.17 | 0.00876 | 6.05 | 0.08 | 0.00412 |
| 0.55 | 2.50 | 0.12578 | 2.30 | 0.57 | 0.02853 | 4.20 | 0.17 | 0.00856 | 6.10 | 0.08 | 0.00406 |
| 0.60 | 2.50 | 0.12578 | 2.35 | 0.54 | 0.02733 | 4.25 | 0.17 | 0.00836 | 6.15 | 0.08 | 0.00399 |
| 0.65 | 2.31 | 0.11611 | 2.40 | 0.52 | 0.02620 | 4.30 | 0.16 | 0.00816 | 6.20 | 0.08 | 0.00393 |
| 0.70 | 2.14 | 0.10781 | 2.45 | 0.50 | 0.02515 | 4.35 | 0.16 | 0.00798 | 6.25 | 0.08 | 0.00386 |
| 0.75 | 2.00 | 0.10063 | 2.50 | 0.48 | 0.02415 | 4.40 | 0.15 | 0.00780 | 6.30 | 0.08 | 0.00380 |
| 0.80 | 1.88 | 0.09434 | 2.55 | 0.46 | 0.02321 | 4.45 | 0.15 | 0.00762 | 6.35 | 0.07 | 0.00374 |
| 0.85 | 1.76 | 0.08879 | 2.60 | 0.44 | 0.02233 | 4.50 | 0.15 | 0.00745 | 6.40 | 0.07 | 0.00368 |
| 0.90 | 1.67 | 0.08385 | 2.65 | 0.43 | 0.02149 | 4.55 | 0.14 | 0.00729 | 6.45 | 0.07 | 0.00363 |
| 0.95 | 1.58 | 0.07944 | 2.70 | 0.41 | 0.02070 | 4.60 | 0.14 | 0.00713 | 6.50 | 0.07 | 0.00357 |
| 1.00 | 1.50 | 0.07547 | 2.75 | 0.40 | 0.01996 | 4.65 | 0.14 | 0.00698 | 6.55 | 0.07 | 0.00352 |
| 1.05 | 1.43 | 0.07188 | 2.80 | 0.38 | 0.01925 | 4.70 | 0.14 | 0.00683 | 6.60 | 0.07 | 0.00347 |
| 1.10 | 1.36 | 0.06861 | 2.85 | 0.37 | 0.01858 | 4.75 | 0.13 | 0.00669 | 6.65 | 0.07 | 0.00341 |
| 1.15 | 1.30 | 0.06563 | 2.90 | 0.36 | 0.01795 | 4.80 | 0.13 | 0.00655 | 6.70 | 0.07 | 0.00336 |
| 1.20 | 1.25 | 0.06289 | 2.95 | 0.34 | 0.01734 | 4.85 | 0.13 | 0.00642 | 6.75 | 0.07 | 0.00331 |
| 1.25 | 1.20 | 0.06038 | 3.00 | 0.33 | 0.01677 | 4.90 | 0.12 | 0.00629 | 6.80 | 0.06 | 0.00326 |
| 1.30 | 1.15 | 0.05805 | 3.05 | 0.32 | 0.01623 | 4.95 | 0.12 | 0.00616 | 6.85 | 0.06 | 0.00322 |
| 1.35 | 1.11 | 0.05590 | 3.10 | 0.31 | 0.01571 | 5.00 | 0.12 | 0.00604 | 6.90 | 0.06 | 0.00317 |
| 1.40 | 1.07 | 0.05391 | 3.15 | 0.30 | 0.01521 | 5.05 | 0.12 | 0.00592 | 6.95 | 0.06 | 0.00312 |
| | | | 3.20 | 0.29 | 0.01474 | 5.10 | 0.12 | 0.00580 | 7.00 | 0.06 | 0.00308 |
| | | | 3.25 | 0.28 | 0.01429 | 5.15 | 0.11 | 0.00569 | | | |
| | | | 3.30 | 0.28 | 0.01386 | 5.20 | 0.11 | 0.00558 | | | |



H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

En el Artículo 32. “Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, indica que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el Artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N°11.

En el ítem 31.1. del Artículo 31 “Determinación de Desplazamientos Laterales” menciona que, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75 R los resultados obtenido del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.85 R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Además, en el ítem 31.2. del mismo artículo señala Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se consideran los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 28.2 ni el cortante mínimo en la base en el numeral 29.4.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 43. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M21

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.836 | 0.000984 | 0.005906 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.541 | 0.001030 | 0.006180 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.232 | 0.001084 | 0.006502 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.907 | 0.001127 | 0.006764 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.568 | 0.001145 | 0.006868 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.225 | 0.001121 | 0.006726 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.889 | 0.001043 | 0.006260 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.576 | 0.000898 | 0.005386 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.306 | 0.000669 | 0.004016 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.106 | 0.000301 | 0.001809 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 44. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M21

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.850 | 0.000535 | 0.003212 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.689 | 0.000584 | 0.003506 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.514 | 0.000646 | 0.003878 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.320 | 0.000705 | 0.004228 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.108 | 0.000747 | 0.004484 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.884 | 0.000762 | 0.004570 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.656 | 0.000736 | 0.004418 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.435 | 0.000658 | 0.003946 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.237 | 0.000510 | 0.003062 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.084 | 0.000241 | 0.001445 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 45. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M21

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.138 | 0.000749 | 0.004492 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.913 | 0.000782 | 0.004694 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.678 | 0.000821 | 0.004928 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.432 | 0.000852 | 0.005112 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.176 | 0.000862 | 0.005174 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.918 | 0.000842 | 0.005054 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.665 | 0.000782 | 0.004692 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.430 | 0.000672 | 0.004030 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.229 | 0.000500 | 0.003000 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.079 | 0.000225 | 0.001351 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 46. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M21

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.408 | 0.000413 | 0.002476 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.284 | 0.000450 | 0.002698 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.149 | 0.000496 | 0.002976 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.001 | 0.000539 | 0.003236 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 0.839 | 0.000570 | 0.003420 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.668 | 0.000579 | 0.003472 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.494 | 0.000557 | 0.003342 | 0.007 | CUMPLE |



Tabla 46. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M21

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 3 | 9.50 | 0.327 | 0.000496 | 0.002978 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.178 | 0.000383 | 0.002300 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.063 | 0.000180 | 0.001082 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M12

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M12*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE COLUMNAS Y PLACAS
 - B. SECCIONES OBTENIDAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018
 - B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
 - C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH
 - D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN
 - E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL
 - F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE
 - G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE
 - H. ESPECTRO SÍSMICO
 - I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO M12

La estructura de este modelo pertenece al sistema estructural dual, donde el A% de los elementos resistentes a corte son placas y el B% son columnas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M12* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente del 2003. El *Modelo M12* es un modelo ideal que se conseguirá luego de realizar iteraciones. Las iteraciones consisten en modificaciones de las áreas de elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, que en este *Modelo M12* son columnas y placas. El método para la iteración consiste en la adición de un 10% del área de la columna y otro porcentaje del área de la placa según sea conveniente, hasta que se obtenga el modelo ideal. En esta ficha se muestra los resultados obtenidos sólo del modelo ideal, obviando los resultados de las iteraciones.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la Norma Sismorresistente del 2003.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un

primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.

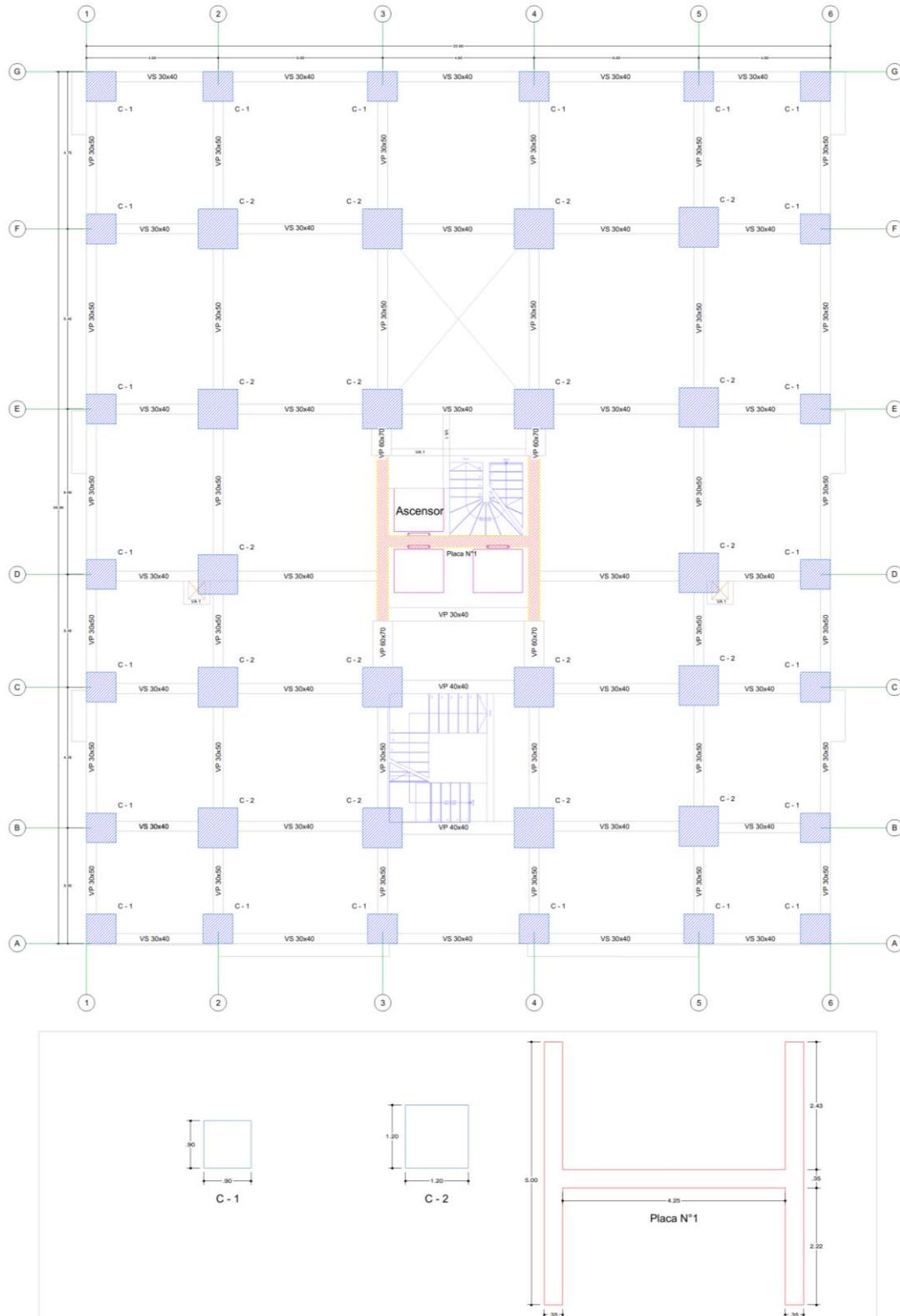


Figura 11. Estructuración modelo M12

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 47. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M12

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|---|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ m}$ |
| d. PLACAS | $b_{\text{minplaca}} = 25 \text{ cm}$ |
| e. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $E_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma E.020 Cargas. Las *Cargas Permanentes* consideran el peso propio de los elementos estructurales y la carga distribuida en losa que considera a la vez el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la *Carga Viva* se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas y de 500 kg/m² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas y placas, se realizará el siguiente procedimiento:

- Predimensionamiento de las secciones de columnas por el Método Japonés y placas verificando los espesores mínimos y límites de esbeltez.
- Modelamiento de la estructura en el programa ETABs v16.2.1., consignando las secciones de los otros elementos estructurales dados en el predimensionamiento, las propiedades de los materiales y las cargas dadas en la Norma E.020. Además de la Fuerza Cortante y el Espectro de Sísmico de Respuesta calculada para la iteración siguiendo los procedimientos de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.
- Verificación de derivas y los desplazamientos en base a los máximos permitidos por la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. Estos resultados además nos servirán para determinar si la estructura es regular, y de no serlo afectará en el cálculo de la Fuerza Cortante y Espectro Sísmico de Respuesta.
- Culminación de la prueba si cumple con los requerimientos dados por la Norma E030 del 2003, y en caso contrario se procede a variar la sección calculada en un primer momento, aumentándola en un 10% en columnas y otro porcentaje en placas según sea conveniente.
- Se sigue los pasos del ítem b), c) y d) hasta que se cumplan los requerimientos dados por la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

B. SECCIONES OBTENIDAS

| Secciones predimensionadas por el Método Japonés | | Secciones obtenidas para el <i>Modelo M12</i> , que corresponden al modelo ideal luego de realizar iteraciones | |
|--|---------|--|----------------|
| Columna | Sección | Columna | Sección |
| C1 | 40x40 | C1 | 90x90 |
| C2 | 40x50 | C2 | 120x120 |
| C3 | 50x70 | P1 | e=35, L=5.00 m |
| C4 | 50x85 | P2 | e=35, L=4.25 m |
| C5 | 50x60 | | |
| C6 | 50x50 | | |

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA E.030 DEL 2003

Tabla 48. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M12 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|---|-----------------------------|
| 1. Zonificación, E.030-2003(Art.5) | Zona Sísmica: 2 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno. | $Z = 0.30$ |
| 2. Condiciones Locales, E.030-2003(Art.6) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S1: Suelos Intermedios: | $S = 1.20$ $T_p = 0.6 s$ |

Tabla 48. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M12 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|--|-----------------------|
| 3. Categoría de las Edificaciones, E.030-2003(Art.10) | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones, E.030-2003(Art.13) | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 2, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 2, regular o irregular. | |
| 5. Configuración Estructural, E.030-2003(Art.11) | Irregularidad en Altura: Ninguna Irregularidad en Planta: Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | Regular |
| 6. Sistemas Estructurales, E.030-2003(Art.12) | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: Dual (* Si la estructura es irregular se multiplica R_o por $\frac{3}{4}$. | $R_o = 7$ |
| 7. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2003(Art.17-ítem 17.2) | Elementos resistentes en la dirección considerada: Edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras. Coeficiente para estimar el periodo fundamental: $C_T = 45$ Altura total de la edificación: $h_n = 30.5 \text{ m}$ Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{45} = 0.678 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.678 \text{ s}$ |
| 8. Factor de Amplificación Sísmica, E.030-2003(Art.7) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right); C \leq 2.5$ $C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.678}\right) = 2.212$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 2.212$ |
| 9. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2003(Art.17-ítem 17.3) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ | $\frac{C}{R} = 0.316$ |

Tabla 48. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M12 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|-------------|---|--------|
| | <p>El valor de C/R no deberá considerarse mayor que:</p> $\frac{C}{R} \geq 0.125$ $\frac{C}{R} = \frac{2.212}{7} = 0.316$ <p>(*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración.</p> | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el Artículo 11. "Configuración estructural" de la Norma Sismorresistente E030 del 2003, las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis y los valores apropiados del factor de reducción de fuerza sísmica (Tabla N° 6).

Además, el Artículo 12. "Sistemas Estructurales" de la misma norma menciona que para estructuras irregulares, los valores de R deben ser tomados como $\frac{3}{4}$ de los anotados en la Tabla N°6.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---|-------------|----|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidad de Masa | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.4. Discontinuidad en los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez-Piso blando

Las sumatoria de áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte de un entrepiso, columnas y muros, es igual a las sumatoria de área del piso adyacente, ya que todos los elementos se extienden del primer nivel al último nivel.

i.2. Irregularidad de masa

Tabla 49. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M12

| Piso | Peso (kgf) | P_i/P_{i+1} | $P_i/P_{i+1} < 1.5$ |
|---------|------------|---------------|---------------------|
| Piso 10 | 589631.998 | | |
| Piso 9 | 874508.165 | | |
| Piso 8 | 871840.165 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 874508.165 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 853300.465 | 0.98 | REGULAR |
| Piso 5 | 872123.605 | 1.02 | REGULAR |
| Piso 4 | 867645.605 | 0.99 | REGULAR |
| Piso 3 | 867645.605 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 867645.605 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 1 | 908590.750 | 1.05 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|------------------------------------|-------------|----|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.3. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 50. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M12

| Piso | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Promedio | Deriva Prom. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Max. | D. Max. Inelástica | Deriva Max/Promedio | D. Max/Prom < 1.3 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Piso 10 | 0.000869 | 0.000651 | 0.000760 | 0.003990 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000869 | 0.004562 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000975 | 0.000701 | 0.000838 | 0.004400 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000975 | 0.005119 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001096 | 0.000751 | 0.000924 | 0.004848 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001096 | 0.005754 | 1.19 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001204 | 0.000789 | 0.000997 | 0.005232 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001204 | 0.006321 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001283 | 0.000807 | 0.001045 | 0.005486 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001283 | 0.006736 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001318 | 0.000800 | 0.001059 | 0.005560 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001318 | 0.006920 | 1.24 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001295 | 0.000760 | 0.001028 | 0.005394 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001295 | 0.006799 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001193 | 0.000680 | 0.000937 | 0.004917 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001193 | 0.006263 | 1.27 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000974 | 0.000545 | 0.000760 | 0.003987 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000974 | 0.005114 | 1.28 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000494 | 0.000275 | 0.000385 | 0.002018 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000494 | 0.002594 | 1.28 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 51. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M12

| Piso | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Promedio | Deriva Prom. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Max. | D. Max. Inelástica | Deriva Max/Promedio | D. Max/Prom < 1.3 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Piso 10 | 0.000368 | 0.000508 | 0.000438 | 0.002300 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000512 | 0.002688 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000419 | 0.000594 | 0.000507 | 0.002659 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000598 | 0.003140 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000470 | 0.000688 | 0.000579 | 0.003040 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000694 | 0.003644 | 1.20 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000514 | 0.000775 | 0.000645 | 0.003384 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000782 | 0.004106 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000546 | 0.000844 | 0.000695 | 0.003649 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000852 | 0.004473 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.000560 | 0.000884 | 0.000722 | 0.003791 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000893 | 0.004688 | 1.24 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.000549 | 0.000884 | 0.000717 | 0.003762 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000893 | 0.004688 | 1.25 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000506 | 0.000829 | 0.000668 | 0.003504 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000837 | 0.004394 | 1.25 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000419 | 0.000691 | 0.000555 | 0.002914 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000699 | 0.003670 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000224 | 0.000365 | 0.000295 | 0.001546 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000365 | 0.001916 | 1.24 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii.2. Esquinas Entrantes

La estructura presenta dos esquinas entrantes mínimas en la fachada principal, en la dirección X-X con una longitud de 4.6 m que representa el 20% de la longitud total, y en la dirección Y-Y con una longitud de 0.35 m que representa el 1.3% de la longitud total. En ambas direcciones no existe este tipo de irregularidad ya que no supera el 20% de la longitud, tal como indica la Norma.

ii.3. Discontinuidad del diafragma

El área total de los espacios vacíos en la edificación es de 49.42 m² que representa el 9.40 % del área total que es 526.015 m². Por lo tanto, no presenta este tipo de irregularidad, ya que no supera el 50% del área bruta.

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

De acuerdo a la investigación se considera como periodo inicial el obtenido en la Tabla 48, donde $T=0.678s$. El que se obtuvo del sub-ítem a) del ítem 17.2 “Periodo Fundamental” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. Considerando que el coeficiente para estimar el periodo fundamental es $C_T = 45$, el que corresponde a edificios cuyos elementos sismorresistentes en la dirección considerada sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras, por otro lado la altura del edificio es de $h_n = 30.5 m$; con estos datos:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{45} = 0.678 s$$

En el sub-ítem b) del ítem 17.2 “Periodo Fundamental” del Artículo 17 “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, menciona que podrá usarse un procedimiento de análisis dinámico que considere las características de rigidez y distribución de masas en la estructura. Como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i)}}$$

Además, el artículo menciona que cuando el procedimiento dinámico no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental deberá tomarse como el 0.85 del valor obtenido.

- En la dirección X-X

Tabla 52. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Piso 10 | 30.5 | 589631.998 | 114422.558 | 2.625 | 4062313.893 | 300336.329 |
| Piso 9 | 27.5 | 874508.165 | 153012.648 | 2.394 | 5012850.142 | 366342.882 |
| Piso 8 | 24.5 | 871840.165 | 135904.465 | 2.144 | 4007245.236 | 291365.583 |
| Piso 7 | 21.5 | 874508.165 | 119628.070 | 1.868 | 3052836.784 | 223513.087 |
| Piso 6 | 18.5 | 853300.465 | 100439.485 | 1.571 | 2105712.434 | 157780.388 |
| Piso 5 | 15.5 | 872123.605 | 86008.329 | 1.260 | 1383924.188 | 108344.692 |
| Piso 4 | 12.5 | 867645.605 | 69005.412 | 0.944 | 773517.892 | 65154.910 |
| Piso 3 | 9.5 | 867645.605 | 52444.113 | 0.638 | 353502.150 | 33475.077 |
| Piso 2 | 6.5 | 867645.605 | 35882.814 | 0.360 | 112134.735 | 12899.872 |
| Piso 1 | 3.5 | 908590.750 | 20233.319 | 0.133 | 16168.881 | 2699.125 |
| TOTAL | | 8447440.13 | 886981.213 | | 20880206.34 | 1561911.94 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.734 s$$

$$0.85 T = 0.624 s$$

- En la dirección Y-Y

Tabla 53. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Piso 10 | 30.5 | 589631.998 | 140576.285 | 1.761 | 1827897.218 | 247512.665 |
| Piso 9 | 27.5 | 874508.165 | 187986.968 | 1.629 | 2321200.586 | 306268.368 |
| Piso 8 | 24.5 | 871840.165 | 166968.343 | 1.477 | 1902974.909 | 246679.030 |
| Piso 7 | 21.5 | 874508.165 | 146971.629 | 1.304 | 1486343.539 | 191606.913 |
| Piso 6 | 18.5 | 853300.465 | 123397.082 | 1.110 | 1051730.402 | 136995.441 |
| Piso 5 | 15.5 | 872123.605 | 105667.375 | 0.902 | 708934.069 | 95269.705 |
| Piso 4 | 12.5 | 867645.605 | 84778.078 | 0.685 | 407239.885 | 58081.461 |
| Piso 3 | 9.5 | 867645.605 | 64431.339 | 0.470 | 191662.914 | 30282.729 |
| Piso 2 | 6.5 | 867645.605 | 44084.600 | 0.270 | 63110.884 | 11889.617 |
| Piso 1 | 3.5 | 908590.750 | 24858.077 | 0.103 | 9657.965 | 2562.868 |
| TOTAL | | 8447440.13 | 1089719.78 | | 9970752.37 | 1327148.80 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.550 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.467 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.678 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X : 0.734 s Dirección Y-Y : 0.550 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección “X” un valor de 0.778s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa de un 15.62%, por otro lado, en el segundo modo de vibración con un periodo de 0.717s existe una masa participativa del 57.6%. En la dirección “Y” se obtiene un valor de 0.550 s correspondiente al tercer modo de vibración, con una masa de participación de 74.93%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Según el sub-ítem b. del ítem 16.3. “Peso de la edificación” del Artículo 16. “Generalidades” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación, para edificaciones de la categoría C, el 25% de la carga viva. Además, según el ítem d) del mismo artículo, en azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 54. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M12

| Entre piso | Altura (m) | Peso de Columnas (kg) | Peso de vigas (kg) | Peso de placas (kg) | Peso de muros (kg) | Peso de losa (kg) | Peso de escalera (kg) | Peso de Tanque Elevado (kg) | Peso Total CM (kg) | Peso Total CV (kg) | Peso Total CM+0.25CV (kg) |
|--------------|------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 3.25 | 346905.00 | 84103.20 | 39858.00 | 195801.04 | 210406.00 | 5216.76 | | 882290.00 | 105203.00 | 908590.75 |
| 2 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 841344.86 | 105203.00 | 867645.61 |
| 3 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 841344.86 | 105203.00 | 867645.61 |
| 4 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 841344.86 | 105203.00 | 867645.61 |
| 5 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 845822.86 | 105203.00 | 872123.61 |
| 6 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 170261.76 | 210406.00 | 5216.76 | | 826999.72 | 105203.00 | 853300.47 |
| 7 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 848207.42 | 105203.00 | 874508.17 |
| 8 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 188801.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 845539.42 | 105203.00 | 871840.17 |
| 9 | 3.00 | 320220.00 | 84103.20 | 36792.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 848207.42 | 105203.00 | 874508.17 |
| 10 | 1.50 | 160110.00 | 84103.20 | 18396.00 | 87196.48 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 569906.44 | 78902.25 | 589632.00 |
| TOTAL | | 3255570.00 | 841032.00 | 374052.00 | 1763427.22 | 2104060.00 | 52167.6 | 8956.00 | 8191007.82 | 1025729.25 | 8447440.13 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Según el Artículo 12. “Sistemas Estructurales” de la Norma Sismorresistente E.030 DEL 2003, los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en la dirección tal como se indica en la Tabla N°6.

En el numeral 2 de la Tabla N°6 menciona que el sistema es dual si las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos 25% de la cortante en la base.

Tabla 55. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M12

| FUERZA CORTANTE POR SISMO | SISMO EN X-X | | SISMO EN Y-Y | |
|---------------------------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| | kgf | % | kgf | % |
| Fuerza cortante por sismo en columnas | 533683.00 | 60.17 | 582293.03 | 53.44 |
| Fuerza cortante por sismo en placas | 353295.44 | 39.83 | 507415.91 | 46.56 |
| Fuerza cortante por sismo total | 886978.44 | 100.00 | 1089708.94 | 100.00 |
| SISTEMA ESTRUCTURAL | SISTEMA DUAL | | SISTEMA DUAL | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el ítem 17.3. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Donde el valor de C/R no deberá considerarse menor que: $C/R \geq 0.125$

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M12 se encuentran en la Tabla 48.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{2.044}{7} = 0.292 \geq 0.125 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.30 \times 1 \times 2.044 \times 1.2}{7} = 0.105$$

$$V = 0.105 \times 8447440.13 \text{ kgf} = 886981.213 \text{ kgf}$$

Tabla 56. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | $P_i \times h_i$ | $\frac{P_i \times h_i}{\text{Sum}(P_i \times h_i)}$ | F_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 589631.998 | 17983775.924 | 0.129 | 886981.213 | 114422.558 | 114422.558 |
| Piso 9 | 27.50 | 874508.165 | 24048974.538 | 0.173 | 886981.213 | 153012.648 | 267435.206 |
| Piso 8 | 24.50 | 871840.165 | 21360084.043 | 0.153 | 886981.213 | 135904.465 | 403339.671 |
| Piso 7 | 21.50 | 874508.165 | 18801925.548 | 0.135 | 886981.213 | 119628.070 | 522967.741 |
| Piso 6 | 18.50 | 853300.465 | 15786058.603 | 0.113 | 886981.213 | 100439.485 | 623407.227 |
| Piso 5 | 15.50 | 872123.605 | 13517915.878 | 0.097 | 886981.213 | 86008.329 | 709415.555 |
| Piso 4 | 12.50 | 867645.605 | 10845570.063 | 0.078 | 886981.213 | 69005.412 | 778420.967 |
| Piso 3 | 9.50 | 867645.605 | 8242633.248 | 0.059 | 886981.213 | 52444.113 | 830865.080 |
| Piso 2 | 6.50 | 867645.605 | 5639696.433 | 0.040 | 886981.213 | 35882.814 | 866747.895 |
| Piso 1 | 3.50 | 908590.750 | 3180067.625 | 0.023 | 886981.213 | 20233.319 | 886981.213 |
| TOTAL | | | 139406701.90 | 1 | | 886981.213 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.500}{7} = 0.357 \geq 0.125 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.30 \times 1 \times 2.500 \times 1.2}{7} = 0.129$$

$$V = 0.129 \times 8447440.13 \text{ kgf} = 1089719.776 \text{ kgf}$$

Tabla 57. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y y en la dirección Y-Y del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | $P_i \times h_i$ | $\frac{P_i \times h_i}{\text{Sum}(P_i \times h_i)}$ | F_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|---------|------------|------------|------------------|---|-------------|----------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 589631.998 | 17983775.924 | 0.129 | 1089719.776 | 140576.285 | 140576.285 |
| Piso 9 | 27.50 | 874508.165 | 24048974.538 | 0.173 | 1089719.776 | 187986.968 | 328563.253 |
| Piso 8 | 24.50 | 871840.165 | 21360084.043 | 0.153 | 1089719.776 | 166968.343 | 495531.596 |
| Piso 7 | 21.50 | 874508.165 | 18801925.548 | 0.135 | 1089719.776 | 146971.629 | 642503.225 |
| Piso 6 | 18.50 | 853300.465 | 15786058.603 | 0.113 | 1089719.776 | 123397.082 | 765900.307 |
| Piso 5 | 15.50 | 872123.605 | 13517915.878 | 0.097 | 1089719.776 | 105667.375 | 871567.682 |
| Piso 4 | 12.50 | 867645.605 | 10845570.063 | 0.078 | 1089719.776 | 84778.078 | 956345.760 |
| Piso 3 | 9.50 | 867645.605 | 8242633.248 | 0.059 | 1089719.776 | 64431.339 | 1020777.099 |
| Piso 2 | 6.50 | 867645.605 | 5639696.433 | 0.040 | 1089719.776 | 44084.600 | 1064861.699 |
| Piso 1 | 3.50 | 908590.750 | 3180067.625 | 0.023 | 1089719.776 | 24858.077 | 1089719.776 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La fuerza sísmica vertical, en el análisis estático se considera como una fracción del peso. Para las zonas 3 y 2 esta fracción será $\frac{2}{3} Z$ y para la zona 1 no será necesario considerar

este efecto, tal como lo indica el ítem 17.6. “Fuerzas Sísmicas Verticales” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

Con respecto a la excentricidad accidental, el sub-ítem a) del ítem 17.5. “Efectos de Torsión” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, menciona que en el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), que se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, valor que se empleará para calcular un momento torsor accidental (M_{ti}) el que se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De la misma forma se usará esta excentricidad accidental de 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, para el cálculo de un momento torsor accidental en el análisis dinámico, así como lo menciona el sub-ítem e.) “Efectos de Torsión” del ítem 18.2. “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 17. “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

Tabla 58. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M12

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 101728.160 | 121115.990 |
| Piso 9 | 219724.820 | 271563.800 |
| Piso 8 | 315904.290 | 400231.410 |
| Piso 7 | 396029.910 | 511001.460 |
| Piso 6 | 461625.130 | 602756.250 |
| Piso 5 | 517985.180 | 680690.390 |
| Piso 4 | 564313.220 | 742666.790 |
| Piso 3 | 600447.310 | 788721.020 |
| Piso 2 | 625111.460 | 818412.390 |
| Piso 1 | 637582.620 | 832597.270 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el sub ítem c. “Fuerza Cortante Mínima en la base” del ítem 18.2 “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 18 “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente del 2003, menciona para casa una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 17 (17.3) para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Además, indica que si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados, excepto los desplazamientos.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|------------|--|--------|--|
| $V_{estático X} (kgf)$ | 886981.213 | | 71.88% | |
|------------------------|------------|--|--------|--|

| | | | | |
|------------------------|------------|---|--|------------------|
| $V_{dinámico X} (kgf)$ | 637582.620 | $V_{dinámico X} \geq 0.8V_{estático X}$ | | NO CUMPLE |
|------------------------|------------|---|--|------------------|

- En la dirección Y-Y

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|------------|------------------|
| $V_{estático Y} (kgf)$ | 1089719.776 | $V_{dinámico Y} \geq 0.8V_{estático Y}$ | 76.40 % | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y} (kgf)$ | 832597.270 | | | |

H. ESPECTRO SÍSMICO

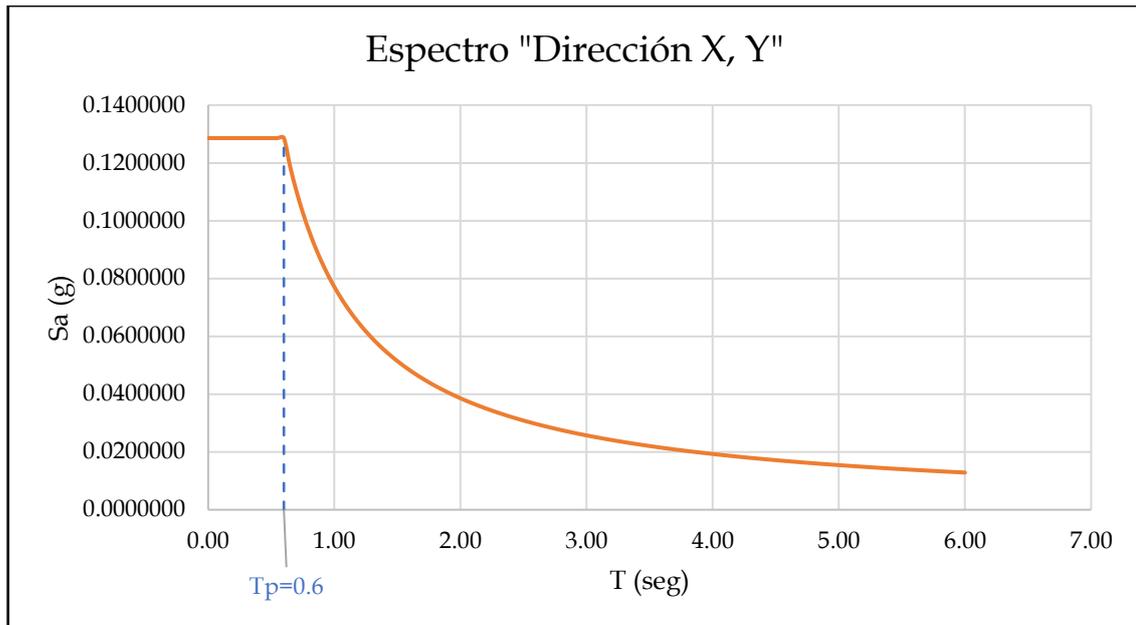
En el sub-ítem b. del ítem 18.2. “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 18 “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente del 2003, menciona que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

- Espectro en la Dirección X-X e Y-Y

| T (s) | c_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$ | 1.20 | 1.250 | 0.06429 | 2.85 | 0.526 | 0.02707 | 4.50 | 0.333 | 0.01714 |
|-------|-------|--------------------------------|------|-------|---------|------|-------|---------|------|-------|---------|
| 0.00 | 2.500 | 0.12857 | 1.25 | 1.200 | 0.06171 | 2.90 | 0.517 | 0.02660 | 4.55 | 0.330 | 0.01695 |
| 0.02 | 2.500 | 0.12857 | 1.30 | 1.154 | 0.05934 | 2.95 | 0.508 | 0.02615 | 4.60 | 0.326 | 0.01677 |
| 0.04 | 2.500 | 0.12857 | 1.35 | 1.111 | 0.05714 | 3.00 | 0.500 | 0.02571 | 4.65 | 0.323 | 0.01659 |
| 0.06 | 2.500 | 0.12857 | 1.40 | 1.071 | 0.05510 | 3.05 | 0.492 | 0.02529 | 4.70 | 0.319 | 0.01641 |
| 0.08 | 2.500 | 0.12857 | 1.45 | 1.034 | 0.05320 | 3.10 | 0.484 | 0.02488 | 4.75 | 0.316 | 0.01624 |
| 0.10 | 2.500 | 0.12857 | 1.50 | 1.000 | 0.05143 | 3.15 | 0.476 | 0.02449 | 4.80 | 0.313 | 0.01607 |
| 0.12 | 2.500 | 0.12857 | 1.55 | 0.968 | 0.04977 | 3.20 | 0.469 | 0.02411 | 4.85 | 0.309 | 0.01591 |
| 0.14 | 2.500 | 0.12857 | 1.60 | 0.938 | 0.04821 | 3.25 | 0.462 | 0.02374 | 4.90 | 0.306 | 0.01574 |
| 0.16 | 2.500 | 0.12857 | 1.65 | 0.909 | 0.04675 | 3.30 | 0.455 | 0.02338 | 4.95 | 0.303 | 0.01558 |
| 0.18 | 2.500 | 0.12857 | 1.70 | 0.882 | 0.04538 | 3.35 | 0.448 | 0.02303 | 5.00 | 0.300 | 0.01543 |
| 0.20 | 2.500 | 0.12857 | 1.75 | 0.857 | 0.04408 | 3.40 | 0.441 | 0.02269 | 5.05 | 0.297 | 0.01528 |
| 0.25 | 2.500 | 0.12857 | 1.80 | 0.833 | 0.04286 | 3.45 | 0.435 | 0.02236 | 5.10 | 0.294 | 0.01513 |
| 0.30 | 2.500 | 0.12857 | 1.85 | 0.811 | 0.04170 | 3.50 | 0.429 | 0.02204 | 5.15 | 0.291 | 0.01498 |
| 0.35 | 2.500 | 0.12857 | 1.90 | 0.789 | 0.04060 | 3.55 | 0.423 | 0.02173 | 5.20 | 0.288 | 0.01484 |
| 0.40 | 2.500 | 0.12857 | 1.95 | 0.769 | 0.03956 | 3.60 | 0.417 | 0.02143 | 5.25 | 0.286 | 0.01469 |
| 0.45 | 2.500 | 0.12857 | 2.00 | 0.750 | 0.03857 | 3.65 | 0.411 | 0.02114 | 5.30 | 0.283 | 0.01456 |
| 0.50 | 2.500 | 0.12857 | 2.05 | 0.732 | 0.03763 | 3.70 | 0.405 | 0.02085 | 5.35 | 0.280 | 0.01442 |
| 0.55 | 2.500 | 0.12857 | 2.10 | 0.714 | 0.03673 | 3.75 | 0.400 | 0.02057 | 5.40 | 0.278 | 0.01429 |
| 0.60 | 2.500 | 0.12857 | 2.15 | 0.698 | 0.03588 | 3.80 | 0.395 | 0.02030 | 5.45 | 0.275 | 0.01415 |
| 0.65 | 2.308 | 0.11868 | 2.20 | 0.682 | 0.03506 | 3.85 | 0.390 | 0.02004 | 5.50 | 0.273 | 0.01403 |
| 0.70 | 2.143 | 0.11020 | 2.25 | 0.667 | 0.03429 | 3.90 | 0.385 | 0.01978 | 5.55 | 0.270 | 0.01390 |
| 0.75 | 2.000 | 0.10286 | 2.30 | 0.652 | 0.03354 | 3.95 | 0.380 | 0.01953 | 5.60 | 0.268 | 0.01378 |
| 0.80 | 1.875 | 0.09643 | 2.35 | 0.638 | 0.03283 | 4.00 | 0.375 | 0.01929 | 5.65 | 0.265 | 0.01365 |
| 0.85 | 1.765 | 0.09076 | 2.40 | 0.625 | 0.03214 | 4.05 | 0.370 | 0.01905 | 5.70 | 0.263 | 0.01353 |
| 0.90 | 1.667 | 0.08571 | 2.45 | 0.612 | 0.03149 | 4.10 | 0.366 | 0.01882 | 5.75 | 0.261 | 0.01342 |
| 0.95 | 1.579 | 0.08120 | 2.50 | 0.600 | 0.03086 | 4.15 | 0.361 | 0.01859 | 5.80 | 0.259 | 0.01330 |
| 1.00 | 1.500 | 0.07714 | 2.55 | 0.588 | 0.03025 | 4.20 | 0.357 | 0.01837 | 5.85 | 0.256 | 0.01319 |
| 1.05 | 1.429 | 0.07347 | 2.60 | 0.577 | 0.02967 | 4.25 | 0.353 | 0.01815 | 5.90 | 0.254 | 0.01308 |
| 1.10 | 1.364 | 0.07013 | 2.65 | 0.566 | 0.02911 | 4.30 | 0.349 | 0.01794 | 5.95 | 0.252 | 0.01297 |
| 1.15 | 1.304 | 0.06708 | 2.70 | 0.556 | 0.02857 | 4.35 | 0.345 | 0.01773 | 6.00 | 0.250 | 0.01286 |
| | | | 2.75 | 0.545 | 0.02805 | 4.40 | 0.341 | 0.01753 | | | |
| | | | 2.80 | 0.536 | 0.02755 | 4.45 | 0.337 | 0.01734 | | | |



I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

El ítem 15.1. “Desplazamientos Laterales Permisibles” del artículo 15. “Desplazamientos Laterales” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, indica que el máximo desplazamiento relativo no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso 0.007 para estructuras cuando el material predominante es el concreto armado.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 59. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.235 | 0.000869 | 0.004561 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.975 | 0.000975 | 0.005121 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.682 | 0.001096 | 0.005752 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.354 | 0.001204 | 0.006323 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.992 | 0.001283 | 0.006736 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.607 | 0.001318 | 0.006921 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.212 | 0.001295 | 0.006801 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.823 | 0.001193 | 0.006263 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.465 | 0.000974 | 0.005115 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.173 | 0.000494 | 0.002595 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 60. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.137 | 0.000508 | 0.002667 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.984 | 0.000594 | 0.003117 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.806 | 0.000688 | 0.003612 | 0.007 | CUMPLE |

Tabla 60. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 7 | 21.50 | 1.600 | 0.000775 | 0.004071 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.367 | 0.000844 | 0.004431 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.114 | 0.000884 | 0.004639 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.849 | 0.000884 | 0.004641 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.584 | 0.000829 | 0.004351 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.335 | 0.000691 | 0.003630 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.128 | 0.000365 | 0.001917 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 61. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.439 | 0.000646 | 0.003390 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.245 | 0.000727 | 0.003817 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.027 | 0.000819 | 0.004302 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.781 | 0.000902 | 0.004734 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.511 | 0.000962 | 0.005051 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.222 | 0.000992 | 0.005208 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.925 | 0.000979 | 0.005142 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.631 | 0.000908 | 0.004769 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.358 | 0.000748 | 0.003929 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.134 | 0.000383 | 0.002009 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 62. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.653 | 0.000397 | 0.002083 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.534 | 0.000463 | 0.002429 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.396 | 0.000535 | 0.002811 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.235 | 0.000602 | 0.003162 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.054 | 0.000654 | 0.003434 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.858 | 0.000684 | 0.003589 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.653 | 0.000682 | 0.003581 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.448 | 0.000638 | 0.003350 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.257 | 0.000531 | 0.002786 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.098 | 0.000279 | 0.001467 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

VERIFICACIÓN DEL MODELO M12 CON LA NORMA E.030 DEL 2018

1. DESCRIPCIÓN DE LA COMPROBACIÓN DEL MODELO M12

Para la comprobación del *Modelo M12* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente del 2018. La configuración arquitectónica, las propiedades de los materiales, secciones de los elementos no se modificarán para este modelo de verificación.

2. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta comprobación se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

3. VARIABLES DEPENDIENTES

3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018

Tabla 63. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|---|
| 1. Zonificación, E.030-2018 (Art.10) | Zona Sísmica: 3 | $Z = 0.35$ |
| 2. Condiciones Geotécnicas, E.030-2018(Art.12) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 s$ $T_L = 2.0s$ |
| 3. Categoría de la Edificación y Factor de Uso(U), E.030 2018(Art.15) | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Sistema Estructural y Restricciones de Irregularidad, E.030-2018(Art.16, Art.17 y Art.21) | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, no se permiten irregularidades extremas. | |
| 5. Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, E.030-2018(Art.18) | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: Dual | $R_o = 7$ |
| 6. Factores de Irregularidad (I_a y I_p) E.030-2018(Art.20) | Irregularidad en Altura, I_a : Ninguna Irregularidad en Planta, I_p : Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $I_a = 1$ $I_p = 1$ |
| 7. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R E.030-2018(Art.22) | $R_x = R_o \cdot I_a \cdot I_p$ | $R_x = 7$ |

Tabla 63. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|---|-----------------------|
| 8. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2018(Art.28-ítem 28.4) | Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{45} = 0.678 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.678 \text{ s}$ |
| 9. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, E.030-2018(Art.28-ítem 28.3) | Exponente relacionado con el periodo fundamental: Para $T \leq 0.5 \text{ s}$, $k = 1.0$ Para $T > 0.5 \text{ s}$, $k = (0.75 + 0.5 T)$ $k = (0.75 + 0.5 \times 0.678)$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $k = 1.089$ |
| 10. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por la siguiente expresión: $T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.678}\right) = 2.213$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 1.836$ |
| 11-. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018(Art.28-ítem 28.2) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.11$ $\frac{C}{R} = \frac{2.213}{7} = 0.316$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.316$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (Ia, Ip)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018.

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---|-------------|----|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.2. Irregularidad de Rigidez- Piso blando e Irregularidad Extrema de Rigidez

- En la Dirección X-X

Tabla 64. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M12

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|--------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.7$ | |
| | | | | | | Piso 10 | 135675.28 | 3.02 | 15.84 | |
| Piso 9 | 314923.67 | 2.75 | 14.44 | 7.69 | 40928.94 | | | | | REGULAR |
| Piso 8 | 471993.28 | 2.46 | 12.92 | 6.75 | 69974.69 | 1.71 | | 1.71 | | REGULAR |
| Piso 7 | 608154.80 | 2.14 | 11.24 | 6.17 | 98544.46 | 1.41 | | 1.41 | | REGULAR |
| Piso 6 | 720483.20 | 1.80 | 9.44 | 5.07 | 142094.53 | 1.44 | 2.04 | 1.44 | 2.04 | REGULAR |
| Piso 5 | 814701.51 | 1.44 | 7.55 | 4.37 | 186583.19 | 1.31 | 1.80 | 1.31 | 1.80 | REGULAR |
| Piso 4 | 888415.11 | 1.08 | 5.65 | 3.19 | 278738.14 | 1.49 | 1.96 | 1.49 | 1.96 | REGULAR |
| Piso 3 | 942667.19 | 0.73 | 3.81 | 2.46 | 382684.69 | 1.37 | 1.89 | 1.37 | 1.89 | REGULAR |
| Piso 2 | 978174.96 | 0.41 | 2.14 | 1.35 | 725259.01 | 1.90 | 2.57 | 1.90 | 2.57 | REGULAR |
| Piso 1 | 996797.94 | 0.15 | 0.79 | 0.79 | 1255729.32 | 1.73 | 2.72 | 1.73 | 2.72 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 65. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M12

| Piso | V_{yi} (kgf) | D. elástico o CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|--------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.7$ | |
| | | | | | | Piso 10 | 158770.58 | 1.98 | 10.37 | |
| Piso 9 | 370539.15 | 1.83 | 9.59 | 5.10 | 72716.76 | | | | | |
| Piso 8 | 558087.72 | 1.66 | 8.70 | 4.50 | 124083.60 | 1.71 | | 1.71 | | REGULAR |
| Piso 7 | 722636.60 | 1.46 | 7.67 | 4.20 | 172099.36 | 1.39 | | 1.39 | | REGULAR |
| Piso 6 | 860273.43 | 1.24 | 6.53 | 3.47 | 247712.18 | 1.44 | 2.01 | 1.44 | 2.01 | REGULAR |
| Piso 5 | 977614.40 | 1.01 | 5.30 | 3.06 | 319677.71 | 1.29 | 1.76 | 1.29 | 1.76 | REGULAR |
| Piso 4 | 1071253.40 | 0.77 | 4.03 | 2.24 | 477417.56 | 1.49 | 1.94 | 1.49 | 1.94 | REGULAR |
| Piso 3 | 1141932.45 | 0.53 | 2.76 | 1.78 | 640680.24 | 1.34 | 1.84 | 1.34 | 1.84 | REGULAR |
| Piso 2 | 1189835.17 | 0.30 | 1.58 | 0.98 | 1215854.46 | 1.90 | 2.54 | 1.90 | 2.54 | REGULAR |
| Piso 1 | 1216431.38 | 0.12 | 0.61 | 0.61 | 2009550.87 | 1.65 | 2.58 | 1.65 | 2.58 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. "Factores de Irregularidad (Ia, Ip)" de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---------------------------------------|-------------|----|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

ii.2. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 66. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M12

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/ D. Prom. | D. Max/ Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Piso 10 | 0.001008 | 0.005292 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001008 | 0.000753 | 0.000881 | 0.004623 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001132 | 0.005943 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001132 | 0.000812 | 0.000972 | 0.005103 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001270 | 0.006668 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001270 | 0.000869 | 0.001070 | 0.005615 | 1.19 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001392 | 0.007308 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001392 | 0.000912 | 0.001152 | 0.006048 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001479 | 0.007765 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001479 | 0.000931 | 0.001205 | 0.006326 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001514 | 0.007949 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001514 | 0.000919 | 0.001217 | 0.006387 | 1.24 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001482 | 0.007781 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001482 | 0.000871 | 0.001177 | 0.006177 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001360 | 0.007140 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001360 | 0.000777 | 0.001069 | 0.005610 | 1.27 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.001107 | 0.005812 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001107 | 0.000620 | 0.000864 | 0.004533 | 1.28 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000560 | 0.002940 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000560 | 0.000312 | 0.000436 | 0.002289 | 1.28 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 67. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M12

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Límite | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/D. Prom. | D. Max/ Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 0.000576 | 0.003024 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000413 | 0.000571 | 0.000492 | 0.002583 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000673 | 0.003533 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000471 | 0.000668 | 0.000570 | 0.002990 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000780 | 0.004095 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000528 | 0.000773 | 0.000651 | 0.003415 | 1.20 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000879 | 0.004615 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000578 | 0.000871 | 0.000725 | 0.003804 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000956 | 0.005019 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000613 | 0.000947 | 0.000780 | 0.004095 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001001 | 0.005255 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000628 | 0.000991 | 0.000810 | 0.004250 | 1.24 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001001 | 0.005255 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000616 | 0.000991 | 0.000804 | 0.004218 | 1.25 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000938 | 0.004925 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000567 | 0.000928 | 0.000748 | 0.003924 | 1.25 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000782 | 0.004106 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000469 | 0.000773 | 0.000621 | 0.003260 | 1.26 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000408 | 0.002142 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 2.51E-04 | 4.08E-04 | 0.000330 | 0.001730 | 1.24 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

En el sub-ítem 28.4.2. del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28 “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i)}}$$

- En la dirección X-X

Tabla 68. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Piso 10 | 30.5 | 589631.998 | 135675.282 | 3.018 | 5369847.494 | 409440.866 |
| Piso 9 | 27.5 | 874508.165 | 179248.387 | 2.750 | 6615392.056 | 493004.764 |
| Piso 8 | 24.5 | 871840.165 | 157069.607 | 2.460 | 5277314.857 | 386438.355 |
| Piso 7 | 21.5 | 874508.165 | 136161.522 | 2.141 | 4009764.834 | 291562.667 |
| Piso 6 | 18.5 | 853300.465 | 112328.400 | 1.798 | 2757019.136 | 201810.299 |
| Piso 5 | 15.5 | 872123.605 | 94218.312 | 1.439 | 1805422.704 | 135561.307 |
| Piso 4 | 12.5 | 867645.605 | 73713.601 | 1.076 | 1005099.488 | 79337.948 |
| Piso 3 | 9.5 | 867645.605 | 54252.082 | 0.726 | 457441.166 | 39392.437 |
| Piso 2 | 6.5 | 867645.605 | 35507.767 | 0.408 | 144502.567 | 14490.720 |
| Piso 1 | 3.5 | 908590.750 | 18622.976 | 0.151 | 20771.693 | 2815.794 |
| TOTAL | | 8447440.13 | 996797.935 | | 27462576 | 2053955.16 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.734 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.624 \text{ s}$$

- En la dirección Y-Y

Tabla 69. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Piso 10 | 30.5 | 589631.998 | 158770.576 | 1.975 | 2300166.221 | 313587.764 |
| Piso 9 | 27.5 | 874508.165 | 211768.578 | 1.827 | 2920004.879 | 386964.723 |
| Piso 8 | 24.5 | 871840.165 | 187548.567 | 1.657 | 2392322.656 | 310674.201 |
| Piso 7 | 21.5 | 874508.165 | 164548.880 | 1.461 | 1867422.715 | 240455.279 |
| Piso 6 | 18.5 | 853300.465 | 137636.825 | 1.244 | 1320513.188 | 171220.210 |
| Piso 5 | 15.5 | 872123.605 | 117340.970 | 1.010 | 889477.129 | 118502.645 |
| Piso 4 | 12.5 | 867645.605 | 93639.002 | 0.767 | 510293.277 | 71811.751 |
| Piso 3 | 9.5 | 867645.605 | 70679.051 | 0.526 | 239965.448 | 37170.113 |
| Piso 2 | 6.5 | 867645.605 | 47902.723 | 0.302 | 78975.610 | 14452.252 |
| Piso 1 | 3.5 | 908590.750 | 26596.207 | 0.115 | 12078.887 | 3066.543 |
| TOTAL | | 8447440.13 | 1216431.378 | | 12531220.01 | 1667905.48 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.550 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.467 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.678 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X : 0.734 s Dirección Y-Y : 0.550 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.778s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de

masa significativa de un 15.62%, por otro lado, en el segundo modo de vibración con un periodo de 0.717s existe una masa participativa del 57.6%; sin embargo, se optó por considerar el primer resultado. En la dirección “Y” se obtiene un valor de 0.550 s correspondiente al tercer modo de vibración, con una masa de participación de 74.93%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

El peso de la edificación no se modifica al utilizar la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el *sub-ítem 28.2.1.* del ítem 28.2. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M12 se encuentran en la Tabla 63.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{2.044}{7} = 0.292 \geq 0.11 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.044 \times 1.15}{7} = 0.118$$

$$V = 0.118 \times 8447440.13 \text{ kgf} = 996797.935 \text{ kgf}$$

Tabla 70. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|-------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 589631.998 | 1.117 | 26825261.474 | 0.136 | 996797.935 | 135675.282 | 135675.282 |
| Piso 9 | 27.50 | 874508.165 | 1.117 | 35440389.618 | 0.180 | 996797.935 | 179248.387 | 314923.669 |
| Piso 8 | 24.50 | 871840.165 | 1.117 | 31055275.689 | 0.158 | 996797.935 | 157069.607 | 471993.276 |
| Piso 7 | 21.50 | 874508.165 | 1.117 | 26921399.229 | 0.137 | 996797.935 | 136161.522 | 608154.799 |
| Piso 6 | 18.50 | 853300.465 | 1.117 | 22209194.265 | 0.113 | 996797.935 | 112328.400 | 720483.198 |
| Piso 5 | 15.50 | 872123.605 | 1.117 | 18628528.397 | 0.095 | 996797.935 | 94218.312 | 814701.510 |
| Piso 4 | 12.50 | 867645.605 | 1.117 | 14574405.740 | 0.074 | 996797.935 | 73713.601 | 888415.110 |
| Piso 3 | 9.50 | 867645.605 | 1.117 | 10726539.549 | 0.054 | 996797.935 | 54252.082 | 942667.192 |
| Piso 2 | 6.50 | 867645.605 | 1.117 | 7020476.511 | 0.036 | 996797.935 | 35507.767 | 978174.959 |
| Piso 1 | 3.50 | 908590.750 | 1.117 | 3682072.340 | 0.019 | 996797.935 | 18622.976 | 996797.935 |
| TOTAL | | | | 197083542.81 | 1 | | 996797.935 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.500}{7} = 0.357 \geq 0.11 \text{ ok!}$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.500 \times 1.15}{7} = 0.144$$

$$V = 0.144 \times 8447440.13 \text{ kgf} = 1216431.378 \text{ kgf}$$

Tabla 71. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M12

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|-------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 589631.998 | 1.025 | 19587922.571 | 0.131 | 1216431.378 | 158770.576 | 158770.576 |
| Piso 9 | 27.50 | 874508.165 | 1.025 | 26126418.540 | 0.174 | 1216431.378 | 211768.578 | 370539.154 |
| Piso 8 | 24.50 | 871840.165 | 1.025 | 23138335.249 | 0.154 | 1216431.378 | 187548.567 | 558087.721 |
| Piso 7 | 21.50 | 874508.165 | 1.025 | 20300806.427 | 0.135 | 1216431.378 | 164548.880 | 722636.601 |
| Piso 6 | 18.50 | 853300.465 | 1.025 | 16980598.912 | 0.113 | 1216431.378 | 137636.825 | 860273.426 |
| Piso 5 | 15.50 | 872123.605 | 1.025 | 14476648.576 | 0.096 | 1216431.378 | 117340.970 | 977614.396 |
| Piso 4 | 12.50 | 867645.605 | 1.025 | 11552477.586 | 0.077 | 1216431.378 | 93639.002 | 1071253.398 |
| Piso 3 | 9.50 | 867645.605 | 1.025 | 8719851.053 | 0.058 | 1216431.378 | 70679.051 | 1141932.449 |
| Piso 2 | 6.50 | 867645.605 | 1.025 | 5909878.628 | 0.039 | 1216431.378 | 47902.723 | 1189835.172 |
| Piso 1 | 3.50 | 908590.750 | 1.025 | 3281240.449 | 0.022 | 1216431.378 | 26596.207 | 1216431.378 |
| TOTAL | | | | 150074177.99 | 1 | | 1216431.38 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 72. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M12

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 113729.120 | 135431.410 |
| Piso 9 | 245636.610 | 303661.540 |
| Piso 8 | 353149.310 | 447537.140 |
| Piso 7 | 442713.720 | 571399.760 |
| Piso 6 | 516035.920 | 673999.600 |
| Piso 5 | 579037.040 | 761145.240 |
| Piso 4 | 630827.130 | 830447.000 |
| Piso 3 | 671224.450 | 881944.660 |
| Piso 2 | 698800.870 | 915145.430 |
| Piso 1 | 712745.820 | 931006.900 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el sub-ítem 29.4.1. del ítem 29.4. "Fuerza Cortante Mínima". del Artículo 29 "Análisis Dinámico Modal Espectral" de la Norma Sismorresistente del 2018.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|--------------------------------|------------|---|--------|------------------|
| $V_{\text{estático } X}$ (kgf) | 996797.935 | $V_{\text{dinámico } X} \geq 0.8V_{\text{estático } X}$ | 71.50% | NO CUMPLE |
| $V_{\text{dinámico } X}$ (kgf) | 712745.820 | | | |

- En la dirección Y-Y

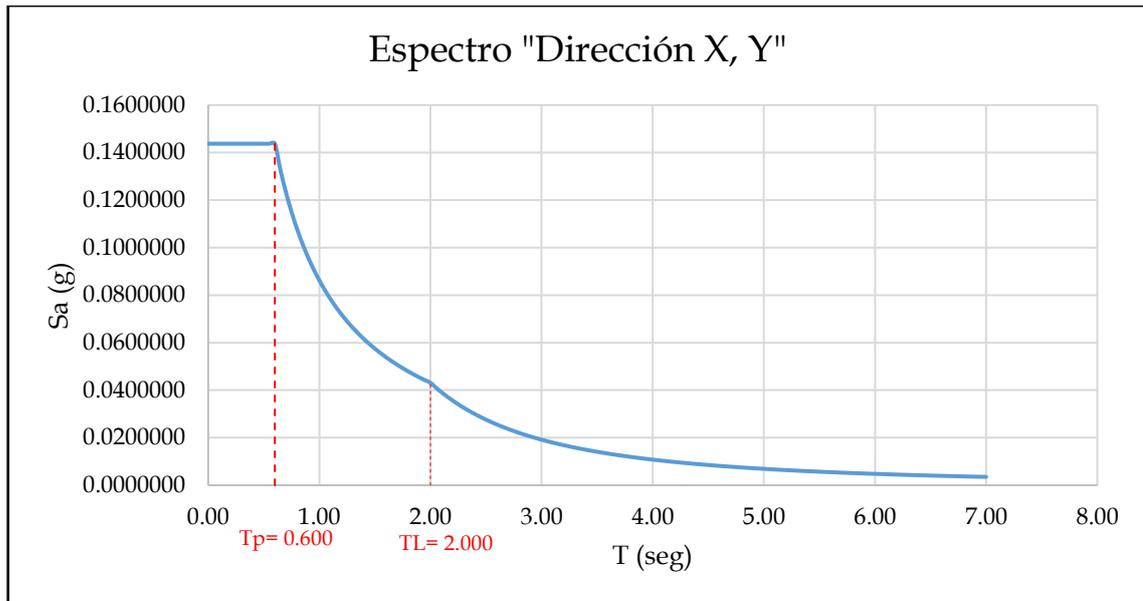
| | | | | |
|--------------------------------|-------------|---|--------|------------------|
| $V_{\text{estático } X}$ (kgf) | 1216431.378 | $V_{\text{dinámico } X} \geq 0.8V_{\text{estático } X}$ | 76.54% | NO CUMPLE |
| $V_{\text{dinámico } X}$ (kgf) | 931006.900 | | | |

G. ESPECTRO SÍSMICO

Según el *sub-ítem 29.2.1.* del ítem 29.2. “*Aceleración Espectral*” del Artículo 29 “*Análisis Dinámico Modal Espectral*” de la Norma Sismorresistente del 2018.

- Espectro en la Dirección X-X y Y-Y

| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$ | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|--|--|
| 0.00 | 2.50 | 0.14375 | 1.50 | 1.00 | 0.05750 | 3.40 | 0.26 | 0.01492 | 5.30 | 0.11 | 0.00614 | | |
| 0.02 | 2.50 | 0.14375 | 1.55 | 0.97 | 0.05565 | 3.45 | 0.25 | 0.01449 | 5.35 | 0.10 | 0.00603 | | |
| 0.04 | 2.50 | 0.14375 | 1.60 | 0.94 | 0.05391 | 3.50 | 0.24 | 0.01408 | 5.40 | 0.10 | 0.00592 | | |
| 0.06 | 2.50 | 0.14375 | 1.65 | 0.91 | 0.05227 | 3.55 | 0.24 | 0.01369 | 5.45 | 0.10 | 0.00581 | | |
| 0.08 | 2.50 | 0.14375 | 1.70 | 0.88 | 0.05074 | 3.60 | 0.23 | 0.01331 | 5.50 | 0.10 | 0.00570 | | |
| 0.10 | 2.50 | 0.14375 | 1.75 | 0.86 | 0.04929 | 3.65 | 0.23 | 0.01295 | 5.55 | 0.10 | 0.00560 | | |
| 0.12 | 2.50 | 0.14375 | 1.80 | 0.83 | 0.04792 | 3.70 | 0.22 | 0.01260 | 5.60 | 0.10 | 0.00550 | | |
| 0.14 | 2.50 | 0.14375 | 1.85 | 0.81 | 0.04662 | 3.75 | 0.21 | 0.01227 | 5.65 | 0.09 | 0.00540 | | |
| 0.16 | 2.50 | 0.14375 | 1.90 | 0.79 | 0.04539 | 3.80 | 0.21 | 0.01195 | 5.70 | 0.09 | 0.00531 | | |
| 0.18 | 2.50 | 0.14375 | 1.95 | 0.77 | 0.04423 | 3.85 | 0.20 | 0.01164 | 5.75 | 0.09 | 0.00522 | | |
| 0.20 | 2.50 | 0.14375 | 2.00 | 0.75 | 0.04313 | 3.90 | 0.20 | 0.01134 | 5.80 | 0.09 | 0.00513 | | |
| 0.25 | 2.50 | 0.14375 | 2.05 | 0.71 | 0.04105 | 3.95 | 0.19 | 0.01106 | 5.85 | 0.09 | 0.00504 | | |
| 0.30 | 2.50 | 0.14375 | 2.10 | 0.68 | 0.03912 | 4.00 | 0.19 | 0.01078 | 5.90 | 0.09 | 0.00496 | | |
| 0.35 | 2.50 | 0.14375 | 2.15 | 0.65 | 0.03732 | 4.05 | 0.18 | 0.01052 | 5.95 | 0.08 | 0.00487 | | |
| 0.40 | 2.50 | 0.14375 | 2.20 | 0.62 | 0.03564 | 4.10 | 0.18 | 0.01026 | 6.00 | 0.08 | 0.00479 | | |
| 0.45 | 2.50 | 0.14375 | 2.25 | 0.59 | 0.03407 | 4.15 | 0.17 | 0.01002 | 6.05 | 0.08 | 0.00471 | | |
| 0.50 | 2.50 | 0.14375 | 2.30 | 0.57 | 0.03261 | 4.20 | 0.17 | 0.00978 | 6.10 | 0.08 | 0.00464 | | |
| 0.55 | 2.50 | 0.14375 | 2.35 | 0.54 | 0.03124 | 4.25 | 0.17 | 0.00955 | 6.15 | 0.08 | 0.00456 | | |
| 0.60 | 2.50 | 0.14375 | 2.40 | 0.52 | 0.02995 | 4.30 | 0.16 | 0.00933 | 6.20 | 0.08 | 0.00449 | | |
| 0.65 | 2.31 | 0.13269 | 2.45 | 0.50 | 0.02874 | 4.35 | 0.16 | 0.00912 | 6.25 | 0.08 | 0.00442 | | |
| 0.70 | 2.14 | 0.12321 | 2.50 | 0.48 | 0.02760 | 4.40 | 0.15 | 0.00891 | 6.30 | 0.08 | 0.00435 | | |
| 0.75 | 2.00 | 0.11500 | 2.55 | 0.46 | 0.02653 | 4.45 | 0.15 | 0.00871 | 6.35 | 0.07 | 0.00428 | | |
| 0.80 | 1.88 | 0.10781 | 2.60 | 0.44 | 0.02552 | 4.50 | 0.15 | 0.00852 | 6.40 | 0.07 | 0.00421 | | |
| 0.85 | 1.76 | 0.10147 | 2.65 | 0.43 | 0.02456 | 4.55 | 0.14 | 0.00833 | 6.45 | 0.07 | 0.00415 | | |
| 0.90 | 1.67 | 0.09583 | 2.70 | 0.41 | 0.02366 | 4.60 | 0.14 | 0.00815 | 6.50 | 0.07 | 0.00408 | | |
| 0.95 | 1.58 | 0.09079 | 2.75 | 0.40 | 0.02281 | 4.65 | 0.14 | 0.00798 | 6.55 | 0.07 | 0.00402 | | |
| 1.00 | 1.50 | 0.08625 | 2.80 | 0.38 | 0.02200 | 4.70 | 0.14 | 0.00781 | 6.60 | 0.07 | 0.00396 | | |
| 1.05 | 1.43 | 0.08214 | 2.85 | 0.37 | 0.02124 | 4.75 | 0.13 | 0.00765 | 6.65 | 0.07 | 0.00390 | | |
| 1.10 | 1.36 | 0.07841 | 2.90 | 0.36 | 0.02051 | 4.80 | 0.13 | 0.00749 | 6.70 | 0.07 | 0.00384 | | |
| 1.15 | 1.30 | 0.07500 | 2.95 | 0.34 | 0.01982 | 4.85 | 0.13 | 0.00733 | 6.75 | 0.07 | 0.00379 | | |
| 1.20 | 1.25 | 0.07188 | 3.00 | 0.33 | 0.01917 | 4.90 | 0.12 | 0.00718 | 6.80 | 0.06 | 0.00373 | | |
| 1.25 | 1.20 | 0.06900 | 3.05 | 0.32 | 0.01854 | 4.95 | 0.12 | 0.00704 | 6.85 | 0.06 | 0.00368 | | |
| 1.30 | 1.15 | 0.06635 | 3.10 | 0.31 | 0.01795 | 5.00 | 0.12 | 0.00690 | 6.90 | 0.06 | 0.00362 | | |
| 1.35 | 1.11 | 0.06389 | 3.15 | 0.30 | 0.01738 | 5.05 | 0.12 | 0.00676 | 6.95 | 0.06 | 0.00357 | | |
| 1.40 | 1.07 | 0.06161 | 3.20 | 0.29 | 0.01685 | 5.10 | 0.12 | 0.00663 | 7.00 | 0.06 | 0.00352 | | |
| 1.45 | 1.03 | 0.05948 | 3.25 | 0.28 | 0.01633 | 5.15 | 0.11 | 0.00650 | | | | | |
| | | | 3.30 | 0.28 | 0.01584 | 5.20 | 0.11 | 0.00638 | | | | | |
| | | | 3.35 | 0.27 | 0.01537 | 5.25 | 0.11 | 0.00626 | | | | | |



H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

Según el Artículo 32. “Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles” y el Artículo 31. “Determinación de Desplazamientos Laterales”.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 73. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.719 | 0.001008 | 0.005292 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 3.417 | 0.001132 | 0.005941 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 3.077 | 0.001269 | 0.006664 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.696 | 0.001392 | 0.007308 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 2.279 | 0.001479 | 0.007763 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.835 | 0.001515 | 0.007952 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.381 | 0.001482 | 0.007782 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.936 | 0.001360 | 0.007140 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.528 | 0.001107 | 0.005812 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.196 | 0.000560 | 0.002939 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 74. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.397 | 0.000571 | 0.003000 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.226 | 0.000667 | 0.003503 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.025 | 0.000773 | 0.004060 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.793 | 0.000871 | 0.004573 | 0.007 | CUMPLE |

Tabla 74. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 6 | 18.50 | 1.532 | 0.000947 | 0.004974 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.248 | 0.000991 | 0.005205 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.950 | 0.000991 | 0.005201 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.653 | 0.000928 | 0.004870 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.375 | 0.000774 | 0.004062 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.143 | 0.000408 | 0.002142 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 75. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M12

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.726 | 0.000722 | 0.003789 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.510 | 0.000813 | 0.004268 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.266 | 0.000916 | 0.004807 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.991 | 0.001008 | 0.005290 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.689 | 0.001076 | 0.005647 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.366 | 0.001109 | 0.005821 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.034 | 0.001095 | 0.005747 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.705 | 0.001015 | 0.005331 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.401 | 0.000837 | 0.004393 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.150 | 0.000428 | 0.002246 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 76. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M12

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.849 | 0.000443 | 0.002328 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.716 | 0.000517 | 0.002716 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.561 | 0.000599 | 0.003143 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.381 | 0.000674 | 0.003537 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.179 | 0.000731 | 0.003840 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.960 | 0.000764 | 0.004013 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.730 | 0.000763 | 0.004004 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.501 | 0.000713 | 0.003745 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.287 | 0.000593 | 0.003115 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.109 | 0.000313 | 0.001641 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M22

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M22*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE COLUMNAS
 - B. SECCIONES OBTENIDAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018
 - B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
 - C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH
 - D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN
 - E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL
 - F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE
 - G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE
 - H. ESPECTRO SÍSMICO
 - I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO M22

La estructura de este modelo pertenece al sistema estructural dual, donde el A% de los elementos resistentes a corte son placas y el B% son columnas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M22* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente del 2018. El *Modelo M22* es un modelo ideal que se conseguirá luego de realizar iteraciones, este modelo cumple con las verificaciones y limitaciones dadas por la norma mencionada. Las iteraciones consisten en modificaciones de las áreas de elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, que en este *Modelo M22* son columnas y placas. El método para la iteración consiste en la adición de un 10% del área de la columna y otro porcentaje del área de la placa según sea conveniente, hasta que se obtenga el modelo ideal. En esta ficha se muestra los resultados obtenidos sólo del modelo ideal, obviando los resultados de las iteraciones.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido

secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.

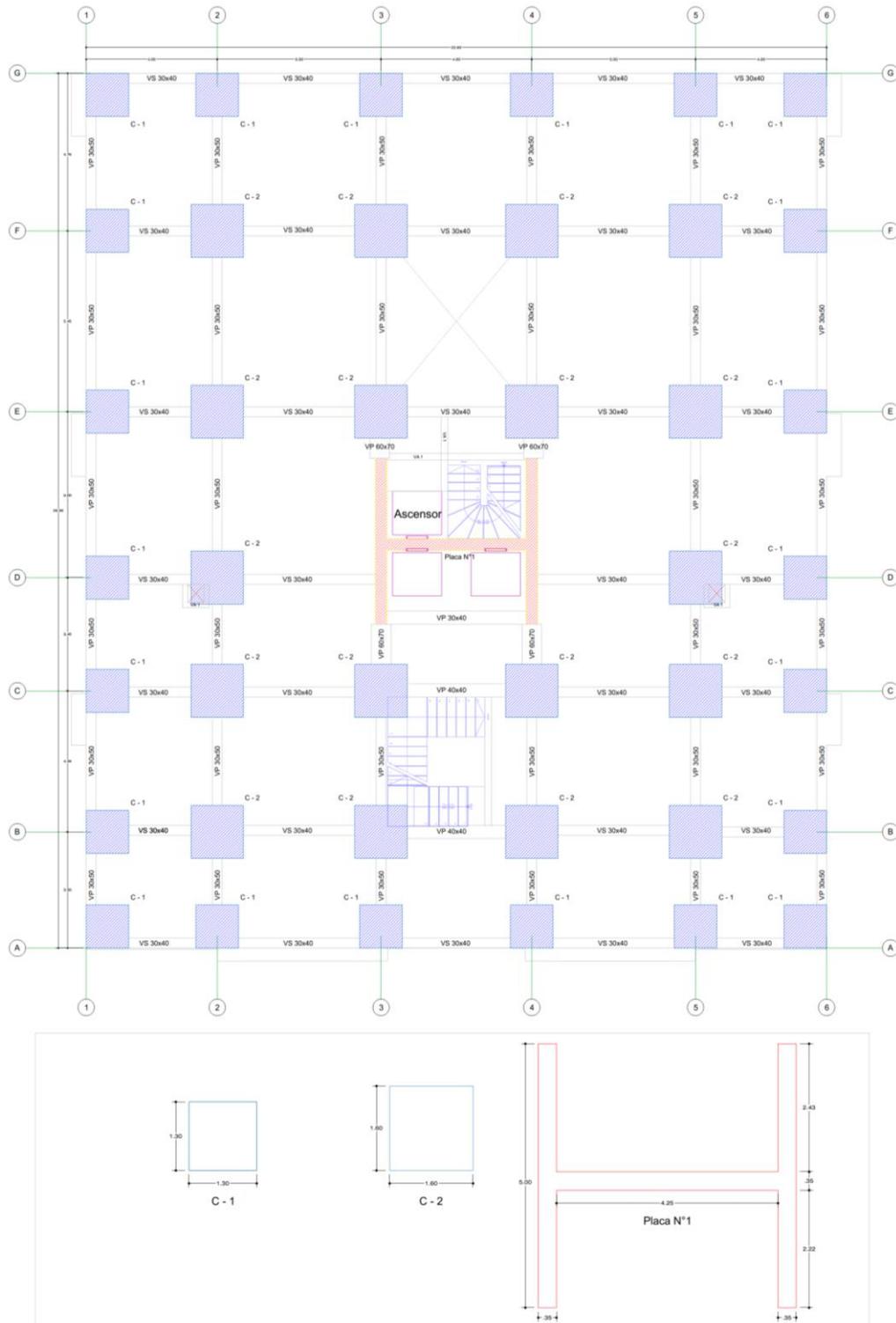


Figura 12. Estructuración modelo M22.

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 77. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M22

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|---|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ m}$ |
| d. PLACAS | $b_{\text{min placa}} = 25 \text{ cm}$ |
| e. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $E_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma E.020 Cargas. Las *Cargas Permanentes* consideran el peso propio de los elementos estructurales y la carga distribuida en losa que considera a la vez el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la *Carga Viva* se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas y de 500 kg/m² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas, se realizará el siguiente procedimiento:

- Predimensionamiento de las secciones de columnas por el Método Japonés y placas verificando los espesores mínimos y límites de esbeltez.
- Modelamiento de la estructura en el programa ETABs v16.2.1, consignando las secciones de los otros elementos estructurales dados en el predimensionamiento, las propiedades de los materiales y las cargas dadas en la Norma E.020. Además de la Fuerza Cortante y el Espectro de Sísmico de Respuesta calculada para la iteración siguiendo los procedimientos de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.
- Verificación de derivas y los desplazamientos en base a los máximos permitidos por la Norma Sismorresistente E.030 del 2018. Estos resultados además nos servirán para determinar si la estructura es regular, y de no serlo afectará en el cálculo de la Fuerza Cortante y Espectro Sísmico de Respuesta.
- Culminación de la prueba si cumple con los requerimientos dados por la Norma E030 del 2018, y en caso contrario se procede a variar la sección calculada en un primer momento, aumentándola en un 10% aumentándola en un 10% en columnas y otro porcentaje en placas según sea conveniente.
- Se sigue los pasos del ítem b), c) y d) hasta que se cumplan los requerimientos dados por la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

B. SECCIONES OBTENIDAS

| Secciones predimensionadas por el Método Japonés. | | Secciones obtenidas para el <i>Modelo M22</i> , que corresponden al modelo ideal luego de realizar iteraciones. | |
|---|---------|---|----------------|
| Columna | Sección | Columna | Sección |
| C1 | 40x40 | C1 | 130x130 |
| C2 | 40x50 | C2 | 160x160 |
| C3 | 50x70 | P1 | e=35, L=5.00 m |
| C4 | 50x85 | P2 | e=35, L=4.25 m |
| C5 | 50x60 | | |
| C6 | 50x50 | | |

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018

Tabla 78. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M22 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|---|----------|
| 1. Zonificación, E.030-2018 (Art.10) | Zona Sísmica: 3 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno y distrito Puno. | Z = 0.35 |

Tabla 78. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M22 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|---|
| 2. Condiciones Geotécnicas, E.030-2018(Art.12) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios, que tiene las siguientes características: V_s : 180 m/s a 500 m/s N_{60} : 15 a 50 S_u : 50 kPa a 100 kPa | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 s$ $T_L = 2.0s$ |
| 3. Categoría de la Edificación y Factor de Uso(U), E.030 2018(Art.15) | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Sistema Estructural y Restricciones de Irregularidad, E.030-2018(Art.16, Art.17 y Art.21) | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, no se permiten irregularidades extremas. | |
| 5. Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, E.030-2018(Art.18) | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: Dual | $R_o = 7$ |
| 6. Factores de Irregularidad (I_a y I_p) E.030-2018(Art.20) | Irregularidad en Altura, I_a : Ninguna Irregularidad en Planta, I_p : Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $I_a = 1$ $I_p = 1$ |
| 7. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R E.030-2018(Art.22) | $R_x = R_o \cdot I_a \cdot I_p$ | $R_x = 7$ |
| 8. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2018(Art.28-ítem 28.4) | Elementos resistentes en la dirección considerada: Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. Coeficiente para estimar el periodo fundamental: $C_T = 45$ Altura total de la edificación: $h_n = 30.5 m$ Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{45} = 0.678 s$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.678 s$ |
| 9. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, | Exponente relacionado con el periodo fundamental: Para $T \leq 0.5 s$, $k = 1.0$ | $k = 1.089$ |

Tabla 78. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M22 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|---|-----------------------|
| E.030-2018(Art.28-ítem 28.3) | Para $T > 0.5 s$, $k = (0.75 + 0.5 T)$ $k = (0.75 + 0.5 \times 0.678)$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | |
| 10. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $T < T_p, C = 2.5$ $T_p < T < T_L, C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $T_L < T, C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$ $C = 2.5 \left(\frac{0.6}{0.678}\right) = 2.213$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 1.836$ |
| 11-. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018(Art.28-ítem 28.2) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.11$ $\frac{C}{R} = \frac{2.213}{7} = 0.316$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.316$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a, I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_a se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando e Irregularidad Extrema de Rigidez

- En la Dirección X-X

Tabla 79. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M22

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})}$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})}$ | |
| | | | | | | > 0.7 | > 0.8 | > 0.6 | > 0.7 | |
| Piso 10 | 183290.12 | 2.71 | 14.23 | 7.35 | 24921.41 | | | | | |
| Piso 9 | 444555.27 | 2.46 | 12.90 | 6.87 | 64688.46 | | | | | REGULAR |
| Piso 8 | 674721.91 | 2.19 | 11.49 | 6.03 | 111901.14 | 1.73 | | 1.73 | | REGULAR |
| Piso 7 | 875148.98 | 1.90 | 9.96 | 5.46 | 160191.28 | 1.43 | | 1.43 | | REGULAR |
| Piso 6 | 1042478.60 | 1.59 | 8.32 | 4.50 | 231673.49 | 1.45 | 2.06 | 1.45 | 2.06 | REGULAR |
| Piso 5 | 1183085.01 | 1.26 | 6.62 | 3.82 | 309376.06 | 1.34 | 1.84 | 1.34 | 1.84 | REGULAR |
| Piso 4 | 1294178.97 | 0.93 | 4.90 | 2.79 | 463278.11 | 1.50 | 1.98 | 1.50 | 1.98 | REGULAR |
| Piso 3 | 1376844.93 | 0.62 | 3.25 | 2.11 | 653679.40 | 1.41 | 1.95 | 1.41 | 1.95 | REGULAR |
| Piso 2 | 1431777.01 | 0.34 | 1.78 | 1.15 | 1248715.34 | 1.91 | 2.63 | 1.91 | 2.63 | REGULAR |
| Piso 1 | 1461578.94 | 0.12 | 0.64 | 0.64 | 2291325.01 | 1.83 | 2.91 | 1.83 | 2.91 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 80. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M22

| Piso | V_{yi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})}$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}}$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})}$ | |
| | | | | | | > 0.7 | > 0.8 | > 0.6 | > 0.7 | |
| Piso 10 | 192881.59 | 1.32 | 6.91 | 3.54 | 54549.89 | | | | | |
| Piso 9 | 470019.33 | 1.21 | 6.33 | 3.37 | 139320.71 | | | | | |
| Piso 8 | 716350.51 | 1.08 | 5.69 | 2.96 | 242272.22 | 1.74 | | 1.74 | | REGULAR |
| Piso 7 | 933021.83 | 0.95 | 4.97 | 2.73 | 341700.53 | 1.41 | | 1.41 | | REGULAR |
| Piso 6 | 1116018.60 | 0.80 | 4.20 | 2.24 | 497367.74 | 1.46 | 2.06 | 1.46 | 2.06 | REGULAR |
| Piso 5 | 1271899.31 | 0.64 | 3.39 | 1.96 | 650030.95 | 1.31 | 1.80 | 1.31 | 1.80 | REGULAR |
| Piso 4 | 1397118.59 | 0.49 | 2.56 | 1.43 | 977655.50 | 1.50 | 1.97 | 1.50 | 1.97 | REGULAR |
| Piso 3 | 1492285.24 | 0.33 | 1.74 | 1.13 | 1324533.12 | 1.35 | 1.87 | 1.35 | 1.87 | REGULAR |
| Piso 2 | 1557399.26 | 0.19 | 1.00 | 0.62 | 2524659.40 | 1.91 | 2.57 | 1.91 | 2.57 | REGULAR |
| Piso 1 | 1594449.75 | 0.07 | 0.38 | 0.38 | 4212270.66 | 1.67 | 2.62 | 1.67 | 2.62 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

i.2. Irregularidad de Masa o Peso

Tabla 81. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M22

| Piso | Peso (kgf) | P_i/P_{i+1} | $P_i/P_{i+1} < 1.5$ |
|---------|-------------|---------------|---------------------|
| Piso 10 | 720986.258 | | |
| Piso 9 | 1148944.425 | | |
| Piso 8 | 1146276.425 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 1148944.425 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 1127736.725 | 0.98 | REGULAR |
| Piso 5 | 1146559.865 | 1.02 | REGULAR |
| Piso 4 | 1142081.865 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 3 | 1142081.865 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 1142081.865 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 1 | 1206874.010 | 1.06 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_p se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---------------------------------------|-------------|-------|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

ii.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 82. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M22

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/D. Prom. | D. Max/D. Prom. < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Piso 10 | 0.000939 | 0.004930 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000939 | 0.000732 | 0.000836 | 0.004386 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001019 | 0.005350 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001019 | 0.000779 | 0.000899 | 0.004720 | 1.13 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001118 | 0.005870 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001118 | 0.000835 | 0.000977 | 0.005127 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001210 | 0.006353 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001210 | 0.000882 | 0.001046 | 0.005492 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001272 | 0.006678 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001272 | 0.000909 | 0.001091 | 0.005725 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001290 | 0.006773 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001290 | 0.000905 | 0.001098 | 0.005762 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001245 | 0.006536 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001245 | 0.000860 | 0.001053 | 0.005526 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001117 | 0.005864 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001117 | 0.000762 | 0.000940 | 0.004932 | 1.19 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000875 | 0.004594 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000875 | 0.000591 | 0.000733 | 0.003848 | 1.19 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000418 | 0.002195 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000418 | 0.000282 | 0.000350 | 0.001838 | 1.19 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 83. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M22

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Límite | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/ D. Prom. | D. Max/D. Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Piso 10 | 0.000438 | 0.002300 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000301 | 0.000434 | 0.000368 | 0.001929 | 1.19 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000488 | 0.002562 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000332 | 0.000484 | 0.000408 | 0.002142 | 1.20 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000546 | 0.002867 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000365 | 0.000541 | 0.000453 | 0.002378 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000597 | 0.003134 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000391 | 0.000591 | 0.000491 | 0.002578 | 1.22 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000633 | 0.003323 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000407 | 0.000627 | 0.000517 | 0.002714 | 1.22 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.000649 | 0.003407 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000411 | 0.000643 | 0.000527 | 0.002767 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.000637 | 0.003344 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000400 | 0.000631 | 0.000516 | 0.002706 | 1.24 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000587 | 0.003082 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000368 | 0.000582 | 0.000475 | 0.002494 | 1.24 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000482 | 0.002531 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000306 | 0.000477 | 0.000392 | 0.002055 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000248 | 0.001302 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000164 | 2.48E-04 | 0.000206 | 0.001082 | 1.20 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii.2. Esquinas Entrantes

La estructura presenta dos esquinas entrantes mínimas en la fachada principal, en la dirección X-X con una longitud de 4.6 m que representa el 20% de la longitud total, y en la dirección Y-Y con una longitud de 0.35 m que representa el 1.3% de la longitud total. En ambas direcciones no existe este tipo de irregularidad ya que no supera el 20% de la longitud, tal como indica la Norma.

ii.3. Discontinuidad del diafragma

El área total de los espacios vacíos en la edificación es de 49.42 m² que representa el 9.40 % del área total que es 526.015 m². Por lo tanto, no presenta este tipo de discontinuidad, ya que no supera el 50% del área bruta.

Finalmente, el ítem 20.3 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)”, de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que si al aplicar las Tablas N° 8 y 9 se obtuvieron valores distintos de los factores I_a o I_p para las dos direcciones de análisis, se toma para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

De acuerdo a la investigación se considera como periodo inicial el obtenido en la Tabla 78, donde $T=0.871s$. El que se obtuvo del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018. Considerando que el coeficiente para estimar el periodo fundamental es $C_T = 45$, el que corresponde a pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras, por otro lado la altura del edificio es de $h_n = 30.5 m$; con estos datos:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{45} = 0.678 s$$

En el sub-ítem 28.4.2. del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28 “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, menciona que, para determinar el periodo fundamental de vibración para cada dirección, alternativamente puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i)}}$$

Donde:

f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

d_i es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros de planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calculan suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando secciones sin fisurar.

Además, el sub-ítem 28.4.3. del mismo artículo menciona que cuando el análisis no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental T se toma como 0.85 del valor obtenido en la fórmula precedente.

- Periodo fundamental en la dirección X-X

Tabla 84. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M22

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 720986.258 | 183290.121 | 2.710 | 5294604.406 | 496697.898 |
| Piso 9 | 27.50 | 1148944.425 | 261265.146 | 2.458 | 6938827.247 | 642059.097 |
| Piso 8 | 24.50 | 1146276.425 | 230166.640 | 2.189 | 5493138.669 | 503857.791 |
| Piso 7 | 21.50 | 1148944.425 | 200427.074 | 1.898 | 4137653.678 | 380350.459 |
| Piso 6 | 18.50 | 1127736.725 | 167329.618 | 1.586 | 2834916.139 | 265301.109 |
| Piso 5 | 15.50 | 1146559.865 | 140606.409 | 1.261 | 1821723.394 | 177234.379 |
| Piso 4 | 12.50 | 1142081.865 | 111093.964 | 0.933 | 994809.141 | 103683.997 |
| Piso 3 | 9.50 | 1142081.865 | 82665.958 | 0.620 | 438449.979 | 51219.827 |
| Piso 2 | 6.50 | 1142081.865 | 54932.083 | 0.340 | 131947.013 | 18671.415 |
| Piso 1 | 3.50 | 1206874.010 | 29801.928 | 0.122 | 17816.176 | 3620.934 |
| TOTAL | | 11072567.728 | 1461578.940 | | 28103885.841 | 2642696.905 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.654 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.556 \text{ s}$$

- Periodo fundamental en la dirección Y-Y

Tabla 85. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M22

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|---------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 720986.258 | 192881.590 | 1.316 | 1248834.147 | 253851.460 |
| Piso 9 | 27.50 | 1148944.425 | 277137.737 | 1.206 | 1670511.929 | 334172.684 |
| Piso 8 | 24.50 | 1146276.425 | 246331.185 | 1.083 | 1345199.963 | 266850.573 |
| Piso 7 | 21.50 | 1148944.425 | 216671.322 | 0.948 | 1031472.038 | 205296.078 |
| Piso 6 | 18.50 | 1127736.725 | 182996.761 | 0.800 | 721931.953 | 146415.708 |
| Piso 5 | 15.50 | 1146559.865 | 155880.713 | 0.645 | 476849.673 | 100527.472 |
| Piso 4 | 12.50 | 1142081.865 | 125219.279 | 0.487 | 270643.982 | 60956.745 |
| Piso 3 | 9.50 | 1142081.865 | 95166.652 | 0.332 | 125960.677 | 31604.845 |
| Piso 2 | 6.50 | 1142081.865 | 65114.025 | 0.190 | 41055.742 | 12345.619 |
| Piso 1 | 3.50 | 1206874.010 | 37050.488 | 0.072 | 6273.826 | 2671.340 |
| TOTAL | | 11072567.728 | 1594449.753 | | 6938733.930 | 1414692.524 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.444 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.378 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.678 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X :0.654 s Dirección Y-Y :0.444 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.658s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de

masa significativa, de un 64.08%, por otro lado, en el segundo modo de vibración con un periodo de 0.614s existe una masa participativa del 8.09%. En la dirección “Y” se *obtiene un valor* de 0.444s correspondiente al tercer modo de vibración, con una masa de participación de 73.83%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Según el sub-ítem *b*) del Artículo 26. *Estimación del Peso* de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación, para edificaciones de la categoría C, el 25% de la carga viva. Además, según el ítem *d*) del mismo artículo, en azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 86. *Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M22*

| Entre piso | Altura (m) | Peso de Columnas (kg) | Peso de vigas (kg) | Peso de placas (kg) | Peso de muros (kg) | Peso de losa (kg) | Peso de escalera (kg) | Peso de Tanque Elevado (kg) | Peso Total CM (kg) | Peso Total CV (kg) | Peso Total CM+0.25CV (kg) |
|--------------|------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 3.25 | 656916.00 | 72375.46 | 39858.00 | 195801.04 | 210406.00 | 5216.76 | | 1180573.26 | 105203.00 | 1206874.01 |
| 2 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1115781.12 | 105203.00 | 1142081.87 |
| 3 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1115781.12 | 105203.00 | 1142081.87 |
| 4 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 1115781.12 | 105203.00 | 1142081.87 |
| 5 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 1120259.12 | 105203.00 | 1146559.87 |
| 6 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 170261.76 | 210406.00 | 5216.76 | | 1101435.98 | 105203.00 | 1127736.73 |
| 7 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1122643.68 | 105203.00 | 1148944.43 |
| 8 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 188801.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1119975.68 | 105203.00 | 1146276.43 |
| 9 | 3.00 | 606384.00 | 72375.46 | 36792.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 1122643.68 | 105203.00 | 1148944.43 |
| 10 | 1.50 | 303192.00 | 72375.46 | 18396.00 | 87196.48 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 701260.70 | 78902.25 | 720986.26 |
| TOTAL | | 6164904.0 | 723754.60 | 374052.00 | 1763427.22 | 2104060.00 | 52167.6 | 8956.00 | 10816135.42 | 1025729.25 | 11072567.73 |

Fuente: *Elaborado por el equipo de trabajo*

E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Según el ítem 16.1. “Estructuras de Concreto Armado” del Artículo 16. “*Sistemas Estructurales*” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente cumplen con lo previsto en la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

En el sub-ítem *b*) del mismo artículo menciona que el sistema es dual si las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros es mayor que 20% y menor que 70% del cortante en la base del edificio.

Tabla 87. *Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M22*

| FUERZA CORTANTE POR SISMO | SISMO EN X-X | | SISMO EN Y-Y | |
|---------------------------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| | kg | % | kg | % |
| Fuerza cortante por sismo en columnas | 1137741.15 | 77.84 | 1120942.67 | 70.30 |
| Fuerza cortante por sismo en placas | 323833.21 | 22.16 | 473471.46 | 29.70 |
| Fuerza cortante por sismo total | 1461574.36 | 100.00 | 1594414.13 | 100.00 |
| SISTEMA ESTRUCTURAL | SISTEMA DUAL | | SISTEMA DUAL | |

Fuente: *Elaborado por el equipo de trabajo*

F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el *sub-ítem 28.2.1.* del ítem 28.2. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot P$$

Además, en el *sub-ítem 28.2.2.* del mismo artículo, menciona que el valor de C/R no deberá considerarse menor que: $C/R \geq 0.11$.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M22 se encuentran en la Tabla 78.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{2.294}{7} = 0.328 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.294 \times 1.15}{7} = 0.132$$

$$V = 0.132 \times 11072567.73 \text{ kgf} = 1461578.940 \text{ kgf}$$

Tabla 88. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M22

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|-------|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 720986.258 | 1.077 | 28610003.690 | 0.125 | 1461578.940 | 183290.121 | 183290.121 |
| Piso 9 | 27.50 | 1148944.425 | 1.077 | 40781231.225 | 0.179 | 1461578.940 | 261265.146 | 444555.267 |
| Piso 8 | 24.50 | 1146276.425 | 1.077 | 35927023.116 | 0.157 | 1461578.940 | 230166.640 | 674721.906 |
| Piso 7 | 21.50 | 1148944.425 | 1.077 | 31284934.027 | 0.137 | 1461578.940 | 200427.074 | 875148.981 |
| Piso 6 | 18.50 | 1127736.725 | 1.077 | 26118707.094 | 0.114 | 1461578.940 | 167329.618 | 1042478.598 |
| Piso 5 | 15.50 | 1146559.865 | 1.077 | 21947445.249 | 0.096 | 1461578.940 | 140606.409 | 1183085.008 |
| Piso 4 | 12.50 | 1142081.865 | 1.077 | 17340807.592 | 0.076 | 1461578.940 | 111093.964 | 1294178.972 |
| Piso 3 | 9.50 | 1142081.865 | 1.077 | 12903441.534 | 0.057 | 1461578.940 | 82665.958 | 1376844.929 |
| Piso 2 | 6.50 | 1142081.865 | 1.077 | 8574423.314 | 0.038 | 1461578.940 | 54932.083 | 1431777.012 |
| Piso 1 | 3.50 | 1206874.010 | 1.077 | 4651823.396 | 0.020 | 1461578.940 | 29801.928 | 1461578.940 |
| TOTAL | | | | 228139840.24 | 1 | | 1461578.940 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.500}{7} = 0.357 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.500 \times 1.15}{7} = 0.144$$

$$V = 0.144 \times 11072567.73 \text{ kgf} = 1594449.753 \text{ kgf}$$

Tabla 89. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M22

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|---------|------------|-------------|-------|--------------------|---|-------------|----------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 720986.258 | 1.000 | 21990080.854 | 0.121 | 1594449.753 | 192881.590 | 192881.590 |
| Piso 9 | 27.50 | 1148944.425 | 1.000 | 31595971.688 | 0.174 | 1594449.753 | 277137.737 | 470019.327 |
| Piso 8 | 24.50 | 1146276.425 | 1.000 | 28083772.413 | 0.154 | 1594449.753 | 246331.185 | 716350.512 |
| Piso 7 | 21.50 | 1148944.425 | 1.000 | 24702305.138 | 0.136 | 1594449.753 | 216671.322 | 933021.834 |

Tabla 89. Distribución de fuerzas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M22

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $P_i \times h_i^k / \text{Sum}(P_i \times h_i^k)$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|-------------|-------|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|
| Piso 6 | 18.50 | 1127736.725 | 1.000 | 20863129.413 | 0.115 | 1594449.753 | 182996.761 | 1116018.595 |
| Piso 5 | 15.50 | 1146559.865 | 1.000 | 17771677.908 | 0.098 | 1594449.753 | 155880.713 | 1271899.308 |
| Piso 4 | 12.50 | 1142081.865 | 1.000 | 14276023.313 | 0.079 | 1594449.753 | 125219.279 | 1397118.588 |
| Piso 3 | 9.50 | 1142081.865 | 1.000 | 10849777.718 | 0.060 | 1594449.753 | 95166.652 | 1492285.240 |
| Piso 2 | 6.50 | 1142081.865 | 1.000 | 7423532.123 | 0.041 | 1594449.753 | 65114.025 | 1557399.265 |
| Piso 1 | 3.50 | 1206874.010 | 1.000 | 4224059.035 | 0.023 | 1594449.753 | 37050.488 | 1594449.753 |
| TOTAL | | | | 181780329.60 | 1 | | 1594449.753 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La fuerza sísmica vertical, en el análisis estático se considera como una fracción del peso igual a 2/3 Z.U.S., tal como lo indica la el sub-ítem 28.6.1. del ítem 28.6. “Fuerzas Sísmicas Verticales” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Con respecto a la excentricidad accidental, el sub-ítem a) del ítem 28.5. “Excentricidad Accidental” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, menciona que en el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), que se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, valor que se empleará para calcular un momento torsor accidental (M_{ti}) el que se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De la misma forma se usará esta excentricidad accidental de 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, para el cálculo de un momento torsor accidental en el análisis dinámico, así como lo menciona el ítem 29.5 Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión) del Artículo 29. Análisis Dinámico Espectral de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Tabla 90. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M22

| Piso | Fuerza Cortante (Vx) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vy) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|--|--|
| Piso 10 | 157812.420 | 169845.670 |
| Piso 9 | 355924.540 | 393411.230 |
| Piso 8 | 520277.360 | 582445.580 |
| Piso 7 | 658790.840 | 743004.920 |
| Piso 6 | 772770.590 | 875548.570 |
| Piso 5 | 868503.420 | 987097.550 |
| Piso 4 | 944594.840 | 1076064.950 |
| Piso 3 | 1001120.700 | 1142566.010 |
| Piso 2 | 1037498.370 | 1185714.370 |
| Piso 1 | 1055002.500 | 1206582.870 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el *sub-ítem 29.4.1.* del ítem 29.4. “Fuerza Cortante Mínima”. del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente del 2018, menciona para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Además, el *sub-ítem 29.4.2.* del mismo artículo menciona que si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados, excepto los desplazamientos.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático X} (kgf)$ | 1461578.940 | $V_{dinámico X} \geq 0.8V_{estático X}$ | 72.18% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico X} (kgf)$ | 1055002.500 | | | |

- En la dirección Y-Y

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático Y} (kgf)$ | 1594449.753 | $V_{dinámico Y} \geq 0.8V_{estático Y}$ | 75.67% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y} (kgf)$ | 1206582.870 | | | |

H. ESPECTRO SÍSMICO

En el *sub-ítem 29.2.1.* del ítem 29.2. “Aceleración Espectral” del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, menciona que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

En el *sub-ítem 29.2.2.* del mismo artículo, menciona que para el análisis en la dirección vertical puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, definidos en el artículo 14, excepto para la zona de periodos muy cortos ($T < 0.2 T_p$).

- Espectro en la Dirección X-X

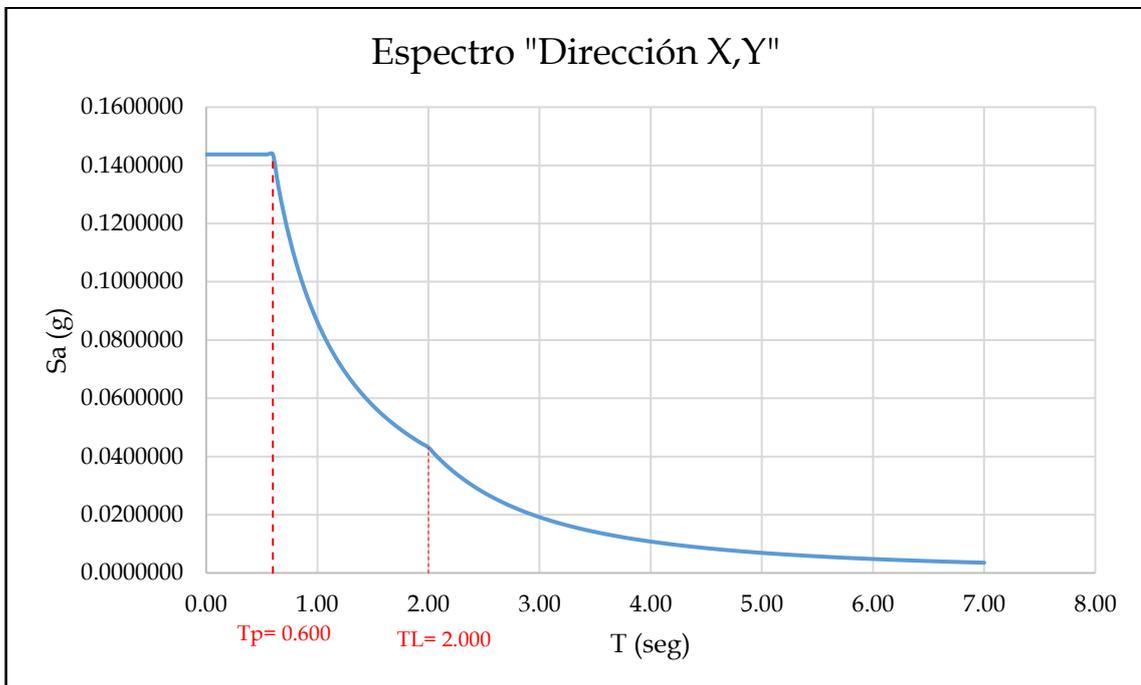
| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$ | 0.40 | 2.50 | 0.14375 | 1.25 | 1.20 | 0.06900 | 2.10 | 0.68 | 0.03912 |
|-------|-------|--------------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| | | | 0.45 | 2.50 | 0.14375 | 1.30 | 1.15 | 0.06635 | 2.15 | 0.65 | 0.03732 |
| 0.00 | 2.50 | 0.14375 | 0.50 | 2.50 | 0.14375 | 1.35 | 1.11 | 0.06389 | 2.20 | 0.62 | 0.03564 |
| 0.02 | 2.50 | 0.14375 | 0.55 | 2.50 | 0.14375 | 1.40 | 1.07 | 0.06161 | 2.25 | 0.59 | 0.03407 |
| 0.04 | 2.50 | 0.14375 | 0.60 | 2.50 | 0.14375 | 1.45 | 1.03 | 0.05948 | 2.30 | 0.57 | 0.03261 |
| 0.06 | 2.50 | 0.14375 | 0.65 | 2.31 | 0.13269 | 1.50 | 1.00 | 0.05750 | 2.35 | 0.54 | 0.03124 |
| 0.08 | 2.50 | 0.14375 | 0.70 | 2.14 | 0.12321 | 1.55 | 0.97 | 0.05565 | 2.40 | 0.52 | 0.02995 |
| 0.10 | 2.50 | 0.14375 | 0.75 | 2.00 | 0.11500 | 1.60 | 0.94 | 0.05391 | 2.45 | 0.50 | 0.02874 |
| 0.12 | 2.50 | 0.14375 | 0.80 | 1.88 | 0.10781 | 1.65 | 0.91 | 0.05227 | 2.50 | 0.48 | 0.02760 |
| 0.14 | 2.50 | 0.14375 | 0.85 | 1.76 | 0.10147 | 1.70 | 0.88 | 0.05074 | 2.55 | 0.46 | 0.02653 |
| 0.16 | 2.50 | 0.14375 | 0.90 | 1.67 | 0.09583 | 1.75 | 0.86 | 0.04929 | 2.60 | 0.44 | 0.02552 |
| 0.18 | 2.50 | 0.14375 | 0.95 | 1.58 | 0.09079 | 1.80 | 0.83 | 0.04792 | 2.65 | 0.43 | 0.02456 |
| 0.20 | 2.50 | 0.14375 | 1.00 | 1.50 | 0.08625 | 1.85 | 0.81 | 0.04662 | 2.70 | 0.41 | 0.02366 |
| 0.25 | 2.50 | 0.14375 | 1.05 | 1.43 | 0.08214 | 1.90 | 0.79 | 0.04539 | 2.75 | 0.40 | 0.02281 |
| 0.30 | 2.50 | 0.14375 | 1.10 | 1.36 | 0.07841 | 1.95 | 0.77 | 0.04423 | 2.80 | 0.38 | 0.02200 |
| 0.35 | 2.50 | 0.14375 | 1.15 | 1.30 | 0.07500 | 2.00 | 0.75 | 0.04313 | 2.85 | 0.37 | 0.02124 |
| | | | 1.20 | 1.25 | 0.07188 | 2.05 | 0.71 | 0.04105 | 2.90 | 0.36 | 0.02051 |

| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$ |
|-------|-------|--------------------------------|
| 2.95 | 0.34 | 0.01982 |
| 3.00 | 0.33 | 0.01917 |
| 3.05 | 0.32 | 0.01854 |
| 3.10 | 0.31 | 0.01795 |
| 3.15 | 0.30 | 0.01738 |
| 3.20 | 0.29 | 0.01685 |
| 3.25 | 0.28 | 0.01633 |
| 3.30 | 0.28 | 0.01584 |
| 3.35 | 0.27 | 0.01537 |
| 3.40 | 0.26 | 0.01492 |
| 3.45 | 0.25 | 0.01449 |
| 3.50 | 0.24 | 0.01408 |
| 3.55 | 0.24 | 0.01369 |
| 3.60 | 0.23 | 0.01331 |
| 3.65 | 0.23 | 0.01295 |
| 3.70 | 0.22 | 0.01260 |
| 3.75 | 0.21 | 0.01227 |
| 3.80 | 0.21 | 0.01195 |
| 3.85 | 0.20 | 0.01164 |

| | | |
|------|------|---------|
| 3.90 | 0.20 | 0.01134 |
| 3.95 | 0.19 | 0.01106 |
| 4.00 | 0.19 | 0.01078 |
| 4.05 | 0.18 | 0.01052 |
| 4.10 | 0.18 | 0.01026 |
| 4.15 | 0.17 | 0.01002 |
| 4.20 | 0.17 | 0.00978 |
| 4.25 | 0.17 | 0.00955 |
| 4.30 | 0.16 | 0.00933 |
| 4.35 | 0.16 | 0.00912 |
| 4.40 | 0.15 | 0.00891 |
| 4.45 | 0.15 | 0.00871 |
| 4.50 | 0.15 | 0.00852 |
| 4.55 | 0.14 | 0.00833 |
| 4.60 | 0.14 | 0.00815 |
| 4.65 | 0.14 | 0.00798 |
| 4.70 | 0.14 | 0.00781 |
| 4.75 | 0.13 | 0.00765 |
| 4.80 | 0.13 | 0.00749 |
| 4.85 | 0.13 | 0.00733 |
| 4.90 | 0.12 | 0.00718 |

| | | |
|------|------|---------|
| 4.95 | 0.12 | 0.00704 |
| 5.00 | 0.12 | 0.00690 |
| 5.05 | 0.12 | 0.00676 |
| 5.10 | 0.12 | 0.00663 |
| 5.15 | 0.11 | 0.00650 |
| 5.20 | 0.11 | 0.00638 |
| 5.25 | 0.11 | 0.00626 |
| 5.30 | 0.11 | 0.00614 |
| 5.35 | 0.10 | 0.00603 |
| 5.40 | 0.10 | 0.00592 |
| 5.45 | 0.10 | 0.00581 |
| 5.50 | 0.10 | 0.00570 |
| 5.55 | 0.10 | 0.00560 |
| 5.60 | 0.10 | 0.00550 |
| 5.65 | 0.09 | 0.00540 |
| 5.70 | 0.09 | 0.00531 |
| 5.75 | 0.09 | 0.00522 |
| 5.80 | 0.09 | 0.00513 |
| 5.85 | 0.09 | 0.00504 |
| 5.90 | 0.09 | 0.00496 |
| 5.95 | 0.08 | 0.00487 |

| | | |
|------|------|---------|
| 6.00 | 0.08 | 0.00479 |
| 6.05 | 0.08 | 0.00471 |
| 6.10 | 0.08 | 0.00464 |
| 6.15 | 0.08 | 0.00456 |
| 6.20 | 0.08 | 0.00449 |
| 6.25 | 0.08 | 0.00442 |
| 6.30 | 0.08 | 0.00435 |
| 6.35 | 0.07 | 0.00428 |
| 6.40 | 0.07 | 0.00421 |
| 6.45 | 0.07 | 0.00415 |
| 6.50 | 0.07 | 0.00408 |
| 6.55 | 0.07 | 0.00402 |
| 6.60 | 0.07 | 0.00396 |
| 6.65 | 0.07 | 0.00390 |
| 6.70 | 0.07 | 0.00384 |
| 6.75 | 0.07 | 0.00379 |
| 6.80 | 0.06 | 0.00373 |
| 6.85 | 0.06 | 0.00368 |
| 6.90 | 0.06 | 0.00362 |
| 6.95 | 0.06 | 0.00357 |
| 7.00 | 0.06 | 0.00352 |



I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

En el Artículo 32. “Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, indica que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el Artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N°11.

En el ítem 31.1. del Artículo 31 “Determinación de Desplazamientos Laterales” menciona que, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75 R los resultados obtenido del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.85 R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Además, en el ítem 31.2. del mismo artículo señala que para el cálculo de los desplazamientos laterales no se consideran los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 28.2 ni el cortante mínimo en la base en el numeral 29.4.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 91. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M22

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.172 | 0.000939 | 0.004930 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.890 | 0.001019 | 0.005350 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.585 | 0.001118 | 0.005871 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.249 | 0.001210 | 0.006351 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.886 | 0.001273 | 0.006682 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.504 | 0.001290 | 0.006773 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.117 | 0.001245 | 0.006538 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.744 | 0.001117 | 0.005863 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.409 | 0.000875 | 0.004592 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.146 | 0.000418 | 0.002195 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 92. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M22

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.590 | 0.000434 | 0.002279 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.460 | 0.000484 | 0.002543 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.314 | 0.000541 | 0.002840 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.152 | 0.000591 | 0.003103 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 0.975 | 0.000627 | 0.003294 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.786 | 0.000643 | 0.003376 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.594 | 0.000631 | 0.003311 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.404 | 0.000581 | 0.003052 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.230 | 0.000478 | 0.002508 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.087 | 0.000247 | 0.001299 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 93. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M22

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.521 | 0.000738 | 0.003875 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.300 | 0.000803 | 0.004217 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.059 | 0.000885 | 0.004646 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.793 | 0.000960 | 0.005040 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.505 | 0.001012 | 0.005315 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.202 | 0.001028 | 0.005399 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.893 | 0.000994 | 0.005220 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.595 | 0.000893 | 0.004687 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.327 | 0.000700 | 0.003673 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.117 | 0.000335 | 0.001757 | 0.0070 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 94. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M22

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 1.225 | 0.000339 | 0.001778 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 1.124 | 0.000377 | 0.001981 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 1.010 | 0.000420 | 0.002207 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 0.884 | 0.000458 | 0.002406 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 0.747 | 0.000484 | 0.002543 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 0.602 | 0.000495 | 0.002597 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.453 | 0.000484 | 0.002539 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.308 | 0.000444 | 0.002331 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.175 | 0.000363 | 0.001908 | 0.0070 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.066 | 0.000188 | 0.000987 | 0.0070 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M13

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M13*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE COLUMNAS Y PLACAS
 - B. SECCIONES OBTENIDAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2003
 - B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
 - C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH
 - D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN
 - E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL
 - F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE
 - G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE
 - H. ESPECTRO SÍSMICO
 - I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO M13

La estructura de este modelo pertenece al sistema estructural de muros estructurales, donde el A% de los elementos resistentes a corte son placas y el B% son columnas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M13* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. El *Modelo M13* es un modelo ideal que se conseguirá luego de realizar iteraciones. Las iteraciones consisten en modificaciones de las áreas de la sección transversal de los elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, que en este *Modelo M13* son columnas y placas. El método para la iteración consiste en la adición de un 10% del área de la columna y otro porcentaje del área de la placa según sea conveniente, hasta que se obtenga el modelo ideal. En esta ficha se muestra los resultados obtenidos sólo del modelo ideal, obviando los resultados de las iteraciones.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.



Figura 13. Estructuración modelo M13

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 95. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M13

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|---|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ cm}$ |
| d. PLACAS | $b_{\min \text{placa}} = 25 \text{ cm}$ |
| e. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características siguientes, que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $E_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.020 Cargas. Las *Cargas Permanentes* consideran el peso propio de los elementos estructurales y la carga distribuida en losa que considera a la vez el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la *Carga Viva* se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas y de 500 kg/m² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS

Para la obtención de secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas (columnas y placas), en el caso de las columnas se realizará el predimensionamiento con el Método Japonés.

B. SECCIONES OBTENIDAS

| Secciones predimensionadas por el Método Japonés | | Secciones obtenidas para el <i>Modelo M13</i> , que corresponden al modelo ideal luego de realizar iteraciones | |
|--|--------------|--|--|
| Columna | Sección (cm) | Columna | Sección (cm) |
| C1 | 40x40 | C1 | 40x40 |
| C2 | 40x50 | C2 | 40x50 |
| C3 | 50x70 | C3 | 50x70 |
| C4 | 50x85 | C4 | 50x85 |
| C5 | 50x60 | C5 | 50x50 |
| C6 | 50x50 | P3 (H) | $e_1 = 30, L_1=430$ $e_2 = 30, L_2=320$ |
| | | P1 | $e = 30, L=212.5$ |
| | | P2 | $e = 30, L=445$ |

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA E.030 DEL 2003

Tabla 96. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|-----------------------------|
| 1. Zonificación, <i>E.030-2003(Art.5)</i> | Zona Sísmica: 2 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno. | $Z = 0.30$ |
| 2. Condiciones Locales, <i>E.030-2003(Art.6)</i> | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos Intermedios | $S = 1.20$ $T_p = 0.6 s$ |
| 3. Categoría de las Edificaciones, <i>E.030-2003(Art.10)</i> | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones, <i>E.030-2003(Art.13)</i> | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 2, está permitido <i>cualquier sistema estructural</i> . Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 2, <i>regular o irregular</i> . | |
| 5. Configuración Estructural, <i>E.030-2003(Art.11)</i> | Irregularidad en Altura: Ninguna Irregularidad en Planta: Ninguna | <i>Regular</i> |

Tabla 96. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|-----------------------|
| 6. <i>Sistemas Estructurales, E.030-2003(Art.12)</i> | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: De Muros Estructurales (* Si la estructura es irregular se multiplica Ro por $\frac{3}{4}$. | $R_o = 6$ |
| 7. <i>Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2003(Art.17-ítem 17.2)</i> | Elementos resistentes en la dirección considerada: Para estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte. Coeficiente para estimar el periodo fundamental: $C_T = 60$ Altura total de la edificación: $h_n = 30.5 \text{ m}$ Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{60} = 0.508 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.508 \text{ s}$ |
| 8. <i>Factor de Amplificación Sísmica, E.030-2003(Art.7)</i> | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right); C \leq 2.5$ $C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.508}\right) = 2.951$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 2.50$ |
| 9. <i>Fuerza Cortante en la Base, E.030-2003(Art.17-ítem 17.3)</i> | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.125$ $\frac{C}{R} = \frac{2.50}{6} = 0.417$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.417$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el *Artículo 11. "Configuración estructural"* de la Norma Sismorresistente E030 del 2003, las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis y los valores apropiados del factor de reducción de fuerza sísmica (Tabla N° 6).

Además, el *Artículo 12. "Sistemas Estructurales"* de la misma norma menciona que para estructuras irregulares, los valores de R deben ser tomados como $\frac{3}{4}$ de los anotados en la Tabla N°6.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---|-------------|----|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidad de Masa | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.4. Discontinuidad en los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez-Piso blando

Las sumatoria de áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte de un entrepiso, columnas y muros, es igual a las sumatoria de área del piso adyacente, ya que todos los elementos se extienden del primer nivel al último nivel.

i.2. Irregularidad de masa

Tabla 97. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M13

| Piso | Peso (kgf) | P_i/P_{i+1} | $P_i/P_{i+1} < 1.5$ |
|---------|------------|---------------|---------------------|
| Piso 10 | 482971.198 | | |
| Piso 9 | 649803.365 | | |
| Piso 8 | 647135.365 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 649803.365 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 628595.665 | 0.97 | REGULAR |
| Piso 5 | 648762.805 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 4 | 644956.805 | 0.99 | REGULAR |
| Piso 3 | 644956.805 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 644956.805 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 1 | 665555.950 | 1.03 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|------------------------------------|-------------|----|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.3. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 98. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M13

| Piso | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Promedio | Deriva Prom. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Max. | D. Max. Inelástica | Deriva Max/D. Promedio | D. Max/D. Prom < 1.3 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| Piso 10 | 0.001319 | 0.001054 | 0.001187 | 0.005339 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001319 | 0.005936 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001353 | 0.001193 | 0.001273 | 0.005729 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001353 | 0.006089 | 1.06 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001376 | 0.001300 | 0.001338 | 0.006021 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001376 | 0.006192 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001381 | 0.001385 | 0.001383 | 0.006224 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001385 | 0.006233 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001354 | 0.001432 | 0.001393 | 0.006269 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001432 | 0.006444 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001282 | 0.001435 | 0.001359 | 0.006113 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001435 | 0.006458 | 1.06 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001155 | 0.001387 | 0.001271 | 0.005720 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001387 | 0.006242 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.000961 | 0.001277 | 0.001119 | 0.005036 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001277 | 0.005747 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000690 | 0.001096 | 0.000893 | 0.004019 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001096 | 0.004932 | 1.23 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000299 | 0.000700 | 0.000500 | 0.002248 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000700 | 0.003150 | 1.40 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 99. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M13

| Piso | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Promedio | Deriva Prom. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Max. | D. Max. Inelástica | Deriva Max/D. Promedio | D. Max/D. Prom < 1.3 |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| Piso 10 | 0.000542 | 0.000823 | 0.000683 | 0.003071 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000823 | 0.003704 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.000658 | 0.000977 | 0.000818 | 0.003679 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000977 | 0.004397 | 1.20 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.000786 | 0.001141 | 0.000964 | 0.004336 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001141 | 0.005135 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.000904 | 0.001292 | 0.001098 | 0.004941 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001292 | 0.005814 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.000992 | 0.001403 | 0.001198 | 0.005389 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001403 | 0.006314 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001042 | 0.001462 | 0.001252 | 0.005634 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001462 | 0.006579 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001051 | 0.001460 | 0.001256 | 0.005650 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001460 | 0.006570 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001001 | 0.001374 | 0.001188 | 0.005344 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001374 | 0.006183 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000854 | 0.001156 | 0.001005 | 0.004523 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001156 | 0.005202 | 1.15 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000453 | 0.000618 | 0.000536 | 0.002410 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000618 | 0.002781 | 1.15 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii.2. Esquinas Entrantes

La estructura presenta dos esquinas entrantes mínimas en la fachada principal, en la dirección X-X con una longitud de 4.6 m que representa el 20% de la longitud total, y en la dirección Y-Y con una longitud de 0.35 m que representa el 1.3% de la longitud total. En ambas direcciones no existe este tipo de irregularidad ya que no supera el 20% de la longitud, tal como indica la Norma.

ii.3. Discontinuidad del diafragma

El área total de los espacios vacíos en la edificación es de 49.42 m² que representa el 9.40 % del área total que es 526.015 m². Por lo tanto, no presenta este tipo de irregularidad, ya que no supera el 50% del área bruta.

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

De acuerdo a la investigación se considera como periodo inicial el obtenido en la Tabla 96, donde $T=0.508$ s. El que se obtuvo del sub-ítem a) del ítem 17.2 “Periodo Fundamental” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003. Considerando que el coeficiente para estimar el periodo fundamental es $C_T = 60$, el que corresponde a estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte, por otro lado la altura del edificio es de $h_n = 30.5$ m; con estos datos:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{60} = 0.508 \text{ s}$$

En el sub-ítem b) del ítem 17.2 “Periodo Fundamental” del Artículo 17 “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, menciona que podrá usarse un procedimiento de análisis dinámico que considere las características de rigidez y distribución de masas en la estructura. Como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i)}}$$

Además, el artículo menciona que cuando el procedimiento dinámico no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental deberá tomarse como el 0.85 del valor obtenido.

- En la dirección X-X

Tabla 100. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|--------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Techo | 30.50 | 482971.198 | 96617.302 | 3.540 | 6051376.071 | 341996.264 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 117205.633 | 3.182 | 6580166.742 | 372971.765 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 103990.832 | 2.800 | 5073541.262 | 291174.330 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 91633.495 | 2.399 | 3738190.260 | 219782.937 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 76274.074 | 1.983 | 2472817.124 | 151281.999 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 65955.570 | 1.566 | 1590387.838 | 103266.635 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 52877.934 | 1.158 | 865013.236 | 61237.935 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 40187.230 | 0.777 | 389479.360 | 31229.496 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 27496.526 | 0.442 | 125887.339 | 12147.965 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 15278.702 | 0.174 | 20186.721 | 2661.550 |
| TOTAL | | 6307498.128 | 687517.296 | | 26907055.952 | 1587750.875 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.826 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.702 \text{ s}$$

- En la dirección Y-Y

Tabla 101. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|--------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Techo | 30.50 | 482971.198 | 105481.275 | 3.026 | 4422410.773 | 319186.337 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 127958.443 | 2.821 | 5171895.085 | 360996.360 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 113531.275 | 2.576 | 4293578.541 | 292433.859 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 100040.237 | 2.287 | 3397522.600 | 228752.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 83271.696 | 1.957 | 2407672.518 | 162971.035 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 72006.539 | 1.598 | 1656268.631 | 115052.048 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 57729.120 | 1.222 | 963261.311 | 70550.758 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 43874.131 | 0.845 | 460951.377 | 37091.191 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 30019.143 | 0.489 | 154222.716 | 14679.361 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 16680.417 | 0.188 | 23398.451 | 3127.578 |
| TOTAL | | 6307498.128 | 750592.277 | | 22951182.003 | 1604840.534 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.759 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.645 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.508 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X : 0.826 s Dirección Y-Y : 0.759 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.945s correspondiente al segundo modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa de un 26.89%, por otro lado, en el segundo modo de vibración con un periodo de 0.770s existe una masa participativa del 44.53%. En la dirección "Y" se obtiene un valor de 0.759s correspondiente al tercer modo de vibración, con una masa de participación de 75.80%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Según el sub-ítem b. del ítem 16.3. "Peso de la edificación" del Artículo 16. "Generalidades" de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación, para edificaciones de la categoría C, el 25% de la carga viva. Además, según el ítem d) del mismo artículo, en azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 102. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M13

| Entre piso | Altura (m) | Peso de Columnas (kg) | Peso de vigas (kg) | Peso de placas (kg) | Peso de muros (kg) | Peso de losa (kg) | Peso de escalera (kg) | Peso de Tanque Elevado (kg) | Peso Total CM (kg) | Peso Total CV (kg) | Peso Total CM+0.25C V (kg) |
|--------------|------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 3.25 | 74490.00 | 96830.40 | 56511.00 | 195801.04 | 210406.00 | 5216.76 | | 639255.20 | 105203.00 | 665555.95 |
| 2 | 3.00 | 68760.00 | 97502.40 | 52164.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 618656.06 | 105203.00 | 644956.81 |
| 3 | 3.00 | 68760.00 | 97502.40 | 52164.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 618656.06 | 105203.00 | 644956.81 |
| 4 | 3.00 | 68760.00 | 97502.40 | 52164.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 618656.06 | 105203.00 | 644956.81 |
| 5 | 3.00 | 68760.00 | 96830.40 | 52164.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 622462.06 | 105203.00 | 648762.81 |
| 6 | 3.00 | 68760.00 | 95486.40 | 52164.00 | 170261.76 | 210406.00 | 5216.76 | | 602294.92 | 105203.00 | 628595.67 |
| 7 | 3.00 | 68760.00 | 95486.40 | 52164.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 623502.62 | 105203.00 | 649803.37 |
| 8 | 3.00 | 68760.00 | 95486.40 | 52164.00 | 188801.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 620834.62 | 105203.00 | 647135.37 |
| 9 | 3.00 | 68760.00 | 95486.40 | 52164.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 623502.62 | 105203.00 | 649803.37 |
| 10 | 1.50 | 34380.00 | 95486.40 | 26082.00 | 87196.48 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 463245.64 | 78902.25 | 482971.20 |
| TOTAL | | 699060.0 | 963600.0 | 530334.0 | 1763427.2 | 2104060.0 | 52167.6 | 8956.0 | 6051065.8 | 1025729.3 | 6307498.1 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Según el Artículo 12. “Sistemas Estructurales” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en la dirección tal como se indica en la Tabla N°6.

En el numeral 3 de la Tabla N°6 menciona que el sistema es de muros estructurales si la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 80% del cortante en la base.

Tabla 103. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M13

| FUERZA CORTANTE POR SISMO | SISMO EN X-X | | SISMO EN Y-Y | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--------|----------------------------------|--------|
| | kgf | % | kgf | % |
| Fuerza cortante por sismo en columnas | 89345.44 | 13.00 | 151501.28 | 20.18 |
| Fuerza cortante por sismo en placas | 598111.59 | 87.00 | 599090.46 | 79.82 |
| Fuerza cortante por sismo total | 687457.03 | 100.00 | 750591.74 | 100.00 |
| SISTEMA ESTRUCTURAL | S. DE MUROS ESTRUCTURALES | | S. DE MUROS ESTRUCTURALES | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el ítem 17.3. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Donde el valor de C/R no deberá considerarse menor que: $C/R \geq 0.125$.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M13 se encuentran en la Tabla 96.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{1.816}{6} = 0.303 \geq 0.125$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.30 \times 1 \times 1.816 \times 1.2}{6} = 0.109$$

$$V = 0.109 \times 6307498.13 \text{ kgf} = 687517.296 \text{ kgf}$$

Tabla 104. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | $P_i \times h_i$ | $\frac{P_i \times h_i}{\text{Sum}(P_i \times h_i)}$ | F_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|---------------------|---|-------------|------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 482971.198 | 14730621.524 | 0.141 | 687517.296 | 96617.302 | 96617.302 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 17869592.538 | 0.170 | 687517.296 | 117205.633 | 213822.935 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 15854816.443 | 0.151 | 687517.296 | 103990.832 | 317813.767 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 13970772.348 | 0.133 | 687517.296 | 91633.495 | 409447.262 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 11629019.803 | 0.111 | 687517.296 | 76274.074 | 485721.336 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 10055823.478 | 0.096 | 687517.296 | 65955.570 | 551676.905 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 8061960.063 | 0.077 | 687517.296 | 52877.934 | 604554.839 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 6127089.648 | 0.058 | 687517.296 | 40187.230 | 644742.069 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 4192219.233 | 0.040 | 687517.296 | 27496.526 | 672238.594 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 2329445.825 | 0.022 | 687517.296 | 15278.702 | 687517.296 |
| TOTAL | | | 104821360.90 | 1 | | 687517.30 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{1.976}{6} = 0.329 \geq 0.125$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.30 \times 1 \times 1.976 \times 1.2}{6} = 0.119$$

$$V = 0.119 \times 6307498.13 \text{ kgf} = 750592.277 \text{ kgf}$$

Tabla 105. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | $P_i \times h_i$ | $\frac{P_i \times h_i}{\text{Sum}(P_i \times h_i)}$ | F_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|---------------------|---|-------------|------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 482971.198 | 14730621.524 | 0.141 | 750592.277 | 105481.275 | 105481.275 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 17869592.538 | 0.170 | 750592.277 | 127958.443 | 233439.718 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 15854816.443 | 0.151 | 750592.277 | 113531.275 | 346970.993 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 13970772.348 | 0.133 | 750592.277 | 100040.237 | 447011.230 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 11629019.803 | 0.111 | 750592.277 | 83271.696 | 530282.926 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 10055823.478 | 0.096 | 750592.277 | 72006.539 | 602289.465 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 8061960.063 | 0.077 | 750592.277 | 57729.120 | 660018.586 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 6127089.648 | 0.058 | 750592.277 | 43874.131 | 703892.717 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 4192219.233 | 0.040 | 750592.277 | 30019.143 | 733911.860 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 2329445.825 | 0.022 | 750592.277 | 16680.417 | 750592.277 |
| TOTAL | | | 104821360.90 | 1 | | 750592.28 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La fuerza sísmica vertical, en el análisis estático se considera como una fracción del peso. Para las zonas 3 y 2 esta fracción será $2/3 Z$ y para la zona 1 no será necesario considerar este efecto, tal como lo indica el ítem 17.6. “Fuerzas Sísmicas Verticales” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

Con respecto a la excentricidad accidental, el sub-ítem a) del ítem 17.5. “Efectos de Torsión” del Artículo 17. “Análisis Estático” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, menciona que en el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), que se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, valor que se empleará para calcular un momento torsor accidental (M_{ti}) el que se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De la misma forma se usará esta excentricidad accidental de 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, para el cálculo de un momento torsor accidental en el análisis dinámico, así como lo menciona el sub-ítem e.) “Efectos de Torsión” del ítem 18.2. “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 17. “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003.

Tabla 106. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M13

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 74700.790 | 94900.990 |
| Piso 9 | 152920.030 | 198472.480 |
| Piso 8 | 214707.140 | 285378.870 |
| Piso 7 | 264810.550 | 359694.670 |
| Piso 6 | 304260.600 | 420856.380 |
| Piso 5 | 338814.770 | 474173.800 |
| Piso 4 | 368185.380 | 517870.860 |
| Piso 3 | 392240.200 | 551690.050 |
| Piso 2 | 409772.900 | 574553.260 |
| Piso 1 | 419869.410 | 585895.480 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el sub ítem c. “Fuerza Cortante Mínima en la base” del ítem 18.2 “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 18 “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente del 2003, menciona para casa una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 17 (17.3) para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Además, indica que, si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados, excepto los desplazamientos.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático X} (kgf)$ | 687517.296 | $V_{dinámico X} \geq 0.8V_{estático X}$ | 61.07% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico X} (kgf)$ | 419869.41 | | | |

- En la dirección Y-Y

| | | | | |
|------------------------|------------|---|---------|------------------|
| $V_{estático Y} (kgf)$ | 750592.277 | $V_{dinámico Y} \geq 0.8V_{estático Y}$ | 78.06 % | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y} (kgf)$ | 585895.48 | | | |

H. ESPECTRO SÍSMICO

En el sub-ítem b. del ítem 18.2. “Análisis por combinación modal espectral” del Artículo 18 “Análisis Dinámico” de la Norma Sismorresistente del 2003, menciona que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

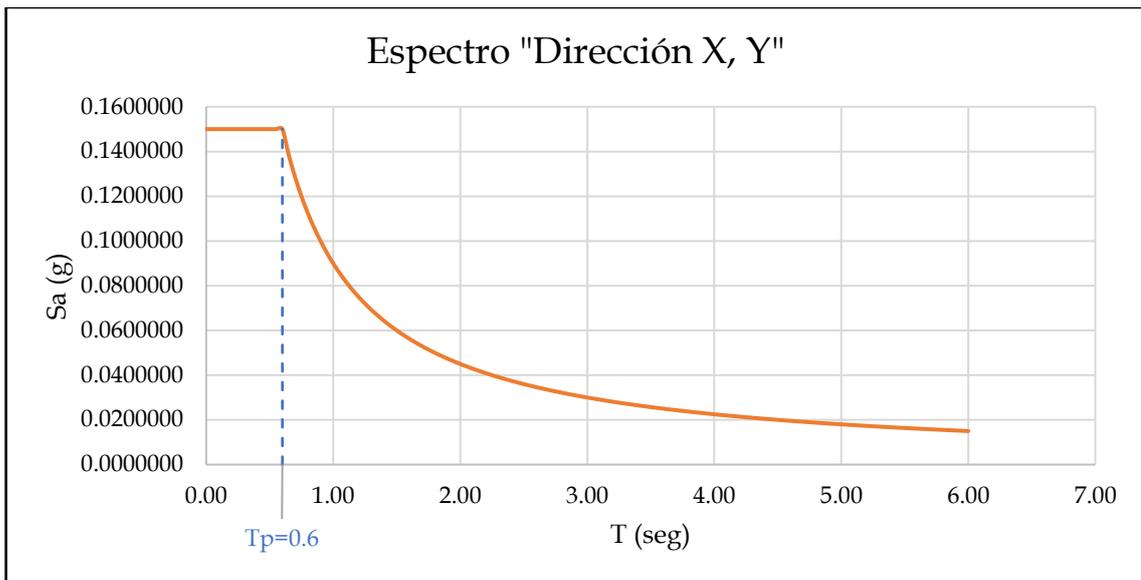
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

- Espectro en la Dirección X-X e Y-Y

| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R}$ | 1.20 | 1.25 | 0.07500 | 2.80 | 0.54 | 0.03214 | 4.40 | 0.34 | 0.02045 |
|-------|-------|------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| 0.00 | 2.50 | 0.15000 | 1.25 | 1.20 | 0.07200 | 2.85 | 0.53 | 0.03158 | 4.45 | 0.34 | 0.02022 |
| 0.02 | 2.50 | 0.15000 | 1.30 | 1.15 | 0.06923 | 2.90 | 0.52 | 0.03103 | 4.50 | 0.33 | 0.02000 |
| 0.04 | 2.50 | 0.15000 | 1.35 | 1.11 | 0.06667 | 2.95 | 0.51 | 0.03051 | 4.55 | 0.33 | 0.01978 |
| 0.06 | 2.50 | 0.15000 | 1.40 | 1.07 | 0.06429 | 3.00 | 0.50 | 0.03000 | 4.60 | 0.33 | 0.01957 |
| 0.08 | 2.50 | 0.15000 | 1.45 | 1.03 | 0.06207 | 3.05 | 0.49 | 0.02951 | 4.65 | 0.32 | 0.01935 |
| 0.10 | 2.50 | 0.15000 | 1.50 | 1.00 | 0.06000 | 3.10 | 0.48 | 0.02903 | 4.70 | 0.32 | 0.01915 |
| 0.12 | 2.50 | 0.15000 | 1.55 | 0.97 | 0.05806 | 3.15 | 0.48 | 0.02857 | 4.75 | 0.32 | 0.01895 |
| 0.14 | 2.50 | 0.15000 | 1.60 | 0.94 | 0.05625 | 3.20 | 0.47 | 0.02813 | 4.80 | 0.31 | 0.01875 |
| 0.16 | 2.50 | 0.15000 | 1.65 | 0.91 | 0.05455 | 3.25 | 0.46 | 0.02769 | 4.85 | 0.31 | 0.01856 |
| 0.18 | 2.50 | 0.15000 | 1.70 | 0.88 | 0.05294 | 3.30 | 0.45 | 0.02727 | 4.90 | 0.31 | 0.01837 |
| 0.20 | 2.50 | 0.15000 | 1.75 | 0.86 | 0.05143 | 3.35 | 0.45 | 0.02687 | 4.95 | 0.30 | 0.01818 |
| 0.25 | 2.50 | 0.15000 | 1.80 | 0.83 | 0.05000 | 3.40 | 0.44 | 0.02647 | 5.00 | 0.30 | 0.01800 |
| 0.30 | 2.50 | 0.15000 | 1.85 | 0.81 | 0.04865 | 3.45 | 0.43 | 0.02609 | 5.05 | 0.30 | 0.01782 |
| 0.35 | 2.50 | 0.15000 | 1.90 | 0.79 | 0.04737 | 3.50 | 0.43 | 0.02571 | 5.10 | 0.29 | 0.01765 |
| 0.40 | 2.50 | 0.15000 | 1.95 | 0.77 | 0.04615 | 3.55 | 0.42 | 0.02535 | 5.15 | 0.29 | 0.01748 |
| 0.45 | 2.50 | 0.15000 | 2.00 | 0.75 | 0.04500 | 3.60 | 0.42 | 0.02500 | 5.20 | 0.29 | 0.01731 |
| 0.50 | 2.50 | 0.15000 | 2.05 | 0.73 | 0.04390 | 3.65 | 0.41 | 0.02466 | 5.25 | 0.29 | 0.01714 |
| 0.55 | 2.50 | 0.15000 | 2.10 | 0.71 | 0.04286 | 3.70 | 0.41 | 0.02432 | 5.30 | 0.28 | 0.01698 |
| 0.60 | 2.50 | 0.15000 | 2.15 | 0.70 | 0.04186 | 3.75 | 0.40 | 0.02400 | 5.35 | 0.28 | 0.01682 |
| 0.65 | 2.31 | 0.13846 | 2.20 | 0.68 | 0.04091 | 3.80 | 0.39 | 0.02368 | 5.40 | 0.28 | 0.01667 |
| 0.70 | 2.14 | 0.12857 | 2.25 | 0.67 | 0.04000 | 3.85 | 0.39 | 0.02338 | 5.45 | 0.28 | 0.01651 |
| 0.75 | 2.00 | 0.12000 | 2.30 | 0.65 | 0.03913 | 3.90 | 0.38 | 0.02308 | 5.50 | 0.27 | 0.01636 |
| 0.80 | 1.88 | 0.11250 | 2.35 | 0.64 | 0.03830 | 3.95 | 0.38 | 0.02278 | 5.55 | 0.27 | 0.01622 |
| 0.85 | 1.76 | 0.10588 | 2.40 | 0.63 | 0.03750 | 4.00 | 0.38 | 0.02250 | 5.60 | 0.27 | 0.01607 |
| 0.90 | 1.67 | 0.10000 | 2.45 | 0.61 | 0.03673 | 4.05 | 0.37 | 0.02222 | 5.65 | 0.27 | 0.01593 |
| 0.95 | 1.58 | 0.09474 | 2.50 | 0.60 | 0.03600 | 4.10 | 0.37 | 0.02195 | 5.70 | 0.26 | 0.01579 |
| 1.00 | 1.50 | 0.09000 | 2.55 | 0.59 | 0.03529 | 4.15 | 0.36 | 0.02169 | 5.75 | 0.26 | 0.01565 |
| 1.05 | 1.43 | 0.08571 | 2.60 | 0.58 | 0.03462 | 4.20 | 0.36 | 0.02143 | 5.80 | 0.26 | 0.01552 |
| 1.10 | 1.36 | 0.08182 | 2.65 | 0.57 | 0.03396 | 4.25 | 0.35 | 0.02118 | 5.85 | 0.26 | 0.01538 |
| 1.15 | 1.30 | 0.07826 | 2.70 | 0.56 | 0.03333 | 4.30 | 0.35 | 0.02093 | 5.90 | 0.25 | 0.01525 |
| | | | 2.75 | 0.55 | 0.03273 | 4.35 | 0.34 | 0.02069 | 5.95 | 0.25 | 0.01513 |

| | | |
|------|------|---------|
| 6.00 | 0.25 | 0.01500 |
|------|------|---------|



I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

El ítem 15.1. “Desplazamientos Laterales Permisibles” del artículo 15. “Desplazamientos Laterales” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, indica que el máximo desplazamiento relativo no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso 0.007 para estructuras cuando el material predominante es el concreto armado.

- i. Derivas obtenidas del Análisis Estático
 - En la dirección X-X

Tabla 107. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.713 | 0.001054 | 0.004743 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 3.397 | 0.001193 | 0.005370 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 3.039 | 0.001300 | 0.005850 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.649 | 0.001385 | 0.006234 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 2.233 | 0.001432 | 0.006443 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.804 | 0.001436 | 0.006461 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.373 | 0.001387 | 0.006242 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.957 | 0.001277 | 0.005747 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.574 | 0.001096 | 0.004934 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.245 | 0.000700 | 0.003149 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 108. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.544 | 0.000824 | 0.003706 | 0.007 | CUMPLE |

| | | | | | | |
|--------|-------|-------|----------|----------|-------|--------|
| Piso 9 | 27.50 | 3.296 | 0.000977 | 0.004398 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 3.003 | 0.001141 | 0.005136 | 0.007 | CUMPLE |

Tabla 108. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 7 | 21.50 | 2.661 | 0.001292 | 0.005814 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 2.273 | 0.001403 | 0.006315 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.852 | 0.001462 | 0.006579 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.414 | 0.001461 | 0.006573 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.975 | 0.001374 | 0.006183 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.563 | 0.001156 | 0.005204 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.216 | 0.000618 | 0.002781 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 109. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.328 | 0.001103 | 0.004965 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.997 | 0.000995 | 0.004476 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.699 | 0.001105 | 0.004971 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.367 | 0.001198 | 0.005393 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 2.008 | 0.001262 | 0.005678 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.629 | 0.001286 | 0.005789 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.243 | 0.001261 | 0.005676 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.865 | 0.001171 | 0.005270 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.514 | 0.000998 | 0.004491 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.214 | 0.000612 | 0.002755 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 110. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.762 | 0.000647 | 0.002910 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.568 | 0.000765 | 0.003444 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.339 | 0.000892 | 0.004012 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.071 | 0.001007 | 0.004533 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.769 | 0.001092 | 0.004916 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.441 | 0.001137 | 0.005118 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.100 | 0.001136 | 0.005112 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.759 | 0.001069 | 0.004812 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.438 | 0.000900 | 0.004050 | 0.007 | CUMPLE |



| | | | | | | |
|--------|------|-------|----------|----------|-------|--------|
| Piso 1 | 3.50 | 0.168 | 0.000481 | 0.002164 | 0.007 | CUMPLE |
|--------|------|-------|----------|----------|-------|--------|

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

VERIFICACIÓN DEL MODELO M13 CON LA NORMA E.030 DEL 2018

1. DESCRIPCIÓN DE LA VERIFICACIÓN DEL MODELO M13

Para la verificación del *Modelo M13* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018. La configuración arquitectónica, las propiedades de los materiales, secciones de los elementos no se modificarán para este modelo de verificación.

2. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta comprobación se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

3. VARIABLES DEPENDIENTES

3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018

Tabla 111. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|---|
| 1. Zonificación, <i>E.030-2018 (Art.10)</i> | Zona Sísmica: 3 | $Z = 0.35$ |
| 2. Condiciones <i>Geotécnicas, E.030-2018(Art.12)</i> | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 s$ $T_L = 2.0s$ |
| 3. Categoría de la <i>Edificación y Factor de Uso(U), E.030 2018(Art.15)</i> | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Sistema Estructural y <i>Restricciones de Irregularidad, E.030-2018(Art.16, Art.17 y Art.21)</i> | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, está permitido <i>cualquier sistema estructural</i> . Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, <i>no se permiten irregularidades extremas</i> . | |
| 5. Coeficiente Básico de <i>Reducción de Fuerzas Sísmicas, E.030-2018(Art.18)</i> | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: De Muros Estructurales | $R_o = 6$ |
| 6. Factores de <i>Irregularidad (Ia y Ip) E.030-2018(Art.20)</i> | Irregularidad en Altura, I_a : Ninguna Irregularidad en Planta, I_p : Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $I_a = 1$ $I_p = 1$ |
| 7. Coeficiente de <i>Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R E.030-2018(Art.22)</i> | $R_x = R_o \cdot I_a \cdot I_p$ | $R_x = 6$ |

Tabla 111. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M13 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|--|----------------------------|
| 8. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2018(Art.28-ítem 28.4) | Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{60} = 0.508 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | T $= 0.508 \text{ s}$ |
| 9. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, E.030-2018(Art.28-ítem 28.3) | Exponente relacionado con el periodo fundamental: Para $T \leq 0.5 \text{ s}$, $k = 1.0$ Para $T > 0.5 \text{ s}$, $k = (0.75 + 0.5 T)$ $k = (0.75 + 0.5 \times 0.508)$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $k = 1.004$ |
| 10. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por la siguiente expresión: $T < T_p$, $C = 2.5$ $C = 2.5$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $C = 2.50$ |
| 11-. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018(Art.28-ítem 28.2) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ El valor de C/R no deberá considerarse mayor que: $\frac{C}{R} \geq 0.11$ $\frac{C}{R} = \frac{2.50}{6} = 0.417$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $\frac{C}{R} = 0.417$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

Según el ítem 20.1 del artículo 20. "Factores de Irregularidad (I_a , I_p)" de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018.

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando e Irregularidad Extrema de Rigidez

- En la Dirección X-X

Tabla 112. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M13

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico o CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|--------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|--|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | k_i $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | k_i $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.7$ | |
| | | | | | | Piso 10 | 154453.08 | 5.43 | 20.78 | |
| Piso 9 | 338683.14 | 4.88 | 18.66 | 10.05 | 33690.21 | | | | | |
| Piso 8 | 499092.57 | 4.29 | 16.40 | 8.61 | 57984.14 | 1.72 | | 1.72 | | REGULAR |
| Piso 7 | 637462.75 | 3.67 | 14.02 | 7.79 | 81826.94 | 1.41 | | 1.41 | | REGULAR |
| Piso 6 | 749852.50 | 3.03 | 11.57 | 6.23 | 120314.15 | 1.47 | 2.08 | 1.47 | 2.08 | REGULAR |
| Piso 5 | 844275.18 | 2.38 | 9.11 | 5.34 | 158090.20 | 1.31 | 1.82 | 1.31 | 1.82 | REGULAR |
| Piso 4 | 917367.47 | 1.76 | 6.72 | 3.77 | 243116.71 | 1.54 | 2.02 | 1.54 | 2.02 | REGULAR |
| Piso 3 | 970487.44 | 1.18 | 4.50 | 2.95 | 328996.64 | 1.35 | 1.89 | 1.35 | 1.89 | REGULAR |
| Piso 2 | 1004652.60 | 0.67 | 2.55 | 1.55 | 649170.23 | 1.97 | 2.67 | 1.97 | 2.67 | REGULAR |
| Piso 1 | 1021814.70 | 0.26 | 1.00 | 1.00 | 1021572.07 | 1.57 | 2.51 | 1.57 | 2.51 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 113. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M13

| Piso | V_{yi} (kgf) | D. elástico o CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|--------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|--|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | k_i $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | k_i $Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3}) > 0.7$ | |
| | | | | | | Piso 10 | 166319.82 | 4.61 | 17.64 | |
| Piso 9 | 365393.72 | 4.29 | 16.43 | 8.70 | 41988.38 | | | | | |
| Piso 8 | 539399.76 | 3.92 | 14.98 | 7.72 | 69839.31 | 1.66 | | 1.66 | | REGULAR |
| Piso 7 | 690156.69 | 3.47 | 13.27 | 7.25 | 95155.11 | 1.36 | | 1.36 | | REGULAR |
| Piso 6 | 813225.48 | 2.96 | 11.34 | 6.02 | 135100.70 | 1.42 | 1.96 | 1.42 | 1.96 | REGULAR |
| Piso 5 | 917234.67 | 2.41 | 9.23 | 5.32 | 172493.10 | 1.28 | 1.72 | 1.28 | 1.72 | REGULAR |
| Piso 4 | 998330.14 | 1.84 | 7.05 | 3.92 | 254859.24 | 1.48 | 1.90 | 1.48 | 1.90 | REGULAR |
| Piso 3 | 1057810.76 | 1.27 | 4.86 | 3.13 | 338000.29 | 1.33 | 1.80 | 1.33 | 1.80 | REGULAR |
| Piso 2 | 1096556.36 | 0.73 | 2.81 | 1.73 | 632850.78 | 1.87 | 2.48 | 1.87 | 2.48 | REGULAR |
| Piso 1 | 1116427.17 | 0.28 | 1.07 | 1.07 | 1040186.69 | 1.64 | 2.55 | 1.64 | 2.55 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. "Factores de Irregularidad (Ia, Ip)" de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---------------------------------------|-------------|------|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 0.75 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

ii.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 114. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M13

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/D. Prom. | D. Max/ D. Prom. < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Piso 10 | 0.002039 | 0.007799 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.002039 | 0.001634 | 0.001837 | 0.007025 | 1.11 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.002091 | 0.007998 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.002091 | 0.001851 | 0.001971 | 0.007539 | 1.06 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.002124 | 0.008124 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.002124 | 0.002015 | 0.002070 | 0.007916 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.002140 | 0.008186 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.002129 | 0.002140 | 0.002135 | 0.008164 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.002205 | 0.008434 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.002082 | 0.002205 | 0.002144 | 0.008199 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.002200 | 0.008415 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001967 | 0.002200 | 0.002084 | 0.007969 | 1.06 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.002115 | 0.008090 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001766 | 0.002115 | 0.001941 | 0.007422 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001937 | 0.007409 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001465 | 0.001937 | 0.001701 | 0.006506 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.001652 | 0.006319 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001049 | 0.001652 | 0.001351 | 0.005166 | 1.22 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.001047 | 0.004005 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000452 | 0.001047 | 0.000750 | 0.002867 | 1.40 | IRREGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 115. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M13

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Límite | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/D. Prom. | D. Max/ Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 0.001271 | 0.004862 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000837 | 0.001271 | 0.001054 | 0.004032 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001508 | 0.005768 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001017 | 0.001508 | 0.001263 | 0.004829 | 1.19 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001758 | 0.006724 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001212 | 0.001758 | 0.001485 | 0.005680 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001984 | 0.007589 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001389 | 0.001984 | 0.001687 | 0.006451 | 1.18 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.002146 | 0.008208 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001517 | 0.002146 | 0.001832 | 0.007005 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.002227 | 0.008518 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001586 | 0.002227 | 0.001907 | 0.007292 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.002214 | 0.008469 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001592 | 0.002214 | 0.001903 | 0.007279 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.002074 | 0.007933 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.00151 | 0.002074 | 0.001792 | 0.006854 | 1.16 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.001738 | 0.006648 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001282 | 0.001738 | 0.001510 | 0.005776 | 1.15 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000925 | 0.003538 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000678 | 0.000925 | 0.000802 | 0.003066 | 1.15 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAILEGHT

En el sub-ítem 28.4.2. del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28 “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i)}}$$

- En la dirección X-X

Tabla 116. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Raileght del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 482971.198 | 154453.075 | 5.432 | 14249800.147 | 838958.214 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 184230.060 | 4.879 | 15465165.596 | 898766.347 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 160409.433 | 4.287 | 11893292.531 | 687675.241 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 138370.178 | 3.666 | 8733545.155 | 507278.909 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 112389.753 | 3.026 | 5754325.236 | 340046.436 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 94422.680 | 2.383 | 3683194.662 | 224980.919 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 73092.293 | 1.758 | 1992600.041 | 128474.324 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 53119.967 | 1.176 | 891656.420 | 62458.457 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 34165.161 | 0.666 | 286160.375 | 22757.414 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 17162.096 | 0.262 | 45512.213 | 4487.888 |
| TOTAL | | 6307498.128 | 1021814.697 | | 62995252.376 | 3715884.150 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.826 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.702 \text{ s}$$

- En la dirección Y-Y

Tabla 117. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Raileght del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 482971.198 | 166319.816 | 4.611 | 10266824.157 | 766834.144 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 199073.902 | 4.294 | 11983031.970 | 854883.058 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 174006.039 | 3.915 | 9920816.276 | 681303.246 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 150756.932 | 3.470 | 7823766.381 | 523111.480 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 123068.794 | 2.964 | 5522026.356 | 364763.598 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 104009.185 | 2.414 | 3781537.501 | 251109.374 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 81095.468 | 1.842 | 2189028.085 | 149402.181 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 59480.627 | 1.271 | 1042217.588 | 75611.773 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 38745.597 | 0.734 | 347095.733 | 28423.770 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 19870.808 | 0.281 | 52403.453 | 5575.749 |
| TOTAL | | 6307498.128 | 1116427.169 | | 52928747.500 | 3701018.373 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.759 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.645 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.508 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Raileght | Dirección X-X :0.826 s Dirección Y-Y :0.759 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.945s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa de un 26.89%, por otro lado, en el segundo modo de vibración con un

periodo de 0.770s existe una masa participativa del 44.53%. En la dirección “Y” se obtiene un valor de 0.759s correspondiente al tercer modo de vibración, con una masa de participación de 75.80%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

El peso de la edificación no se modifica al utilizar la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

E. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el sub-ítem 28.2.1. del ítem 28.2. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M13 se encuentran en la Tabla 111.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{1.816}{6 \times 0.75} = 0.404 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.816 \times 1.15}{6 \times 0.75} = 0.162$$

$$V = 0.162 \times 6307498.13 \text{ kgf} = 1021814.697 \text{ kgf}$$

Tabla 118. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|-------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 482971.198 | 1.163 | 25713544.423 | 0.151 | 1021814.697 | 154453.075 | 154453.075 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 1.163 | 30670854.725 | 0.180 | 1021814.697 | 184230.060 | 338683.135 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 1.163 | 26705166.507 | 0.157 | 1021814.697 | 160409.433 | 499092.568 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 1.163 | 23036043.231 | 0.135 | 1021814.697 | 138370.178 | 637462.746 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 1.163 | 18710789.021 | 0.110 | 1021814.697 | 112389.753 | 749852.499 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 1.163 | 15719607.855 | 0.092 | 1021814.697 | 94422.680 | 844275.179 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 1.163 | 12168497.985 | 0.072 | 1021814.697 | 73092.293 | 917367.472 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 1.163 | 8843479.682 | 0.052 | 1021814.697 | 53119.967 | 970487.439 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 1.163 | 5687859.541 | 0.033 | 1021814.697 | 34165.161 | 1004652.601 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 1.163 | 2857167.530 | 0.017 | 1021814.697 | 17162.096 | 1021814.697 |
| TOTAL | | | | 170113010.50 | 1 | | 1021814.70 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{1.976}{6 \times 0.75} = 0.439 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.976 \times 1.15}{6 \times 0.75} = 0.177$$

$$V = 0.177 \times 6307498.13 \text{ kgf} = 1116427.169 \text{ kgf}$$

Tabla 119. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección Y-Y del modelo M13

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|-------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 482971.198 | 1.130 | 22931787.065 | 0.149 | 1116427.169 | 166319.816 | 166319.816 |
| Piso 9 | 27.50 | 649803.365 | 1.130 | 27447843.807 | 0.178 | 1116427.169 | 199073.902 | 365393.718 |
| Piso 8 | 24.50 | 647135.365 | 1.130 | 23991545.546 | 0.156 | 1116427.169 | 174006.039 | 539399.758 |
| Piso 7 | 21.50 | 649803.365 | 1.130 | 20786013.092 | 0.135 | 1116427.169 | 150756.932 | 690156.690 |
| Piso 6 | 18.50 | 628595.665 | 1.130 | 16968437.334 | 0.110 | 1116427.169 | 123068.794 | 813225.484 |
| Piso 5 | 15.50 | 648762.805 | 1.130 | 14340542.996 | 0.093 | 1116427.169 | 104009.185 | 917234.668 |
| Piso 4 | 12.50 | 644956.805 | 1.130 | 11181253.377 | 0.073 | 1116427.169 | 81095.468 | 998330.137 |
| Piso 3 | 9.50 | 644956.805 | 1.130 | 8201049.658 | 0.053 | 1116427.169 | 59480.627 | 1057810.763 |
| Piso 2 | 6.50 | 644956.805 | 1.130 | 5342152.306 | 0.035 | 1116427.169 | 38745.597 | 1096556.361 |
| Piso 1 | 3.50 | 665555.950 | 1.130 | 2739740.479 | 0.018 | 1116427.169 | 19870.808 | 1116427.169 |
| TOTAL | | | | 153930365.66 | 1 | | 1116427.17 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 120. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M13

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 111361.960 | 141474.920 |
| Piso 9 | 227971.830 | 295878.640 |
| Piso 8 | 320086.490 | 425440.010 |
| Piso 7 | 394783.680 | 536232.090 |
| Piso 6 | 453598.470 | 627413.820 |
| Piso 5 | 505113.310 | 706900.530 |
| Piso 4 | 548898.970 | 772044.080 |
| Piso 3 | 584758.640 | 822460.740 |
| Piso 2 | 610894.610 | 856543.730 |
| Piso 1 | 625944.970 | 873451.530 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el sub-ítem 29.4.1. del ítem 29.4. "Fuerza Cortante Mínima". del Artículo 29 "Análisis Dinámico Modal Espectral" de la Norma Sismorresistente del 2018.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|-----------|---|--------|------------------|
| $V_{estático X}$ (kgf) | 1021814.7 | $V_{dinámico X} \geq 0.9V_{estático X}$ | 61.26% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico X}$ (kgf) | 625944.97 | | | |

- En la dirección Y-Y

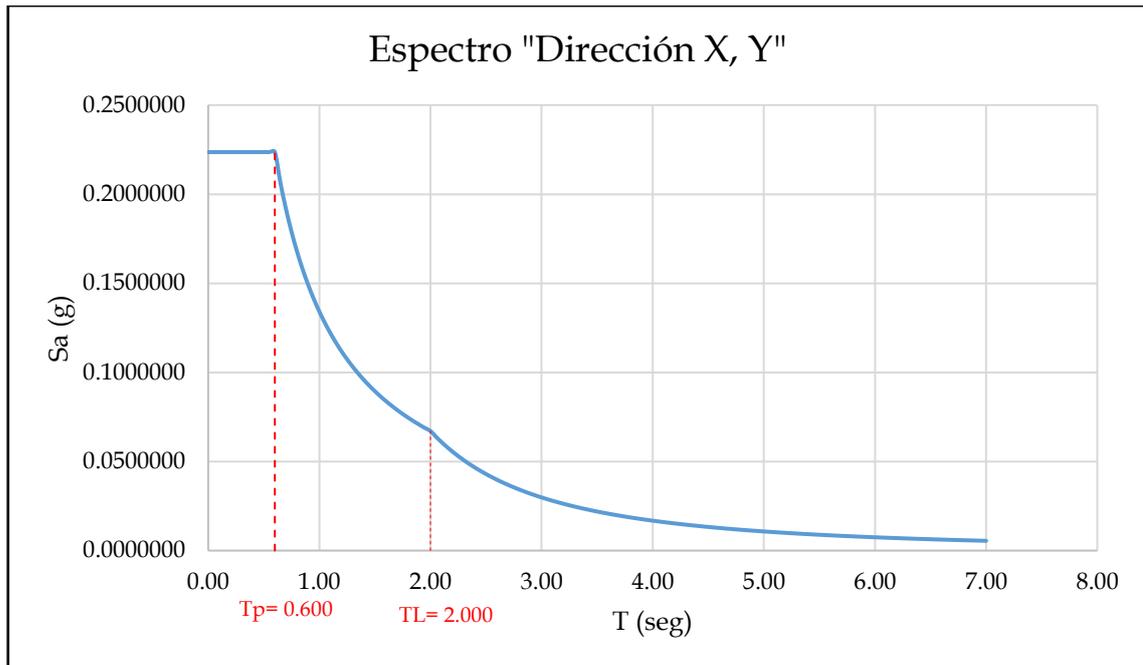
| | | | | |
|------------------------|------------|---|--------|------------------|
| $V_{estático Y}$ (kgf) | 1116427.17 | $V_{dinámico Y} \geq 0.9V_{estático Y}$ | 78.24% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y}$ (kgf) | 873451.53 | | | |

G. ESPECTRO SÍSMICO

En el sub-ítem 29.2.1. del ítem 29.2. “Aceleración Espectral” del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

- Espectro en la Dirección X-X y Y-Y

| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R}$ | 1.50 | 1.00 | 0.08944 | 3.40 | 0.26 | 0.02321 | 5.30 | 0.11 | 0.00955 |
|-------|-------|------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| 0.00 | 2.50 | 0.22361 | 1.55 | 0.97 | 0.08656 | 3.45 | 0.25 | 0.02254 | 5.35 | 0.10 | 0.00937 |
| 0.02 | 2.50 | 0.22361 | 1.60 | 0.94 | 0.08385 | 3.50 | 0.24 | 0.02190 | 5.40 | 0.10 | 0.00920 |
| 0.04 | 2.50 | 0.22361 | 1.65 | 0.91 | 0.08131 | 3.55 | 0.24 | 0.02129 | 5.45 | 0.10 | 0.00903 |
| 0.06 | 2.50 | 0.22361 | 1.70 | 0.88 | 0.07892 | 3.60 | 0.23 | 0.02070 | 5.50 | 0.10 | 0.00887 |
| 0.08 | 2.50 | 0.22361 | 1.75 | 0.86 | 0.07667 | 3.65 | 0.23 | 0.02014 | 5.55 | 0.10 | 0.00871 |
| 0.10 | 2.50 | 0.22361 | 1.80 | 0.83 | 0.07454 | 3.70 | 0.22 | 0.01960 | 5.60 | 0.10 | 0.00856 |
| 0.12 | 2.50 | 0.22361 | 1.85 | 0.81 | 0.07252 | 3.75 | 0.21 | 0.01908 | 5.65 | 0.09 | 0.00841 |
| 0.14 | 2.50 | 0.22361 | 1.90 | 0.79 | 0.07061 | 3.80 | 0.21 | 0.01858 | 5.70 | 0.09 | 0.00826 |
| 0.16 | 2.50 | 0.22361 | 1.95 | 0.77 | 0.06880 | 3.85 | 0.20 | 0.01810 | 5.75 | 0.09 | 0.00812 |
| 0.18 | 2.50 | 0.22361 | 2.00 | 0.75 | 0.06708 | 3.90 | 0.20 | 0.01764 | 5.80 | 0.09 | 0.00798 |
| 0.20 | 2.50 | 0.22361 | 2.05 | 0.71 | 0.06385 | 3.95 | 0.19 | 0.01720 | 5.85 | 0.09 | 0.00784 |
| 0.25 | 2.50 | 0.22361 | 2.10 | 0.68 | 0.06085 | 4.00 | 0.19 | 0.01677 | 5.90 | 0.09 | 0.00771 |
| 0.30 | 2.50 | 0.22361 | 2.15 | 0.65 | 0.05805 | 4.05 | 0.18 | 0.01636 | 5.95 | 0.08 | 0.00758 |
| 0.35 | 2.50 | 0.22361 | 2.20 | 0.62 | 0.05544 | 4.10 | 0.18 | 0.01596 | 6.00 | 0.08 | 0.00745 |
| 0.40 | 2.50 | 0.22361 | 2.25 | 0.59 | 0.05300 | 4.15 | 0.17 | 0.01558 | 6.05 | 0.08 | 0.00733 |
| 0.45 | 2.50 | 0.22361 | 2.30 | 0.57 | 0.05072 | 4.20 | 0.17 | 0.01521 | 6.10 | 0.08 | 0.00721 |
| 0.50 | 2.50 | 0.22361 | 2.35 | 0.54 | 0.04859 | 4.25 | 0.17 | 0.01486 | 6.15 | 0.08 | 0.00709 |
| 0.55 | 2.50 | 0.22361 | 2.40 | 0.52 | 0.04659 | 4.30 | 0.16 | 0.01451 | 6.20 | 0.08 | 0.00698 |
| 0.60 | 2.50 | 0.22361 | 2.45 | 0.50 | 0.04470 | 4.35 | 0.16 | 0.01418 | 6.25 | 0.08 | 0.00687 |
| 0.65 | 2.31 | 0.20641 | 2.50 | 0.48 | 0.04293 | 4.40 | 0.15 | 0.01386 | 6.30 | 0.08 | 0.00676 |
| 0.70 | 2.14 | 0.19167 | 2.55 | 0.46 | 0.04127 | 4.45 | 0.15 | 0.01355 | 6.35 | 0.07 | 0.00665 |
| 0.75 | 2.00 | 0.17889 | 2.60 | 0.44 | 0.03969 | 4.50 | 0.15 | 0.01325 | 6.40 | 0.07 | 0.00655 |
| 0.80 | 1.88 | 0.16771 | 2.65 | 0.43 | 0.03821 | 4.55 | 0.14 | 0.01296 | 6.45 | 0.07 | 0.00645 |
| 0.85 | 1.76 | 0.15784 | 2.70 | 0.41 | 0.03681 | 4.60 | 0.14 | 0.01268 | 6.50 | 0.07 | 0.00635 |
| 0.90 | 1.67 | 0.14907 | 2.75 | 0.40 | 0.03548 | 4.65 | 0.14 | 0.01241 | 6.55 | 0.07 | 0.00625 |
| 0.95 | 1.58 | 0.14123 | 2.80 | 0.38 | 0.03423 | 4.70 | 0.14 | 0.01215 | 6.60 | 0.07 | 0.00616 |
| 1.00 | 1.50 | 0.13417 | 2.85 | 0.37 | 0.03304 | 4.75 | 0.13 | 0.01189 | 6.65 | 0.07 | 0.00607 |
| 1.05 | 1.43 | 0.12778 | 2.90 | 0.36 | 0.03191 | 4.80 | 0.13 | 0.01165 | 6.70 | 0.07 | 0.00598 |
| 1.10 | 1.36 | 0.12197 | 2.95 | 0.34 | 0.03083 | 4.85 | 0.13 | 0.01141 | 6.75 | 0.07 | 0.00589 |
| 1.15 | 1.30 | 0.11667 | 3.00 | 0.33 | 0.02981 | 4.90 | 0.12 | 0.01118 | 6.80 | 0.06 | 0.00580 |
| 1.20 | 1.25 | 0.11181 | 3.05 | 0.32 | 0.02885 | 4.95 | 0.12 | 0.01095 | 6.85 | 0.06 | 0.00572 |
| 1.25 | 1.20 | 0.10733 | 3.10 | 0.31 | 0.02792 | 5.00 | 0.12 | 0.01073 | 6.90 | 0.06 | 0.00564 |
| 1.30 | 1.15 | 0.10321 | 3.15 | 0.30 | 0.02704 | 5.05 | 0.12 | 0.01052 | 6.95 | 0.06 | 0.00556 |
| 1.35 | 1.11 | 0.09938 | 3.20 | 0.29 | 0.02620 | 5.10 | 0.12 | 0.01032 | 7.00 | 0.06 | 0.00548 |
| 1.40 | 1.07 | 0.09583 | 3.25 | 0.28 | 0.02540 | 5.15 | 0.11 | 0.01012 | | | |
| 1.45 | 1.03 | 0.09253 | 3.30 | 0.28 | 0.02464 | 5.20 | 0.11 | 0.00992 | | | |
| | | | 3.35 | 0.27 | 0.02391 | 5.25 | 0.11 | 0.00974 | | | |



H. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

Según el Artículo 32. “Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles” y el Artículo 31. “Determinación de Desplazamientos Laterales”.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 121. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.5 | 5.691 | 0.001634 | 0.006250 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.5 | 5.201 | 0.001851 | 0.007080 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 8 | 24.5 | 4.646 | 0.002014 | 0.007705 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 7 | 21.5 | 4.041 | 0.002140 | 0.008187 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 6 | 18.5 | 3.399 | 0.002205 | 0.008433 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 5 | 15.5 | 2.738 | 0.002200 | 0.008416 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 4 | 12.5 | 2.078 | 0.002115 | 0.008091 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 3 | 9.5 | 1.443 | 0.001937 | 0.007408 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 2 | 6.5 | 0.862 | 0.001652 | 0.006318 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.5 | 0.367 | 0.001047 | 0.004005 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 122. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 5.400 | 0.001271 | 0.004863 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 5.018 | 0.001508 | 0.005769 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 4.566 | 0.001758 | 0.006724 | 0.007 | CUMPLE |

Tabla 122. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 7 | 21.50 | 4.038 | 0.001984 | 0.007589 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 3.443 | 0.002146 | 0.008208 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 2.799 | 0.002227 | 0.008517 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 2.131 | 0.002214 | 0.008469 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 1.467 | 0.002074 | 0.007932 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.845 | 0.001738 | 0.006647 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.324 | 0.000925 | 0.003538 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 123. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M13

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.5 | 4.961 | 0.001642 | 0.006282 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.5 | 4.469 | 0.001483 | 0.005672 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.5 | 4.024 | 0.001647 | 0.006300 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.5 | 3.530 | 0.001787 | 0.006837 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.5 | 2.994 | 0.001881 | 0.007194 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 5 | 15.5 | 2.429 | 0.001918 | 0.007336 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 4 | 12.5 | 1.854 | 0.001881 | 0.007194 | 0.007 | NO CUMPLE |
| Piso 3 | 9.5 | 1.290 | 0.001746 | 0.006678 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.5 | 0.766 | 0.001488 | 0.005690 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.5 | 0.320 | 0.000913 | 0.003493 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 124. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M13

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 4.118 | 0.000964 | 0.003687 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 3.829 | 0.001141 | 0.004364 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 3.486 | 0.001329 | 0.005085 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 3.087 | 0.001502 | 0.005744 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 2.637 | 0.001628 | 0.006228 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 2.148 | 0.001696 | 0.006486 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.640 | 0.001694 | 0.006478 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 1.132 | 0.001594 | 0.006096 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.654 | 0.001342 | 0.005132 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.251 | 0.000717 | 0.002743 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M23

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M23*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE COLUMNAS Y PLACAS
 - B. SECCIONES OBTENIDAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018
 - B. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
 - C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH
 - D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN
 - E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL
 - F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE
 - G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE
 - H. ESPECTRO SÍSMICO
 - I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO M23

La estructura de este modelo pertenece al sistema estructural de muros estructurales, donde el A% de los elementos resistentes a corte son placas y el B% son columnas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M23* se seguirá los procedimientos, verificaciones y limitaciones de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018. El *Modelo M23* es un modelo ideal que se conseguirá luego de realizar iteraciones. Las iteraciones consisten en modificaciones de las áreas de la sección transversal de los elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, que en este *Modelo M23* son columnas y placas. El método para la iteración consiste en la adición de un 10% del área de la columna y otro porcentaje del área de la placa según sea conveniente, hasta que se obtenga el modelo ideal. En esta ficha se muestra los resultados obtenidos sólo del modelo ideal, obviando los resultados de las iteraciones.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido

secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.



Figura 14. Estructuración modelo M23.

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 125. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el modelo M23

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|---|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ cm}$ |
| d. PLACAS | $b_{\min \text{placa}} = 25 \text{ cm}$ |
| e. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $E_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2 \cdot G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.020 Cargas. Las *Cargas Permanentes* consideran el peso propio de los elementos estructurales y la carga distribuida en losa que considera a la vez el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la *Carga Viva* se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas y de 500 kg/m² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS

Para la obtención de áreas de sección de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas (Columnas y Placas), en el caso de las columnas se utilizará el Método Japonés.

B. SECCIONES OBTENIDAS

| Secciones predimensionadas por el Método Japonés | | Secciones obtenidas para el Modelo M23, que corresponden al modelo ideal luego de realizar iteraciones | |
|--|---------|--|---|
| Columna | Sección | Columna | Sección |
| C1 | 40x40 | C1 | 40x40 |
| C2 | 40x50 | C2 | 40x50 |
| C3 | 50x70 | C3 | 50x70 |
| C4 | 50x85 | C4 | 50x85 |
| C5 | 50x50 | C5 | 50x50 |
| C6 | 50x60 | P3 (H) | $e_1 = 40, L_1=410,$ $e_2 = 50, L_2=320$ |
| | | P1 | $e = 50, L=542.5$ |
| | | P2 | $e = 40, L=445$ |

4.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE E.030 DEL 2018

Tabla 126. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M23 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|--|
| 1. Zonificación, E.030-2018 (Art.10) | Zona Sísmica: 3 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno y distrito Puno. | $Z = 0.35$ |
| 2. Condiciones Geotécnicas, E.030-2018(Art.12) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios, que tiene las siguientes características: $V_s : 180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$ $N_{60}: 15 \text{ a } 50$ $S_u : 50 \text{ kPa a } 100 \text{ kPa}$ | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 \text{ s}$ $T_L = 2.0 \text{ s}$ |
| 3. Categoría de la Edificación y Factor de Uso(U), E.030 2018(Art.15) | Categoría del Edificio: C. Edificaciones Comunes Tipo de Edificación: Vivienda | $U = 1$ |
| 4. Sistema Estructural y Restricciones de Irregularidad, E.030-2018(Art.16, Art.17 y Art.21) | Sistema Estructural: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, está permitido cualquier sistema estructural. Restricciones a la irregularidad: Para la Categoría Estructural C y la Zona 3, no se permiten irregularidades extremas. | |

Tabla 126. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M23 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|---|---|------------------------|
| 5. Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, E.030-2018(Art.18) | Material: Concreto Armado Sistema Estructural: De Muros Estructurales | $R_o = 6$ |
| 6. Factores de Irregularidad (I_a y I_p) E.030-2018(Art.20) | Irregularidad en Altura, I_a : Ninguna Irregularidad en Planta, I_p : Ninguna (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $I_a = 1$ $I_p = 1$ |
| 7. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R E.030-2018(Art.22) | $R_x = R_o \cdot I_a \cdot I_p$ | $R_x = 6$ |
| 8. Periodo Fundamental de Vibración, E.030-2018(Art.28-ítem 28.4) | Elementos resistentes en la dirección considerada: Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada Coeficiente para estimar el periodo fundamental: $C_T = 60$ Altura total de la edificación: $h_n = 30.5 \text{ m}$ Periodo fundamental de vibración $T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{60} = 0.508 \text{ s}$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $T = 0.508 \text{ s}$ |
| 9. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura, E.030-2018(Art.28-ítem 28.3) | Exponente relacionado con el periodo fundamental: Para $T \leq 0.5 \text{ s}$, $k = 1.0$ Para $T > 0.5 \text{ s}$, $k = (0.75 + 0.5 T)$ $k = (0.75 + 0.5 \times 0.508)$ (* Este resultado sólo se emplea en la primera iteración. | $k = 1.004$ |
| 10. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $T < T_p$, $C = 2.5$ $T_p < T < T_L$, $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $T_L < T$, $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$ $C = 2.50$ | $C = 2.50$ |
| 11-. Fuerza Cortante en la Base, E.030-2018(Art.28-ítem 28.2) | Fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ | $\frac{C}{R} = 0.417$ |

Tabla 126. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M23 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|-------------|--|--------|
| | <p>El valor de C/R no deberá considerarse mayor que:</p> $\frac{C}{R} \geq 0.11$ $\frac{C}{R} = \frac{2.953}{6} = 0.417$ <p>(*) Este resultado sólo se emplea en la primera iteración.</p> | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. VERIFICACIONES DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_a se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando e Irregularidad Extrema de Rigidez

- En la Dirección X-X

Tabla 127. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección X-X del Modelo M23

| Piso | V_{xi} (kgf) | D. elástico CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.7$ | |
| Piso 10 | 136222.35 | 3.66 | 16.47 | 8.52 | 15981.22 | | | | | |
| Piso 9 | 304572.25 | 3.28 | 14.75 | 7.94 | 38336.29 | | | | | |
| Piso 8 | 451962.26 | 2.87 | 12.91 | 6.80 | 66447.94 | 1.73 | | 1.73 | | REGULAR |
| Piso 7 | 579797.81 | 2.44 | 11.00 | 6.11 | 94898.70 | 1.43 | | 1.43 | | REGULAR |
| Piso 6 | 684629.76 | 2.01 | 9.05 | 4.89 | 140001.79 | 1.48 | 2.10 | 1.48 | 2.10 | REGULAR |
| Piso 5 | 773146.99 | 1.58 | 7.10 | 4.16 | 186042.71 | 1.33 | 1.85 | 1.33 | 1.85 | REGULAR |
| Piso 4 | 842358.64 | 1.16 | 5.22 | 2.94 | 286355.83 | 1.54 | 2.04 | 1.54 | 2.04 | REGULAR |
| Piso 3 | 893276.39 | 0.77 | 3.48 | 2.28 | 392536.81 | 1.37 | 1.92 | 1.37 | 1.92 | REGULAR |
| Piso 2 | 926582.89 | 0.44 | 1.96 | 1.20 | 771188.42 | 1.96 | 2.67 | 1.96 | 2.67 | REGULAR |
| Piso 1 | 943860.59 | 0.17 | 0.76 | 0.76 | 1244049.80 | 1.61 | 2.57 | 1.61 | 2.57 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 128. Verificación de Irregularidad de Rigidez en la dirección Y-Y del Modelo M23

| Piso | V_{yi} (kgf) | D. elástico o CM (cm) | D. inelástico CM (cm) | D. relat. CM (cm) | $k = \frac{V_i}{D \cdot CM_i}$ | Irregularidad de Rigidez | | Irregularidad Extrema de Rigidez | | Condición |
|---------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|---|-----------|
| | | | | | | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.7$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.8$ | $\frac{k_i}{k_{i+1}} > 0.6$ | $\frac{k_i}{Prom(k_{i+1}, k_{i+2}, k_{i+3})} > 0.7$ | |
| Piso 10 | 161584.56 | 2.80 | 12.59 | 6.51 | 24804.97 | | | | | |
| Piso 9 | 362814.19 | 2.52 | 11.34 | 6.07 | 59762.34 | | | | | |
| Piso 8 | 540502.73 | 2.22 | 10.01 | 5.27 | 102510.64 | 1.72 | | 1.72 | | REGULAR |
| Piso 7 | 696113.95 | 1.91 | 8.60 | 4.74 | 146878.07 | 1.43 | | 1.43 | | REGULAR |
| Piso 6 | 825150.47 | 1.58 | 7.11 | 3.86 | 214013.50 | 1.46 | 2.08 | 1.46 | 2.08 | REGULAR |
| Piso 5 | 935541.27 | 1.24 | 5.59 | 3.25 | 287628.75 | 1.34 | 1.86 | 1.34 | 1.86 | REGULAR |
| Piso 4 | 1023240.87 | 0.91 | 4.10 | 2.34 | 437534.85 | 1.52 | 2.02 | 1.52 | 2.02 | REGULAR |
| Piso 3 | 1089083.53 | 0.60 | 2.70 | 1.76 | 619131.65 | 1.42 | 1.98 | 1.42 | 1.98 | REGULAR |
| Piso 2 | 1133379.38 | 0.33 | 1.47 | 0.94 | 1208551.27 | 1.95 | 2.70 | 1.95 | 2.70 | REGULAR |
| Piso 1 | 1157434.88 | 0.12 | 0.54 | 0.54 | 2161409.67 | 1.79 | 2.86 | 1.79 | 2.86 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

i.2. Irregularidad de Masa o Peso

Tabla 129. Verificación de Irregularidad de masa del Modelo M23

| Piso | Peso (kgf) | P_i/P_{i+1} | $P_i/P_{i+1} < 1.5$ |
|---------|------------|---------------|---------------------|
| Piso 10 | 512174.398 | | |
| Piso 9 | 710686.565 | | |
| Piso 8 | 708018.565 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 710686.565 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 6 | 689478.865 | 0.97 | REGULAR |
| Piso 5 | 709578.805 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 4 | 705739.205 | 0.99 | REGULAR |
| Piso 3 | 705739.205 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 2 | 705739.205 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 1 | 731651.950 | 1.04 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_p se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---------------------------------------|-------------|-------|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

ii.1. Irregularidad Torsional

- En la Dirección X-X

Tabla 130. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección X-X del Modelo M23

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Lim | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/D. Prom. | D. Max/D. Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Piso 10 | 0.001375 | 0.006188 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001375 | 0.001187 | 0.001281 | 0.005765 | 1.07 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001400 | 0.006300 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001400 | 0.001321 | 0.001361 | 0.006122 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001421 | 0.006395 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001410 | 0.001421 | 0.001416 | 0.006370 | 1.00 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001494 | 0.006723 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001400 | 0.001494 | 0.001447 | 0.006512 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001526 | 0.006867 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001356 | 0.001526 | 0.001441 | 0.006485 | 1.06 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001511 | 0.006800 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001269 | 0.001511 | 0.001390 | 0.006255 | 1.09 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001441 | 0.006485 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.001130 | 0.001441 | 0.001286 | 0.005785 | 1.12 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001308 | 0.005886 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000932 | 0.001308 | 0.001120 | 0.005040 | 1.17 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.001104 | 0.004968 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000666 | 0.001104 | 0.000885 | 0.003983 | 1.25 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000663 | 0.002984 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000293 | 0.000663 | 0.000478 | 0.002151 | 1.39 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la Dirección Y-Y

Tabla 131. Verificación de Irregularidad Torsional en la dirección Y-Y del Modelo M23

| Piso | Deriva Max. | Deriva Max. inelástica | 0.5 Deriva Límite | D. Max > 0.5 D. Límite | Deriva Esquina 1 | Deriva Esquina 2 | Deriva Prom. | D. Prom. Inelástica | Deriva Max/D. Prom. | D. Max/D. Prom < 1.3 |
|---------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Piso 10 | 0.001112 | 0.005004 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000726 | 0.001112 | 0.001383 | 0.006224 | 0.80 | REGULAR |
| Piso 9 | 0.001199 | 0.005396 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000773 | 0.001199 | 0.001419 | 0.006386 | 0.84 | REGULAR |
| Piso 8 | 0.001281 | 0.005765 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000818 | 0.001281 | 0.001440 | 0.006480 | 0.89 | REGULAR |
| Piso 7 | 0.001348 | 0.006066 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000854 | 0.001348 | 0.001440 | 0.006480 | 0.94 | REGULAR |
| Piso 6 | 0.001381 | 0.006215 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000866 | 0.001381 | 0.001405 | 0.006323 | 0.98 | REGULAR |
| Piso 5 | 0.001364 | 0.006138 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000848 | 0.001364 | 0.001325 | 0.005963 | 1.03 | REGULAR |
| Piso 4 | 0.001285 | 0.005783 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000791 | 0.001285 | 0.001190 | 0.005355 | 1.08 | REGULAR |
| Piso 3 | 0.001126 | 0.005067 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000686 | 0.001126 | 0.000991 | 0.004460 | 1.14 | REGULAR |
| Piso 2 | 0.000869 | 0.003911 | 0.0035 | VERIFICAR | 0.000520 | 0.000869 | 0.000719 | 0.003236 | 1.21 | REGULAR |
| Piso 1 | 0.000430 | 0.001935 | 0.0035 | NO VERIFICAR | 0.000250 | 4.30E-04 | 0.000327 | 0.001472 | 1.31 | REGULAR |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii.2. Esquinas Entrantes

La estructura presenta dos esquinas entrantes mínimas en la fachada principal, en la dirección X-X con una longitud de 4.6 m que representa el 20% de la longitud total, y en la dirección Y-Y con una longitud de 0.35 m que representa el 1.3% de la longitud total. En ambas direcciones no presenta este tipo de discontinuidad ya que no supera el 20% de la longitud, tal como indica la Norma.

ii.3. Discontinuidad del diafragma

El área total de los espacios vacíos en la edificación es de 49.42 m² que representa el 9.40 % del área total que es 526.015 m². Por lo tanto, no presenta este tipo de discontinuidad, ya que no supera el 50% del área bruta.

Finalmente, el ítem 20.3 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)”, de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que si al aplicar las Tablas N° 8 y 9 se obtuvieron valores distintos de los factores I_a o I_p para las dos direcciones de análisis, se toma para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

C. OBTENCIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN CON LA EXPRESIÓN DE RAYLEIGH

De acuerdo a la investigación se considera como periodo inicial el obtenido en la Tabla 126, donde $T=0.501s$. El que se obtuvo del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018. Considerando que el coeficiente para estimar el periodo fundamental es $C_T = 60$, el que corresponde a edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada; por otro lado la altura del edificio es de $h_n = 30.5 m$; con estos datos:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30.5}{60} = 0.508 s$$

En el sub-ítem 28.4.2. del ítem 28.4. “Periodo Fundamental de Vibración” del Artículo 28 “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, menciona que, para determinar el periodo fundamental de vibración para cada dirección, alternativamente puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i)}}$$

Donde:

f_i : es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

d_i : es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros de planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calculan suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando secciones sin fisurar.

Además, el sub-ítem 28.4.3. del mismo artículo menciona que cuando el análisis no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental T se toma como 0.85 del valor obtenido en la fórmula precedente.

- Periodo fundamental en la dirección X-X

Tabla 132. Periodo Fundamental en la dirección X-X según la expresión de Rayleigh del modelo M23

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|--------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 512174.398 | 136222.351 | 3.660 | 6859758.670 | 498532.938 |
| Piso 9 | 27.50 | 710686.565 | 168349.899 | 3.277 | 7631870.425 | 551682.618 |
| Piso 8 | 24.50 | 708018.565 | 147390.009 | 2.869 | 5828627.350 | 422891.415 |
| Piso 7 | 21.50 | 710686.565 | 127835.554 | 2.444 | 4246417.154 | 312481.229 |
| Piso 6 | 18.50 | 689478.865 | 104831.952 | 2.010 | 2786117.931 | 210733.190 |
| Piso 5 | 15.50 | 709578.805 | 88517.222 | 1.577 | 1765119.739 | 139609.362 |
| Piso 4 | 12.50 | 705739.205 | 69211.654 | 1.159 | 948660.539 | 80243.992 |
| Piso 3 | 9.50 | 705739.205 | 50917.753 | 0.773 | 421372.383 | 39344.148 |
| Piso 2 | 6.50 | 705739.205 | 33306.498 | 0.436 | 133912.151 | 14508.310 |
| Piso 1 | 3.50 | 731651.950 | 17277.694 | 0.169 | 20797.909 | 2913.019 |
| TOTAL | | 6889493.328 | 943860.586 | | 30642654.252 | 2272940.220 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.737 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.626 \text{ s}$$

- Periodo fundamental en la dirección Y-Y

Tabla 133. Periodo Fundamental en la dirección Y-Y según la expresión de Rayleigh del modelo M23

| Piso | Altura (m) | Peso (kg) | F_i | D_i de CM (cm) | $P_i \times D_i^2$ | $F_i \times D_i$ |
|--------------|------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| Piso 10 | 30.50 | 512174.398 | 161584.561 | 2.797 | 4005987.871 | 451903.541 |
| Piso 9 | 27.50 | 710686.565 | 201229.626 | 2.521 | 4516009.905 | 507259.640 |
| Piso 8 | 24.50 | 708018.565 | 177688.547 | 2.225 | 3504819.347 | 395339.248 |
| Piso 7 | 21.50 | 710686.565 | 155611.214 | 1.910 | 2592655.658 | 297217.419 |
| Piso 6 | 18.50 | 689478.865 | 129036.520 | 1.580 | 1720343.648 | 203826.088 |
| Piso 5 | 15.50 | 709578.805 | 110390.807 | 1.243 | 1095452.194 | 137160.578 |
| Piso 4 | 12.50 | 705739.205 | 87699.591 | 0.911 | 585193.557 | 79859.247 |
| Piso 3 | 9.50 | 705739.205 | 65842.659 | 0.599 | 253473.639 | 39459.506 |
| Piso 2 | 6.50 | 705739.205 | 44295.852 | 0.327 | 75648.722 | 14502.462 |
| Piso 1 | 3.50 | 731651.950 | 24055.502 | 0.119 | 10360.923 | 2862.605 |
| TOTAL | | 6889493.328 | 1157434.879 | | 18359945.464 | 2129390.334 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$T = 0.589 \text{ s}$$

$$0.85 T = 0.501 \text{ s}$$

| | |
|--|--|
| Periodo fundamental básico | 0.508 s |
| Periodo fundamental calculado con la expresión de Rayleigh | Dirección X-X : 0.737 s Dirección Y-Y : 0.589 s |

El periodo fundamental de la estructura dado por el modelo matemático que fue elaborado en el programa ETABS v16.2.1, resulta en la dirección "X" un valor de 0.869s correspondiente al primer modo de vibración, donde aparece la primera participación de masa significativa de un 22.93%, por otro lado, en el segundo modo de vibración con un periodo de 0.687s existe una masa participativa del 47.91%. En la dirección "Y" se obtiene un valor de 0.589s correspondiente al tercer modo de vibración, con una masa de participación de 71.19%. Estos datos del periodo fundamental obtenidos de la expresión de Rayleigh son los que se usarán para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) definitivo.

D. OBTENCIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Según el sub-ítem b) del Artículo 26. *Estimación del Peso* de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación, para edificaciones de la categoría C, el 25% de la carga viva. Además, según el ítem d) del mismo artículo, en azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 134. Peso Sísmico en la dirección X-X y Y-Y del modelo M23

| Entre piso | Altura (m) | Peso de Columnas (kg) | Peso de vigas (kg) | Peso de placas (kg) | Peso de muros (kg) | Peso de losa (kg) | Peso de escalera (kg) | Peso de Tanque Elevado (kg) | Peso Total CM (kg) | Peso Total CV (kg) | Peso Total CM+0.25CV (kg) |
|--------------|------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 3.25 | 90246.00 | 94286.40 | 109395.00 | 195801.04 | 210406.00 | 5216.76 | | 705351.20 | 105203.00 | 731651.95 |
| 2 | 3.00 | 83304.00 | 94924.80 | 100980.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 679438.46 | 105203.00 | 705739.21 |
| 3 | 3.00 | 83304.00 | 94924.80 | 100980.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 679438.46 | 105203.00 | 705739.21 |
| 4 | 3.00 | 83304.00 | 94924.80 | 100980.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | | 679438.46 | 105203.00 | 705739.21 |
| 5 | 3.00 | 83304.00 | 94286.40 | 100980.00 | 184606.90 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 683278.06 | 105203.00 | 709578.81 |
| 6 | 3.00 | 83304.00 | 93009.60 | 100980.00 | 170261.76 | 210406.00 | 5216.76 | | 663178.12 | 105203.00 | 689478.87 |
| 7 | 3.00 | 83304.00 | 93009.60 | 100980.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 684385.82 | 105203.00 | 710686.57 |
| 8 | 3.00 | 83304.00 | 93009.60 | 100980.00 | 188801.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 681717.82 | 105203.00 | 708018.57 |
| 9 | 3.00 | 83304.00 | 93009.60 | 100980.00 | 191469.46 | 210406.00 | 5216.76 | | 684385.82 | 105203.00 | 710686.57 |
| 10 | 1.50 | 41652.00 | 93009.60 | 50490.00 | 87196.48 | 210406.00 | 5216.76 | 4478.00 | 492448.84 | 78902.25 | 512174.40 |
| TOTAL | | 846924.0 | 938395.2 | 1026630.0 | 1763427.2 | 2104060.0 | 52167.6 | 8956.0 | 6633061.0 | 1025729.3 | 6889493.3 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

E. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Según el ítem 16.1. “Estructuras de Concreto Armado” del Artículo 16. “Sistemas Estructurales” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente cumplen con lo previsto en la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

En el sub-ítem b) del mismo artículo menciona que el sistema es de Muros Estructurales si la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúan por lo menos el 70% de la fuerza cortante en la base.

Tabla 135. Verificación del Sistema Estructural en la dirección X-X y Y-Y del modelo M23

| FUERZA CORTANTE POR SISMO | SISMO EN X-X | | SISMO EN Y-Y | |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | kg | % | kg | % |
| Fuerza cortante por sismo en columnas | 100562.16 | 10.65 | 100622.65 | 8.69 |
| Fuerza cortante por sismo en placas | 843297.80 | 89.35 | 1056697.60 | 91.31 |
| Fuerza cortante por sismo total | 943859.96 | 100.00 | 1157320.25 | 100.00 |
| SISTEMA ESTRUCTURAL | SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES | | SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

Según el sub-ítem 28.2.1. del ítem 28.2. “Fuerza Cortante en la Base” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} . P$$

Además, en el sub-ítem 28.2.2. del mismo artículo, menciona que el valor de C/R no deberá considerarse menor que: $C/R \geq 0.11$.

Los valores de los parámetros sísmicos del modelo M23 se encuentran en la Tabla 126.

- En la dirección X-X

$$\frac{C}{R} = \frac{2.035}{6} = 0.339 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.035 \times 1.15}{6} = 0.137$$

$$V = 0.137 \times 6889493.33 = 943860.586 \text{ kgf}$$

Tabla 136. Distribución de fuerzas estáticas laterales por piso en la dirección X-X del modelo M23

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_x (kgf) | F_{xi} (kgf) | V_{xi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|-------|---------------------|---|-------------|------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 512174.398 | 1.119 | 23421097.150 | 0.144 | 943860.586 | 136222.351 | 136222.351 |
| Piso 9 | 27.50 | 710686.565 | 1.119 | 28944878.011 | 0.178 | 943860.586 | 168349.899 | 304572.250 |
| Piso 8 | 24.50 | 708018.565 | 1.119 | 25341184.501 | 0.156 | 943860.586 | 147390.009 | 451962.259 |
| Piso 7 | 21.50 | 710686.565 | 1.119 | 21979131.274 | 0.135 | 943860.586 | 127835.554 | 579797.813 |
| Piso 6 | 18.50 | 689478.865 | 1.119 | 18024056.340 | 0.111 | 943860.586 | 104831.952 | 684629.765 |
| Piso 5 | 15.50 | 709578.805 | 1.119 | 15219018.295 | 0.094 | 943860.586 | 88517.222 | 773146.987 |
| Piso 4 | 12.50 | 705739.205 | 1.119 | 11899757.014 | 0.073 | 943860.586 | 69211.654 | 842358.641 |
| Piso 3 | 9.50 | 705739.205 | 1.119 | 8754434.474 | 0.054 | 943860.586 | 50917.753 | 893276.394 |
| Piso 2 | 6.50 | 705739.205 | 1.119 | 5726481.121 | 0.035 | 943860.586 | 33306.498 | 926582.892 |
| Piso 1 | 3.50 | 731651.950 | 1.119 | 2970603.183 | 0.018 | 943860.586 | 17277.694 | 943860.586 |
| TOTAL | | | | 162280641.36 | 1 | | 943860.59 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

$$\frac{C}{R} = \frac{2.500}{6} = 0.417 \geq 0.11$$

$$\frac{Z.U.C.S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 2.500 \times 1.15}{6} = 0.168$$

$$V = 0.168 \times 6889493.33 = 1157434.879 \text{ kgf}$$

Tabla 137. Distribución de fuerzas estáticas laterales por piso en la dirección Y-Y del modelo M23

| Piso | Altura (m) | Peso (kgf) | k | $P_i \times h_i^k$ | $\frac{P_i \times h_i^k}{\text{Sum}(P_i \times h_i^k)}$ | V_y (kgf) | F_{yi} (kgf) | V_{yi} (kgf) |
|--------------|------------|------------|-------|---------------------|---|-------------|-------------------|----------------|
| Piso 10 | 30.50 | 512174.398 | 1.045 | 18187334.209 | 0.140 | 1157434.879 | 161584.561 | 161584.561 |
| Piso 9 | 27.50 | 710686.565 | 1.045 | 22649629.601 | 0.174 | 1157434.879 | 201229.626 | 362814.186 |
| Piso 8 | 24.50 | 708018.565 | 1.045 | 19999936.677 | 0.154 | 1157434.879 | 177688.547 | 540502.733 |
| Piso 7 | 21.50 | 710686.565 | 1.045 | 17514997.388 | 0.134 | 1157434.879 | 155611.214 | 696113.947 |
| Piso 6 | 18.50 | 689478.865 | 1.045 | 14523852.455 | 0.111 | 1157434.879 | 129036.520 | 825150.468 |
| Piso 5 | 15.50 | 709578.805 | 1.045 | 12425162.963 | 0.095 | 1157434.879 | 110390.807 | 935541.275 |
| Piso 4 | 12.50 | 705739.205 | 1.045 | 9871127.295 | 0.076 | 1157434.879 | 87699.591 | 1023240.866 |
| Piso 3 | 9.50 | 705739.205 | 1.045 | 7410995.501 | 0.057 | 1157434.879 | 65842.659 | 1089083.525 |
| Piso 2 | 6.50 | 705739.205 | 1.045 | 4985770.056 | 0.038 | 1157434.879 | 44295.852 | 1133379.377 |
| Piso 1 | 3.50 | 731651.950 | 1.045 | 2707594.397 | 0.021 | 1157434.879 | 24055.502 | 1157434.879 |
| TOTAL | | | | 130276400.54 | 1 | | 1157434.88 | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La fuerza sísmica vertical, en el análisis estático se considera como una fracción del peso igual a 2/3 Z.U.S., tal como lo indica la el *sub-ítem 28.6.1.* del *ítem 28.6.* “Fuerzas Sísmicas Verticales” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Con respecto a la excentricidad accidental, el *sub-ítem a)* del *ítem 28.5.* “Excentricidad Accidental” del Artículo 28. “Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes” de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, menciona que en el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), que se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, valor que se empleará para calcular un momento torsor accidental (M_{ti}) el que se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De la misma forma se usará esta excentricidad accidental de 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis, para el cálculo de un momento torsor accidental en el análisis dinámico, así como lo menciona el *ítem 29.5 Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)* del Artículo 29. *Análisis Dinámico Espectral* de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018.

Tabla 138. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M23

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|---------|---|---|
| Piso 10 | 98409.590 | 142880.990 |
| Piso 9 | 206826.310 | 302207.380 |
| Piso 8 | 294157.850 | 433168.820 |
| Piso 7 | 365141.920 | 543158.100 |
| Piso 6 | 420991.320 | 632028.500 |
| Piso 5 | 468808.080 | 706898.060 |
| Piso 4 | 508368.130 | 765732.230 |
| Piso 3 | 539797.410 | 809099.080 |
| Piso 2 | 562015.210 | 837080.100 |
| Piso 1 | 574348.550 | 850776.750 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

G. VERIFICACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE

En el *sub-ítem 29.4.1.* del *ítem 29.4.* “Fuerza Cortante Mínima”. del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente del 2018, menciona para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Además, el *sub-ítem 29.4.2.* del mismo artículo menciona que si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados, excepto los desplazamientos.

- En la dirección X-X

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------|--|
| $V_{estático X}$ (kgf) | -943860.586 | $V_{dinámico X} \geq 0.8V_{estático X}$ | 60.85% | |
|------------------------|-------------|---|--------|--|

| | | | | |
|-----------------------|-----------|--|--|--------------|
| $V_{dinámico X}(kgf)$ | 574348.55 | | | NO CUMPLE |
|-----------------------|-----------|--|--|--------------|

- En la dirección Y-Y

| | | | | |
|-----------------------|-------------|---|--------|--------------|
| $V_{estático Y}(kgf)$ | -1157434.88 | $V_{dinámico Y} \geq 0.8V_{estático Y}$ | 73.51% | NO CUMPLE |
| $V_{dinámico Y}(kgf)$ | 850776.75 | | | |

H. ESPECTRO SÍSMICO

En el *sub-ítem 29.2.1.* del ítem 29.2. “Aceleración Espectral” del Artículo 29 “Análisis Dinámico Modal Espectral” de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, menciona que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

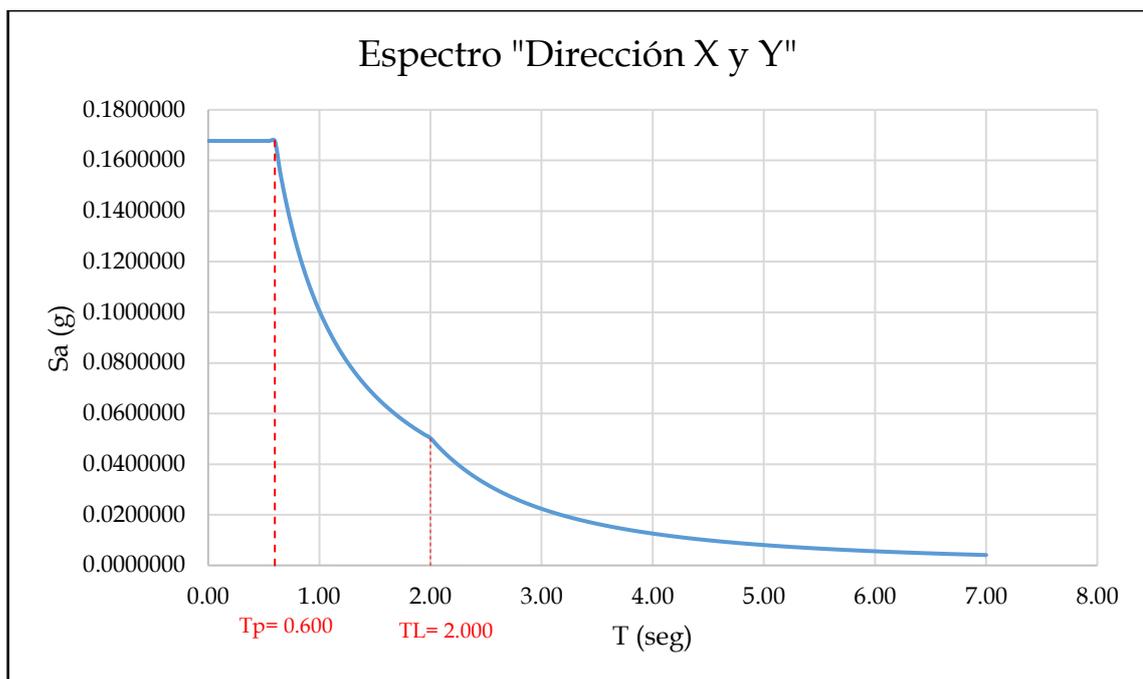
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

En el *sub-ítem 29.2.2.* del mismo artículo, menciona que para el análisis en la dirección vertical puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, definidos en el artículo 14, excepto para la zona de periodos muy cortos ($T < 0.2 T_p$).

- Espectro en la Dirección X-X y Y-Y

| T (s) | C_x | $S_a = \frac{ZUCS}{R}$ | 0.95 | 1.58 | 0.10592 | 2.30 | 0.57 | 0.03804 | 3.65 | 0.23 | 0.01511 |
|-------|-------|------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| 0.00 | 2.50 | 0.16771 | 1.00 | 1.50 | 0.10063 | 2.35 | 0.54 | 0.03644 | 3.70 | 0.22 | 0.01470 |
| 0.02 | 2.50 | 0.16771 | 1.05 | 1.43 | 0.09583 | 2.40 | 0.52 | 0.03494 | 3.75 | 0.21 | 0.01431 |
| 0.04 | 2.50 | 0.16771 | 1.10 | 1.36 | 0.09148 | 2.45 | 0.50 | 0.03353 | 3.80 | 0.21 | 0.01394 |
| 0.06 | 2.50 | 0.16771 | 1.15 | 1.30 | 0.08750 | 2.50 | 0.48 | 0.03220 | 3.85 | 0.20 | 0.01358 |
| 0.08 | 2.50 | 0.16771 | 1.20 | 1.25 | 0.08385 | 2.55 | 0.46 | 0.03095 | 3.90 | 0.20 | 0.01323 |
| 0.10 | 2.50 | 0.16771 | 1.25 | 1.20 | 0.08050 | 2.60 | 0.44 | 0.02977 | 3.95 | 0.19 | 0.01290 |
| 0.12 | 2.50 | 0.16771 | 1.30 | 1.15 | 0.07740 | 2.65 | 0.43 | 0.02866 | 4.00 | 0.19 | 0.01258 |
| 0.14 | 2.50 | 0.16771 | 1.35 | 1.11 | 0.07454 | 2.70 | 0.41 | 0.02761 | 4.05 | 0.18 | 0.01227 |
| 0.16 | 2.50 | 0.16771 | 1.40 | 1.07 | 0.07188 | 2.75 | 0.40 | 0.02661 | 4.10 | 0.18 | 0.01197 |
| 0.18 | 2.50 | 0.16771 | 1.45 | 1.03 | 0.06940 | 2.80 | 0.38 | 0.02567 | 4.15 | 0.17 | 0.01169 |
| 0.20 | 2.50 | 0.16771 | 1.50 | 1.00 | 0.06708 | 2.85 | 0.37 | 0.02478 | 4.20 | 0.17 | 0.01141 |
| 0.25 | 2.50 | 0.16771 | 1.55 | 0.97 | 0.06492 | 2.90 | 0.36 | 0.02393 | 4.25 | 0.17 | 0.01114 |
| 0.30 | 2.50 | 0.16771 | 1.60 | 0.94 | 0.06289 | 2.95 | 0.34 | 0.02313 | 4.30 | 0.16 | 0.01088 |
| 0.35 | 2.50 | 0.16771 | 1.65 | 0.91 | 0.06098 | 3.00 | 0.33 | 0.02236 | 4.35 | 0.16 | 0.01064 |
| 0.40 | 2.50 | 0.16771 | 1.70 | 0.88 | 0.05919 | 3.05 | 0.32 | 0.02163 | 4.40 | 0.15 | 0.01040 |
| 0.45 | 2.50 | 0.16771 | 1.75 | 0.86 | 0.05750 | 3.10 | 0.31 | 0.02094 | 4.45 | 0.15 | 0.01016 |
| 0.50 | 2.50 | 0.16771 | 1.80 | 0.83 | 0.05590 | 3.15 | 0.30 | 0.02028 | 4.50 | 0.15 | 0.00994 |
| 0.55 | 2.50 | 0.16771 | 1.85 | 0.81 | 0.05439 | 3.20 | 0.29 | 0.01965 | 4.55 | 0.14 | 0.00972 |
| 0.60 | 2.50 | 0.16771 | 1.90 | 0.79 | 0.05296 | 3.25 | 0.28 | 0.01905 | 4.60 | 0.14 | 0.00951 |
| 0.65 | 2.31 | 0.15481 | 1.95 | 0.77 | 0.05160 | 3.30 | 0.28 | 0.01848 | 4.65 | 0.14 | 0.00931 |
| 0.70 | 2.14 | 0.14375 | 2.00 | 0.75 | 0.05031 | 3.35 | 0.27 | 0.01793 | 4.70 | 0.14 | 0.00911 |
| 0.75 | 2.00 | 0.13417 | 2.05 | 0.71 | 0.04789 | 3.40 | 0.26 | 0.01741 | 4.75 | 0.13 | 0.00892 |
| 0.80 | 1.88 | 0.12578 | 2.10 | 0.68 | 0.04563 | 3.45 | 0.25 | 0.01691 | 4.80 | 0.13 | 0.00873 |
| 0.85 | 1.76 | 0.11838 | 2.15 | 0.65 | 0.04354 | 3.50 | 0.24 | 0.01643 | 4.85 | 0.13 | 0.00856 |
| 0.90 | 1.67 | 0.11181 | 2.20 | 0.62 | 0.04158 | 3.55 | 0.24 | 0.01597 | 4.90 | 0.12 | 0.00838 |
| | | | 2.25 | 0.59 | 0.03975 | 3.60 | 0.23 | 0.01553 | 4.95 | 0.12 | 0.00821 |

| | | |
|--------------|----------------------|--|
| 5.00 | 0.12 | 0.00805 |
| 5.05 | 0.12 | 0.00789 |
| 5.10 | 0.12 | 0.00774 |
| 5.15 | 0.11 | 0.00759 |
| 5.20 | 0.11 | 0.00744 |
| 5.25 | 0.11 | 0.00730 |
| 5.30 | 0.11 | 0.00716 |
| 5.35 | 0.10 | 0.00703 |
| T (s) | C_x | S_a = $\frac{ZUCS}{R}$ |
| 5.40 | 0.10 | 0.00690 |
| 5.45 | 0.10 | 0.00678 |
| 5.50 | 0.10 | 0.00665 |
| 5.55 | 0.10 | 0.00653 |
| 5.60 | 0.10 | 0.00642 |
| 5.65 | 0.09 | 0.00630 |
| 5.70 | 0.09 | 0.00619 |
| 5.75 | 0.09 | 0.00609 |
| 5.80 | 0.09 | 0.00598 |
| 5.85 | 0.09 | 0.00588 |
| 5.90 | 0.09 | 0.00578 |
| 5.95 | 0.08 | 0.00568 |
| 6.00 | 0.08 | 0.00559 |
| 6.05 | 0.08 | 0.00550 |
| 6.10 | 0.08 | 0.00541 |
| 6.15 | 0.08 | 0.00532 |
| 6.20 | 0.08 | 0.00524 |
| 6.25 | 0.08 | 0.00515 |
| 6.30 | 0.08 | 0.00507 |
| 6.35 | 0.07 | 0.00499 |
| 6.40 | 0.07 | 0.00491 |
| 6.45 | 0.07 | 0.00484 |
| 6.50 | 0.07 | 0.00476 |
| 6.55 | 0.07 | 0.00469 |
| 6.60 | 0.07 | 0.00462 |
| 6.65 | 0.07 | 0.00455 |
| 6.70 | 0.07 | 0.00448 |
| 6.75 | 0.07 | 0.00442 |
| 6.80 | 0.06 | 0.00435 |
| 6.85 | 0.06 | 0.00429 |
| 6.90 | 0.06 | 0.00423 |
| 6.95 | 0.06 | 0.00417 |
| 7.00 | 0.06 | 0.00411 |



I. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

En el *Artículo 32. "Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles"* de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2018, indica que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el *Artículo 31*, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N°11.

En el *ítem 31.1. del Artículo 31. "Determinación de Desplazamientos Laterales"* menciona que, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75 R los resultados obtenido del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.85 R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Además, en el *ítem 31.2. del mismo artículo* señala que para el cálculo de los desplazamientos laterales no se consideran los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 28.2 ni el cortante mínimo en la base en el numeral 29.4.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 139. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M23

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.926 | 0.001187 | 0.005342 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 3.570 | 0.001321 | 0.005946 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 3.174 | 0.001421 | 0.006396 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.747 | 0.001494 | 0.006723 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 2.299 | 0.001526 | 0.006867 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.841 | 0.001511 | 0.006800 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.388 | 0.001441 | 0.006485 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.956 | 0.001308 | 0.005885 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.563 | 0.001104 | 0.004970 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.232 | 0.000663 | 0.002982 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 140. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M23

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.440 | 0.001112 | 0.005006 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 3.106 | 0.001199 | 0.005396 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.746 | 0.001281 | 0.005763 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.362 | 0.001348 | 0.006068 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.958 | 0.001381 | 0.006215 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.543 | 0.001364 | 0.006138 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.134 | 0.001284 | 0.005780 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.749 | 0.001126 | 0.005067 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.411 | 0.000869 | 0.003912 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.150 | 0.000429 | 0.001932 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 141. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M23

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|------------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. \leq D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 3.552 | 0.001326 | 0.005967 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 3.154 | 0.001375 | 0.006188 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.742 | 0.001416 | 0.006371 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 2.317 | 0.001368 | 0.006158 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.906 | 0.001252 | 0.005633 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.531 | 0.001255 | 0.005649 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 1.154 | 0.001210 | 0.005445 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.791 | 0.001102 | 0.004959 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.461 | 0.000918 | 0.004133 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.185 | 0.000529 | 0.002380 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 142. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M23

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|------------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. \leq D. Límite |
| Piso 10 | 30.50 | 2.593 | 0.000851 | 0.003830 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 9 | 27.50 | 2.338 | 0.000916 | 0.004121 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 8 | 24.50 | 2.063 | 0.000975 | 0.004388 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 7 | 21.50 | 1.770 | 0.001023 | 0.004602 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 6 | 18.50 | 1.464 | 0.001042 | 0.004689 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 5 | 15.50 | 1.151 | 0.001024 | 0.004610 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 4 | 12.50 | 0.844 | 0.000960 | 0.004322 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 3 | 9.50 | 0.556 | 0.000838 | 0.003771 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 2 | 6.50 | 0.304 | 0.000644 | 0.002898 | 0.007 | CUMPLE |
| Piso 1 | 3.50 | 0.111 | 0.000317 | 0.001426 | 0.007 | CUMPLE |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M31

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M31*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS
 - B. PREDISEÑO USANDO LAS PROPIEDADES LINEALES
 - C. DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO
 - D. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALS EN PLANTA
 - E. FUERZA CORTANTE
 - F. ESPECTRO SÍSMICO
 - G. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

La estructura del *Modelo M31* pertenece al sistema estructural de muros estructurales, donde los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, son columnas y placas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M31* se implementará un sistema de aislamiento en la base, del tipo LRB.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la *Norma Sismorresistente E.030* del 2003 y la *Norma E.031 Aislamiento Sísmico*.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.



Figura 15. Estructuración modelo M31

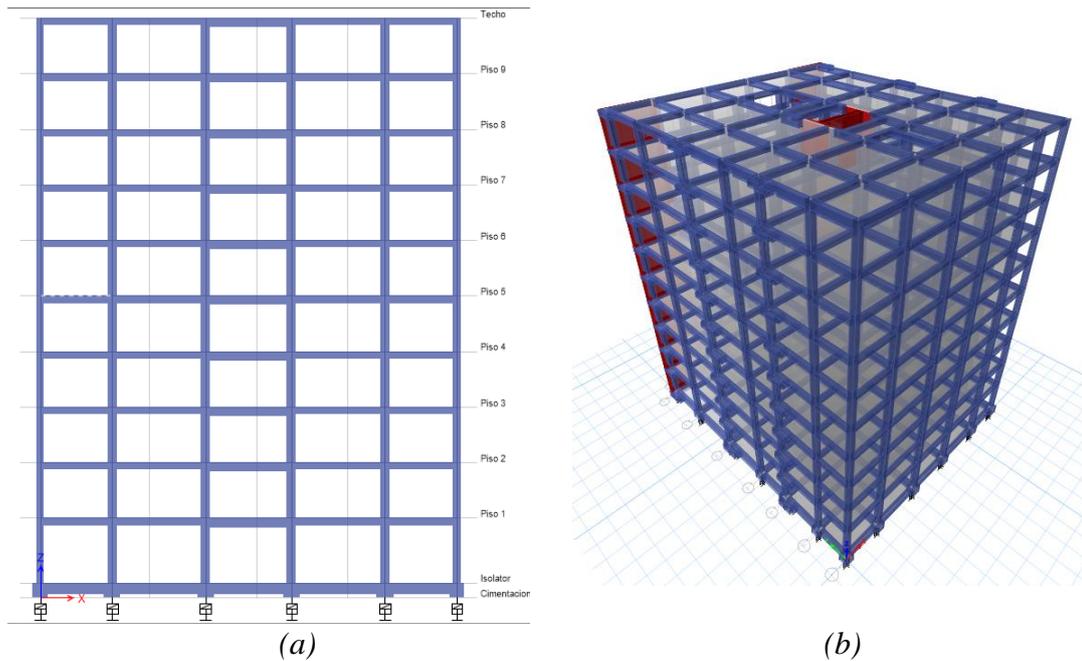


Figura 16. Estructuración modelo M31. (a) Vista en elevación del modelo en ETABS v.16.2.1. (b) Vista en 3D del modelo en ETABS v.16.2.1.

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 143. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el Modelo M31

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|--|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ cm}$ |
| d. VIGAS DE RIGIDEZ | <ul style="list-style-type: none"> En el sentido secundario $h = 70 \text{ cm}$ $b = 40 \text{ cm}$ En el sentido secundario $h = 60 \text{ cm}$ $b = 40 \text{ cm}$ |
| e. COLUMNAS | C1 40x40 C2 40x50 C3 50x70 C4 50x85 C5 50x50 |
| f. PLACAS | PH: $e = 45 \text{ cm}, L = 3.20 \text{ m}$: $e = 45 \text{ cm}, L = 4.15 \text{ m}$ P1: $e = 45 \text{ cm}, L = 4.45 \text{ m}$ |
| g. CAPITELES | Cap. Externos 80x80 Cap. Internos 90x90 |
| h. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $\epsilon_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma E.020 Cargas. Las Cargas Permanentes consideran el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas con viguetas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado que es igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que se le añade a la estructura como una carga distribuida en losa, que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la Carga Viva se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas, además de 500 kg/cm² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS y PLACAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas, se realizará el predimensionamiento de las secciones de columnas con el Método Japonés y los resultados se muestran en la Tabla 143 y las secciones de las placas resultarán de las iteraciones, iniciando con un espesor mínimo de 25 cm.

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

i. Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

Según el artículo 16. "Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes" del Capítulo IV "Selección del Procedimiento de Análisis para Estructuras Aisladas de la norma E.031 Aislación Sísmica, indica que el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes del capítulo V se puede utilizar para el diseño de una estructura aislada siempre que se cumplan todas las siguientes condiciones, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento gobernando la de mayor exigencia:

16.1 La estructura debe estar ubicada en las zonas sísmicas 1 o 2, o en la zona 3 sobre los



suelos del tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.

16.2. El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional, T_M , será menor o igual a 5,0 s.

16.3. La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 metros de altura. Esta altura debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.

16.4 El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento traslacional, β_M , debe ser menor o igual a 30%.

[...]

16.6 La estructura por encima del nivel de aislamiento no debe tener ninguna de las irregularidades listadas en el numeral 7.1. La que indica que debe verificarse la existencia o no de los siguientes tipos de irregularidades indicadas en las tablas de Irregularidades estructurales en altura y en planta de la norma técnica E.030 Diseño Sismorresistente vigente.

- a) Irregularidad de rigidez-Piso Blando
- b) Irregularidad de resistencia-Piso Débil
- c) Irregularidad de rigidez extrema-Piso Blando
- d) Irregularidad extrema de resistencia-Piso Débil
- e) Irregularidad por discontinuidad extrema en los sistemas resistentes
- f) Irregularidad torsional extrema en planta

ii. Análisis dinámico

Según el ítem 17.1. “Análisis Modal Espectral” del artículo 17 “Análisis Dinámico”, del Capítulo IV “Selección del Procedimiento de Análisis para Estructuras Aisladas”, indica que:

17.1 Análisis Modal Espectral

El análisis dinámico modal espectral puede ser usado en el diseño de estructuras sísmicamente aisladas, si se cumplen los criterios de los numerales 16.1, 16.2, 16.3, 16.4, y 16.6. del artículo 16.

Según el ítem 17.2. “Análisis Tiempo-Historia” del artículo 17 “Análisis Dinámico”, del Capítulo IV “Selección del Procedimiento de Análisis para Estructuras Aisladas”, indica que:

17.2.1. Este análisis es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y debe ser necesariamente desarrollado para el diseño de todas las estructuras aisladas que no cumplan los criterios del numeral 17.1.

Por lo tanto, el análisis estructural, que se debería realizar para este caso de estudio, es el análisis dinámico Tiempo-Historia, ya que no cumple con el numeral 16.2. Sin embargo, se optó por realizar el análisis estático o de fuerzas equivalentes y el análisis dinámico espectral, debido a que el propósito de la investigación no profundiza en el análisis dinámico Tiempo-Historia.

B. PREDISEÑO USANDO LAS PROPIEDADES LINEALES

Se emplean las propiedades lineales del sistema de aislamiento y de los dispositivos. Debido a que se trata de un modelo simple y conveniente para el diseño.

i. Propiedades lineales del sistema de aislamiento

Para el cálculo de las propiedades lineales se definieron los siguientes parámetros sísmicos de la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, los que se resumen en la Tabla 144.

Tabla 144. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M31 de acorde a la Norma E.030 del 2003

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|-------------------------------------|
| 1. Zonificación, E.030-2003(Art.5) | Zona Sísmica: 2 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno. | $Z = 0.30$ |
| 2. Condiciones Locales, E.030-2003(Art.6) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos Intermedios | $S = 1.20$ $T_p = 0.6 \text{ s}$ |
| 3. Factor de Amplificación Sísmica, E.030-2003(Art.7) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por la siguiente expresión: $C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T_s}\right); C \leq 2.5$ | $C = 0.47$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 145, se presenta los datos de entrada para el pre diseño del sistema de aislamiento. Se parte asumiendo un periodo de base aislada de $T_b = 3.200 \text{ s}$ y un amortiguamiento efectivo $\xi_b = 15\%$.

Tabla 145. Datos de entrada para el prediseño del sistema de aislamiento para el Modelo M31

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|-------------------------------|
| Periodo de diseño para el edificio con base fija, T_s | 0.785 s |
| Periodo de diseño para el edificio aislado, T_b | 3.200 s |
| Amortiguamiento Efectivo, ξ_b | 0.15 |
| Masa sísmica de la superestructura, m_s | 669.33 ton. s ² /m |
| Masa sísmica de la plataforma de aislamiento, m_b | 75.69 ton. s ² /m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los resultados de la Rigidez del sistema de aislamiento k_b y el valor del amortiguamiento del sistema de aislamiento C_b se resumen en la Tabla 146.

Tabla 146. Propiedades Lineales: Rigidez (K_b) y Amortiguamiento(C_b) del sistema de aislamiento para el Modelo M31

| PARÁMETRO | FÓRMULA EMPLEADA | VALOR |
|---|---|----------------|
| Rigidez del sistema de aislamiento, k_b | $T_b = 2\pi \sqrt{\frac{m_s + m_b}{k_b}}$ | 2872.27 tonf/m |
| Amortiguamiento del sistema de aislamiento, C_b | $C_b = \xi_b 2\sqrt{(m_s + m_b)k_b}$ | 438.85 tonf/m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

A partir de los parámetros sísmicos, del periodo T_b y del amortiguamiento ξ_b , se calcularon las respuestas espectrales. Los resultados se presentan en la Tabla 147.

Tabla 147. Propiedades Lineales: Pseudo-aceleración (S_{aM}), Factor de amortiguamiento (B_M) y Desplazamiento (D_M) del sistema de aislamiento para el Modelo M31

| PARÁMETRO | FÓRMULA EMPLEADA | VALOR |
|----------------------------------|---|------------------------|
| Pseudo-aceleración, S_{aM} | $S_{aM} = 1.5 ZCS g$ | 2.483 m/s ² |
| Factor de amortiguamiento, B_M | $B_M = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\xi_b 100)}$ | 1.375 |
| Desplazamiento, D_M | $D_M = \frac{S_{aM} T_b^2}{4\pi^2 B_M}$ | 0.468 m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Propiedades lineales de los aisladores

Tabla 148. Propiedades lineales de los aisladores para el Modelo M31

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|-----------------|
| Rigidez lateral total, K_e | 2872.27 tonf/m |
| Número de aisladores elastoméricos, N_e | 44 |
| Rigidez lateral, k_e | 65.28 tonf/m |
| Amortiguamiento total efectivo, C_e | 438.85 tonf.s/m |
| Amortiguamiento efectivo, c_e | 9.97 tonf.s/m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO

i. Cálculo de las propiedades no lineales

La rigidez post-fluencia K_2 , la rigidez inicial K_1 , la fuerza de fluencia F_y , y la fuerza máxima F_{max} , la fuerza característica Q y el área del diagrama de histéresis A , fueron hallados mediante ecuaciones con base en relaciones geométricas del modelo bilineal del sistema de aislamiento.

Las propiedades no lineales, considerando los resultados del pre diseño dados en el ítem B, se presentan en la Tabla 149.

Tabla 149. Propiedades no lineales del sistema de aislamiento para el Modelo M31

| PARÁMETRO | FÓRMULAS EMPLEADAS | VALOR |
|-----------------------------------|--|-----------------|
| Desplazamiento de fluencia, D_y | $2\pi\xi_b D_M - \left[\frac{(D_M - D_y)4D_y(\alpha - 1)}{D_M + (\alpha - 1)D_y} \right] = 0$ La relación de la rigidez posfluencia y rigidez inicial del sistema de aislamiento representada como α (asumida como 12). | 0.0136 m |
| Rigidez post-fluencia, K_2 | $K_2 = \frac{K_b D_M}{D_M + (\alpha - 1)D_y}$ | 2175.20 tonf/m |
| Rigidez inicial, K_1 | $K_1 = \alpha K_2$ | 26102.37 tonf/m |
| Fuerza de fluencia, F_y | $F_y = K_1 D_y$ | 356.09 tonf |
| Fuerza máxima, F_{max} | $F_{max} = F_y + K_2(D_M - D_y)$ | 1345.00 tonf |

Tabla 149. Propiedades no lineales del sistema de aislamiento para el Modelo

| PARÁMETRO | FÓRMULAS EMPLEADAS | VALOR |
|-------------------------------------|--|---------------|
| Resistencia característica, Q | $Q = \frac{2\pi\xi_b K_b D_M^2}{4(D_M - D_y)}$ | 326.42 tonf |
| Área de la curva de histéresis, A | $A = 2\pi\xi_b K_b D_M^2$ | 593.60 tonf.m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_a se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_p se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---------------------------------------|-------------|-------|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

E. FUERZA CORTANTE

En el ítem 22.1 del Artículo 22 “Distribución de la fuerza” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, nos indica que la fuerza sísmica lateral V_s debe distribuirse entre los distintos niveles de la estructura sobre el sistema de aislamiento usando las ecuaciones:

$$F_1 = (V_b - V_{st})/R_a$$

$$F_i = \frac{p_i h_i^k}{\sum_{j=2}^n p_j h_j^k} V_s, \quad i > 1$$

$$k = 14\beta_M T$$

Donde:

R_a , es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como $3/8 R_o$, pero no menos que 1 ni mayor que 2.

V_b , es la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento o en los elementos bajo el nivel de aislamiento, como se indica en la ecuación 10 en el ítem 21.1 “Sistemas de aislamiento y elementos estructurales bajo el nivel de base” del Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”.

$$V_b = k_M D_M$$

Donde; k_M es la rigidez efectiva (kN/mm) y D_M es el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento

V_s , es la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento, como se prescriben en la ecuación 11 del sub-ítem 21.2.1 del ítem 21.2 “Elementos estructurales sobre el nivel de base” del Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, y con los límites indicadores en el ítem 21.3 en kN.

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a}$$

V_s , es la fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación 12 del sub-ítem 21.2.2 del ítem 21.2 “Elementos estructurales sobre el nivel de base” del Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, en kN.

$$V_{st} = V_b \left(\frac{P_s}{P} \right)^{(1-2,5\beta_M)}$$

Las demás consideraciones de las fuerzas cortantes están desarrolladas en el Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño”.

Tabla 150. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M31

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|-----------------|--|--|
| Piso 10 | 90501.600 | 91766.850 |
| Piso 9 | 201876.940 | 204800.680 |
| Piso 8 | 301324.110 | 305536.770 |
| Piso 7 | 389330.960 | 394774.000 |
| Piso 6 | 463212.680 | 469688.610 |
| Piso 5 | 527648.230 | 535025.010 |
| Piso 4 | 580070.010 | 588179.670 |
| Piso 3 | 620842.510 | 629522.190 |
| Piso 2 | 649965.720 | 659052.550 |
| Piso 1 | 668014.310 | 677353.480 |
| Aislador | 672305.250 | 681704.410 |

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 151. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M31

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|----------|--|--|
| Piso 10 | 64322.480 | 79261.580 |
| Piso 9 | 146638.470 | 184710.370 |
| Piso 8 | 223530.890 | 287186.610 |
| Piso 7 | 296000.610 | 387487.240 |
| Piso 6 | 362188.790 | 482236.850 |
| Piso 5 | 427032.930 | 577643.220 |
| Piso 4 | 489068.270 | 670578.820 |
| Piso 3 | 549594.330 | 761910.340 |
| Piso 2 | 609515.320 | 851959.360 |
| Piso 1 | 671644.770 | 943958.510 |
| Aislador | 738775.33 | 1041458.96 |

Elaborado por el equipo de trabajo

F. ESPECTRO SÍSMICO

En el ítem 13.5 del Artículo 13 “Espectro de Diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, indica que cuando se desarrollen espectros para un sitio específico, no se pueden considerar ordenadas espectrales menores que las indicadas en el ítem 13.4 del mismo artículo, el mismo que menciona que sólo cuando los estudios de micro trepidación confirmen el periodo del estrato, el espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo (SMC) se determina como:

$$S_{aM} = 1,5 ZCSg$$

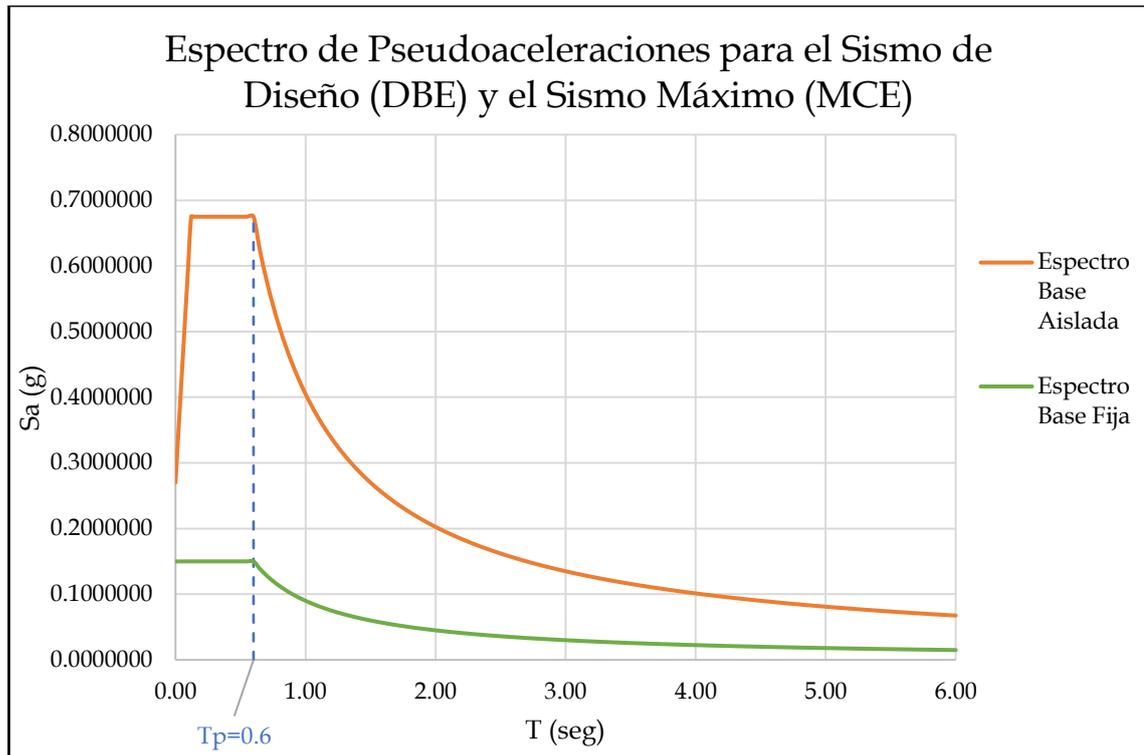
Donde Z y S son parámetros que se definieron en la norma E.030 vigente y el parámetro C dado en la Norma E031 “Aislamiento Sísmico” definido por:

$$T < 0,2 T_P \rightarrow C = 1 + 7,5 \left(\frac{T}{T_P} \right)$$

$$0,2 T_P < T < T_P \rightarrow C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C = 2,5 \left(\frac{T}{T_P} \right)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2,5 \left(\frac{T_P T_L}{T^2} \right)$$



G. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

Según el ítem 23.1. del Artículo 23. “Límites de la deriva” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”; la máxima deriva en la estructura por encima del nivel de base no debe exceder 0,0035. Además, el ítem 23.2 del mismo artículo indica que esta deriva es calculada multiplicando los resultados de un análisis lineal elástico por R_a . Donde R_a es un coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como $3/8 R_o$, pero no menor que 1 ni mayor que 2. Para el caso de estudio $R_a = 2$.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 152. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M31

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 27.234 | 0.001806 | 0.002708 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 26.692 | 0.001835 | 0.002753 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 26.141 | 0.001862 | 0.002794 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 25.583 | 0.001886 | 0.002829 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 25.017 | 0.001897 | 0.002845 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 24.448 | 0.001888 | 0.002833 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 23.882 | 0.001855 | 0.002783 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 23.325 | 0.001791 | 0.002686 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 22.788 | 0.001693 | 0.002540 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 22.280 | 0.001537 | 0.002306 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 21.742 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 153. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M31

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 23.197 | 0.000937 | 0.001405 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 22.916 | 0.001064 | 0.001596 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 22.597 | 0.001202 | 0.001802 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 22.236 | 0.001337 | 0.002005 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 21.835 | 0.001447 | 0.002171 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 21.401 | 0.001525 | 0.002288 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 20.943 | 0.001567 | 0.002351 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 20.473 | 0.001564 | 0.002345 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 20.004 | 0.001507 | 0.002260 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 19.552 | 0.001307 | 0.001961 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 19.0946 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 154. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M31

| SISMO EN X-X | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 42.412 | 0.001923 | 0.002884 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 41.835 | 0.001987 | 0.002981 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 41.239 | 0.002063 | 0.003094 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 40.620 | 0.002148 | 0.003222 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 39.976 | 0.002227 | 0.003340 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 39.308 | 0.002288 | 0.003432 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 38.621 | 0.002319 | 0.003479 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 37.925 | 0.002307 | 0.003460 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 37.233 | 0.002240 | 0.003360 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 36.561 | 0.002064 | 0.003096 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 35.839 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 155. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M31

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 34.065 | 0.000965 | 0.001447 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 33.776 | 0.001092 | 0.001639 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 33.448 | 0.001243 | 0.001865 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 33.075 | 0.001407 | 0.002111 | 0.0035 | CUMPLE |



Tabla 155. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M31

| SISMO EN Y-Y | | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 6 | 19.30 | 32.653 | 0.001561 | 0.002342 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 32.185 | 0.001696 | 0.002543 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 31.676 | 0.001803 | 0.002705 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 31.135 | 0.001868 | 0.002802 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 30.575 | 0.001871 | 0.002807 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 30.014 | 0.001683 | 0.002524 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 29.425 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



MODELO M32

CONTENIDO DE LA FICHA

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
2. ESTRUCTURA DEL *MODELO M32*
3. VARIABLES INDEPENDIENTES
 - A. NORMA APLICADA
 - B. ESTRUCTURACIÓN
 - C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA
 - i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS
 - ii. CARGAS ACTUANTES
4. VARIABLES DEPENDIENTES
 - 4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)
 - A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS
 - 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
 - A. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS
 - B. PREDISEÑO USANDO LAS PROPIEDADES LINEALES
 - C. DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO
 - D. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES
 - iii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
 - iv. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALS EN PLANTA
 - E. FUERZA CORTANTE
 - F. ESPECTRO SÍSMICO
 - G. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio que se usa como caso de estudio, consiste en un edificio de departamentos de diez niveles. En planta ocupa un área de 596.64 m² y sus dimensiones en las direcciones de análisis son de 22.6 y 26.4 m en el eje X y Y respectivamente, con luz máxima en el sentido principal de 5.45m y en el sentido secundario de 5.00m, además la altura de entrepiso en el primer nivel es de 3.50 m y en los demás niveles la altura de entrepiso constante es de 3.00 m.

2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

La estructura del *Modelo M32* pertenece al sistema estructural de muros estructurales, donde los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, son columnas y placas tanto en la dirección X-X y Y-Y, cuya configuración de elementos otorgará resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquiera de estas direcciones. Para la obtención del *Modelo M32* se usará aislamiento en la base, del tipo LRB.

3. VARIABLES INDEPENDIENTES

A. NORMA APLICADA

Para la regulación de resultados de esta ficha se usará la *Norma Sismorresistente E.030* del 2018 y la Norma *E031 Aislamiento Sísmico*.

B. ESTRUCTURACIÓN

La estructura tiene 6 ejes principales, con un vano crítico de 5.45m. En el sentido secundario existen 7 ejes, que incluye un vano crítico de 5.00m. La edificación en un primer momento se clasifica como regular, condición que se elige a partir de la configuración arquitectónica de geometría sencilla, regular y simétrica tanto en planta y altura. A causa de esta configuración; en planta, el peso distribuido simétricamente evitará vibraciones torsionales y en elevación impedirá que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de vibración en las partes superiores del edificio.



Figura 17. Estructuración modelo M32

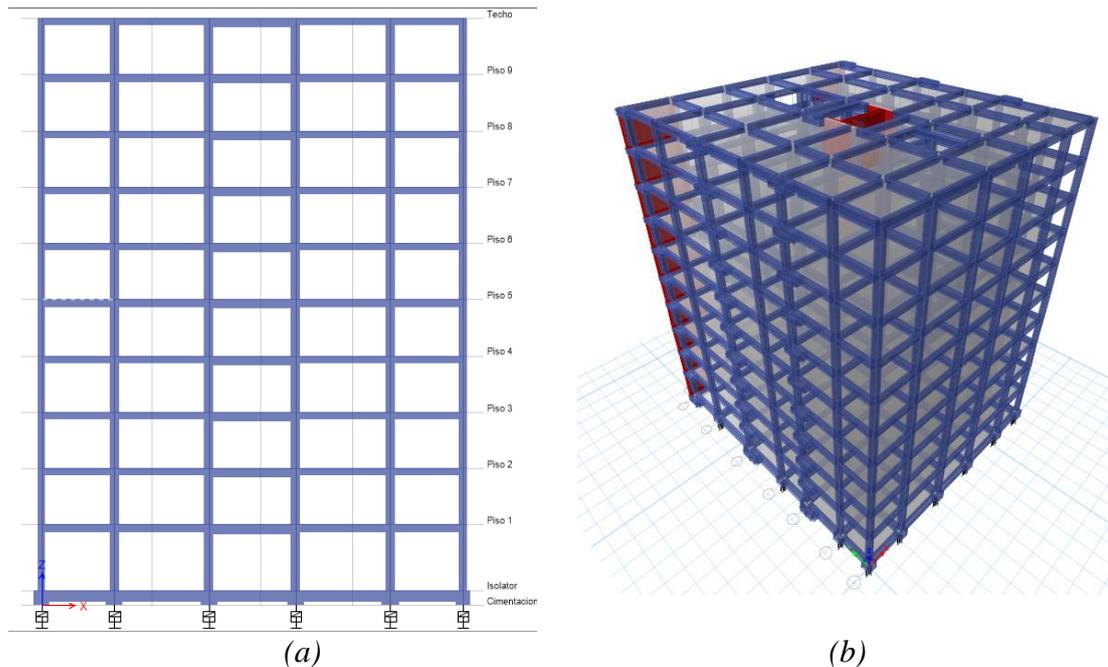


Figura 18. Estructuración modelo M32. (a) Vista en elevación del modelo en ETABS v16.2.1. (b) Vista en 3D del modelo en ETABS v16.2.1.

C. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 156. Predimensionamiento de Elementos Estructurales para el Modelo M32

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | DIMENSIONES ELEGIDAS |
|----------------------|--|
| a. LOSAS ALIGERADAS | $h_l = 25 \text{ cm}$ |
| b. VIGAS PRINCIPALES | $h = 50 \text{ cm}$ $b_w = 30 \text{ cm}$ |
| c. VIGAS SECUNDARIAS | $h = 40 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ cm}$ |
| d. VIGAS DE RIGIDEZ | <ul style="list-style-type: none"> En el sentido secundario $h=70 \text{ cm}$ $b = 40 \text{ cm}$ En el sentido secundario $h = 60 \text{ cm}$ $b = 40 \text{ cm}$ |
| e. COLUMNAS | C1 40x40 C2 40x50 C3 50x70 C4 50x85 C6 50x50 |
| f. PLACAS | PH: $e = 25 \text{ cm}, L = 3.20 \text{ m}$: $e = 25 \text{ cm}, L = 4.35 \text{ m}$ P1: $e = 25 \text{ cm}, L = 4.45 \text{ m}$ |
| g. CAPITELES | Cap. Externos 80x80 Cap. Internos 90x90 |
| h. ESCALERA | $P = 30 \text{ cm}$ $C = 17.5 \text{ cm}$ $t = 0.15 \text{ cm}$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

i. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El concreto armado empleado tiene las características siguientes, que son resumidas en el siguiente cuadro:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | |
|-------------------------------|---|
| CONCRETO: | |
| Peso específico | : $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la compresión | : $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria | : $\epsilon_{cu} = 0.003$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$ |
| Módulo de Poisson | : $\nu_c = \frac{E_c}{2. G_c} - 1 = 0.15$ |
| Módulo de Corte | : $G_c = \frac{E_c}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$ |
| ACERO DE REFUERZO: | |
| Esfuerzo de fluencia | : $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| Deformación Unitaria Máxima | : $\epsilon_s = 0.0021$ |
| Módulo de Elasticidad | : $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$ |

ii. CARGAS ACTUANTES

Las solicitaciones de gravedad actuantes en la estructura se determinan de acuerdo a la Norma E.020 Cargas. Las Cargas Permanentes consideran el peso propio de 300 kg/m² correspondiente a losas aligeradas con viguetas de 25 cm de espesor, el peso de piso terminado que es igual a 100 kg/m² y adicionalmente el peso de tabiquería que se le añade a la estructura como una carga distribuida en losa, que obedece a un metrado de cargas. En cuanto a la Carga Viva se le asigna un valor de 200 kg/m² dado para viviendas, además de 500 kg/cm² para pasadizos.

Para el diseño estructural de los elementos, se tomarán en cuenta las combinaciones de carga desarrolladas en la Norma E.060 Concreto Armado.

4. VARIABLES DEPENDIENTES

4.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS (ÁREAS)

A. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS COLUMNAS Y PLACAS

Para la obtención de áreas de sección de columnas, se realizará el predimensionamiento de las secciones de columnas con el Método Japonés y los resultados se muestran en la Tabla 156, y las secciones de las placas resultarán de las iteraciones, iniciando con un espesor mínimo de 25 cm.

4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

i. Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

Según el artículo 16. "Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes" del Capítulo IV "Selección del Procedimiento de Análisis para Estructuras Aisladas de la norma E.031 Aislación Sísmica, indica que el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes del capítulo V se puede utilizar para el diseño de una estructura aislada siempre que se cumplan todas las siguientes condiciones, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento gobernando la de mayor exigencia:



16.1 La estructura debe estar ubicada en las zonas sísmicas 1 o 2, o en la zona 3 sobre los suelos del tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.

16.2. El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional, T_M , será menor o igual a 5,0 s.

16.3. La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 metros de altura. Esta altura debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.

16.4 El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento traslacional, β_M , debe ser menor o igual a 30%.

[...]

16.6 La estructura por encima del nivel de aislamiento no debe tener ninguna de las irregularidades listadas en el numeral 7.1. La que indica que debe verificarse la existencia o no de los siguientes tipos de irregularidades indicadas en las tablas de Irregularidades estructurales en altura y en planta de la norma técnica E.030 Diseño Sismorresistente vigente.

- a) Irregularidad de rigidez-Piso Blando
- b) Irregularidad de resistencia-Piso Débil
- c) Irregularidad de rigidez extrema-Piso Blando
- d) Irregularidad extrema de resistencia-Piso Débil
- e) Irregularidad por discontinuidad extrema en los sistemas resistentes
- f) Irregularidad torsional extrema en planta

ii. Análisis dinámico

Según el ítem 17.1. “Análisis Modal Espectral” del artículo 17 “Análisis Dinámico”, del Capítulo IV “Selección del Procedimiento de Análisis para Estructuras Aisladas”, indica que:

17.1 Análisis Modal Espectral

El análisis dinámico modal espectral puede ser usado en el diseño de estructuras sísmicamente aisladas, si se cumplen los criterios de los numerales 16.1, 16.2, 16.3, 16.4, y 16.6. del artículo 16.

Según el ítem 17.2. “Análisis Tiempo-Historia” del artículo 17 “Análisis Dinámico”, del Capítulo IV “Selección del Procedimiento de Análisis para Estructuras Aisladas”, indica que:

17.2.1. Este análisis es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y debe ser necesariamente desarrollado para el diseño de todas las estructuras aisladas que no cumplan los criterios del numeral 17.1.

Por lo tanto, el análisis estructural, que se debería realizar para este caso de estudio, es el análisis dinámico Tiempo-Historia, ya que no cumple con el numeral 16.2. Sin embargo, se optó por realizar el análisis estático o de fuerzas equivalentes y el análisis dinámico espectral, debido a que el propósito de la investigación no profundiza en el análisis dinámico Tiempo-Historia.

B. PREDISEÑO USANDO LAS PROPIEDADES LINEALES

Se emplean las propiedades lineales del sistema de aislamiento y de los dispositivos. Debido a que se trata de un modelo simple y conveniente para el diseño.

i. Propiedades lineales del sistema de aislamiento

Para el cálculo de las propiedades lineales se definieron los siguientes parámetros sísmicos de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, los que se resumen en la siguiente Tabla 157.

Tabla 157. Parámetros Sísmicos calculados para el Modelo M32 de acorde a la Norma E.030 del 2018

| DESCRIPCIÓN | IDENTIFICACIÓN | FACTOR |
|--|--|--|
| 1. Zonificación, E.030-2018 (Art.10) | Zona Sísmica: 3 El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Puno, provincia Puno y distrito Puno. | $Z = 0.35$ |
| 2. Condiciones Geotécnicas, E.030- 2018(Art.12) | Perfil de Suelo Tipo: S2 S2: Suelos intermedios, que tiene las siguientes características: $V_s : 180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$ $N_{60}: 15 \text{ a } 50$ $S_u : 50 \text{ kPa a } 100 \text{ kPa}$ | $S = 1.15$ $T_p = 0.6 \text{ s}$ $T_L = 2.0 \text{ s}$ |
| 3. Factor de Amplificación sísmica, E.030-2018(Art.14) | De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C), por las siguientes expresiones: $T < T_p, C = 2.5$ $T_p < T < T_L, C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $T_L < T, C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$ $C = 2.5 \left(\frac{0.6 \times 2.0}{3.2^2}\right) = 0.29$ | $C = 0.29$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 158, se presenta los datos de entrada para el pre diseño del sistema de aislamiento. Se parte asumiendo un periodo de base aislada de $T_b = 3.200 \text{ s}$ y un amortiguamiento efectivo $\xi_b = 15\%$.

Tabla 158. Datos de entrada para el prediseño del sistema de aislamiento para el Modelo M32

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|----------------------|
| Periodo de diseño para el edificio con base fija, T_s | 0.785 s |
| Periodo de diseño para el edificio aislado, T_b | 3.200 s |
| Amortiguamiento Efectivo, ξ_b | 0.15 |
| Masa sísmica de la superestructura, m_s | 641.324 ton. s^2/m |
| Masa sísmica de la plataforma de aislamiento, m_b | 73.496 ton. s^2/m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los resultados de la Rigidez del sistema de aislamiento k_b y el valor del amortiguamiento del sistema de aislamiento C_b se resumen en la Tabla 159.

Tabla 159. Propiedades Lineales: Rigidez (K_b) y Amortiguamiento (C_b) del sistema de aislamiento para el Modelo M32

| PARÁMETRO | FÓRMULA EMPLEADA | VALOR |
|---|---|----------------|
| Rigidez del sistema de aislamiento, k_b | $T_b = 2\pi \sqrt{\frac{m_s + m_b}{k_b}}$ | 2755.86 tonf/m |
| Amortiguamiento del sistema de aislamiento, C_b | $C_b = \xi_b 2\sqrt{(m_s + m_b)k_b}$ | 421.06 tonf/m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

A partir de los parámetros sísmicos, del periodo T_b y del amortiguamiento ξ_b , se calcularon las respuestas espectrales. Los resultados se presentan en la Tabla 160.

Tabla 160. Propiedades Lineales: Pseudo-aceleración (S_{aM}), Factor de amortiguamiento (B_M) y Desplazamiento (D_M) del sistema de aislamiento para el Modelo M32

| PARÁMETRO | FÓRMULA EMPLEADA | VALOR |
|----------------------------------|---|------------------------|
| Pseudo-aceleración, S_{aM} | $S_{aM} = 1.5 ZCS g$ | 1.735 m/s ² |
| Factor de amortiguamiento, B_M | $B_M = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\xi_b 100)}$ | 1.375 |
| Desplazamiento, D_M | $D_M = \frac{S_{aM} T_b^2}{4\pi^2 B_M}$ | 0.327 m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Propiedades lineales de los aisladores

Tabla 161. Propiedades lineales de los aisladores para el Modelo M32

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|-----------------|
| Rigidez lateral total, K_e | 2872.27 tonf/m |
| Número de aisladores elastoméricos, N_e | 44 |
| Rigidez lateral, k_e | 65.28 tonf/m |
| Amortiguamiento total efectivo, C_e | 438.85 tonf.s/m |
| Amortiguamiento efectivo, c_e | 9.97 tonf.s/m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO

i. Cálculo de las propiedades no lineales

La rigidez post-fluencia K_2 , la rigidez inicial K_1 , la fuerza de fluencia F_y , y la fuerza máxima F_{max} , la fuerza característica Q y el área del diagrama de histéresis A fueron hallados mediante ecuaciones con base en relaciones geométricas del modelo bilineal del sistema de aislamiento.

Las propiedades no lineales, considerando los resultados del pre diseño dados en el ítem B, se presentan en la Tabla 162.

Tabla 162. Propiedades no lineales del sistema de aislamiento para el Modelo M31

| PARÁMETRO | FÓRMULAS EMPLEADAS | VALOR |
|-------------------------------------|--|-----------------|
| Desplazamiento de fluencia, D_y | $2\pi\xi_b D_M - \left[\frac{(D_M - D_y)4D_y(\alpha - 1)}{D_M + (\alpha - 1)D_y} \right] = 0$ La relación de la rigidez posfluencia y rigidez inicial del sistema de aislamiento representada como α (asumida como 12). | 0.0095 m |
| Rigidez post-fluencia, K_2 | $K_2 = \frac{K_b D_M}{D_M + (\alpha - 1)D_y}$ | 2087.04 tonf/m |
| Rigidez inicial, K_1 | $K_1 = \alpha K_2$ | 25044.45 tonf/m |
| Fuerza de fluencia, F_y | $F_y = K_1 D_y$ | 238.75 tonf |
| Fuerza máxima, F_{max} | $F_{max} = F_y + K_2(D_M - D_y)$ | 901.78 tonf |
| Resistencia característica, Q | $Q = \frac{2\pi\xi_b K_b D_M^2}{4(D_M - D_y)}$ | 218.85 tonf |
| Área de la curva de histéresis, A | $A = 2\pi\xi_b K_b D_M^2$ | 278.11 tonf.m |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. VERIFICACIÓN DE IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

i. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

Según el ítem 20.1 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_a se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | I_a |
|---|-------------|-------|
| i.1. Irregularidad de Rigidez- Piso blando | No presenta | 1 |
| i.1. Irregularidad Extrema de Rigidez | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades de Resistencia-Piso Débil | No presenta | 1 |
| i.2. Irregularidades Extrema de Resistencia | No presenta | 1 |
| i.3. Irregularidad de Masa o Peso | No presenta | 1 |
| i.4. Irregularidad Geométrica Vertical | No presenta | 1 |
| i.5. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes | No presenta | 1 |

ii. IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

Según el ítem 20.2 del artículo 20. “Factores de Irregularidad (I_a , I_p)” de la Norma Sismorresistente E030 del año 2018, indica que el factor I_p se determina como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

| IRREGULARIDAD | CONDICIÓN | Ia |
|---------------------------------------|-------------|----|
| ii.1. Irregularidad Torsional | No presenta | 1 |
| ii.2. Irregularidad Torsional Extrema | No presenta | 1 |
| ii.3. Esquinas Entrantes | No presenta | 1 |
| ii.4. Discontinuidad del Diafragma | No presenta | 1 |
| ii.5. Sistemas no Paralelos | No presenta | 1 |

E. FUERZA CORTANTE

En el ítem 22.1 del Artículo 22 “Distribución de la fuerza” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, nos indica que la fuerza sísmica lateral V_s debe distribuirse entre los distintos niveles de la estructura sobre el sistema de aislamiento usando las ecuaciones:

$$F_1 = (V_b - V_{st})/R_a$$

$$F_i = \frac{p_i h_i^k}{\sum_{j=2}^n p_j h_j^k} V_s, \quad i > 1$$

$$k = 14\beta_M T$$

Donde:

R_a , es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como $3/8 R_o$, pero no menos que 1 ni mayor que 2.

V_b , es la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento o en los elementos bajo el nivel de aislamiento, como se indica en la ecuación 10 en el ítem 21.1 “Sistemas de aislamiento y elementos estructurales bajo el nivel de base” del Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”.

$$V_b = k_M D_M$$

Donde; k_M es la rigidez efectiva (kN/mm) y D_M es el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento

V_s , es la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento, como se prescriben en la ecuación 11 del sub-ítem 21.2.1 del ítem 21.2 “Elementos estructurales sobre el nivel de base” del Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, y con los límites indicadores en el ítem 21.3 en kN.

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a}$$

V_s , es la fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación 12 del sub-ítem 21.2.2 del ítem 21.2 “Elementos estructurales sobre el nivel de base” del Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, en kN.

$$V_{st} = V_b \left(\frac{P_s}{P} \right)^{(1-2,5\beta_M)}$$

Las demás consideraciones de las fuerzas cortantes están desarrolladas en el Artículo 21 “Fuerzas Laterales mínimas requeridas para el diseño”.

Tabla 163. Distribución de fuerzas laterales estáticas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M32

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|-----------------|--|--|
| Piso 10 | 119525.150 | 169845.670 |
| Piso 9 | 249605.010 | 393411.230 |
| Piso 8 | 352198.640 | 582445.580 |
| Piso 7 | 431435.480 | 743004.920 |
| Piso 6 | 488209.460 | 875548.570 |
| Piso 5 | 529489.610 | 987097.550 |
| Piso 4 | 556430.650 | 1076064.950 |
| Piso 3 | 572335.820 | 1142566.010 |
| Piso 2 | 580190.120 | 1185714.370 |
| Piso 1 | 582963.430 | 1206582.870 |
| Aislador | 583092.150 | 1206582.870 |

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 164. Distribución de fuerzas laterales dinámicas por piso en la dirección X-X y en la dirección Y-Y del modelo M32

| Piso | Fuerza Cortante (Vxi) Kgf Dirección X-X | Fuerza Cortante (Vyi) Kgf Dirección Y-Y |
|-----------------|--|--|
| Piso 10 | 57006.170 | 65825.540 |
| Piso 9 | 127144.080 | 151339.520 |
| Piso 8 | 190555.720 | 233441.450 |
| Piso 7 | 248095.140 | 312802.630 |
| Piso 6 | 298498.290 | 386777.840 |
| Piso 5 | 346196.790 | 460666.500 |
| Piso 4 | 390723.200 | 532217.320 |
| Piso 3 | 433876.780 | 602432.900 |
| Piso 2 | 477130.080 | 671848.010 |
| Piso 1 | 523122.850 | 743039.030 |
| Aislador | 575600.410 | 820394.230 |

Elaborado por el equipo de trabajo

F. ESPECTRO SÍSMICO

En el ítem 13.5 del Artículo 13 “Espectro de Diseño” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, indica que cuando se desarrollen espectros para un sitio específico, no se pueden considerar ordenadas espectrales menores que las indicadas en el ítem 13.4 del mismo artículo, el mismo que menciona que sólo cuando los estudios de micro trepidación confirmen el periodo del estrato, el espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo (SMC) se determina como:

$$S_{aM} = 1,5 ZCSg$$

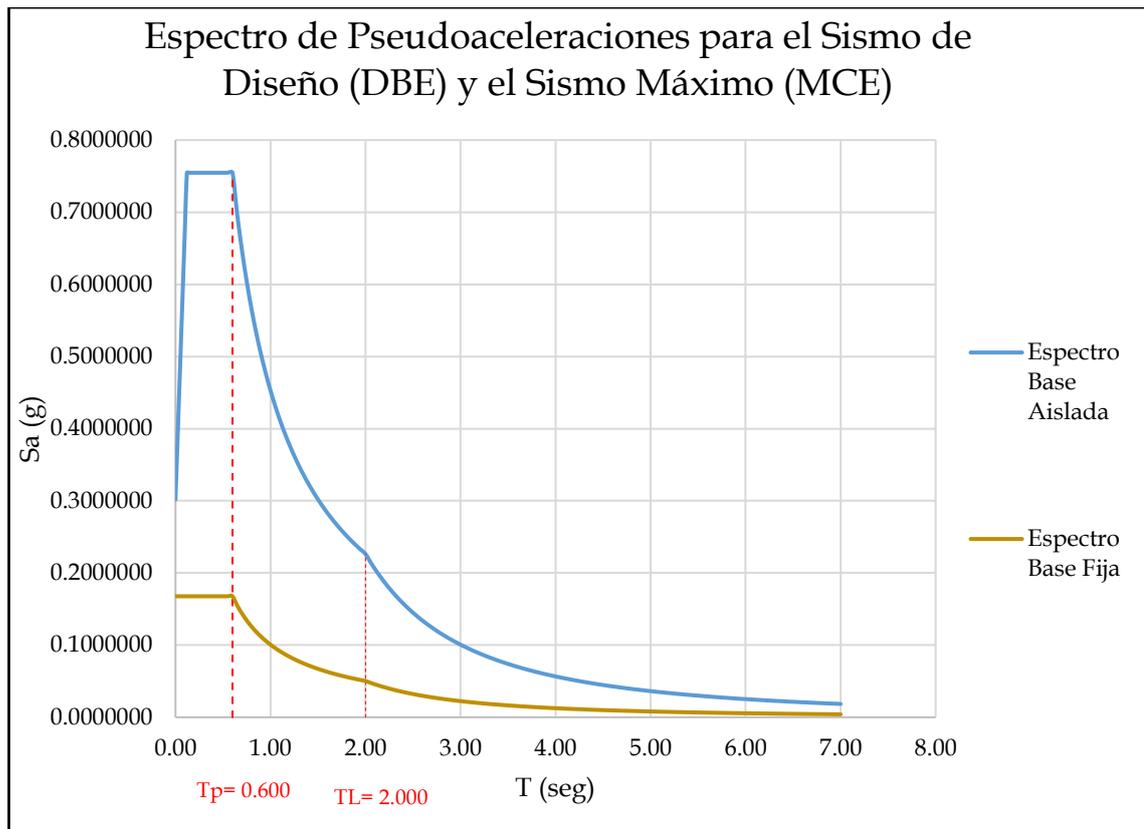
Donde Z y S son parámetros que se definieron en la norma E.030 vigente y el parámetro C dado en la Norma E031 “Aislamiento Sísmico” definido por:

$$T < 0,2 T_p \rightarrow C = 1 + 7,5 \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

$$0,2 T_p < T < T_p \rightarrow C = 2,5$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2,5 \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2,5 \left(\frac{T_p T_L}{T^2} \right)$$



G. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

Según el ítem 23.1. del Artículo 23. “Límites de la deriva” de la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”; la máxima deriva en la estructura por encima del nivel de base no debe exceder 0,0035. Además, el ítem 23.2 del mismo artículo indica que esta deriva es calculada multiplicando los resultados de un análisis lineal elástico por Ra. Donde Ra es un coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como $3/8 R_o$, pero no menor que 1 ni mayor que 2. Para el caso de estudio $R_a = 2$.

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Tabla 165. Derivas estáticas en la dirección X-X obtenidas del modelo M32

| SISMO EN X | | | | | | |
|------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 24.205 | 0.001894 | 0.002841 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 23.637 | 0.001944 | 0.002916 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 23.054 | 0.001982 | 0.002973 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 22.460 | 0.002009 | 0.003014 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 21.857 | 0.002015 | 0.003022 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 21.252 | 0.001991 | 0.002987 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 20.655 | 0.001932 | 0.002898 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 20.076 | 0.001833 | 0.002749 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 19.526 | 0.001694 | 0.002541 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 19.018 | 0.001480 | 0.002220 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 18.500 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 166. Derivas estáticas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M32

| SISMO EN Y | | | | | | |
|------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 21.509 | 0.001010 | 0.001515 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 21.206 | 0.001186 | 0.001778 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 20.850 | 0.001348 | 0.002022 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 20.446 | 0.001487 | 0.002230 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 20.000 | 0.001582 | 0.002373 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 19.525 | 0.001630 | 0.002445 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 19.036 | 0.001637 | 0.002455 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 18.545 | 0.001598 | 0.002397 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 18.066 | 0.001510 | 0.002265 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 17.613 | 0.001269 | 0.001903 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 17.169 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 167. Derivas dinámicas en la dirección X-X obtenidas del modelo M32

| SISMO EN X | | | | | | |
|------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 32.833 | 0.001493 | 0.002239 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 32.385 | 0.001564 | 0.002346 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 31.916 | 0.001643 | 0.002464 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 31.423 | 0.001731 | 0.002596 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 30.904 | 0.001812 | 0.002718 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 30.360 | 0.001874 | 0.002811 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 29.798 | 0.001907 | 0.002861 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 29.226 | 0.001895 | 0.002843 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 28.657 | 0.001828 | 0.002743 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 28.109 | 0.001647 | 0.002471 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 27.532 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 168. Derivas dinámicas en la dirección Y-Y obtenidas del modelo M32

| SISMO EN Y | | | | | | |
|------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Piso | Altura (m) | Desplazamiento (cm) | Derivas Elásticas | Derivas Inelásticas | Deriva Límite | D. Inelást. ≤ D. Límite |
| Piso 10 | 31.30 | 27.012 | 0.000727 | 0.001091 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 9 | 28.30 | 26.794 | 0.000849 | 0.001274 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 8 | 25.30 | 26.539 | 0.000985 | 0.001478 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 7 | 22.30 | 26.244 | 0.001129 | 0.001694 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 6 | 19.30 | 25.905 | 0.001264 | 0.001896 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 5 | 16.30 | 25.526 | 0.001382 | 0.002074 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 4 | 13.30 | 25.111 | 0.001479 | 0.002219 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 3 | 10.30 | 24.667 | 0.001542 | 0.002313 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 2 | 7.30 | 24.205 | 0.001555 | 0.002333 | 0.0035 | CUMPLE |
| Piso 1 | 4.30 | 23.738 | 0.001387 | 0.002080 | 0.0035 | CUMPLE |
| Aislador | 0.80 | 23.253 | | | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS (EN LOS INSTRUMENTOS: MODELOS).

En esta comparación de resultados, describiremos la incidencia del cambio de Norma Sismorresistente E.030 en el cálculo de desplazamientos, derivas, fuerza cortante y espectro de respuesta (aceleraciones), además de las áreas de secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas (columnas y placas).

Para un estudio completo de las normas sísmicas, se determinó los alcances de las modificaciones de las Norma Sismorresistente E.030, respecto de los años 2003 al año 2018, normativa que se aplicó en los diferentes modelos que se han estudiado.

Para estudiar la incidencia de estos cambios se creó 6 modelos en los que se verifica el cumplimiento de la Norma Sismorresistente E.030, Tres modelos de estructuración que cumplen con la Norma E030-2003 y tres modelos que cumplen con la Norma E030-2018. Estos modelos se crean variando las secciones de las columnas haciendo verificar las derivas, las irregularidades y el sistema estructural, para luego determinar las fuerzas cortantes y los espectros. Además de 2 modelos más que consideran el uso de aisladores en donde también se analizan las derivas e irregularidades. La determinación de las áreas iniciales para cada modelo se inició con el predimensionamiento de sus elementos estructurales, luego por medio de un proceso iterativo se determinó las áreas óptimas que cumplen con la Norma Sismorresistente E.030 tanto para la norma del año 2003 como para la norma modificada del año 2018. La estructuración de los modelos está en función al cumplimiento de las limitaciones de las derivas y verificaciones de irregularidades y sistema estructural según la Norma Sismorresistente E.030 utilizada.

4.2. EXPOSICIÓN DE LAS COMPARACIONES Y EVALUACIÓN DE LOS MODELOS ESTUDIADOS

Para la interpretación de los resultados se comparó los modelos creados en función de la Norma E030 del año 2003 y la Norma E030 del año 2018, manipulando las secciones de las columnas haciendo que cumplan con las limitaciones con respecto las derivas e irregularidades, para luego determinar las variaciones del peso sísmico y fuerzas cortantes, para determinar en forma concluyente como la modificación de la norma incide en el diseño estructural de un edificio de 10 niveles.

Para mostrar las incidencias de la modificación de la norma se hicieron comparaciones bajo cada sistema estructural, es decir se compararon los Modelos M11 y M21 correspondientes al sistema de estructural de pórticos, los modelos M12 y M22 correspondientes al sistema estructural dual y los modelos M13 y M23 correspondientes al sistema estructural de muros estructurales.

Para analizar la norma E30-2003 se plantearon los Modelos M11, M12 y M13 correspondientes a los sistemas estructurales de muros aporticados, dual y de muros estructurales respectivamente, luego de una evaluación de los modelos con respecto a la Norma E030-2018 se muestra las incidencias de la modificación de la norma al 2018.

Luego con el propósito de conocer las incidencias de modificación de la norma, se plantearon los Modelos M21, M22 y M23 que cumplen con la Norma E030-2018, estos tres modelos correspondientes a los sistemas estructurales de muros aporticados, dual y de muros estructurales respectivamente permitieron el estudio de las incidencias de la modificación de la normativa en cuando al cambio y variación de sus secciones que implican aumento de materiales y presupuesto.

Para mostrar las incidencias de la modificación de la norma se hicieron comparaciones bajo cada sistema estructural, es decir se compararon los Modelos M11 y

M21 correspondientes al sistema de estructural de pórticos, los modelos M12 y M22 correspondientes al sistema estructural dual y los modelos M13 y M23 correspondientes al sistema estructural de muros estructurales, tal como se muestra a continuación.

4.2.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M11 Y M21)

Los Modelos M11 y M21 corresponden al Sistema Estructural Aporticado que se plantea como modelos referenciales para el análisis de los otros sistemas estudiados como son el Sistema Estructural Dual y de Muros Portantes.

El Modelo M11 es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E030-2003 y el Modelo M21 es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E030-2018.

A. SECCIONES OBTENIDAS

Tabla 169. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M21 con respecto al modelo M11

| MODELO M11 | | | | MODELO M21 | | | | Variación |
|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|-----------|
| Columna | Sección (cm) | Nº de Columnas | Área Parcial (m ²) | Columna | Sección (cm) | Nº de Columnas | Área Parcial (m ²) | |
| C1 | 130x130 | 22 | 37.18 | C1 | 170x170 | 22 | 63.58 | |
| C2 | 170x170 | 20 | 57.80 | C2 | 200x200 | 20 | 80.00 | |
| Total: | | | 94.98 | Total: | | | 143.58 | 48.60 |
| % | | | 100.00 | % | | | 151.17 | 51.17 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En este proyecto de investigación la adecuación de la estructuración con respecto a las secciones de las columnas al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018 produce un incremento del 51.17% de las secciones de las columnas, con respecto a las áreas iniciales, estimadas bajo la Norma E.030 del 2003, esto debido a que al incrementarse las fuerzas cortantes se requerirá mayor rigidez de la estructura, la que será proporcionada por los elementos verticales que en este caso son columnas.

B. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

- **COEFICIENTE BASAL**

Tabla 170. Coeficientes Basales calculados para los modelos M11 y M21 en base a la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente

| PARÁMETROS SÍSMICOS | SÍMB. | TIPO | DIRECCIÓN X-X | | DIRECCIÓN Y-Y | | COMENTARIOS |
|---------------------------------|------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| | | | MODELO M11 E.030 del 2003 | MODELO M21 E.030 del 2018 | MODELO M11 E.030 del 2003 | MODELO M21 E.030 del 2018 | |
| Factor de Zona | Z | Z: 2 (E.030 del 2003) Z: 3 (E.030 del 2018) | 0.3 | 0.35 | 0.3 | 0.35 | En la Norma E.030 del 2018 se adiciona una nueva zona sísmica, y se modifica el factor de zona "Z". |
| Factor de Uso | U | U: Edificaciones Comunes (E.030 del 2003 y 2018) | 1 | 1 | 1 | 1 | En la Norma E.030 del 2018 se conserva los valores de factor de uso "U". |
| Factor de Amplificación Sísmica | C | El valor de "C" depende del periodo de la estructura y de las características del suelo de cimentación, valores del T_p y T_L (Parámetro incluido en la norma E.030 del 2018) | 1.868 | 2.174 | 2.451 | 2.500 | En el modelo matemático del modelo M11 el valor del periodo fundamental de la estructura es de 0.803s y 0.612s en la dirección X-X y Dirección Y-Y respectivamente y para el modelo M21 es de 0.691s en la Dirección X-X y 0.533 en la Dirección Y-Y. Para ambos modelos el valor de T_p es de 0.6, y para el modelo M21 T_L es de 2.0, valores que corresponden a suelos intermedios S2. |
| Factor de Suelo | S | S2: Suelos Intermedios (E.030 del 2003 y N.030 del 2018) | 1.2 | 1.15 | 1.2 | 1.15 | En la Norma E.030 del 2018 se adiciona tipos de suelo, y varían los valores del coeficiente "S". |
| Factor de Reducción | R | R: 8 Para un sistema de pórticos (E.030 del 2003 y 2018) | 8 | 8 | 8 | 8 | En la Norma E.030 del 2018 se conserva los valores de factor de reducción cuando la estructura es regular. |
| Coeficiente Basal | ZUCS/R | | 0.084 | 0.109 | 0.110 | 0.126 | Tanto en la Dirección X-X y Dirección Y-Y se produce un INCREMENTO del valor del coeficiente basal. |
| | % | | 100.00% | 130.12% | 100.00% | 114.04% | |
| | VARIACIÓN | | 30.12% | | 14.04% | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En este proyecto de investigación para la estructuración elegida, el coeficiente basal al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018, se incrementó en un 30.12 % en la Dirección X-X y 14.04% en la Dirección Y-Y, lo cual significa que será uno de los factores que influirá en el incremento del valor de las fuerzas cortantes inicialmente calculadas con la Norma Sismorresistente E030 del 2003 en el Análisis Estático. Esta variación porcentual es válida para el caso de estudio, debido a

que el valor de coeficiente de amplificación sísmica depende del periodo de la estructura y en consecuencia afectada también por la estructuración elegida por el diseñador.

- **FUERZA CORTANTE ESTÁTICA**

Tabla 171. Fuerza Cortante Estática de Entrepiso calculada para el modelo M11

| Piso | MODELO M11 | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|-------|
| | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Variación | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Variación | | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | |
| Piso 10 | 115814.171 | 138959.677 | 23145.506 | 19.99 | 151661.414 | 174110.872 | 22449.458 | 14.80 | |
| Piso 9 | 283345.492 | 336843.634 | 53498.142 | 18.88 | 371047.668 | 424515.321 | 53467.653 | 14.41 | |
| Piso 8 | 432266.058 | 509693.484 | 77427.426 | 17.91 | 566062.694 | 645667.577 | 79604.883 | 14.06 | |
| Piso 7 | 563245.091 | 658740.017 | 95494.926 | 16.95 | 737582.857 | 838758.444 | 101175.587 | 13.72 | |
| Piso 6 | 673939.558 | 781868.378 | 107928.820 | 16.01 | 882539.897 | 1000577.971 | 118038.074 | 13.37 | |
| Piso 5 | 768177.099 | 883918.815 | 115741.716 | 15.07 | 1005946.201 | 1136981.598 | 131035.397 | 13.03 | |
| Piso 4 | 843888.577 | 963278.376 | 119389.799 | 14.15 | 1105092.184 | 1245257.568 | 140165.384 | 12.68 | |
| Piso 3 | 901429.301 | 1021135.403 | 119706.102 | 13.28 | 1180443.132 | 1326292.307 | 145849.175 | 12.36 | |
| Piso 2 | 940799.269 | 1058510.051 | 117710.782 | 12.51 | 1231999.043 | 1380571.279 | 148572.236 | 12.06 | |
| Piso 1 | 963220.081 | 1077889.138 | 114669.057 | 11.90 | 1261359.630 | 1410429.404 | 149069.774 | 11.82 | |
| | | | Promedio % | 15.67 | | | | Promedio % | 13.23 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La aplicación de la Norma E030 del año 2018, sobre el Modelo M11 produce un aumento promedio aproximado de 15.67% y 13.23% en la dirección X-X y Y-Y respectivamente, de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2003, tal como se muestra en la Tabla 171. Esta mayor sollicitación incrementará las fuerzas internas en los elementos estructurales, afectando principalmente a los elementos verticales, evidenciando que las exigencias de refuerzo serán mayores a los que se diseñaban con la norma primigenia.

Tabla 172. Variación del Peso Sísmico calculado para el modelo M21 con respecto al modelo M11

| Peso Sísmico | Modelo M11 | Modelo M21 | Variación |
|----------------|-------------|-------------|------------|
| Cantidad (Kgf) | 11466905.73 | 14741969.73 | 3275064.00 |
| Porcentual (%) | 100 | 128.56 | 28.56 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 173. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M21 con respecto al modelo M11 en la Dirección X-X

| Piso | MODELO M11 | MODELO M21 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(\%)$ |
| Piso 10 | 115814.171 | 193193.836 | 77379.665 | 66.81 |
| Piso 9 | 283345.492 | 483958.386 | 200612.894 | 70.80 |
| Piso 8 | 432266.058 | 739729.861 | 307463.803 | 71.13 |
| Piso 7 | 563245.091 | 961801.076 | 398555.985 | 70.76 |
| Piso 6 | 673939.558 | 1147569.472 | 473629.914 | 70.28 |
| Piso 5 | 768177.099 | 1302525.662 | 534348.563 | 69.56 |
| Piso 4 | 843888.577 | 1424604.122 | 580715.545 | 68.81 |
| Piso 3 | 901429.301 | 1514996.107 | 613566.806 | 68.07 |
| Piso 2 | 940799.269 | 1574653.285 | 633854.016 | 67.37 |
| Piso 1 | 963220.081 | 1606874.700 | 643654.619 | 66.82 |
| | | | Promedio % | 69.04 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 174. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M21 con respecto al modelo M11 en la Dirección Y-Y

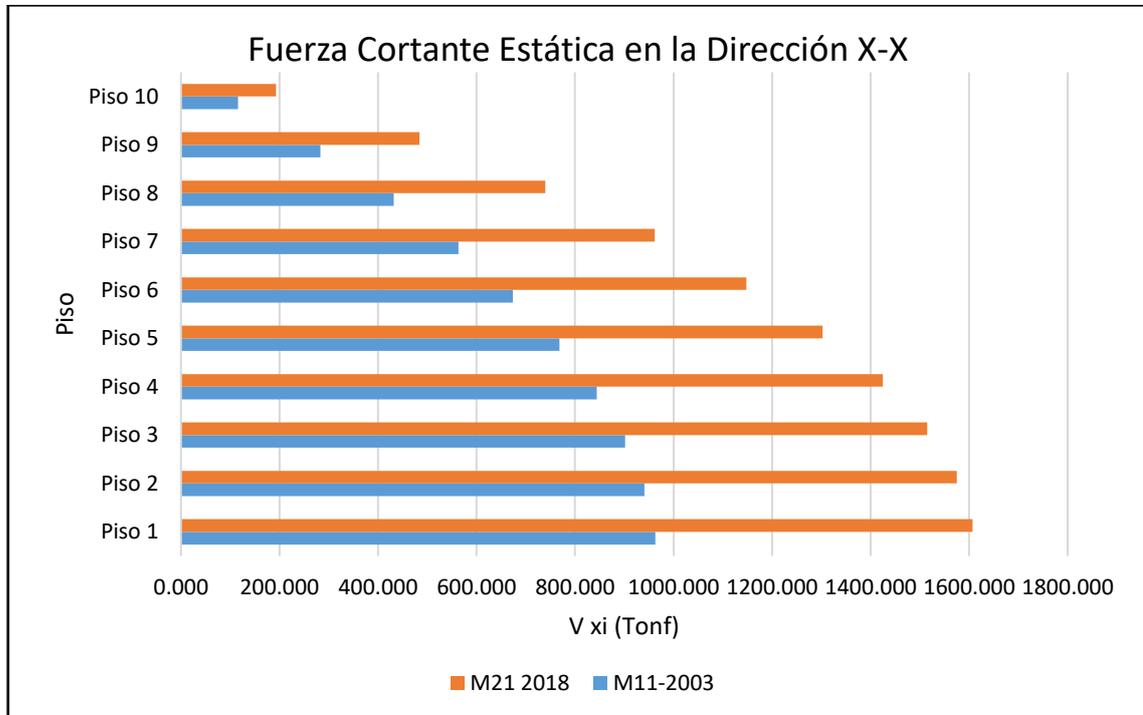
| Piso | MODELO M11 | MODELO M21 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(\%)$ |
| Piso 10 | 151661.414 | 215277.295 | 63615.881 | 41.95 |
| Piso 9 | 371047.668 | 541922.538 | 170874.870 | 46.05 |
| Piso 8 | 566062.694 | 831873.844 | 265811.150 | 46.96 |
| Piso 7 | 737582.857 | 1086216.001 | 348633.144 | 47.27 |
| Piso 6 | 882539.897 | 1301504.758 | 418964.861 | 47.47 |
| Piso 5 | 1005946.201 | 1483596.558 | 477650.357 | 47.48 |
| Piso 4 | 1105092.184 | 1629496.159 | 524403.975 | 47.45 |
| Piso 3 | 1180443.132 | 1739878.887 | 559435.755 | 47.39 |
| Piso 2 | 1231999.043 | 1814932.482 | 582933.439 | 47.32 |
| Piso 1 | 1261359.630 | 1857488.186 | 596128.556 | 47.26 |
| | | | Promedio % | 46.66 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los factores que influyen en los resultados de las fuerzas cortantes son; el peso sísmico y el coeficiente basal. Al haber asumido la variación de la Norma E030-2003, el Modelo M11 ante la necesidad del cumplimiento de los límites de las derivas dadas por la Norma E030 del año 2018, se manipula las secciones creando el Modelo M21, que no solo origina el aumento de las secciones sino en forma dependiente también la variación de los pesos y en consecuencia la variación de los pesos sísmicos con los que se calculan

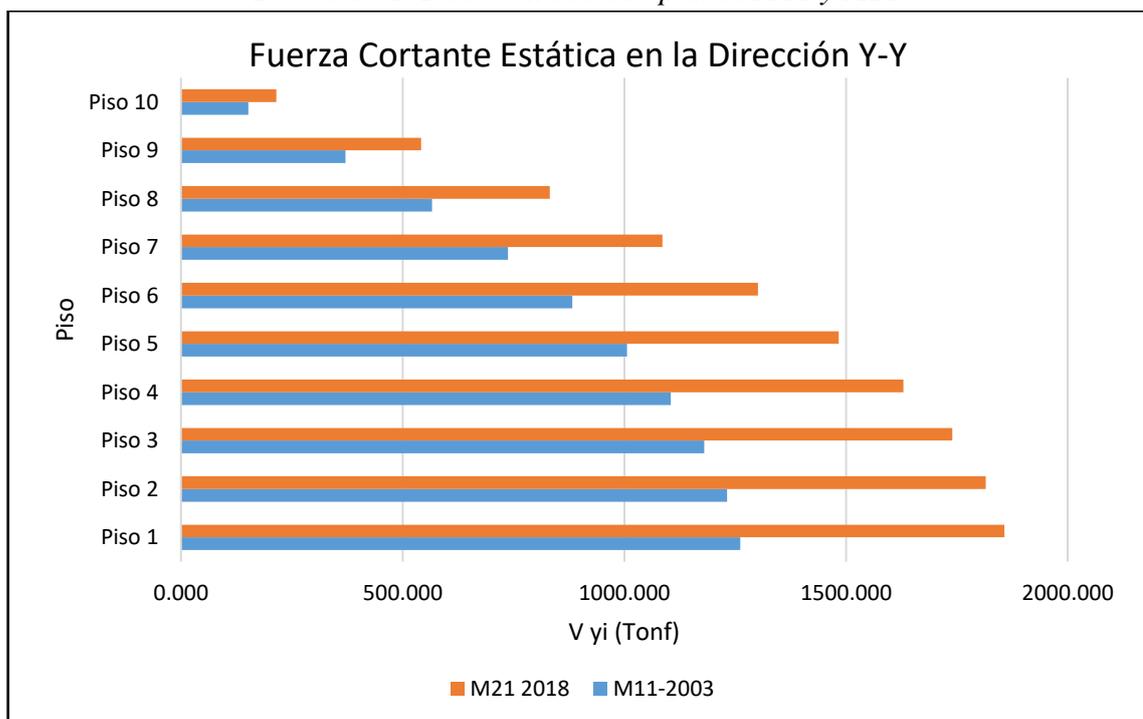
las fuerzas horizontales, por lo que en la Tabla 172 se muestra el aumento del valor del peso sísmico del Modelo M21 con respecto al Modelo M11 en un 28.56%.

Gráfico 1. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos óptimos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 2. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos óptimos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para evaluar la variación de las fuerzas cortantes se empleará dos métodos, a los que llamaremos método indirecto y método directo. El método indirecto, consiste en obtener el valor promedio porcentual de las sendas distribuciones de las fuerzas horizontales para cada piso de cada modelo, que responden a un cálculo dado en las fichas que se adjuntan en el Capítulo 3. Los resultados de las fuerzas cortantes de entrepiso obtenidas del modelo matemático y comprobadas analíticamente se resumen en las Tablas 173 y 174, y se muestran en los Gráficos 1 y 2, luego se calcula una variación porcentual de los resultados por entrepiso de los valores del modelo M21 con respecto al modelo M11, de los cuales se obtuvo un promedio de incremento del 69.04% en la dirección X-X y 46.66% en la dirección Y-Y.

El método de estimación de variación directa es más simple, debido a que se obtiene calculando la variación porcentual del coeficiente sísmico por la variación porcentual de los pesos sísmicos, lo cual nos resultará la variación total de las fuerzas verticales que se muestran en la Tabla 175 y en el que se obtuvo un incremento de 67.28% en la dirección X-X y 46.61% en la Dirección Y-Y.

Tabla 175. Variación de los valores de la Fuerza Cortante de Entrepiso por el método directo

| Parámetros | Dirección X-X | | | Dirección Y-Y | | |
|-------------------|---------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|
| | M11 | M21 | Variación | M11 | M21 | Variación |
| Coeficiente Basal | 100% | 130.12% | 30.12% | 100% | 114.04% | 14.04% |
| Peso Sísmico | 100% | 128.56% | 28.56% | 100% | 128.56% | 28.56% |
| C.B. x P.S. | 100% | 167.28% | 67.28% | 100% | 146.61% | 46.61% |
| Método Directo | | | 67.28% | Método Directo | | 46.61% |
| Método Indirecto | | | 69.04% | Método Indirecto | | 46.66% |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De los resultados de los dos métodos empleados, para la estimación de la variación de la fuerza cortante sísmica de entrepiso del Modelo M21 con respecto al Modelo M11 puede observarse el incremento de estas al aplicarse la Norma E030-2003 a la Norma E030-2018. El resultado obtenido por el método indirecto nos muestra un incremento de

las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso en la Dirección X-X de 67.28% y en un 69.04% de la forma directa. El resultado obtenido por el método indirecto nos muestra un incremento de las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso en la Dirección Y-Y de 46.61% y en un 46.66% de la forma directa. La diferencia de ambos métodos es que la indirecta analiza los incrementos porcentuales de la fuerza cortante sísmica de todos los pisos, obteniendo un valor promedio final, mientras que el método directo sólo evalúa el incremento de la fuerza cortante basal.

- **FUERZA CORTANTE DINÁMICA**

Considerando que las fuerzas cortantes sísmicas se obtuvieron del modelo matemático, la variación porcentual de resultados del modelo M21 con respecto al Modelo M11 se calculará por el método indirecto. En la dirección “X” se obtuvo un incremento promedio aproximado de 63.18% en las fuerzas cortantes dinámicas y en la dirección “Y” un incremento promedio aproximado de 44.65% en las fuerzas cortantes dinámicas, tal como se muestran en las Tablas 176 y 177 y los Gráficos 3 y 4.

Tabla 176. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M21 con respecto al modelo M11

| Piso | MODELO M11 | MODELO M21 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(\%)$ |
| Piso 10 | 116383.560 | 180499.140 | 64115.580 | 55.09 |
| Piso 9 | 253176.550 | 409069.560 | 155893.010 | 61.57 |
| Piso 8 | 361438.290 | 592067.540 | 230629.250 | 63.81 |
| Piso 7 | 450740.810 | 743084.690 | 292343.880 | 64.86 |
| Piso 6 | 524385.030 | 866912.780 | 342527.750 | 65.32 |
| Piso 5 | 587438.100 | 970459.280 | 383021.180 | 65.20 |
| Piso 4 | 639236.770 | 1053259.060 | 414022.290 | 64.77 |
| Piso 3 | 679311.310 | 1115320.970 | 436009.660 | 64.18 |
| Piso 2 | 706273.740 | 1155747.050 | 449473.310 | 63.64 |
| Piso 1 | 719898.940 | 1175712.550 | 455813.610 | 63.32 |
| | | | Promedio % | 63.18 |

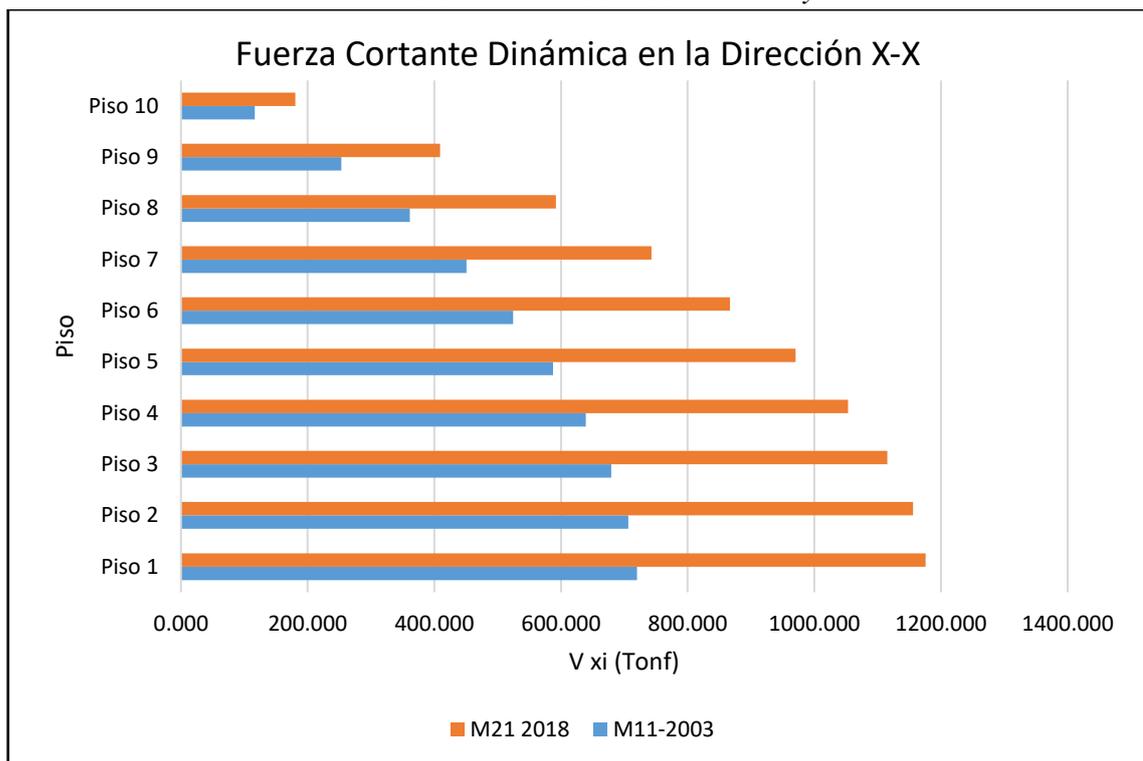
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 177. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y calculadas para los modelos M11 y M21

| Piso | MODELO M11 | MODELO M21 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(\%)$ |
| Piso 10 | 135023.540 | 192592.240 | 57568.700 | 42.64 |
| Piso 9 | 310380.190 | 452042.550 | 141662.360 | 45.64 |
| Piso 8 | 459905.640 | 670283.100 | 210377.460 | 45.74 |
| Piso 7 | 588773.670 | 856157.560 | 267383.890 | 45.41 |
| Piso 6 | 696263.390 | 1010459.410 | 314196.020 | 45.13 |
| Piso 5 | 786556.070 | 1138740.490 | 352184.420 | 44.78 |
| Piso 4 | 857550.280 | 1239184.170 | 381633.890 | 44.50 |
| Piso 3 | 909238.070 | 1312082.910 | 402844.840 | 44.31 |
| Piso 2 | 941606.010 | 1357699.980 | 416093.970 | 44.19 |
| Piso 1 | 956670.470 | 1379182.600 | 422512.130 | 44.16 |
| | | | Promedio % | 44.65 |

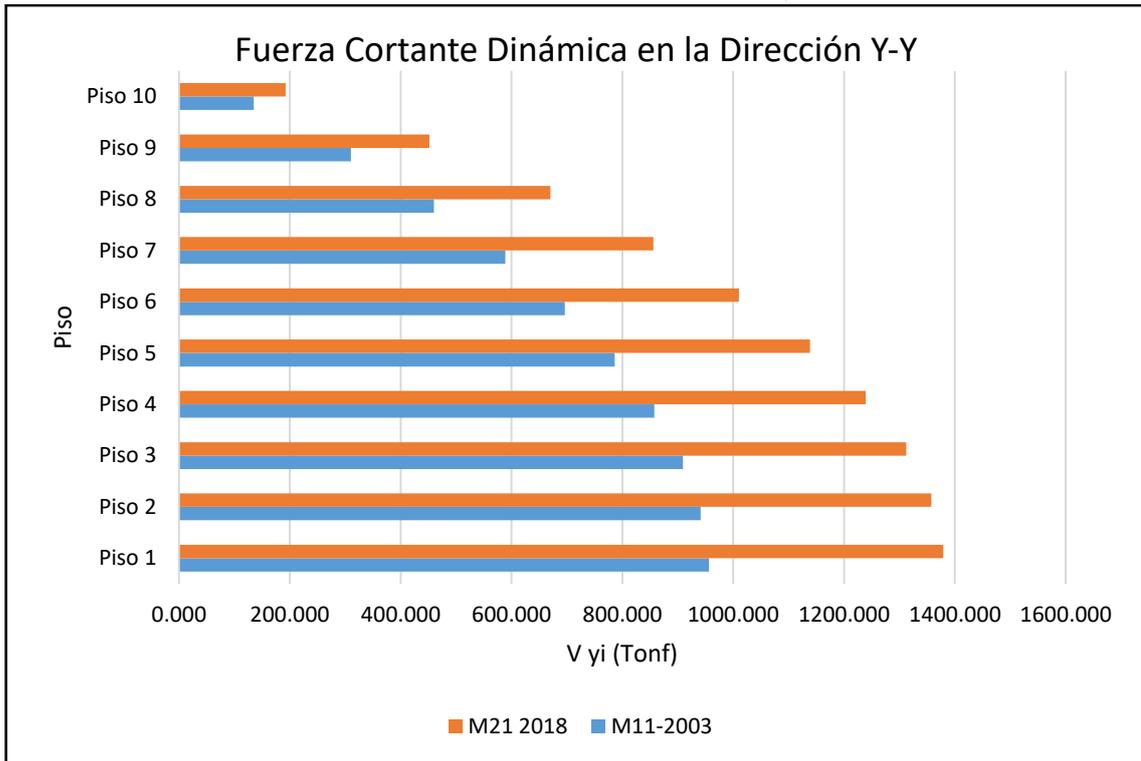
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 3. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

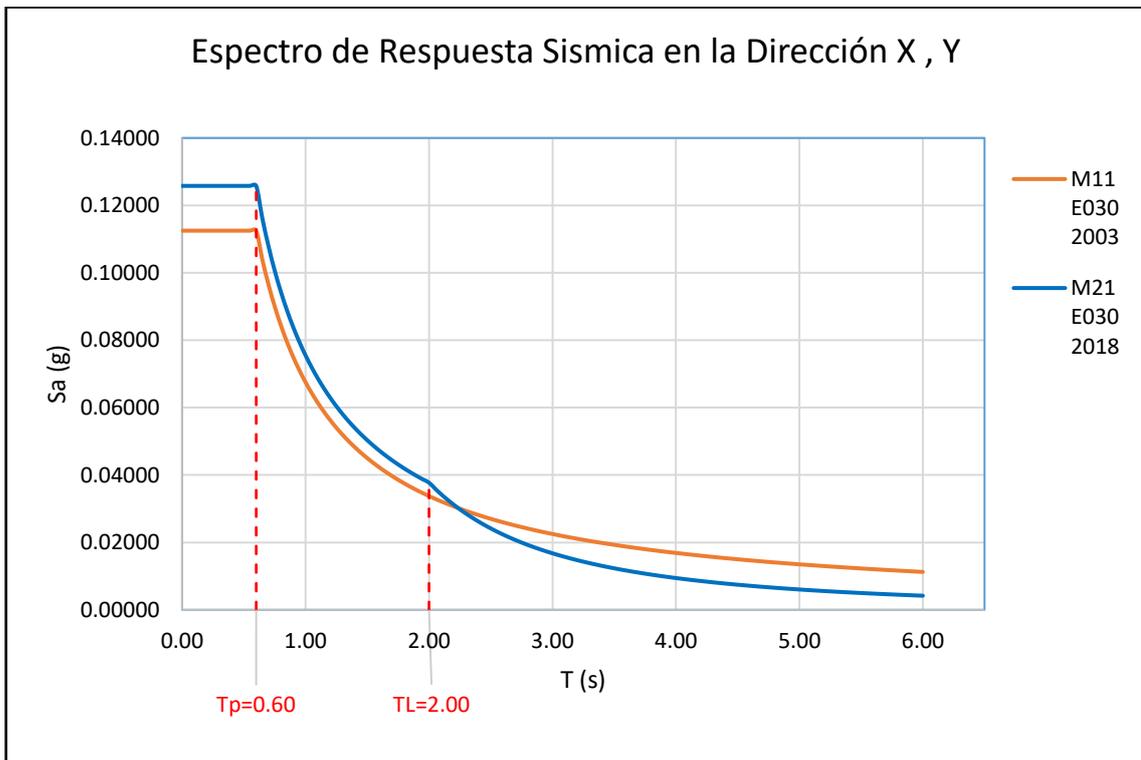
Gráfico 4. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. ESPECTRO SÍSMICO

Gráfico 5. Espectro Sísmico de los modelos M11 y M21 calculadas según la Norma Sismorresistente E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 5 se puede observar la afectación de la variación de los valores de los algunos parámetros sísmicos debido a la modificación de la Norma Sismorresistente del año 2003 al año 2018, que al igual que para el cálculo del coeficiente basal usado para el análisis estático, en el análisis dinámico espectral se modifican los valores del S_a . Esta variación es válida no solo para nuestro caso de estudio sino para todos los edificios del sistema estructural de pórticos, de uso común y que sean regulares; que estén ubicados en la Zona Sísmica 3 y cimentadas en un suelo intermedio tipo S2.

Gráficamente se observa que las aceleraciones correspondiente al Modelo M21 que se basa en la Norma Sismorresistente del 2018 son mayores en 11.81% los periodos cortos ($T < T_p$) e intermedios ($T_p < T < T_L$), y menores en un promedio de 41.38% en los periodos largos ($T_L < T$) que las aceleraciones correspondientes al Modelo M11 que se basa en la Norma Sismorresistente del 2003. Además, debe advertirse que el análisis anterior puede ser equívoco al delimitar los periodos cortos, intermedios y largos, debido a que el periodo T_L se adicionó en la Norma E.030 del 2018 y que solamente existía el T_p en la Norma E.030 del 2003.

D. VERIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES

i. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Del Gráfico 6 se puede apreciar que una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M11. Además, en el Gráfico 7 se observa que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M11 para obtener el modelo M21 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no

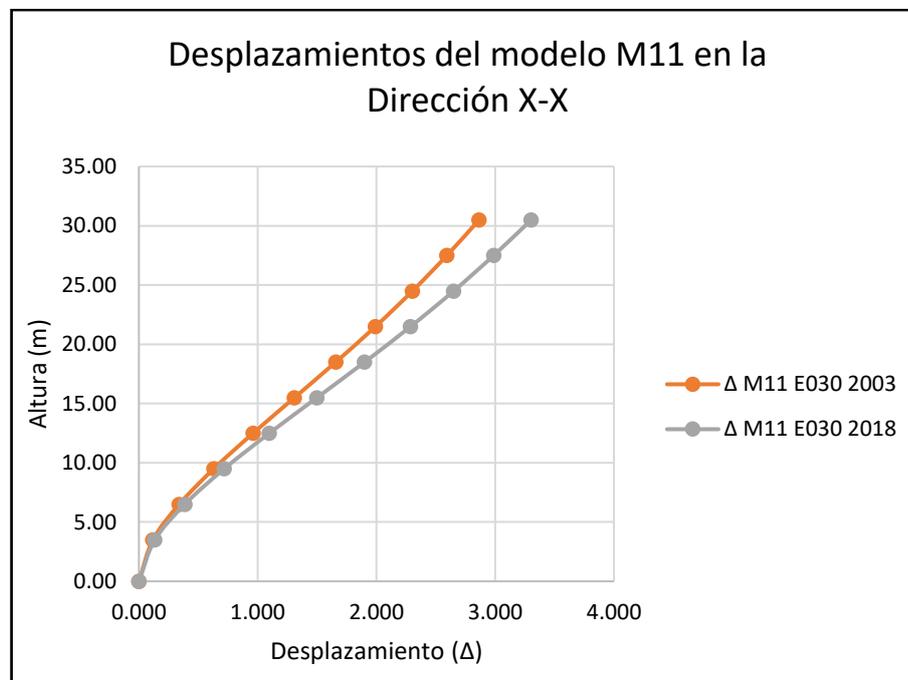
incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

Tabla 178. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 2.865 | 3.304 | 2.836 |
| Piso 9 | 27.50 | 2.594 | 2.988 | 2.541 |
| Piso 8 | 24.50 | 2.304 | 2.651 | 2.232 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.992 | 2.288 | 1.907 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.658 | 1.901 | 1.568 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.310 | 1.500 | 1.225 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.962 | 1.099 | 0.889 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.631 | 0.719 | 0.576 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.340 | 0.387 | 0.306 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.118 | 0.134 | 0.106 |

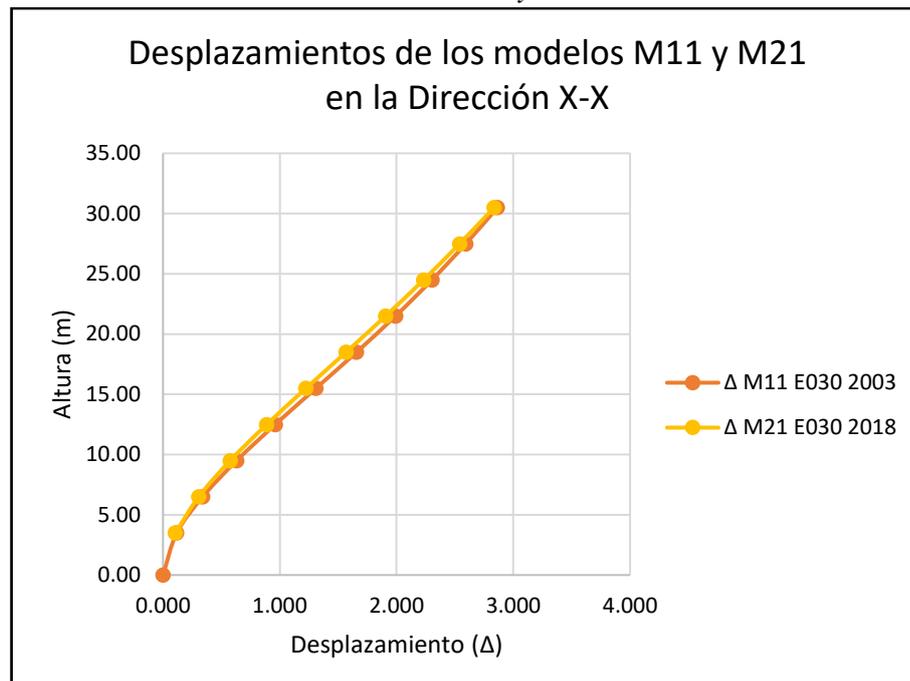
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 6. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 7. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 178 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 15.32% del Modelo M11 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 1.01% del Modelo M21 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M11 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 178 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E, lo que nos indica que proporcionalmente al incremento de los desplazamientos las derivas se incrementarán, generando la posibilidad de que no cumplan con las derivas máximas permitidas dadas por la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, parámetro que limita el nivel de daño de la estructura ante un evento sísmico otorgándole la mínima rigidez necesaria para afrontarla.

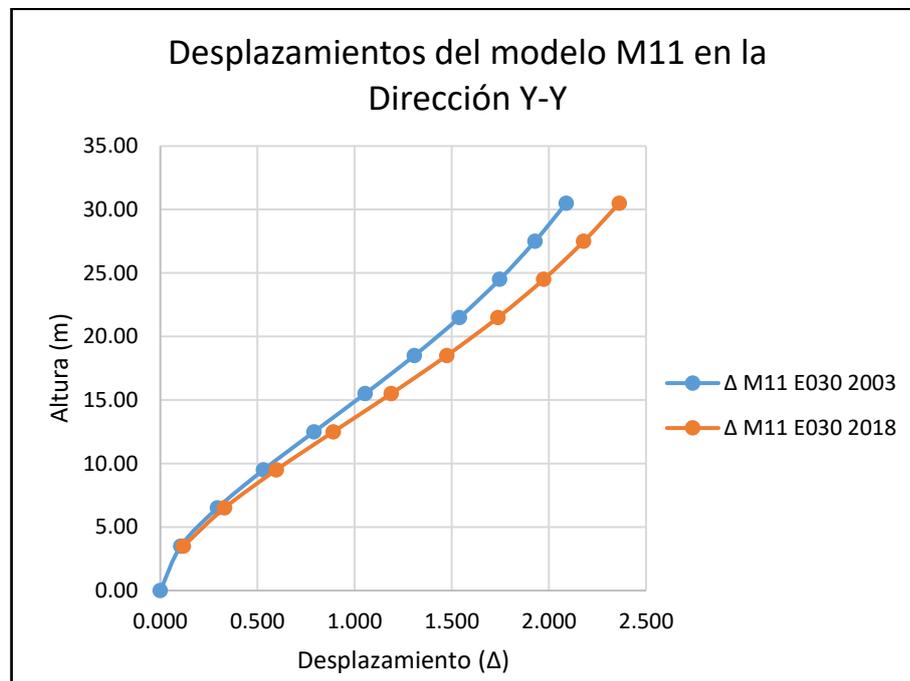
- En la dirección Y-Y

Tabla 179. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 |
|--------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Techo | 30.50 | 2.089 | 2.362 | 1.850 |
| Piso 9 | 27.50 | 1.928 | 2.179 | 1.689 |
| Piso 8 | 24.50 | 1.747 | 1.973 | 1.514 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.540 | 1.738 | 1.320 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.307 | 1.474 | 1.108 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.054 | 1.188 | 0.884 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.791 | 0.890 | 0.656 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.531 | 0.597 | 0.435 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.294 | 0.330 | 0.237 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.106 | 0.119 | 0.084 |

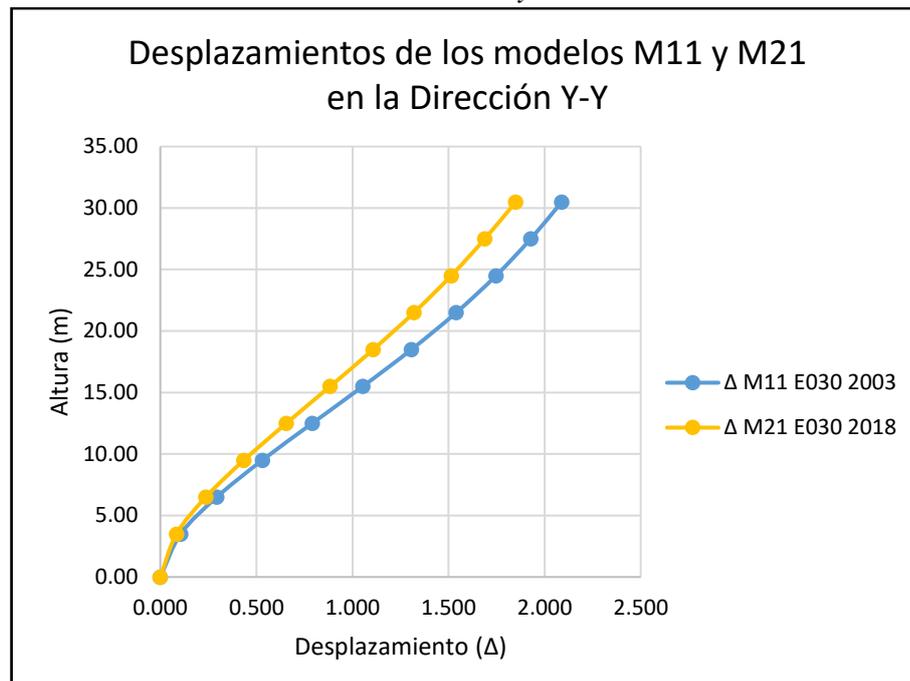
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 8. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 9. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 8 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M11. Además, en el Gráfico 9 se observa también que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M11 para obtener el modelo M21 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

De la Tabla 179 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 13.07% del Modelo M11 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 11.44% del Modelo M21 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M11 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030

correspondiente, sin embargo, en el sentido “Y” de análisis no afectará la colindancia, debido a que tanto en el frente como en el respaldo de la edificación existen espacios libres de otras estructuras. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 179 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

ii. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

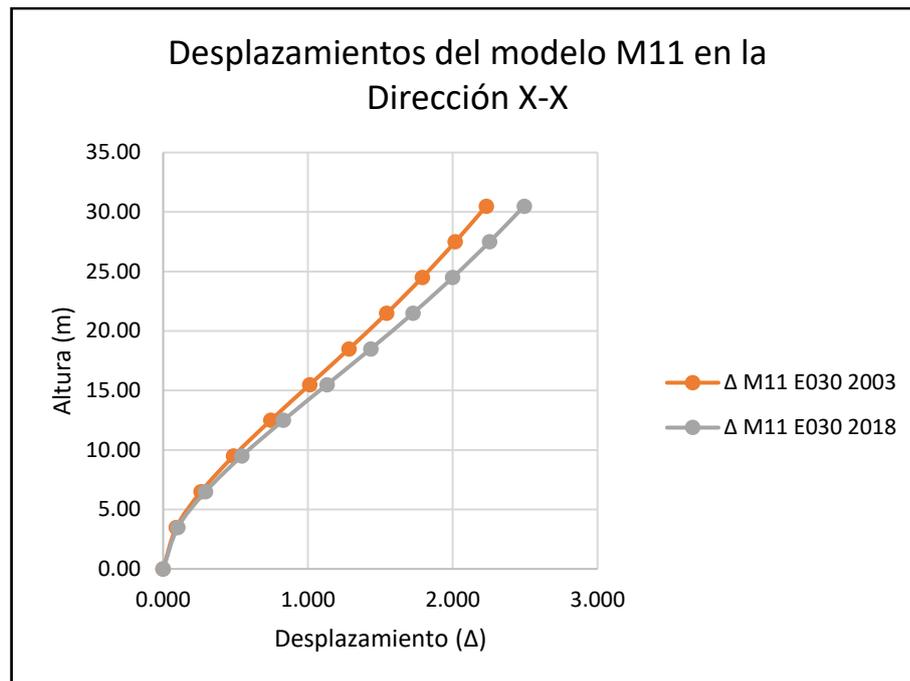
Las observaciones son las mismas que las del análisis estático, del Gráfico 10 se puede apreciar que una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M11. Además, en el Gráfico 11 se observa que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M11 para obtener el modelo M21 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

Tabla 180. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 2.232 | 2.494 | 2.138 |
| Piso 9 | 27.50 | 2.018 | 2.255 | 1.913 |
| Piso 8 | 24.50 | 1.790 | 2.000 | 1.678 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.545 | 1.726 | 1.432 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.284 | 1.434 | 1.176 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.013 | 1.132 | 0.918 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.743 | 0.831 | 0.665 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.487 | 0.544 | 0.430 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.262 | 0.293 | 0.229 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.091 | 0.102 | 0.079 |

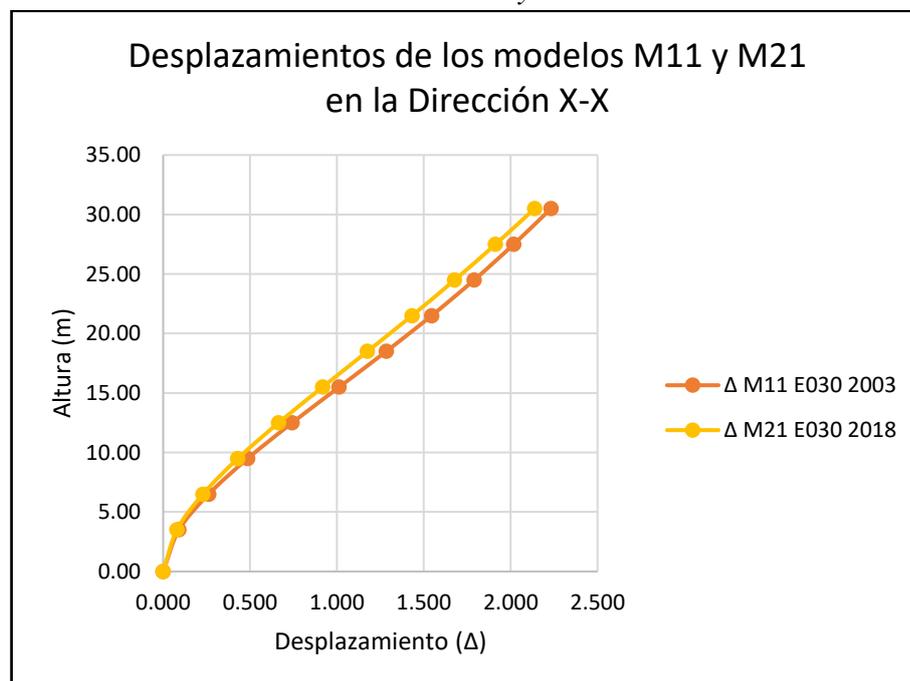
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 10. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 11. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 180 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 11.74% del Modelo M11 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 4.21% de

Modelo M21 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M11 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 180 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

- En la dirección Y-Y

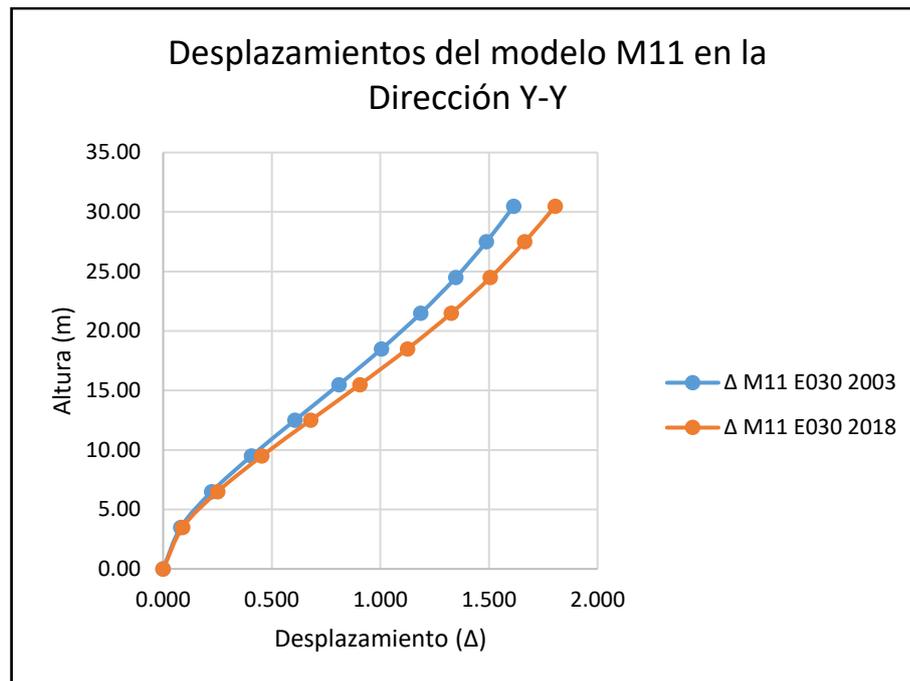
Del Gráfico 12 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M11. Además, en el Gráfico 13 se observa también que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M11 para obtener el modelo M21 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

Tabla 181. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 |
|--------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Techo | 30.50 | 1.615 | 1.806 | 1.408 |
| Piso 9 | 27.50 | 1.489 | 1.665 | 1.284 |
| Piso 8 | 24.50 | 1.348 | 1.507 | 1.149 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.187 | 1.327 | 1.001 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.006 | 1.125 | 0.839 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.810 | 0.906 | 0.668 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.607 | 0.679 | 0.494 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.407 | 0.455 | 0.327 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.224 | 0.251 | 0.178 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.081 | 0.090 | 0.063 |

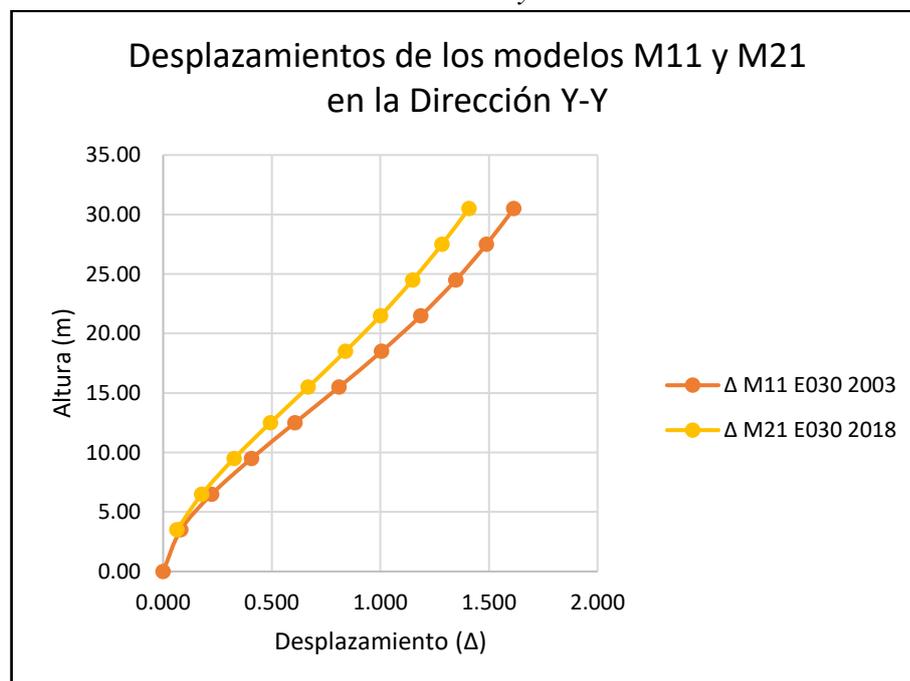
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 12. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 13. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 12 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente



E030 del 2018 sobre el modelo M11. Además, en el Gráfico 13 se observa también que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M11 para obtener el modelo M21 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

De la Tabla 181 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 11.82% del Modelo M11 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 12.82% del Modelo M21 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M11 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, sin embargo, en el sentido “Y” de análisis no afectará la colindancia, debido a que tanto en el frente como en el respaldo de la edificación existen espacios libres de otras estructuras. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 181 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

E. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

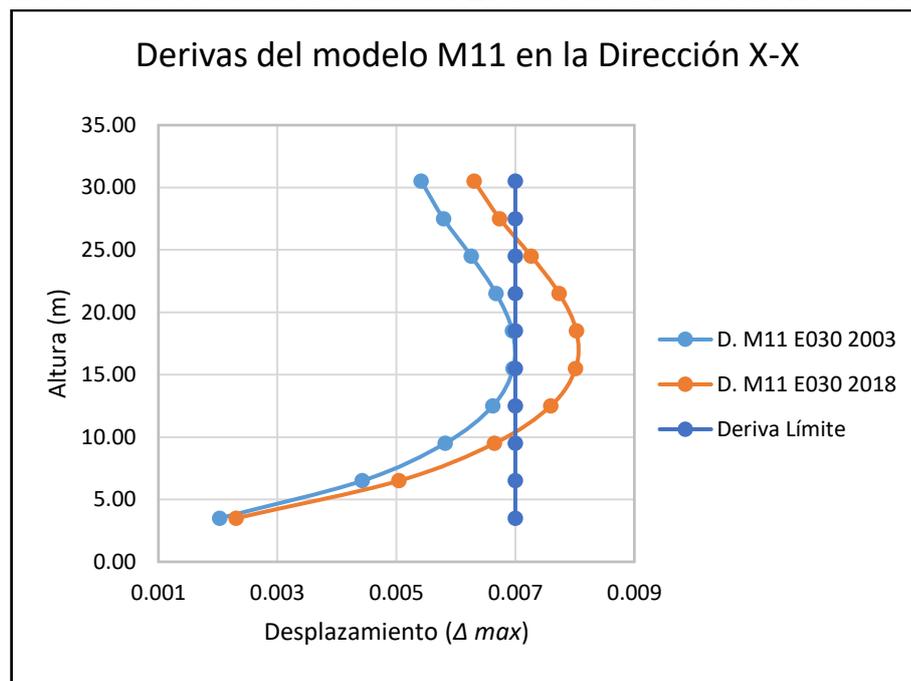
Las derivas máximas para el modelo M11 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y sexto piso respectivamente y las derivas máximas para el modelo M21 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están en el sexto piso, tal como se observa en la Tabla 182.

Tabla 182. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección X de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.005418 | 0.006308 | 0.005906 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.005792 | 0.006738 | 0.006180 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.006258 | 0.007266 | 0.006502 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.006678 | 0.007738 | 0.006764 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.006950 | 0.008026 | 0.006868 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.006964 | 0.008014 | 0.006726 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.006622 | 0.007596 | 0.006260 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.005820 | 0.006652 | 0.005386 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.004428 | 0.005044 | 0.004016 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.002030 | 0.002304 | 0.001809 | 0.007 |

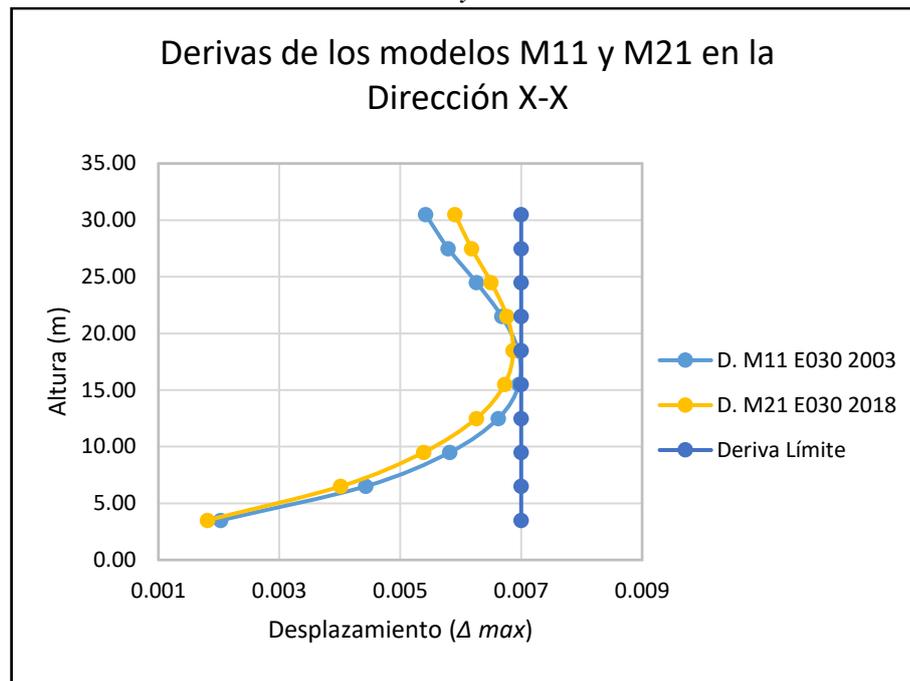
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 14. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 15. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 15 y Tabla 182 se puede apreciar que ambos Modelos; M11 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M21 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030, sin embargo, el modelo M11 es ligeramente superior al límite permisible, condición que se aceptó como óptima para este modelo. También el Gráfico 14 y Tabla 182 muestran la evaluación del Modelo M11 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior ya no es óptimo porque no cumple con la limitación de la norma vigente. Por lo que justifica la concepción del Modelo M21, es decir que cuenta con el área óptima de las secciones de los elementos verticales capaces de satisfacer el límite de derivas exigidas por la norma. La consecuencia directa de la búsqueda de que los modelos cumplan con este límite, es la necesidad de mayores secciones tanto en dimensión y refuerzo de acero, las que se verán reflejadas en los posteriores análisis de cantidad de materiales y costos del área de estructuras.

- En la dirección Y-Y

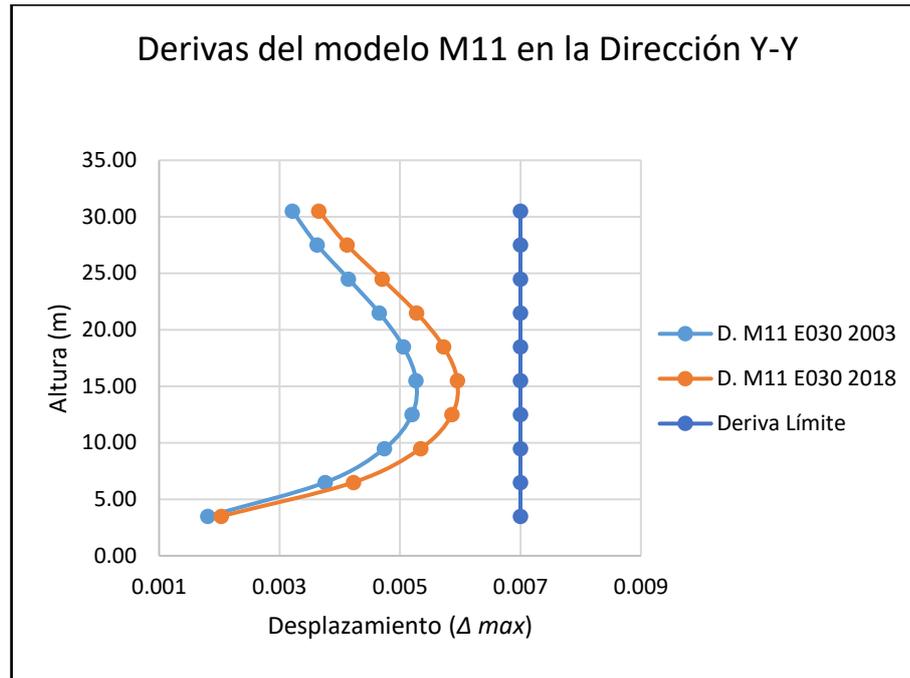
Tabla 183. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.003214 | 0.003652 | 0.003212 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.003626 | 0.004120 | 0.003506 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.004146 | 0.004704 | 0.003878 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.004654 | 0.005276 | 0.004228 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.005056 | 0.005724 | 0.004484 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.005268 | 0.005952 | 0.004570 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.005200 | 0.005864 | 0.004418 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.004744 | 0.005344 | 0.003946 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.003760 | 0.004228 | 0.003062 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.001809 | 0.002031 | 0.001445 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

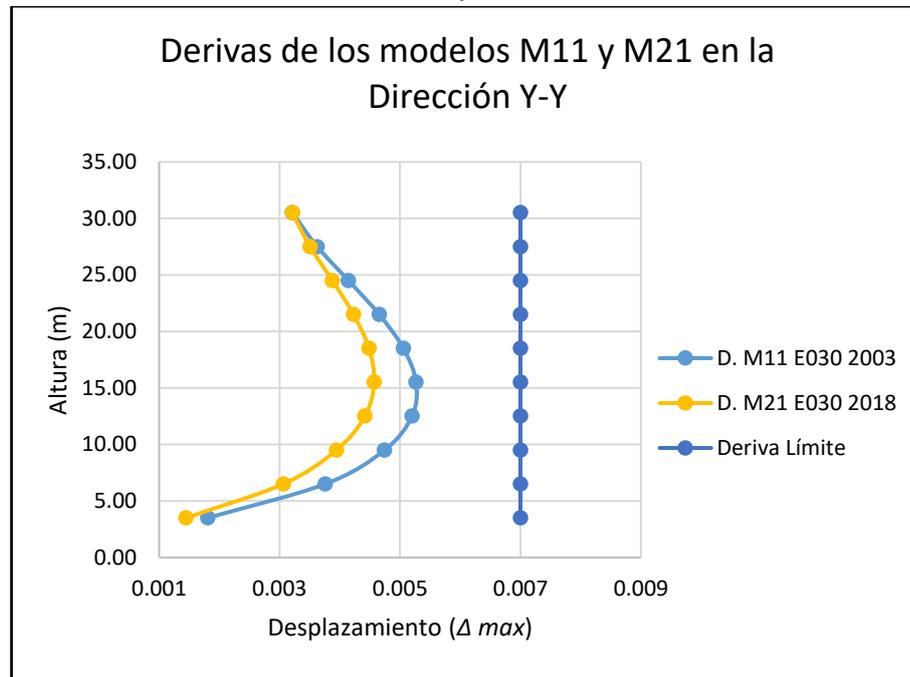
En el Gráfico 17 y Tabla 183 se puede apreciar que ambos Modelos; M11 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M21 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 16 y Tabla 183 muestran la evaluación del Modelo M11 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior es también óptimo en esta dirección de análisis “Y” a diferencia de la dirección “X”, porque cumple con la limitación de la norma vigente. Las derivas máximas para el modelo M11 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo M21 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 183.

Gráfico 16. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 17. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 184. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección X de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.004276 | 0.004776 | 0.004492 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.004560 | 0.005096 | 0.004694 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.004910 | 0.005486 | 0.004928 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.005220 | 0.005832 | 0.005112 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.005408 | 0.006044 | 0.005174 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.005402 | 0.006034 | 0.005054 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.005124 | 0.005726 | 0.004692 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.004494 | 0.005022 | 0.004030 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.003418 | 0.003820 | 0.003000 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.001567 | 0.001750 | 0.001351 | 0.007 |

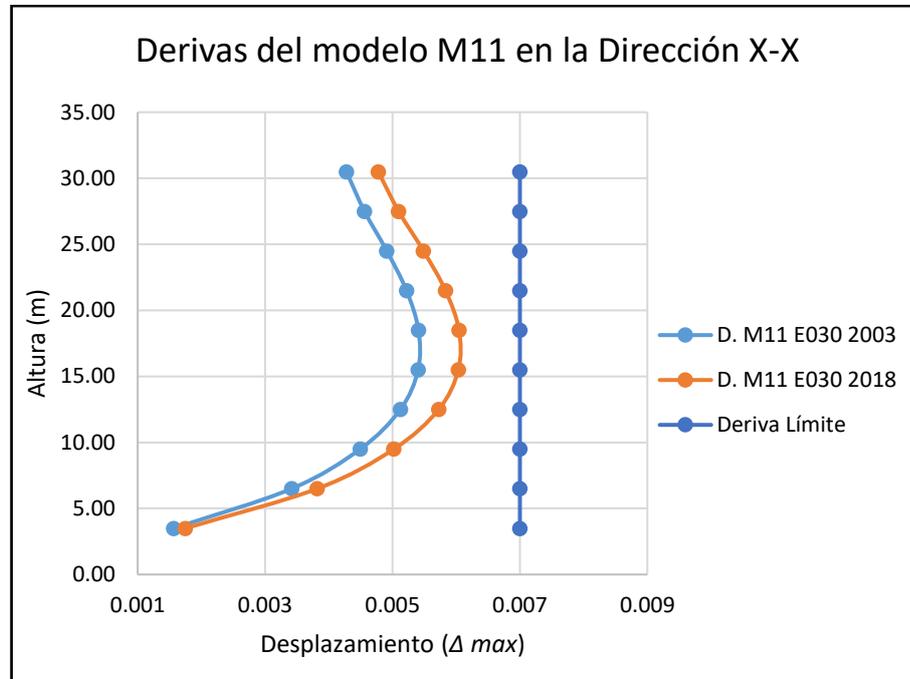
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las derivas máximas para el modelo M11 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el sexto piso y las derivas máximas para el modelo M21 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el sexto piso, tal como se observa en la Tabla 184.

En el Gráfico 19 y Tabla 184 se puede apreciar que ambos Modelos; M11 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M21 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030 y presentan menores derivas que las calculadas para el análisis estático. También el Gráfico 18 y Tabla 184 muestran la evaluación del Modelo M11 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior continúa siendo óptimo, porque cumple con la limitación de la norma vigente. La consecuencia directa de la búsqueda de que los modelos cumplan con este límite, es la necesidad de mayores secciones tanto en dimensión y refuerzo de acero, las que se verán reflejadas en los posteriores análisis de cantidad de materiales y costos del área de

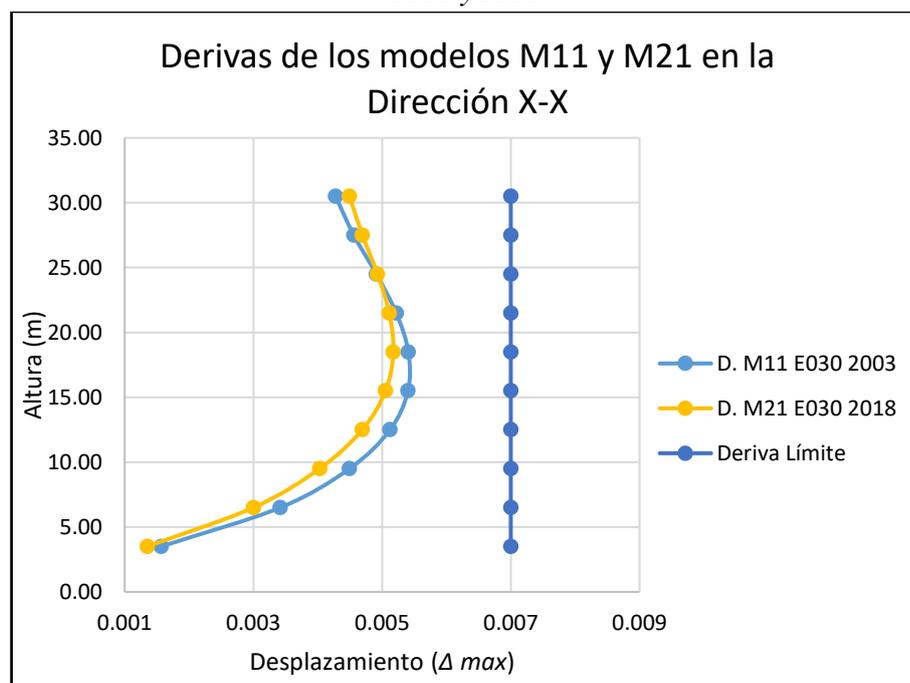
estructuras, sin embargo el análisis dinámico espectral mostrará menos exigencia en el cumplimiento de este límite, debido a que los resultados de los desplazamientos del modelo matemático serán menores que los obtenidos por el análisis estático.

Gráfico 18. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M11



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 19. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

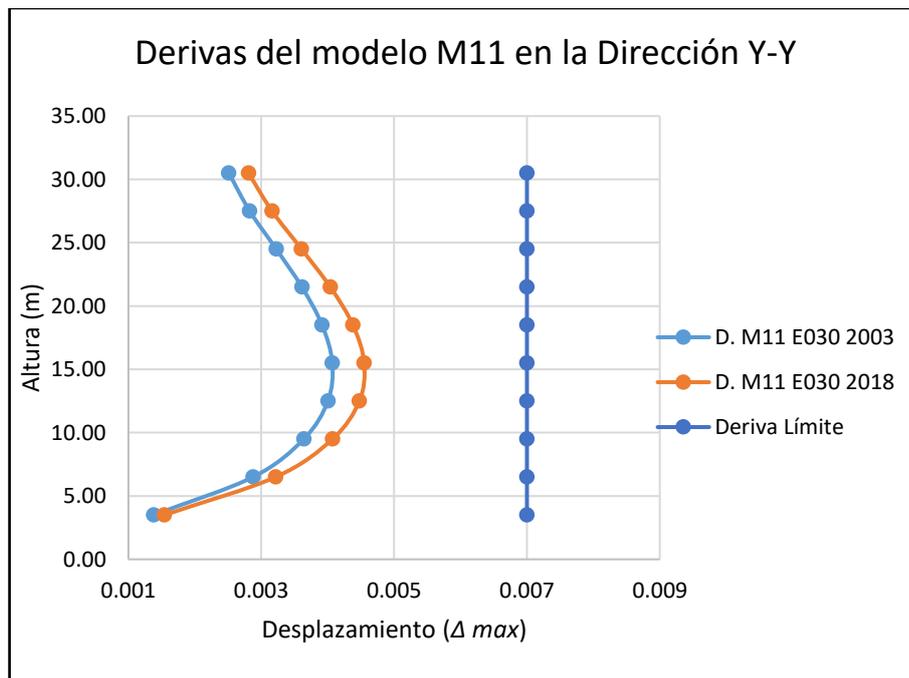
- En la dirección Y-Y

Tabla 185. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M11 y M21

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.002512 | 0.002808 | 0.002476 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.002826 | 0.003162 | 0.002698 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.003226 | 0.003606 | 0.002976 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.003612 | 0.004040 | 0.003236 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.003916 | 0.004380 | 0.003420 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.004070 | 0.004550 | 0.003472 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.004004 | 0.004478 | 0.003342 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.003642 | 0.004074 | 0.002978 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.002878 | 0.003218 | 0.002300 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.001380 | 0.001543 | 0.001082 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 20. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M11

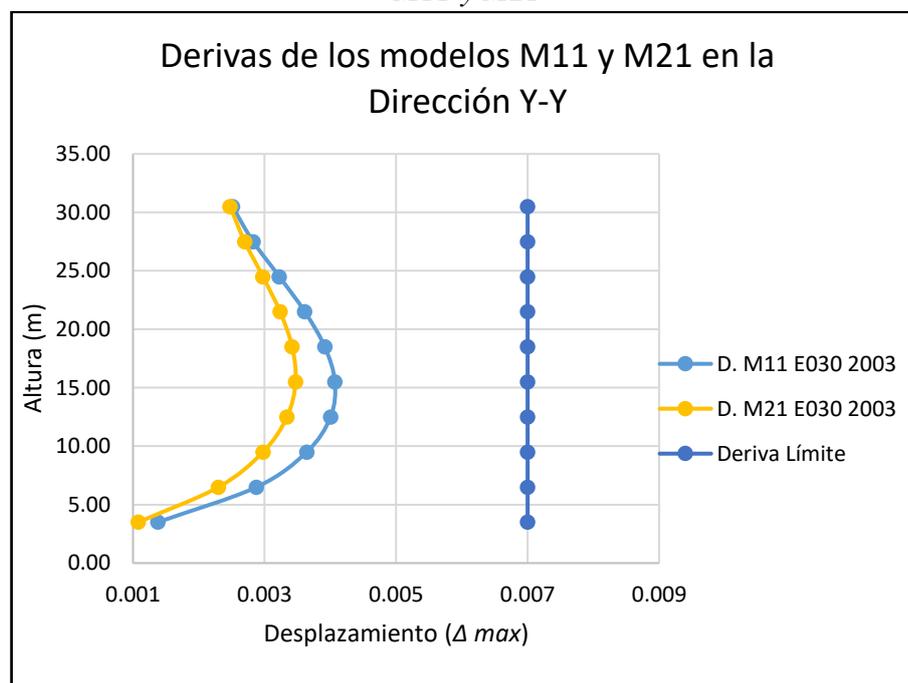


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 21 y Tabla 185 se puede apreciar que ambos Modelos; M11 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M21 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 20 y Tabla 185 muestran la

evaluación del Modelo M11 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior es también óptimo en esta dirección de análisis “Y”, porque cumple con la limitación de la norma vigente. Las derivas máximas para el modelo M11 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo M21 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 185.

Gráfico 21. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M11 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M12 Y M22)

Los Modelos M12 y M22 corresponden al Sistema Estructural Dual que se plantea como un sistema que tiene un cierto porcentaje de muros estructurales.

El Modelo M12 es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E030-2003 y el Modelo M22 es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E030-2018.

A. SECCIONES OBTENIDAS

En este proyecto de investigación la adecuación de la estructuración con respecto a las secciones de las columnas al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018 produce un incremento del 81.10% de las secciones de las columnas y placas, con respecto a las áreas iniciales, estimadas bajo la Norma E.030 del 2003, esto debido a que al incrementarse las fuerzas cortantes se requerirá mayor rigidez de la estructura, la que será proporcionada por los elementos verticales que en este caso son columnas y placas.

Tabla 186. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M22 con respecto al modelo M12

| MODELO M12 | | | | MODELO M22 | | | | Variación |
|--------------|--------------|----------------|--------------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------------|-----------|
| Columna | Sección (cm) | N° de Columnas | Área Parcial (m ²) | Columna | Sección (cm) | N° de Columnas | Área Parcial (m ²) | |
| C1 | 90x90 | 22 | 17.82 | C1 | 130x130 | 22 | 37.18 | |
| C2 | 120x120 | 18 | 25.92 | C2 | 160x160 | 18 | 46.08 | |
| P1 | 35x500 | 2 | 3.50 | P1 | 35x500 | 2 | 3.50 | |
| P2 | 35x425 | 1 | 1.49 | P2 | 35x425 | 1 | 1.49 | |
| Total | | | 48.73 | Total | | | 88.25 | 39.52 |
| % | | | 100.00 | % | | | 181.10 | 81.10 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

- **COEFICIENTE BASAL**

En este proyecto de investigación para la estructuración elegida, el coeficiente basal al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018, se incrementó en un 25.48 % en la Dirección X-X y 11.81% en la Dirección Y-Y, lo cual significa que será uno de los factores que influirá en el incremento del valor de las fuerzas cortantes inicialmente calculadas con la Norma Sismorresistente E030 del 2003 en el Análisis Estático. Esta variación porcentual es válida para el caso de estudio, debido a que el valor de coeficiente de amplificación sísmica depende del periodo de la estructura y en consecuencia afectada también por la estructuración elegida por el diseñador.

Tabla 187. Coeficientes Basales calculados para los modelos M12 y M22 en base a la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente

| PARÁMETROS SÍSMICOS | SÍMB. | TIPO | DIRECCIÓN X-X | | DIRECCIÓN Y-Y | | COMENTARIOS |
|---------------------------------|--------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--|
| | | | MODELO M12 E.030 del 2003 | MODELO M22 E.030 del 2018 | MODELO M12 E.030 del 2003 | MODELO M22 E.030 del 2018 | |
| Factor de Zona | Z | Z: 2 (E.030 del 2003) Z: 3 (E.030 del 2018) | 0.3 | 0.35 | 0.3 | 0.35 | En la Norma E.030 del 2018 se adiciona una nueva zona sísmica, y se modifica el factor de zona "Z". |
| Factor de Uso | U | U:Edificaciones Comunes (E.030 del 2003 y 2018) | 1 | 1 | 1 | 1 | En la Norma E.030 del 2018 se conserva los valores de factor de uso "U". |
| Factor de Amplificación Sísmica | C | El valor de "C" depende del periodo de la estructura y de las características del suelo de cimentación, valores del T_p y T_L (Parámetro incluido en la norma E.030 del 2018) | 2.044 | 2.294 | 2.500 | 2.500 | En el modelo matemático del modelo M12 el valor del periodo fundamental de la estructura es de 0.734s y 0.550s en la dirección X-X y Dirección Y-Y respectivamente y para el modelo M22 es de 0.654s en la Dirección X-X y 0.444s en la Dirección Y-Y. Para ambos modelos el valor de T_p es de 0.6, y para el modelo M21 T_L es de 2.0, valores que corresponden a suelos intermedios S2. |
| Factor de Suelo | S | S2:Suelos Intermedios(E.030 del 2003 y N.030 del 2018) | 1.2 | 1.15 | 1.2 | 1.15 | En la Norma E.030 del 2018 se adiciona tipos de suelo, y varían los valores del coeficiente "S". |
| Factor de Reducción | R | R:8 Para un sistema dual (E.030 del 2003 y 2018) | 7 | 7 | 7 | 7 | En la Norma E.030 del 2018 se conserva los valores de factor de reducción cuando la estructura es regular. |
| Coeficiente Basal | ZUCS/R | | 0.105 | 0.132 | 0.129 | 0.144 | Tanto en la Dirección X-X y Dirección Y-Y se produce un INCREMENTO del valor del coeficiente basal. |
| % | | | 100.00% | 125.48% | 100.00% | 111.81% | |
| VARIACIÓN | | | 25.48% | | 11.81% | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **FUERZA CORTANTE ESTÁTICA**

La aplicación de la Norma E030 del año 2018, sobre el Modelo M12 produce un aumento promedio aproximado de 15.29% y 12.26% en la dirección X-X y Y-Y respectivamente de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2003, tal como se muestra en la Tabla 188. Esta mayor sollicitación incrementará las fuerzas internas en los elementos estructurales, afectando principalmente a los elementos verticales,

evidenciando que las exigencias de refuerzo serán mayores a los que se diseñaban con la norma primigenia.

Tabla 188. Fuerza Cortante Estática de Entrepiso calculada para el modelo M12

| Piso | MODELO M12 | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|-------|
| | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Variación | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Variación | | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | |
| Piso 10 | 114422.558 | 135675.282 | 21252.724 | 18.57 | 140576.285 | 158770.576 | 18194.291 | 12.94 | |
| Piso 9 | 267435.206 | 314923.669 | 47488.463 | 17.76 | 328563.253 | 370539.154 | 41975.901 | 12.78 | |
| Piso 8 | 403339.671 | 471993.276 | 68653.605 | 17.02 | 495531.596 | 558087.721 | 62556.125 | 12.62 | |
| Piso 7 | 522967.741 | 608154.799 | 85187.058 | 16.29 | 642503.225 | 722636.601 | 80133.376 | 12.47 | |
| Piso 6 | 623407.227 | 720483.198 | 97075.971 | 15.57 | 765900.307 | 860273.426 | 94373.119 | 12.32 | |
| Piso 5 | 709415.555 | 814701.510 | 105285.955 | 14.84 | 871567.682 | 977614.396 | 106046.714 | 12.17 | |
| Piso 4 | 778420.967 | 888415.110 | 109994.143 | 14.13 | 956345.760 | 1071253.398 | 114907.638 | 12.02 | |
| Piso 3 | 830865.080 | 942667.192 | 111802.112 | 13.46 | 1020777.099 | 1141932.449 | 121155.350 | 11.87 | |
| Piso 2 | 866747.895 | 978174.959 | 111427.064 | 12.86 | 1064861.699 | 1189835.172 | 124973.473 | 11.74 | |
| Piso 1 | 886981.213 | 996797.935 | 109816.722 | 12.38 | 1089719.776 | 1216431.378 | 126711.602 | 11.63 | |
| | | | Promedio % | 15.29 | | | | Promedio % | 12.26 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los factores que influyen en los resultados de las fuerzas cortantes son; el peso sísmico y el coeficiente basal. Al haber asumido la variación de la Norma E030-2003, el Modelo M12 ante la necesidad del cumplimiento de los límites de las derivas dadas por la Norma E030 del año 2018, se manipula las secciones creando el Modelo M22, que no solo origina el aumento de las secciones sino en forma dependiente también la variación de los pesos y en consecuencia la variación de los pesos sísmicos con los que se calculan las fuerzas horizontales, por lo que en la Tabla 189 se muestra el aumento del valor del peso sísmico del Modelo M22 con respecto al Modelo M12 en un 31.08%.

Tabla 189. Variación del Peso Sísmico calculado para el modelo M22 con respecto al modelo M12

| Peso Sísmico | Modelo M12 | Modelo M22 | Variación |
|--------------|------------|-------------|------------|
| Cantidad Kgf | 8447440.13 | 11072567.73 | 2625127.60 |
| Porcentual % | 100 | 131.08 | 31.08 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 190. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M22 con respecto al modelo M12 en la Dirección X-X

| Piso | MODELO M12 | MODELO M22 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(\%)$ |
| Piso 10 | 114422.558 | 183290.121 | 68867.563 | 60.19 |
| Piso 9 | 267435.206 | 444555.267 | 177120.061 | 66.23 |
| Piso 8 | 403339.671 | 674721.906 | 271382.235 | 67.28 |
| Piso 7 | 522967.741 | 875148.981 | 352181.240 | 67.34 |
| Piso 6 | 623407.227 | 1042478.598 | 419071.371 | 67.22 |
| Piso 5 | 709415.555 | 1183085.008 | 473669.453 | 66.77 |
| Piso 4 | 778420.967 | 1294178.972 | 515758.005 | 66.26 |
| Piso 3 | 830865.080 | 1376844.929 | 545979.849 | 65.71 |
| Piso 2 | 866747.895 | 1431777.012 | 565029.117 | 65.19 |
| Piso 1 | 886981.213 | 1461578.940 | 574597.727 | 64.78 |
| | | | Promedio % | 65.70 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 191. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M22 con respecto al modelo M12 en la Dirección Y-Y

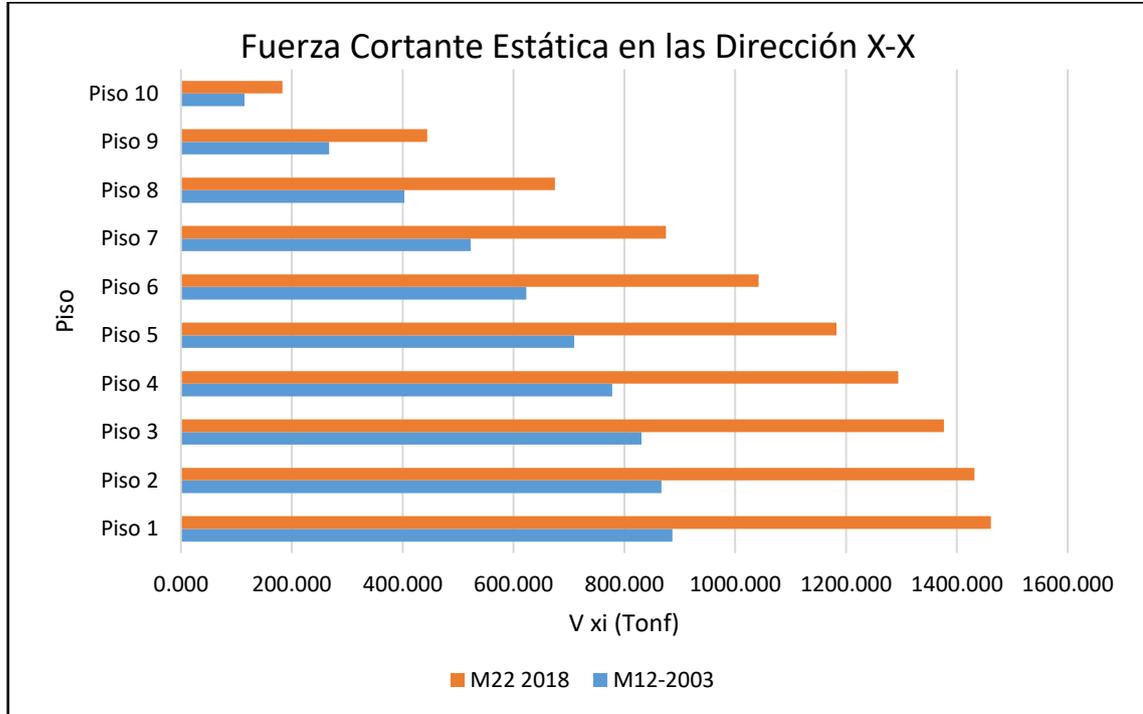
| Piso | MODELO M12 | MODELO M22 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(\%)$ |
| Piso 10 | 140576.285 | 192881.590 | 52305.305 | 37.21 |
| Piso 9 | 328563.253 | 470019.327 | 141456.074 | 43.05 |
| Piso 8 | 495531.596 | 716350.512 | 220818.916 | 44.56 |
| Piso 7 | 642503.225 | 933021.834 | 290518.609 | 45.22 |
| Piso 6 | 765900.307 | 1116018.595 | 350118.288 | 45.71 |
| Piso 5 | 871567.682 | 1271899.308 | 400331.626 | 45.93 |
| Piso 4 | 956345.760 | 1397118.588 | 440772.828 | 46.09 |
| Piso 3 | 1020777.099 | 1492285.240 | 471508.141 | 46.19 |
| Piso 2 | 1064861.699 | 1557399.265 | 492537.566 | 46.25 |
| Piso 1 | 1089719.776 | 1594449.753 | 504729.977 | 46.32 |
| | | | Promedio % | 44.65 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los factores que influyen en los resultados de las fuerzas cortantes son; el peso sísmico y el coeficiente basal. Al haber asumido la variación de la Norma E030-2003, el Modelo M11 ante la necesidad del cumplimiento de los límites de las derivas dadas por la Norma E030 del año 2018, se manipula las secciones creando el Modelo M21, que no solo origina el aumento de las secciones sino en forma dependiente también la variación de los pesos y en consecuencia la variación de los pesos sísmicos con los que se calculan

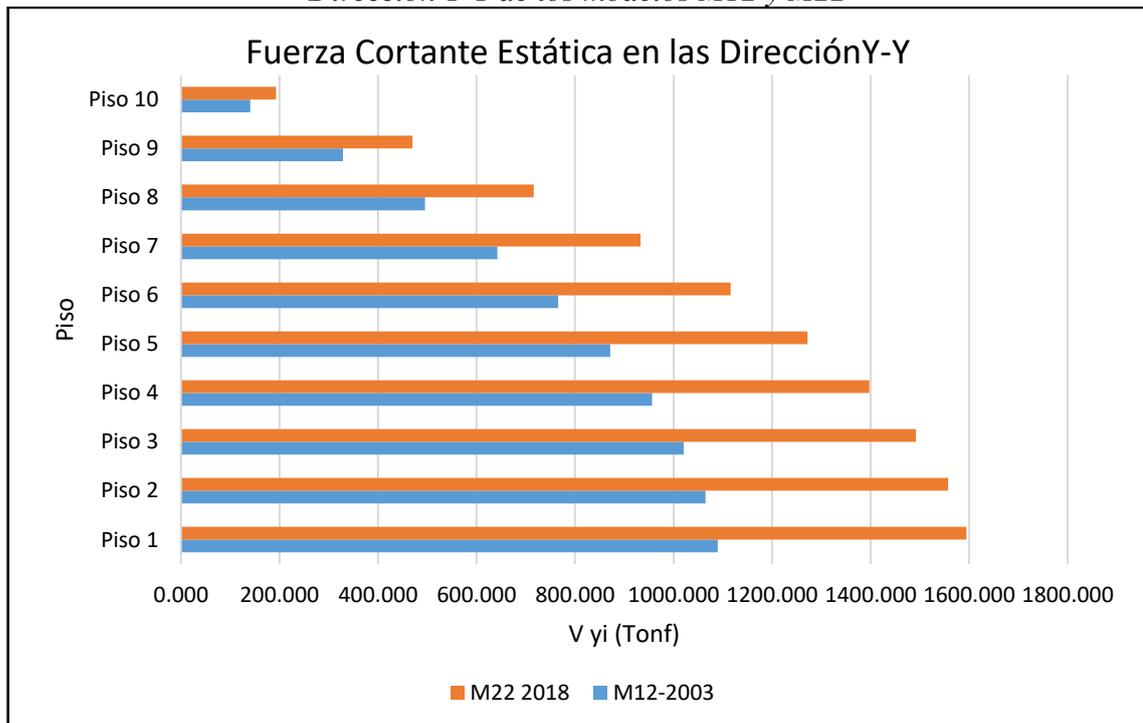
las fuerzas horizontales, por lo que en la Tabla 172 se muestra el aumento del valor del peso sísmico del Modelo M21 con respecto al Modelo M11 en un 28.56%.

Gráfico 22. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 23. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El método de estimación de variación directa es más simple, debido a que se obtiene calculando la variación porcentual del coeficiente sísmico por la variación porcentual de los pesos sísmicos, lo cual nos resultará la variación total de las fuerzas verticales que se muestran en la Tabla 192 y en el que se obtuvo un incremento del 59.33% en la dirección X-X y 46.61% en la Dirección Y-Y.

Tabla 192. Variación de los valores de la Fuerza Cortante de Entrepiso por el método directo

| Parámetros | Dirección X-X | | | Dirección Y-Y | | |
|-------------------|---------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|
| | M12 | M22 | Variación | M12 | M22 | Variación |
| Coeficiente Basal | 100% | 125.48% | 25.48% | 100% | 111.81% | 11.81% |
| Peso Sísmico | 100% | 131.08% | 31.08% | 100% | 131.08% | 31.08% |
| C.B. x P.S. | 100% | 164.47% | 64.47% | 100% | 146.55% | 46.55% |
| Método Directo | | | 64.47% | Método Directo | | |
| Método Indirecto | | | 65.70% | Método Indirecto | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De los resultados de los dos métodos empleados, para la estimación de la variación de la fuerza cortante sísmica de entrepiso del Modelo M22 con respecto al Modelo M12 puede observarse el incremento de estas al aplicarse la Norma E030-2003 a la Norma E030-2018. Los resultados obtenidos por el método indirecto nos muestran un incremento de las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso en la Dirección X-X de 65.70% y en un 64.47% de la forma directa. Los resultados obtenidos por el método indirecto nos muestran un incremento de las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso en la Dirección Y-Y de 44.65% y en un 46.55% de la forma directa. La diferencia de ambos métodos es que la indirecta analiza los incrementos porcentuales de la fuerza cortante sísmica de todos los pisos, obteniendo un valor promedio final, mientras que el método directo sólo evalúa el incremento de la fuerza cortante basal.

- **FUERZA CORTANTE DINÁMICA**

Considerando que las fuerzas cortantes sísmicas se obtuvieron del modelo matemático, la variación porcentual de resultados del modelo M22 con respecto al

Modelo M12 se calculará por el método indirecto. En la dirección “X” se obtuvo un incremento promedio aproximado de 64.88% en las fuerzas cortantes dinámicas y en la dirección “Y” un incremento promedio aproximado de 44.59% en las fuerzas cortantes dinámicas, tal como se muestran en las Tablas 193 y 194 y los Gráficos 24 y 25. Confirmando que, debido al incremento de estas sollicitaciones, se requerirá mayor refuerzo de los elementos estructurales.

Tabla 193. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X calculadas para los modelos M12 y M22

| Piso | MODELO M12 | MODELO M22 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(\%)$ |
| Piso 10 | 101728.160 | 157812.420 | 56084.260 | 55.13 |
| Piso 9 | 219724.820 | 355924.540 | 136199.720 | 61.99 |
| Piso 8 | 315904.290 | 520277.360 | 204373.070 | 64.69 |
| Piso 7 | 396029.910 | 658790.840 | 262760.930 | 66.35 |
| Piso 6 | 461625.130 | 772770.590 | 311145.460 | 67.40 |
| Piso 5 | 517985.180 | 868503.420 | 350518.240 | 67.67 |
| Piso 4 | 564313.220 | 944594.840 | 380281.620 | 67.39 |
| Piso 3 | 600447.310 | 1001120.700 | 400673.390 | 66.73 |
| Piso 2 | 625111.460 | 1037498.370 | 412386.910 | 65.97 |
| Piso 1 | 637582.620 | 1055002.500 | 417419.880 | 65.47 |
| | | | Promedio % | 64.88 |

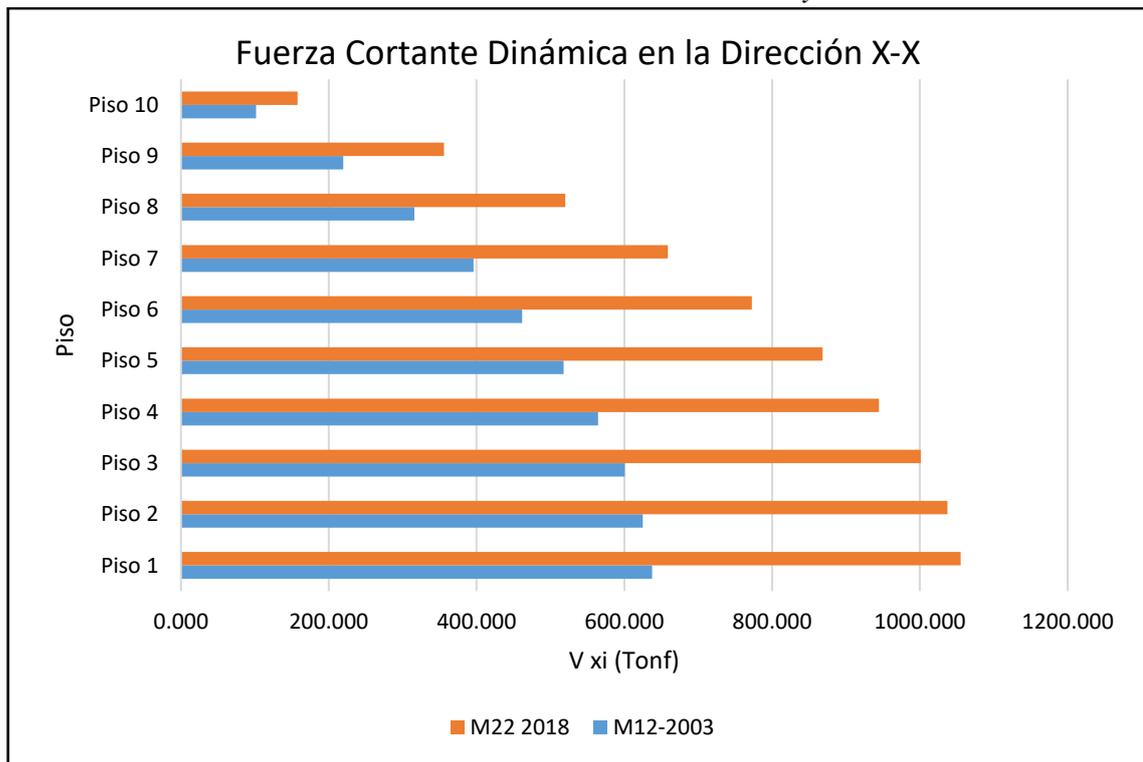
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 194. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y calculadas para los modelos M12 y M22

| Piso | MODELO M12 | MODELO M22 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(\%)$ |
| Piso 10 | 121115.990 | 169845.670 | 48729.680 | 40.23 |
| Piso 9 | 271563.800 | 393411.230 | 121847.430 | 44.87 |
| Piso 8 | 400231.410 | 582445.580 | 182214.170 | 45.53 |
| Piso 7 | 511001.460 | 743004.920 | 232003.460 | 45.40 |
| Piso 6 | 602756.250 | 875548.570 | 272792.320 | 45.26 |
| Piso 5 | 680690.390 | 987097.550 | 306407.160 | 45.01 |
| Piso 4 | 742666.790 | 1076064.950 | 333398.160 | 44.89 |
| Piso 3 | 788721.020 | 1142566.010 | 353844.990 | 44.86 |
| Piso 2 | 818412.390 | 1185714.370 | 367301.980 | 44.88 |
| Piso 1 | 832597.270 | 1206582.870 | 373985.600 | 44.92 |
| | | | Promedio % | 44.59 |

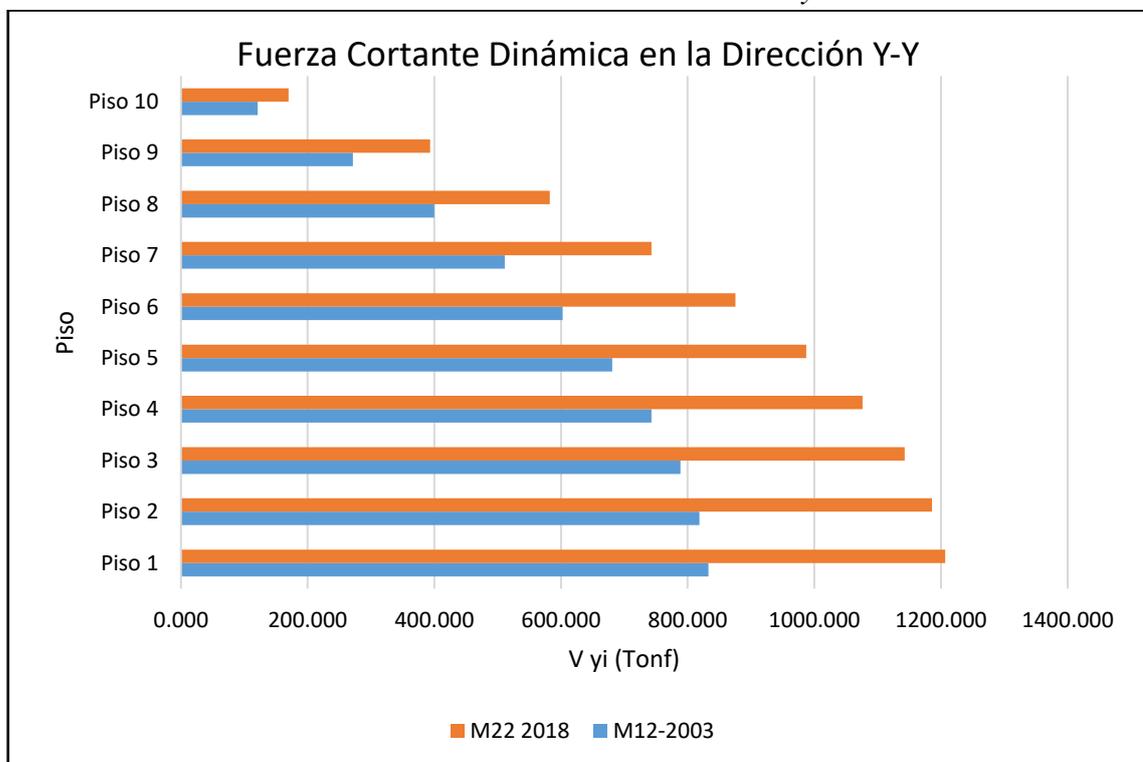
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 24. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

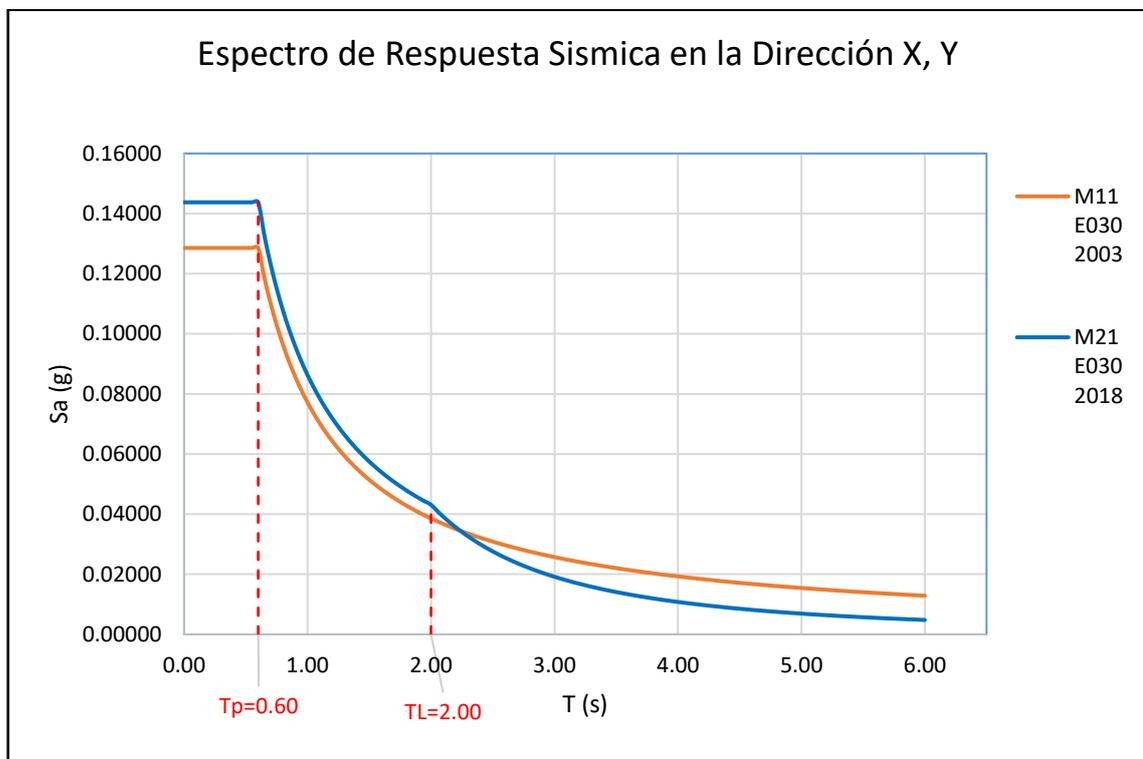
Gráfico 25. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. ESPECTRO SÍSMICO

Gráfico 26. Espectro Sísmico de los modelos M12 y M22 calculadas según la Norma Sismorresistente E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 26 se puede observar la afectación de la variación de los valores de los algunos parámetros sísmicos debido a la modificación de la Norma Sismorresistente del año 2003 al año 2018, que al igual que para el cálculo del coeficiente basal usado para el análisis estático, en el análisis dinámico espectral se modifican los valores del S_a . Esta variación es válida no solo para nuestro caso de estudio sino para todos los edificios del sistema estructural de pórticos, de uso común y que sean regulares; que estén ubicados en la Zona Sísmica 3 y cimentadas en un suelo intermedio tipo S2.

Gráficamente se observa que las aceleraciones correspondiente al Modelo M22 que se basa en la Norma Sismorresistente del 2018 son mayores en 11.81% los periodos cortos ($T < T_p$) e intermedios ($T_p < T < T_L$), y menores en un promedio de 41.38% en los periodos largos ($T_L < T$) que las aceleraciones correspondientes al Modelo M12 que se basa en la Norma Sismorresistente del 2003. Además, debe advertirse que el análisis

anterior puede ser equívoco al delimitar los periodos cortos, intermedios y largos, debido a que el periodo T_L se adicionó en la Norma E.030 del 2018 y que solamente existía el T_P en la Norma E.030 del 2003.

D. VERIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES

i. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático

- En la dirección X-X

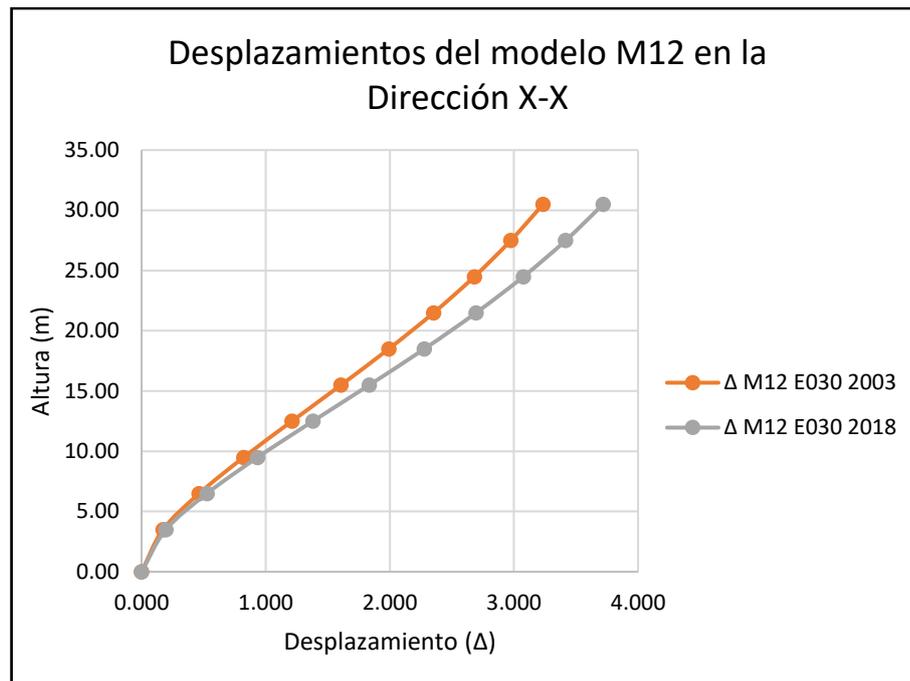
Tabla 195. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 3.235 | 3.719 | 3.172 |
| Piso 9 | 27.50 | 2.975 | 3.417 | 2.890 |
| Piso 8 | 24.50 | 2.682 | 3.077 | 2.585 |
| Piso 7 | 21.50 | 2.354 | 2.696 | 2.249 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.992 | 2.279 | 1.886 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.607 | 1.835 | 1.504 |
| Piso 4 | 12.50 | 1.212 | 1.381 | 1.117 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.823 | 0.936 | 0.744 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.465 | 0.528 | 0.409 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.173 | 0.196 | 0.146 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

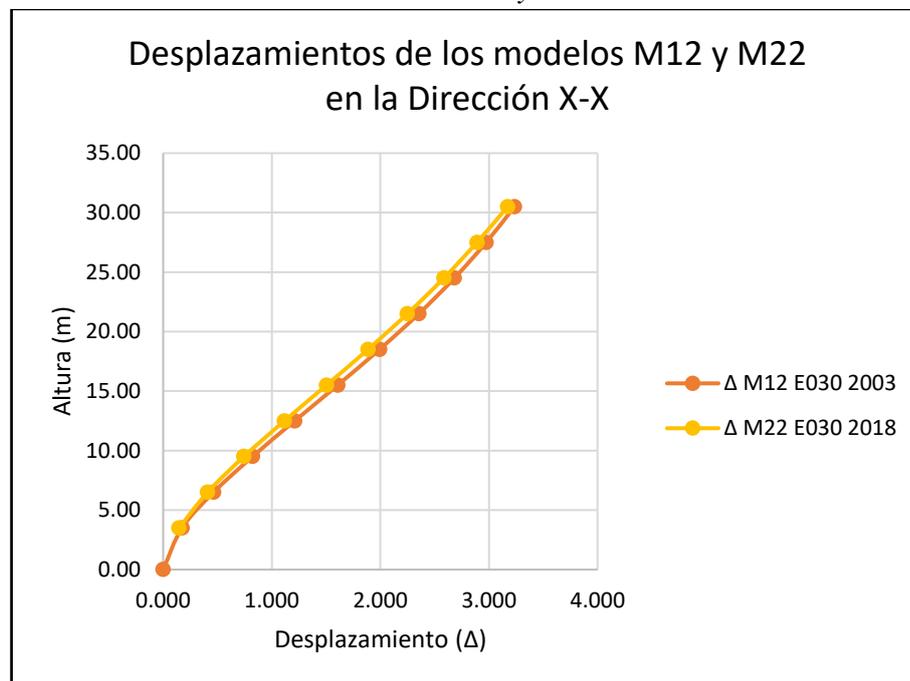
Del Gráfico 27 se puede apreciar que una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M12. Además, en el Gráfico 28 se observa que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M12 para obtener el modelo M22 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

Gráfico 27. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 28. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 195 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 14.96% del Modelo M12 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 1.95% del

Modelo M22 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M12 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 195 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E, lo que nos indica que proporcionalmente al incremento de los desplazamientos las derivas se incrementarán, generando la posibilidad de que no cumplan con las derivas máximas permitidas dadas por la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, parámetro que limita el nivel de daño de la estructura ante un evento sísmico otorgándole la mínima rigidez necesaria para afrontarla.

- En la dirección Y-Y

Tabla 196. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 |
|--------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Techo | 30.50 | 2.137 | 2.397 | 1.590 |
| Piso 9 | 27.50 | 1.984 | 2.226 | 1.460 |
| Piso 8 | 24.50 | 1.806 | 2.025 | 1.314 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.600 | 1.793 | 1.152 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.367 | 1.532 | 0.975 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.114 | 1.248 | 0.786 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.849 | 0.950 | 0.594 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.584 | 0.653 | 0.404 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.335 | 0.375 | 0.230 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.128 | 0.143 | 0.087 |

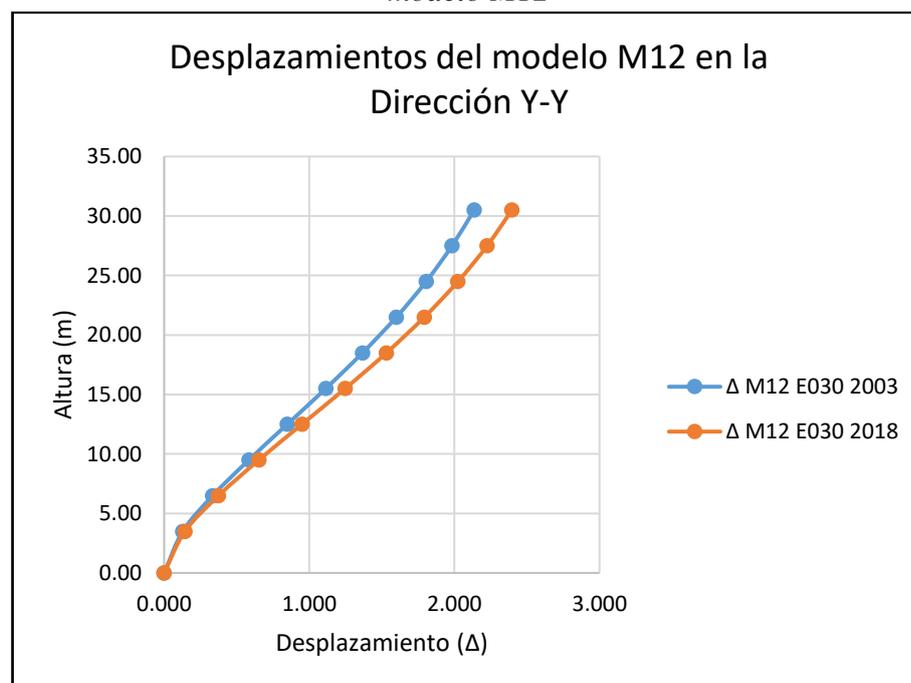
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 29 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M12. Además, en el Gráfico 30 se observa también que

la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M12 para obtener el modelo M22 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor.

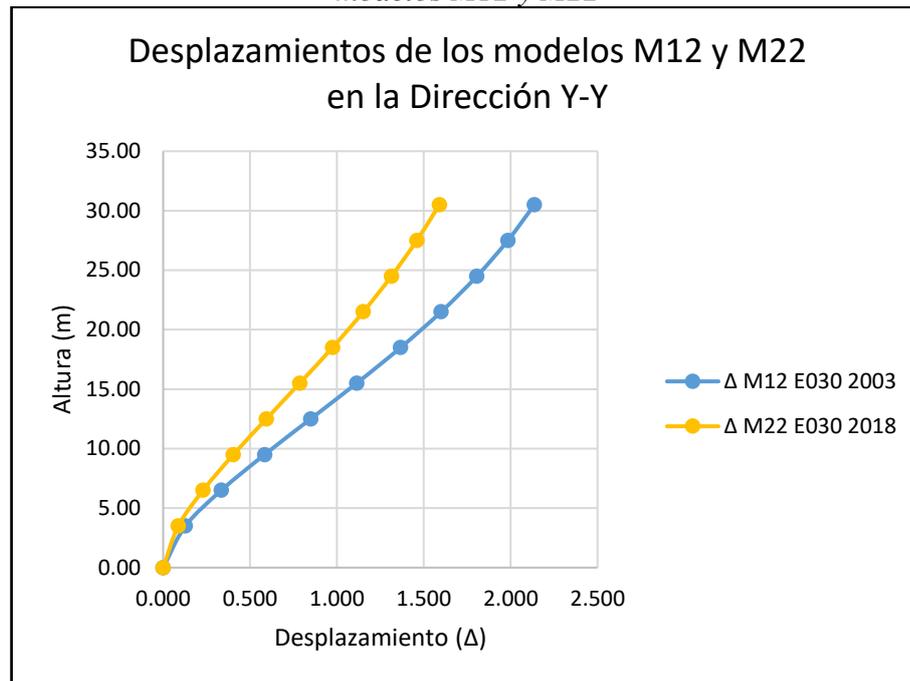
De la Tabla 196 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 12.17% del Modelo M12 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 25.60% del Modelo M22 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M12 bajo la Norma E.030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, sin embargo, en el sentido “Y” de análisis no afectará la colindancia, debido a que tanto en el frente como en el respaldo de la edificación existen espacios libres de otras estructuras. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 196 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

Gráfico 29. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 30. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico

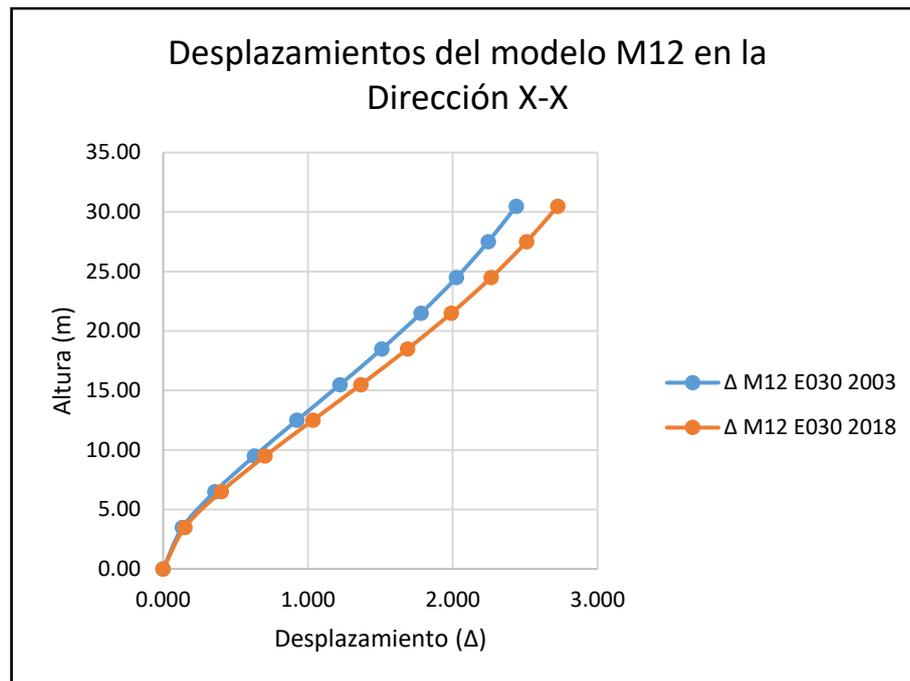
- En la dirección X-X

Tabla 197. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 2.439 | 2.726 | 2.521 |
| Piso 9 | 27.50 | 2.245 | 2.510 | 2.300 |
| Piso 8 | 24.50 | 2.027 | 2.266 | 2.059 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.781 | 1.991 | 1.793 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.511 | 1.689 | 1.505 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.222 | 1.366 | 1.202 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.925 | 1.034 | 0.893 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.631 | 0.705 | 0.595 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.358 | 0.401 | 0.327 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.134 | 0.150 | 0.117 |

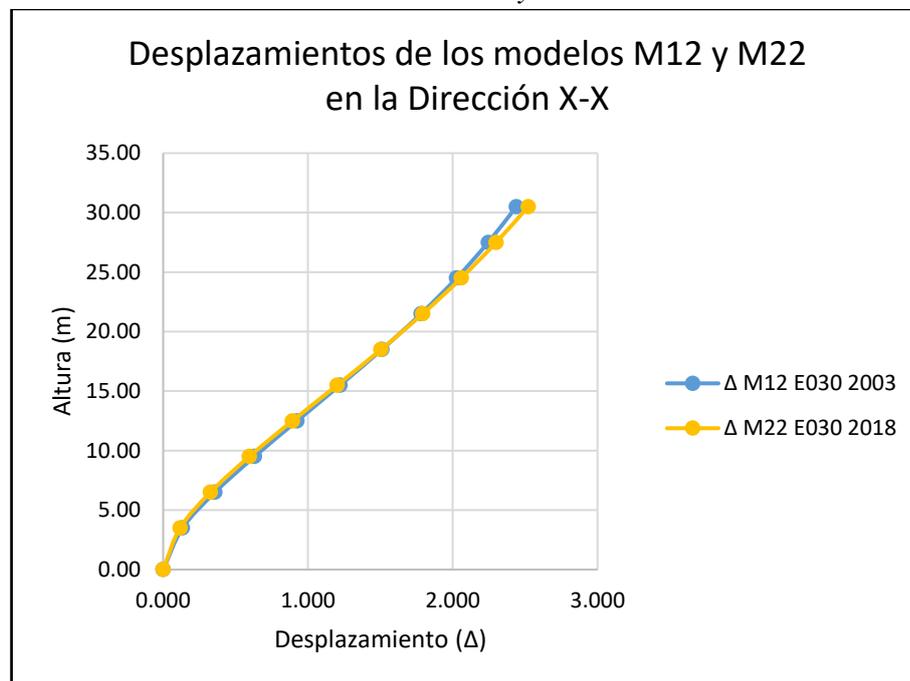
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 31. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 32. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las observaciones son las mismas que las del análisis estático, del Gráfico 31 se puede apreciar que una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma

Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M12. Además, en el Gráfico 32 se observa que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M12 para obtener el modelo M22 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor.

De la Tabla 197 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 11.77% del Modelo M12 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y un incremento del desplazamiento de azotea de 3.36% del Modelo M22 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M12 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 197 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

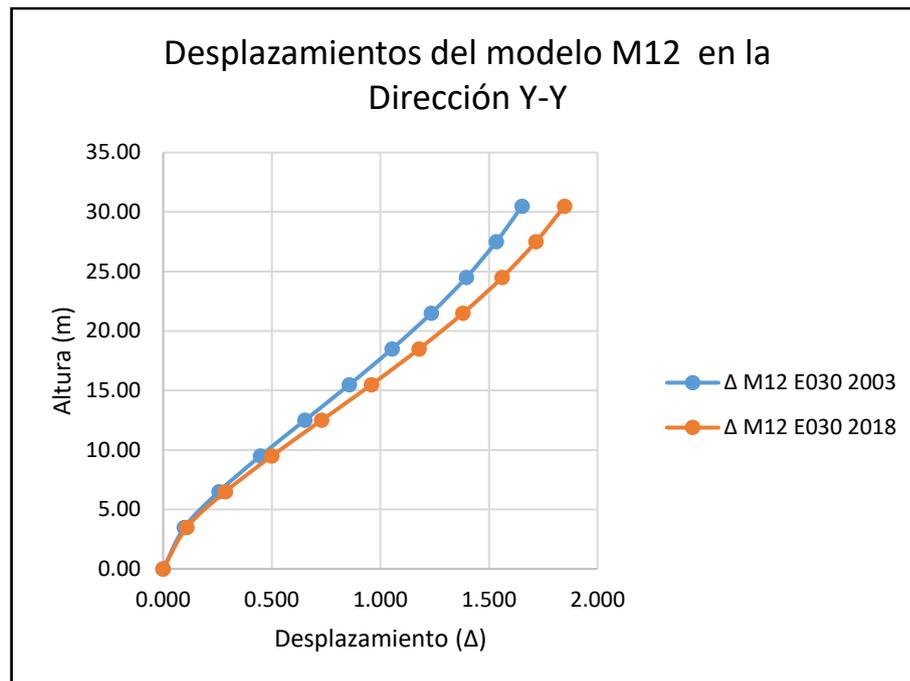
- En la dirección Y-Y

Tabla 198. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 |
|--------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Techo | 30.50 | 1.653 | 1.849 | 1.225 |
| Piso 9 | 27.50 | 1.534 | 1.716 | 1.124 |
| Piso 8 | 24.50 | 1.396 | 1.561 | 1.010 |
| Piso 7 | 21.50 | 1.235 | 1.381 | 0.884 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.054 | 1.179 | 0.747 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.858 | 0.960 | 0.602 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.653 | 0.730 | 0.453 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.448 | 0.501 | 0.308 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.257 | 0.287 | 0.175 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.098 | 0.109 | 0.066 |

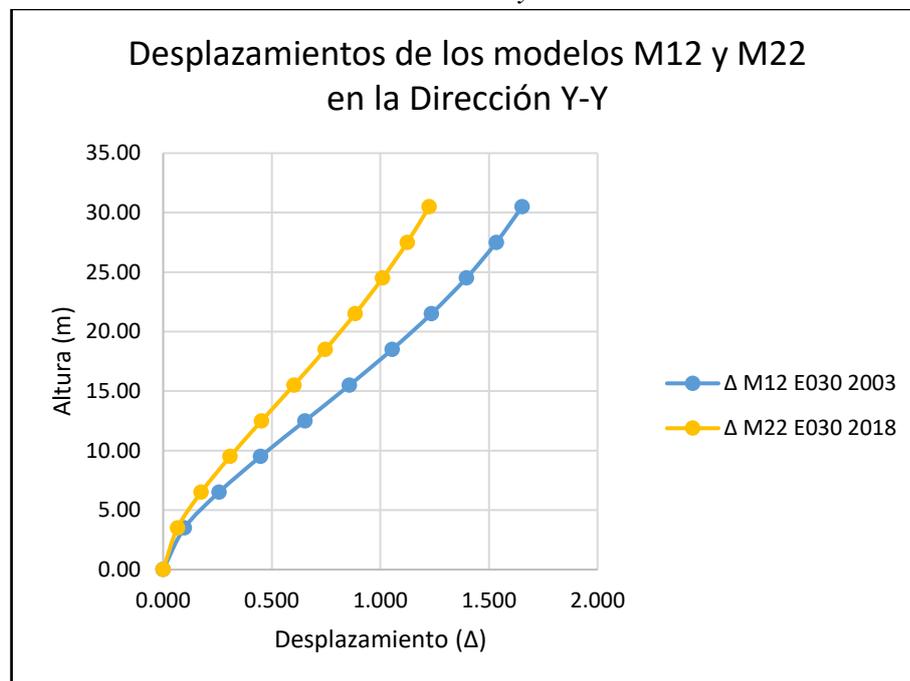
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 33. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 34. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 33 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente



E030 del 2018 sobre el modelo M12. Además, en el Gráfico 34 se observa también que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M12 para obtener el modelo M22 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

De la Tabla 198 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 11.86% del Modelo M12 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 25.89% del Modelo M22 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M12 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, sin embargo, en el sentido “Y” de análisis no afectará la colindancia, debido a que tanto en el frente como en el respaldo de la edificación existen espacios libres de otras estructuras. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 198 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

E. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Las derivas máximas para el modelo M12 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo M22 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están en el también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 199.

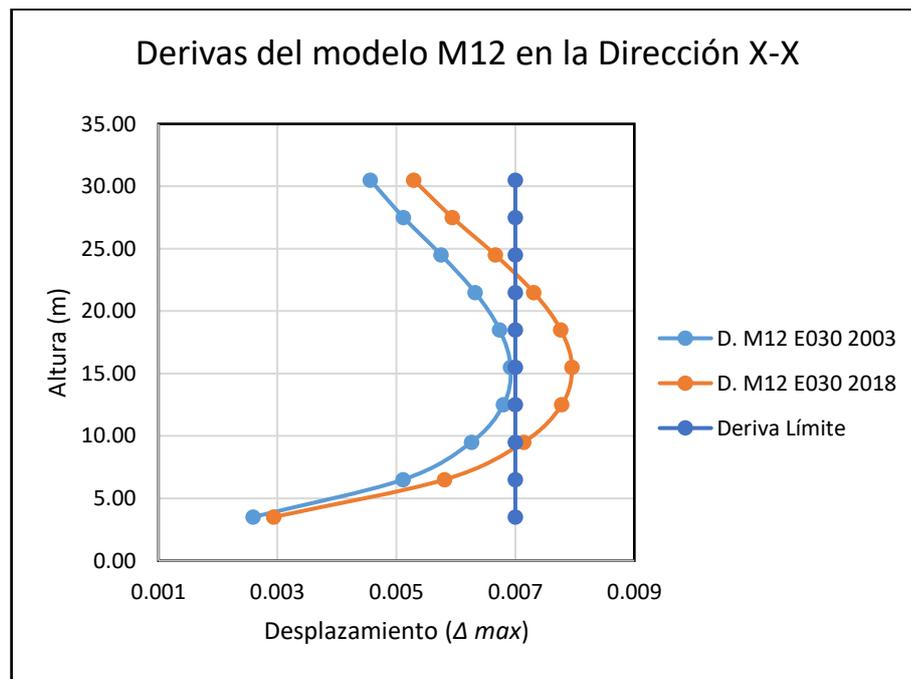
Tabla 199. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección X de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.004561 | 0.005292 | 0.004930 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.005121 | 0.005941 | 0.005350 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.005752 | 0.006664 | 0.005871 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.006323 | 0.007308 | 0.006351 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.006736 | 0.007763 | 0.006682 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.006921 | 0.007952 | 0.006773 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.006801 | 0.007782 | 0.006538 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.006263 | 0.007140 | 0.005863 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.005115 | 0.005812 | 0.004592 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.002595 | 0.002939 | 0.002195 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

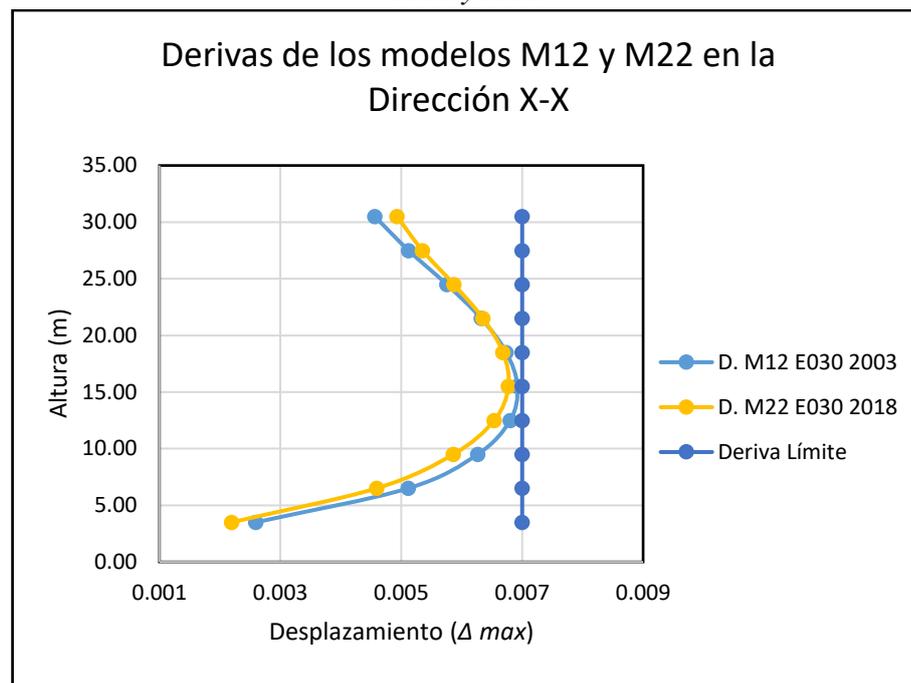
Las derivas máximas para el modelo M12 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo M22 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están en el también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 199.

Gráfico 35. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 36. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 36 y Tabla 199 se puede apreciar que ambos Modelos; M12 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M22 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 35 y Tabla 199 muestran la evaluación del Modelo M12 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior ya no es óptimo porque no cumple con la limitación de la norma vigente. Por lo que justifica la concepción del Modelo M22, es decir que cuenta con el área óptima de las secciones de los elementos verticales capaces de satisfacer el límite de derivas exigidas por la norma. La consecuencia directa de la búsqueda de que los modelos cumplan con este límite, es la necesidad de mayores secciones tanto en dimensión y refuerzo de acero, las que se verán reflejadas en los posteriores análisis de cantidad de materiales y costos del área de estructuras.

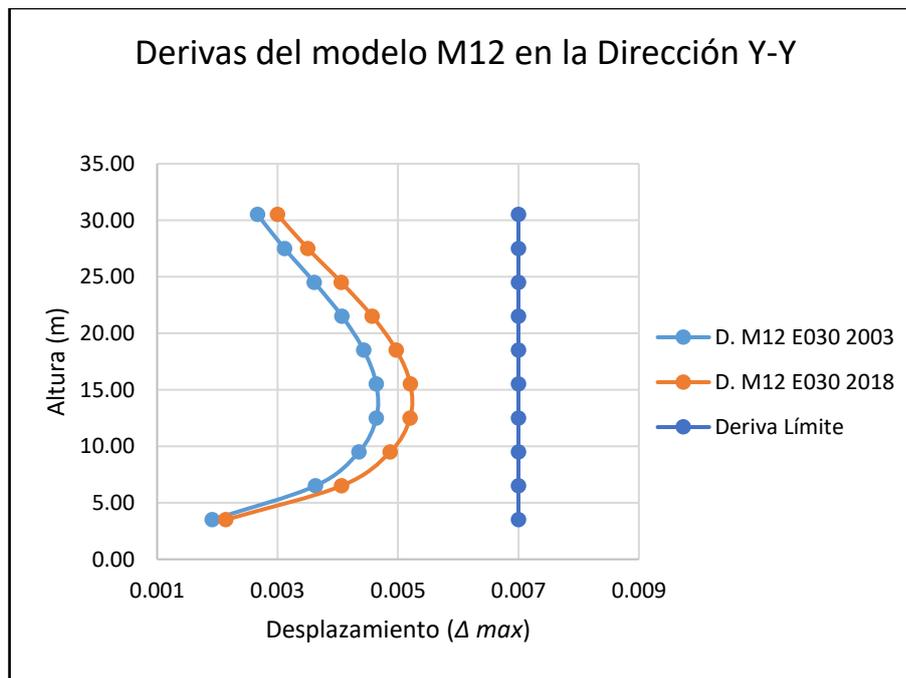
- En la dirección Y-Y

Tabla 200. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.002667 | 0.003000 | 0.002279 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.003117 | 0.003503 | 0.002543 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.003612 | 0.004060 | 0.002840 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.004071 | 0.004573 | 0.003103 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.004431 | 0.004974 | 0.003294 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.004639 | 0.005205 | 0.003376 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.004641 | 0.005201 | 0.003311 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.004351 | 0.004870 | 0.003052 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.003630 | 0.004062 | 0.002508 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.001917 | 0.002142 | 0.001299 | 0.007 |

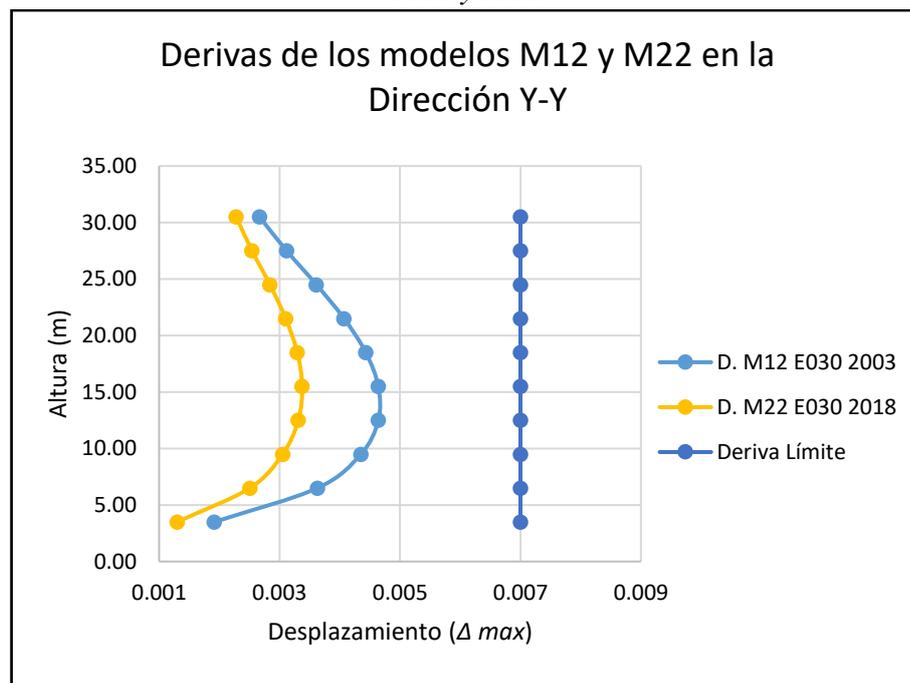
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 37. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 38. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 38 y Tabla 200 se puede apreciar que ambos Modelos; M12 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M22 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 37 y Tabla 200 muestran la evaluación del Modelo M12 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior es también óptimo en esta dirección de análisis “Y” a diferencia de la dirección “X”, porque cumple con la limitación de la norma vigente. Las derivas máximas para el modelo M12 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el cuarto y quinto piso respectivamente y las derivas máximas para el modelo M22 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 200.

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Las derivas máximas para el modelo M12 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo

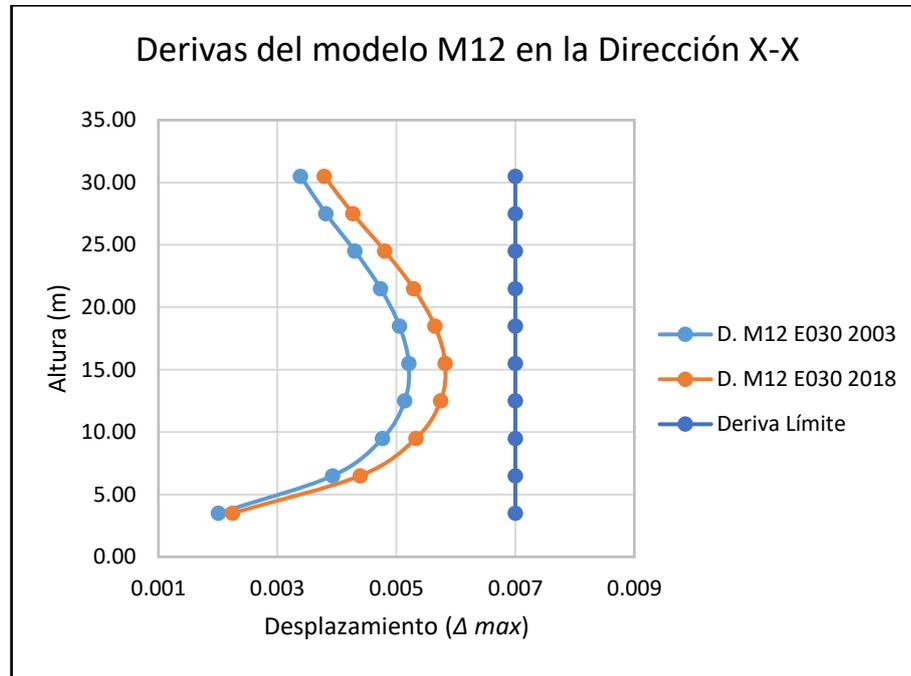
M22 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 201.

Tabla 201. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección X de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.003390 | 0.003789 | 0.003875 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.003817 | 0.004268 | 0.004217 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.004302 | 0.004807 | 0.004646 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.004734 | 0.005290 | 0.005040 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.005051 | 0.005647 | 0.005315 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.005208 | 0.005821 | 0.005399 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.005142 | 0.005747 | 0.005220 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.004769 | 0.005331 | 0.004687 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.003929 | 0.004393 | 0.003673 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.002009 | 0.002246 | 0.001757 | 0.007 |

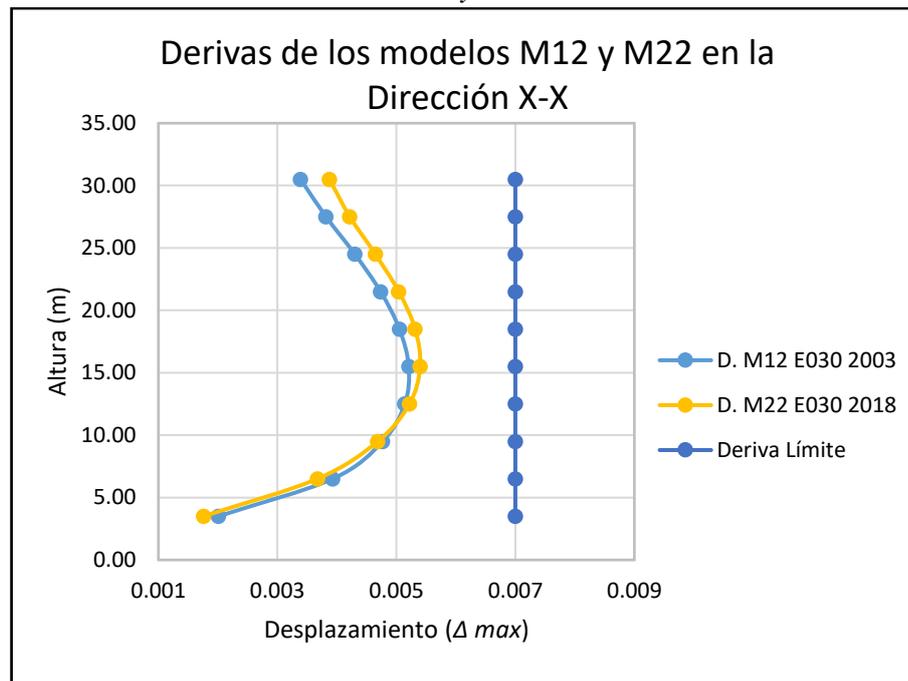
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 39. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M12



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 40. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 40 y Tabla 201 se puede apreciar que ambos Modelos; M12 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M22 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030 y presentan menores derivas que las calculadas para el análisis estático. También el Gráfico 39 y Tabla 201 muestran la evaluación del Modelo M12 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior continúa siendo óptimo, porque cumple con la limitación de la norma vigente. La consecuencia directa de la búsqueda de que los modelos cumplan con este límite, es la necesidad de mayores secciones tanto en dimensión y refuerzo de acero, las que se verán reflejadas en los posteriores análisis de cantidad de materiales y costos del área de estructuras, sin embargo el análisis dinámico espectral mostrará menos exigencia en el cumplimiento de este límite, debido a que los resultados de los desplazamientos del modelo matemático serán menores que los obtenidos por el análisis estático.

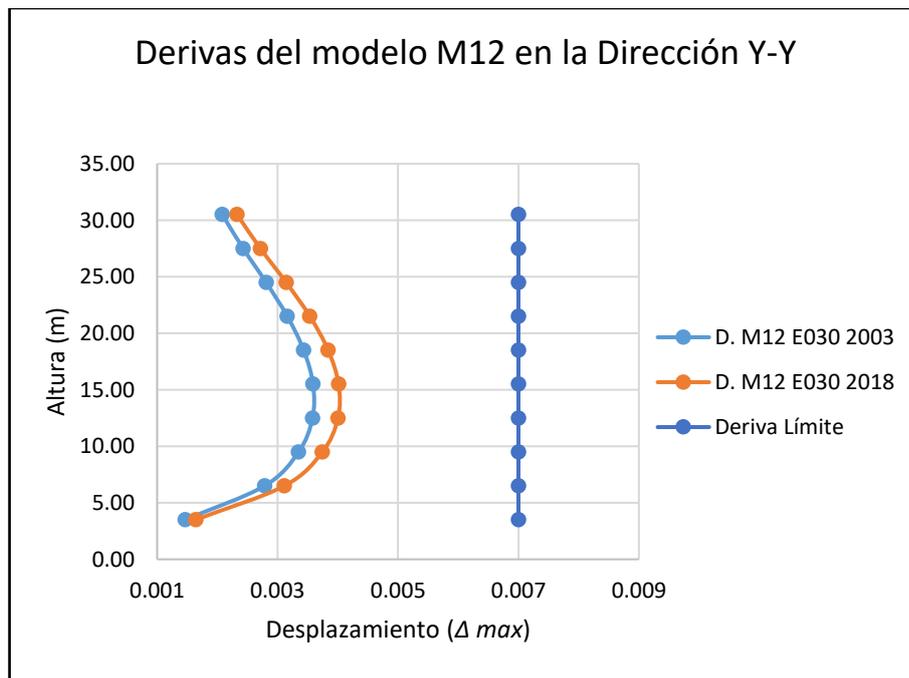
- En la dirección Y-Y

Tabla 202. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M12 y M22

| Piso | Altura (m) | MODELO M12 | | MODELO M22 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.002083 | 0.002328 | 0.001778 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.002429 | 0.002716 | 0.001981 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.002811 | 0.003143 | 0.002207 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.003162 | 0.003537 | 0.002406 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.003434 | 0.003840 | 0.002543 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.003589 | 0.004013 | 0.002597 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.003581 | 0.004004 | 0.002539 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.003350 | 0.003745 | 0.002331 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.002786 | 0.003115 | 0.001908 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.001467 | 0.001641 | 0.000987 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 41. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M12

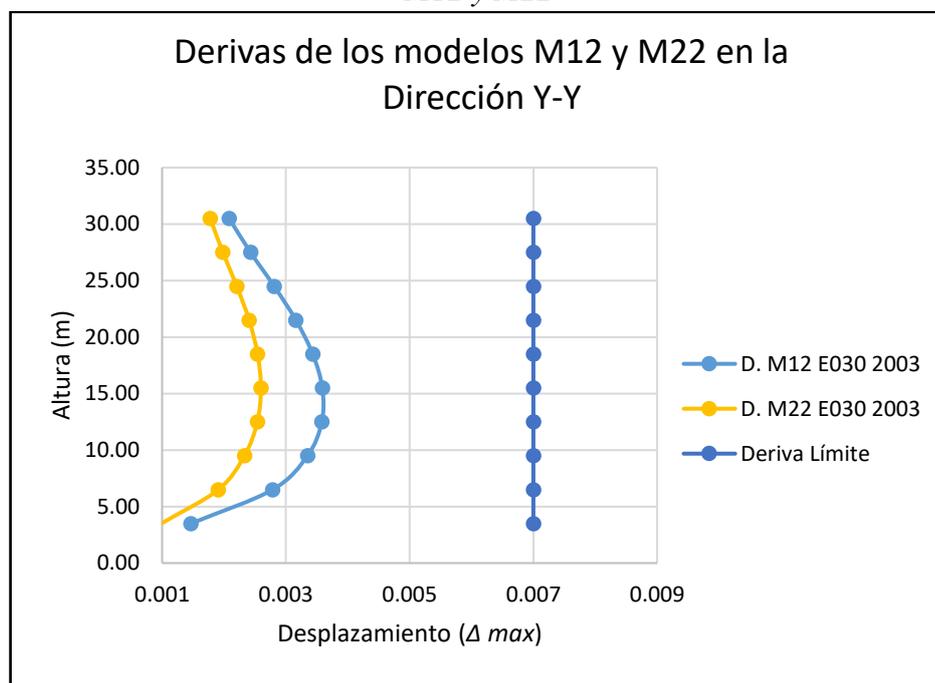


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 42 y Tabla 202 se puede apreciar que ambos Modelos; M12 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M22 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 41 y Tabla 202 muestran la

evaluación del Modelo M12 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior es también óptimo en esta dirección de análisis “Y”, porque cumple con la limitación de la norma vigente. Las derivas máximas para el modelo M12 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo M22 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 202.

Gráfico 42. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M12 y M22



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M13 Y M23)

Los Modelos M13 y M23 corresponden al Sistema Estructural de Muros Estructurales cuales presentan un determinado porcentaje de muros estructurales en la estructuración, de acuerdo a la Norma E030 para que tengan esta clasificación.

El Modelo M13 es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E030-2003 y el Modelo M23 es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E030-2018.

A. SECCIONES OBTENIDAS

Tabla 203. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M23 con respecto al modelo M13

| MODELO M13 | | | | MODELO M23 | | | | Variación |
|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|-----------|
| Columna | Sección (cm) | N° de Columnas | Área Parcial (m ²) | Columna | Sección (cm) | N° de Columnas | Área Parcial (m ²) | |
| C1 | 40x40 | 8 | 1.60 | C1 | 40x40 | 10 | 1.60 | |
| C2 | 40x50 | 8 | 1.20 | C2 | 40x50 | 8 | 1.60 | |
| C3 | 50x70 | 12 | 4.20 | C3 | 50x70 | 12 | 4.20 | |
| C4 | 50x85 | 2 | 0.85 | C4 | 50x85 | 2 | 0.85 | |
| C5 | 50x50 | 2 | 0.50 | C5 | 50x50 | 2 | 0.50 | |
| P3(H) | 30x430 | 1 | 1.29 | P3(H) | 40x410 | 1 | 1.64 | |
| | 30x320 | 2 | 1.92 | | 50x320 | 2 | 3.20 | |
| P1 | 30x212.5 | 2 | 1.28 | P1 | 50x542.5 | 2 | 5.43 | |
| P2 | 30x445 | 2 | 2.67 | P2 | 40x445 | 2 | 3.56 | |
| Total: | | | 15.59 | Total: | | | 21.86 | 6.27 |
| % | | | 100.00 | % | | | 140.23 | 40.23 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En este proyecto de investigación la adecuación de la estructuración con respecto a las secciones de las columnas al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018 produce un incremento del 40.23% de las secciones de las columnas y placas, con respecto a las áreas iniciales, estimadas bajo la Norma E.030 del 2003, esto debido a que al incrementarse las fuerzas cortantes se requerirá mayor rigidez de la estructura, la que será proporcionada por los elementos verticales que en este caso son columnas y placas.

B. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

• COEFICIENTE BASAL

En este proyecto de investigación para la estructuración elegida, el coeficiente basal al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018, se incrementó en un 25.29 % en la Dirección X-X y 41.45% en la Dirección Y-Y, lo cual significa que será uno de los factores que influirá en el incremento del valor de las fuerzas cortantes inicialmente calculadas con la Norma Sismorresistente E030 del 2003 en el

Análisis Estático. Esta variación porcentual es válida para el caso de estudio, debido a que el valor de coeficiente de amplificación sísmica depende del periodo de la estructura y en consecuencia afectada también por la estructuración elegida por el diseñador.

Tabla 204. Coeficiente Basal calculado para los modelos M13 y M23 en base a la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente

| PARÁMETROS SÍSMICOS | SÍMB. | TIPO | DIRECCIÓN X-X | | DIRECCIÓN Y-Y | | COMENTARIOS |
|---------------------------------|--------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| | | | MODELO M13 E.030 del 2003 | MODELO M23 E.030 del 2018 | MODELO M13 E.030 del 2003 | MODELO M23 E.030 del 2018 | |
| Factor de Zona | Z | Z: 2 (E.030 del 2003) Z: 3 (E.030 del 2018) | 0.3 | 0.35 | 0.3 | 0.35 | En la Norma E.030 del 2018 se adiciona una nueva zona sísmica, y se modifica el factor de zona "Z". |
| Factor de Uso | U | U:Edificaciones Comunes (E.030 del 2003 y 2018) | 1 | 1 | 1 | 1 | En la Norma E.030 del 2018 se conserva los valores de factor de uso "U". |
| Factor de Amplificación Sísmica | C | El valor de "C" depende del periodo de la estructura y de las características del suelo de cimentación, valores del T_p y T_L (Parámetro incluido en la norma E.030 del 2018) | 1.816 | 2.035 | 1.976 | 2.500 | En el modelo matemático del modelo M13 el valor del periodo fundamental de la estructura es de 0.826s y 0.759s en la dirección X-X y Dirección Y-Y respectivamente y para el modelo M23 es de 0.737s en la Dirección X-X y 0.589s en la Dirección Y-Y. Para ambos modelos el valor de T_p es de 0.6, y para el modelo M23 T_L es de 2.0, valores que corresponden a suelos intermedios S2. |
| Factor de Suelo | S | S2:Suelos Intermedios(E.030 del 2003 y N.030 del 2018) | 1.2 | 1.15 | 1.2 | 1.15 | En la Norma E.030 del 2018 se adiciona tipos de suelo, y varían los valores del coeficiente "S". |
| Factor de Reducción | R | R:8 Para un sistema de Muros Estructurales (E.030 del 2003 y 2018) | 6 | 6 | 6 | 6 | En la Norma E.030 del 2018 se conserva los valores de factor de reducción cuando la estructura es regular. |
| Coeficiente Basal | ZUCS/R | | 0.109 | 0.137 | 0.119 | 0.168 | Tanto en la Dirección X-X y Dirección Y-Y se produce un INCREMENTO del valor del coeficiente basal. |
| % | | | 100.00% | 125.29% | 100.00% | 141.45% | |
| VARIACIÓN | | | 25.29% | | 41.45% | | |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En este proyecto de investigación para la estructuración elegida, el coeficiente basal al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018, se incrementó en un 25.29 % en la Dirección X-X y 41.45% en la Dirección Y-Y, lo cual significa que será uno de los factores que influirá en el incremento del valor de las fuerzas cortantes inicialmente calculadas con la Norma Sismorresistente E030 del 2003 en el

Análisis Estático. Esta variación porcentual es válida para el caso de estudio, debido a que el valor de coeficiente de amplificación sísmica depende del periodo de la estructura y en consecuencia afectada también por la estructuración elegida por el diseñador.

- **FUERZA CORTANTE ESTÁTICA**

Tabla 205. Fuerza Cortante Estática de Entrepiso calculada para los modelos M13

| Piso | MODELO M13 | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|-------|
| | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Variación | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Variación | | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | |
| Piso 10 | 96617.302 | 154453.075 | 57835.773 | 59.86 | 105481.275 | 166319.816 | 60838.541 | 57.68 | |
| Piso 9 | 213822.935 | 338683.135 | 124860.200 | 58.39 | 233439.718 | 365393.718 | 131954.000 | 56.53 | |
| Piso 8 | 317813.767 | 499092.568 | 181278.801 | 57.04 | 346970.993 | 539399.758 | 192428.765 | 55.46 | |
| Piso 7 | 409447.262 | 637462.746 | 228015.484 | 55.69 | 447011.230 | 690156.690 | 243145.460 | 54.39 | |
| Piso 6 | 485721.336 | 749852.499 | 264131.163 | 54.38 | 530282.926 | 813225.484 | 282942.558 | 53.36 | |
| Piso 5 | 551676.905 | 844275.179 | 292598.274 | 53.04 | 602289.465 | 917234.668 | 314945.203 | 52.29 | |
| Piso 4 | 604554.839 | 917367.472 | 312812.633 | 51.74 | 660018.586 | 998330.137 | 338311.551 | 51.26 | |
| Piso 3 | 644742.069 | 970487.439 | 325745.370 | 50.52 | 703892.717 | 1057810.763 | 353918.046 | 50.28 | |
| Piso 2 | 672238.594 | 1004652.601 | 332414.007 | 49.45 | 733911.860 | 1096556.361 | 362644.501 | 49.41 | |
| Piso 1 | 687517.296 | 1021814.697 | 334297.401 | 48.62 | 750592.277 | 1116427.169 | 365834.892 | 48.74 | |
| | | | Promedio % | 53.87 | | | | Promedio % | 52.94 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La aplicación de la Norma E030 del año 2018, sobre el Modelo M13 produce un aumento promedio aproximado de 53.87% y 52.94% en la dirección X-X y Y-Y de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2003, tal como se muestra en la Tabla 205. Este incremento considerable se debe al coeficiente basal obtenido, ya que la estructura al ser evaluada por la Norma del 2018, presentó irregularidad por torsión, la que no tenía anteriormente. Esta mayor sollicitación incrementará las fuerzas internas en los elementos estructurales, afectando principalmente a los elementos verticales, evidenciando que las exigencias de refuerzo serán mayores a los que se diseñaban con la norma primigenia.

Los factores que influyen en los resultados de las fuerzas cortantes son; el peso sísmico y el coeficiente basal. Al haber asumido la variación de la Norma E030-2003, el

Modelo M13 ante la necesidad del cumplimiento de los límites de las derivas dadas por la Norma E030 del año 2018, se manipula las secciones creando el Modelo M23, que no solo origina el aumento de las secciones sino en forma dependiente también la variación de los pesos y en consecuencia la variación de los pesos sísmicos con los que se calculan las fuerzas horizontales, por lo que en la Tabla 206 se muestra el aumento del valor del peso sísmico del Modelo M23 con respecto al Modelo M13 en un 9.58%.

Tabla 206. Peso Sísmico calculado para los modelos M13 y M23

| Peso Sísmico | Modelo M13 | Modelo M23 | Variación |
|----------------|------------|------------|-----------|
| Cantidad (Kgf) | 6287054.63 | 6889493.3 | 602438.67 |
| Porcentual (%) | 100 | 109.58 | 9.58 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 207. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M23 con respecto al modelo M13 en la Dirección X-X

| Piso | MODELO M13 | MODELO M23 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(\%)$ |
| Piso 10 | 96617.302 | 136222.351 | 39605.049 | 40.99 |
| Piso 9 | 213822.935 | 304572.250 | 90749.315 | 42.44 |
| Piso 8 | 317813.767 | 451962.259 | 134148.492 | 42.21 |
| Piso 7 | 409447.262 | 579797.813 | 170350.551 | 41.61 |
| Piso 6 | 485721.336 | 684629.765 | 198908.429 | 40.95 |
| Piso 5 | 551676.905 | 773146.987 | 221470.082 | 40.14 |
| Piso 4 | 604554.839 | 842358.641 | 237803.802 | 39.34 |
| Piso 3 | 644742.069 | 893276.394 | 248534.325 | 38.55 |
| Piso 2 | 672238.594 | 926582.892 | 254344.298 | 37.84 |
| Piso 1 | 687517.296 | 943860.586 | 256343.290 | 37.29 |
| | | | Promedio % | 40.13 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para evaluar la variación de las fuerzas cortantes se empleará dos métodos, a los que llamaremos método indirecto y método directo. El método indirecto, consiste en obtener el valor promedio porcentual de las sendas distribuciones de las fuerzas horizontales para cada piso de cada modelo, que responden a un cálculo dado en las fichas que se adjuntan en el Capítulo 3. Los resultados de las fuerzas cortantes de entrepiso obtenidas del modelo matemático y comprobadas analíticamente se resumen en las Tablas

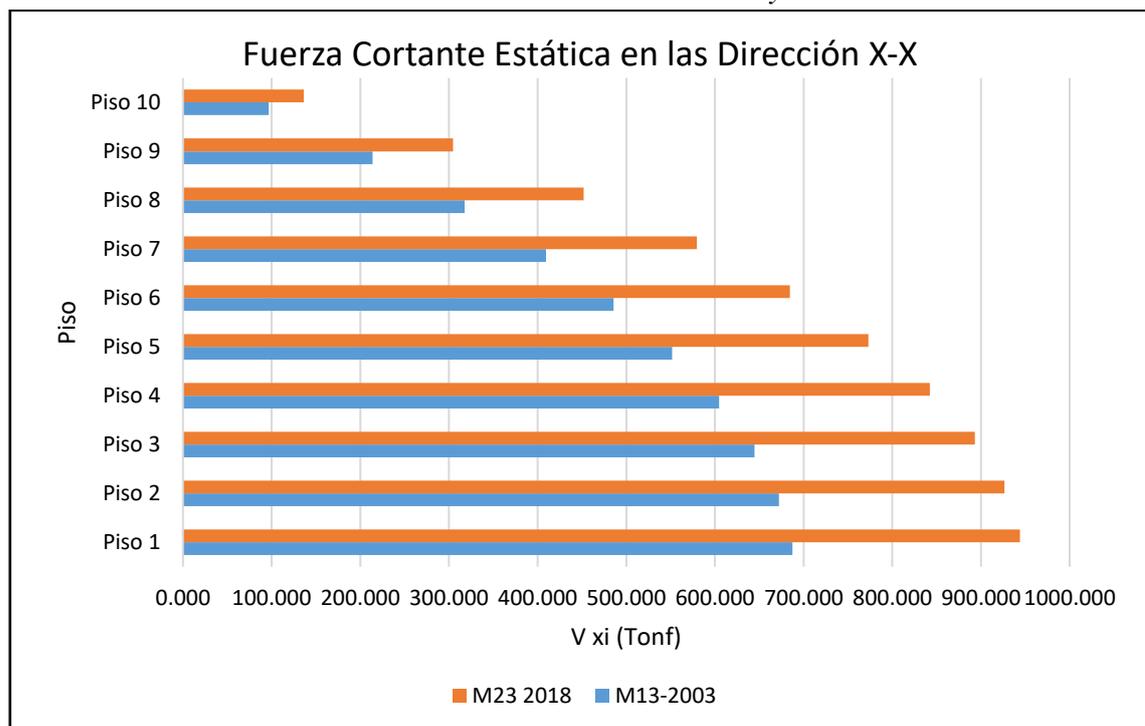
207 y 208, y se muestran en los Gráficos 43 y 44, luego se calcula una variación porcentual de los resultados por entrepiso de los valores del modelo M23 con respecto al modelo M13, de los cuales se obtuvo un promedio de incremento del 40.13% en la dirección X-X y 54.94% en la dirección Y-Y.

Tabla 208. Variación del valor de la Fuerza Cortante de Entrepiso del modelo M23 con respecto al modelo M13 en la Dirección Y-Y

| Piso | MODELO M13 | MODELO M23 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(\%)$ |
| Piso 10 | 105481.275 | 161584.561 | 56103.286 | 53.19 |
| Piso 9 | 233439.718 | 362814.186 | 129374.468 | 55.42 |
| Piso 8 | 346970.993 | 540502.733 | 193531.740 | 55.78 |
| Piso 7 | 447011.230 | 696113.947 | 249102.717 | 55.73 |
| Piso 6 | 530282.926 | 825150.468 | 294867.542 | 55.61 |
| Piso 5 | 602289.465 | 935541.275 | 333251.810 | 55.33 |
| Piso 4 | 660018.586 | 1023240.866 | 363222.280 | 55.03 |
| Piso 3 | 703892.717 | 1089083.525 | 385190.808 | 54.72 |
| Piso 2 | 733911.860 | 1133379.377 | 399467.517 | 54.43 |
| Piso 1 | 750592.277 | 1157434.879 | 406842.602 | 54.20 |
| | | | Promedio % | 54.94 |

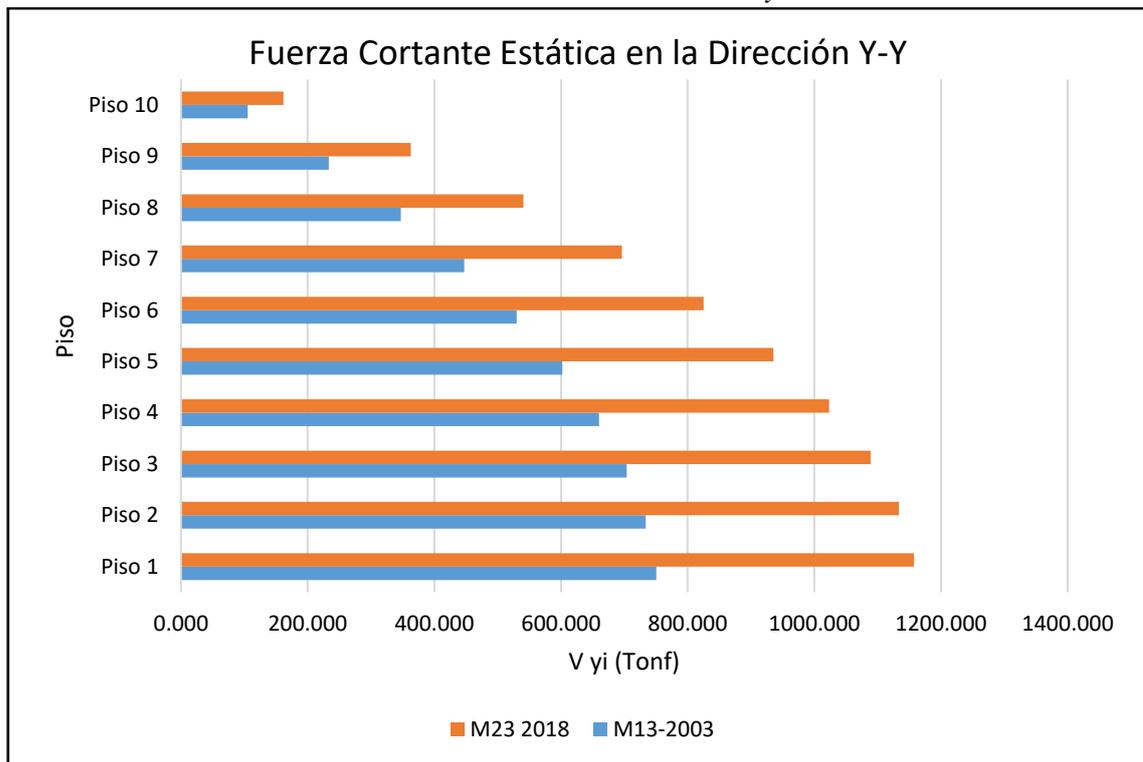
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 43. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 44. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El método de estimación de variación directa es más simple, debido a que se obtiene calculando la variación porcentual del coeficiente sísmico por la variación porcentual de los pesos sísmicos, lo cual nos resultará la variación total de las fuerzas verticales que se muestran en la Tabla 209 y en el que se obtuvo un incremento de 37.29% en la dirección X-X y 55.01% en la Dirección Y-Y.

Tabla 209. Variación de los valores de la Fuerza Cortante de Entrepiso por el método directo

| Parámetros | Dirección X-X | | | Dirección Y-Y | | |
|------------------|---------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|
| | M13 | M23 | Variación | M13 | M23 | Variación |
| Coficiente Basal | 100% | 125.29% | 25.29% | 100% | 141.45% | 41.45% |
| Peso Sísmico | 100% | 109.58% | 9.58% | 100% | 109.58% | 9.58% |
| C.B. x P.S. | 100% | 137.29% | 37.29% | 100% | 155.01% | 55.01% |
| Método Directo | | | 37.29% | Método Directo | | 55.01% |
| Método Indirecto | | | 40.13% | Método Indirecto | | 54.94% |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De los resultados de los dos métodos empleados, para la estimación de la variación de la fuerza cortante sísmica de entrepiso del Modelo M23 con respecto al Modelo M13

puede observarse el incremento de estas al aplicarse la Norma E030-2003 a la Norma E030-2018. El resultado obtenido por el método indirecto nos muestra un incremento de las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso en la Dirección X-X de 40.13% y en un 37.29% de la forma directa. El resultado obtenido por el método indirecto nos muestra un incremento de las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso en la Dirección Y-Y de 54.94% y en un 55.01% de la forma directa. La diferencia de ambos métodos es que la indirecta analiza los incrementos porcentuales de la fuerza cortante sísmica de todos los pisos, obteniendo un valor promedio final, mientras que el método directo sólo evalúa el incremento de la fuerza cortante basal.

- **FUERZA CORTANTE DINÁMICA**

Tabla 210. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M23 con respecto al modelo M13

| Piso | MODELO M13 | MODELO M23 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(\%)$ |
| Piso 10 | 74700.790 | 98409.590 | 23708.800 | 31.74 |
| Piso 9 | 152920.030 | 206826.310 | 53906.280 | 35.25 |
| Piso 8 | 214707.140 | 294157.850 | 79450.710 | 37.00 |
| Piso 7 | 264810.550 | 365141.920 | 100331.370 | 37.89 |
| Piso 6 | 304260.600 | 420991.320 | 116730.720 | 38.37 |
| Piso 5 | 338814.770 | 468808.080 | 129993.310 | 38.37 |
| Piso 4 | 368185.380 | 508368.130 | 140182.750 | 38.07 |
| Piso 3 | 392240.200 | 539797.410 | 147557.210 | 37.62 |
| Piso 2 | 409772.900 | 562015.210 | 152242.310 | 37.15 |
| Piso 1 | 419869.410 | 574348.550 | 154479.140 | 36.79 |
| | | | Promedio % | 36.83 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Considerando que las fuerzas cortantes sísmicas se obtuvieron del modelo matemático, la variación porcentual de resultados del modelo M23 con respecto al Modelo M13 se calculará por el método indirecto. En la dirección “X” se obtuvo un incremento promedio aproximado de 36.83% en las fuerzas cortantes dinámicas y en la dirección “Y” un incremento promedio aproximado de 49.03% en las fuerzas cortantes

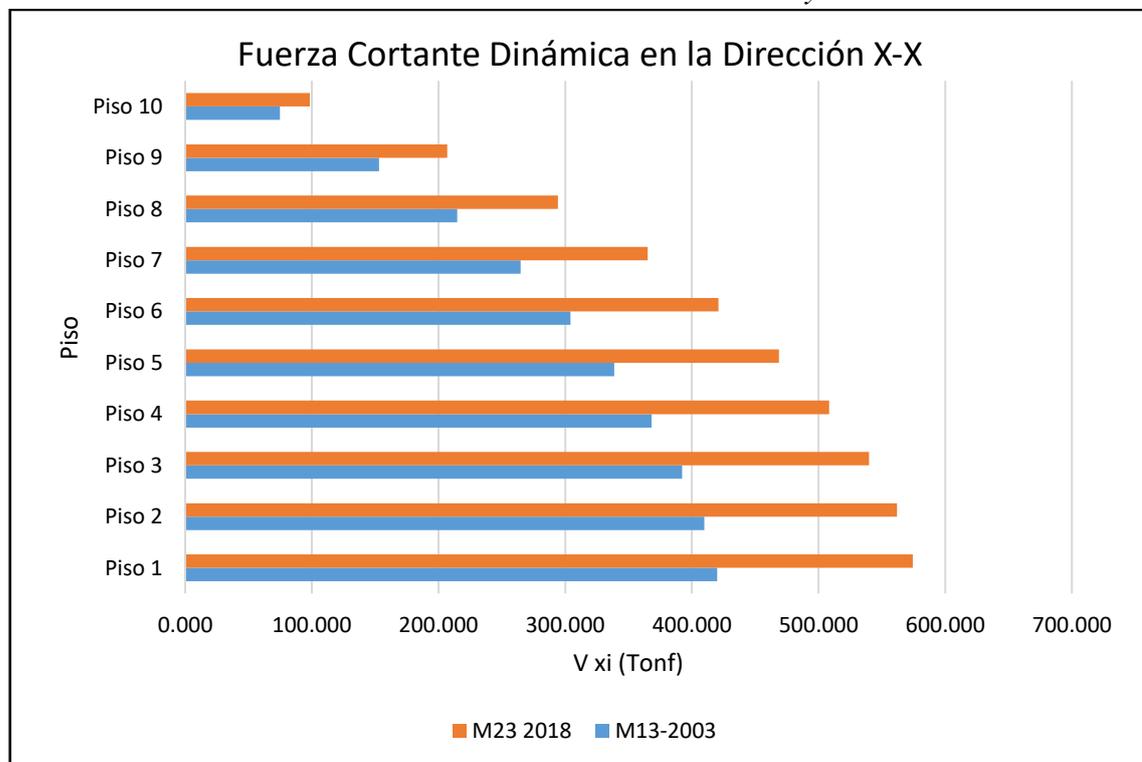
dinámicas, tal como se muestran en las Tablas 210 y 211 y los Gráficos 45 y 46. Confirmando que, debido al incremento de estas solicitudes, se requerirá mayor refuerzo de los elementos estructurales.

Tabla 211. Variación de la Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y calculadas para los modelos M13 y M23

| Piso | MODELO M13 | MODELO M23 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| | $V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(\%)$ |
| Piso 10 | 94900.990 | 142880.990 | 47980.000 | 50.56 |
| Piso 9 | 198472.480 | 302207.380 | 103734.900 | 52.27 |
| Piso 8 | 285378.870 | 433168.820 | 147789.950 | 51.79 |
| Piso 7 | 359694.670 | 543158.100 | 183463.430 | 51.01 |
| Piso 6 | 420856.380 | 632028.500 | 211172.120 | 50.18 |
| Piso 5 | 474173.800 | 706898.060 | 232724.260 | 49.08 |
| Piso 4 | 517870.860 | 765732.230 | 247861.370 | 47.86 |
| Piso 3 | 551690.050 | 809099.080 | 257409.030 | 46.66 |
| Piso 2 | 574553.260 | 837080.100 | 262526.840 | 45.69 |
| Piso 1 | 585895.480 | 850776.750 | 264881.270 | 45.21 |
| | | | Promedio % | 49.03 |

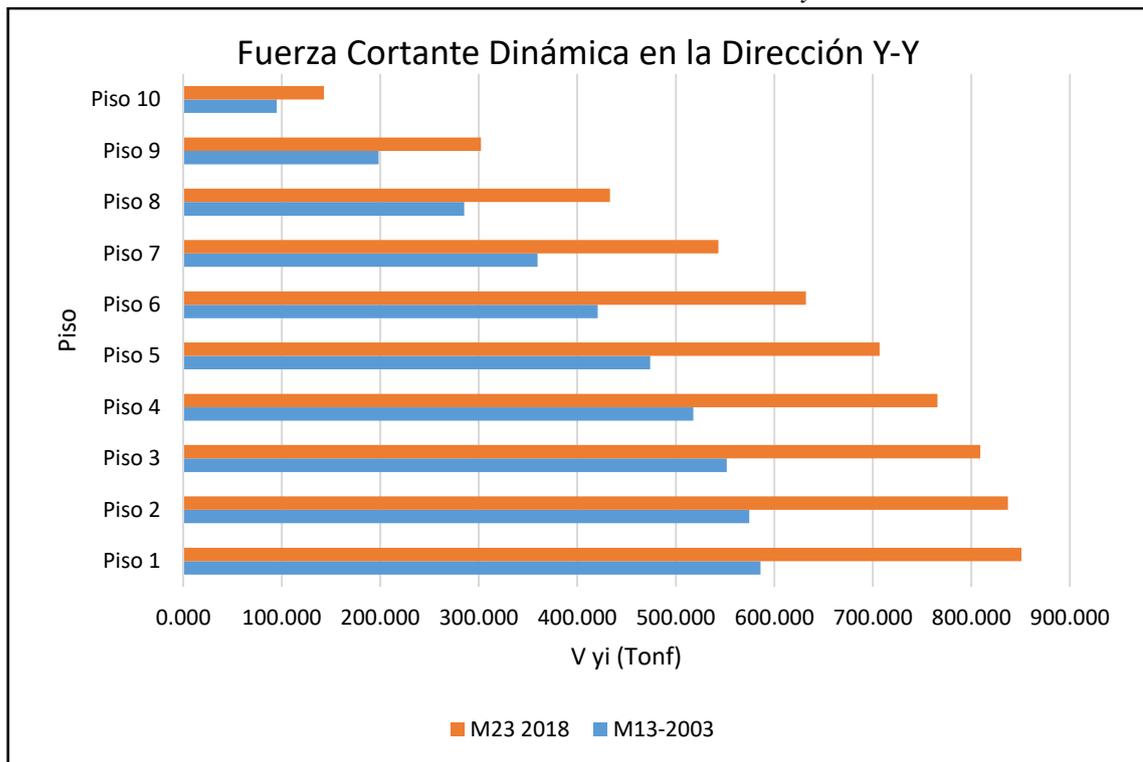
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 45. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

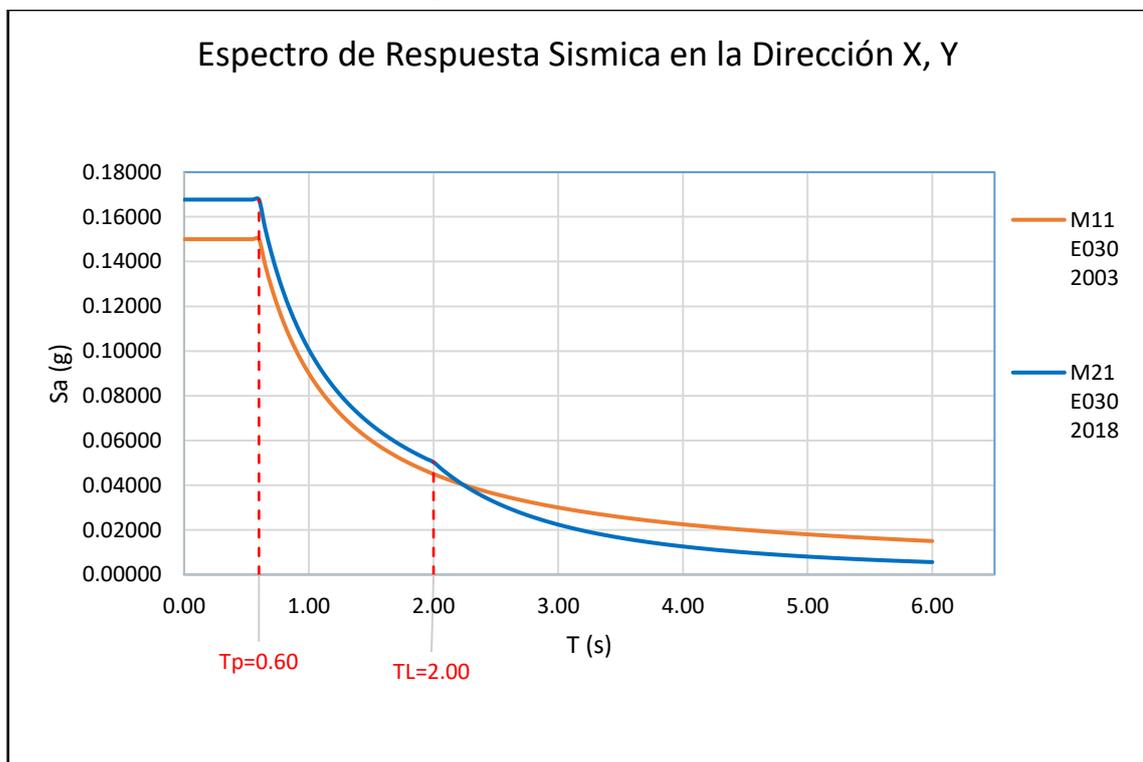
Gráfico 46. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. ESPECTRO SÍSMICO

Gráfico 47. Espectro Sísmico de los modelos M13 y M23 calculadas según la Norma Sismorresistente E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 47 se puede observar la afectación de la variación de los valores de los algunos parámetros sísmicos debido a la modificación de la Norma Sismorresistente del año 2003 al año 2018, que al igual que para el cálculo del coeficiente basal usado para el análisis estático, en el análisis dinámico espectral se modifican los valores del S_a . Esta variación es válida no solo para nuestro caso de estudio sino para todos los edificios del sistema estructural de pórticos, de uso común y que sean regulares; que estén ubicados en la Zona Sísmica 3 y cimentadas en un suelo intermedio tipo S2.

Gráficamente se observa que las aceleraciones correspondiente al Modelo M23 que se basa en la Norma Sismorresistente del 2018 son mayores en 11.81% los periodos cortos ($T < T_p$) e intermedios ($T_p < T < T_L$), y menores en un promedio de 41.38% en los periodos largos ($T_L < T$) que las aceleraciones correspondientes al Modelo M13 que se basa en la Norma Sismorresistente del 2003. Además, debe advertirse que el análisis anterior puede ser equívoco al delimitar los periodos cortos, intermedios y largos, debido a que el periodo T_L se adicionó en la Norma E.030 del 2018 y que solamente existía el T_p en la Norma E.030 del 2003.

D. VERIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES

i. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Del Gráfico 48 se puede apreciar que una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M13. Además, en el Gráfico 49 se observa que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M13 para obtener el modelo M23 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no

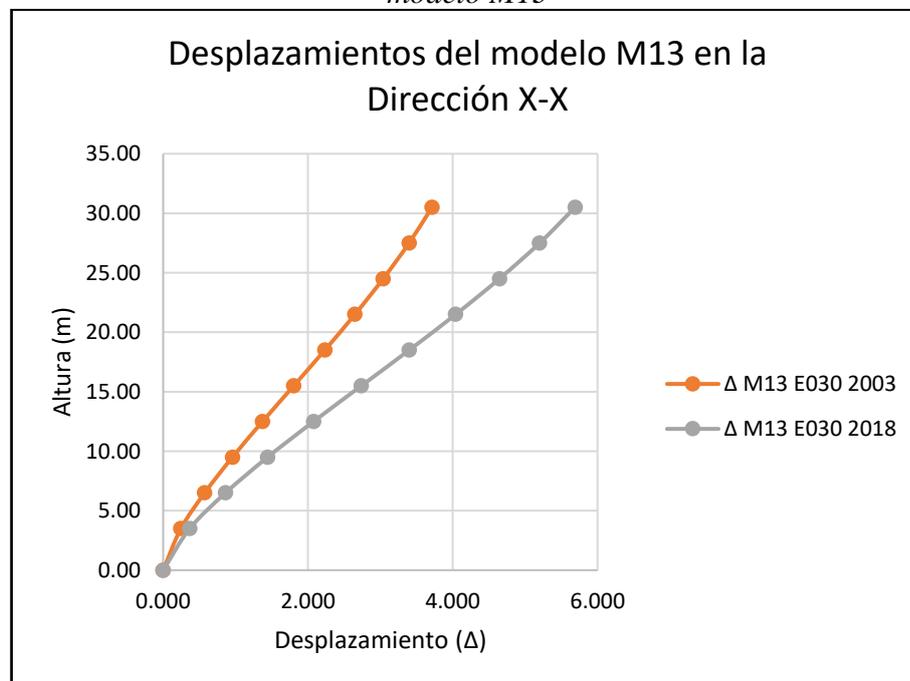
incrementaran su valor, incluso en este caso de análisis se presentan desplazamientos menores.

Tabla 212. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M13 y M23

| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | MODELO M23 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 3.713 | 5.691 | 3.926 |
| Piso 9 | 27.50 | 3.397 | 5.201 | 3.570 |
| Piso 8 | 24.50 | 3.039 | 4.646 | 3.174 |
| Piso 7 | 21.50 | 2.649 | 4.041 | 2.747 |
| Piso 6 | 18.50 | 2.233 | 3.399 | 2.299 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.804 | 2.738 | 1.841 |
| Piso 4 | 12.50 | 1.373 | 2.078 | 1.388 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.957 | 1.443 | 0.956 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.574 | 0.862 | 0.563 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.245 | 0.367 | 0.232 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 48. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M13

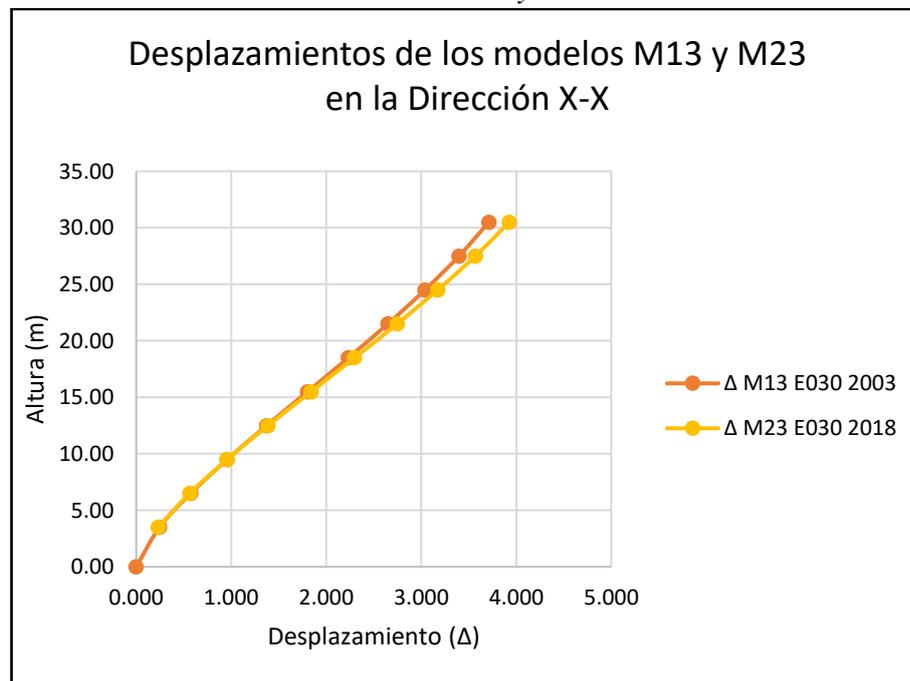


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 212 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 53.27% del Modelo M13 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la

Norma E.030 del 2003, y un incremento del desplazamiento de azotea de 5.74% del Modelo M23 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M13 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 212 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E, lo que nos indica que proporcionalmente al incremento de los desplazamientos las derivas se incrementarán, generando la posibilidad de que no cumplan con las derivas máximas permitidas dadas por la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, parámetro que limita el nivel de daño de la estructura ante un evento sísmico otorgándole la mínima rigidez necesaria para afrontarla.

Gráfico 49. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 212 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 53.27% del Modelo M13 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y un incremento del desplazamiento de azotea de 5.74% del

Modelo M23 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M13 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 212 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E, lo que nos indica que proporcionalmente al incremento de los desplazamientos las derivas se incrementarán, generando la posibilidad de que no cumplan con las derivas máximas permitidas dadas por la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, parámetro que limita el nivel de daño de la estructura ante un evento sísmico otorgándole la mínima rigidez necesaria para afrontarla.

- En la dirección Y-Y

Tabla 213. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M13 y M23

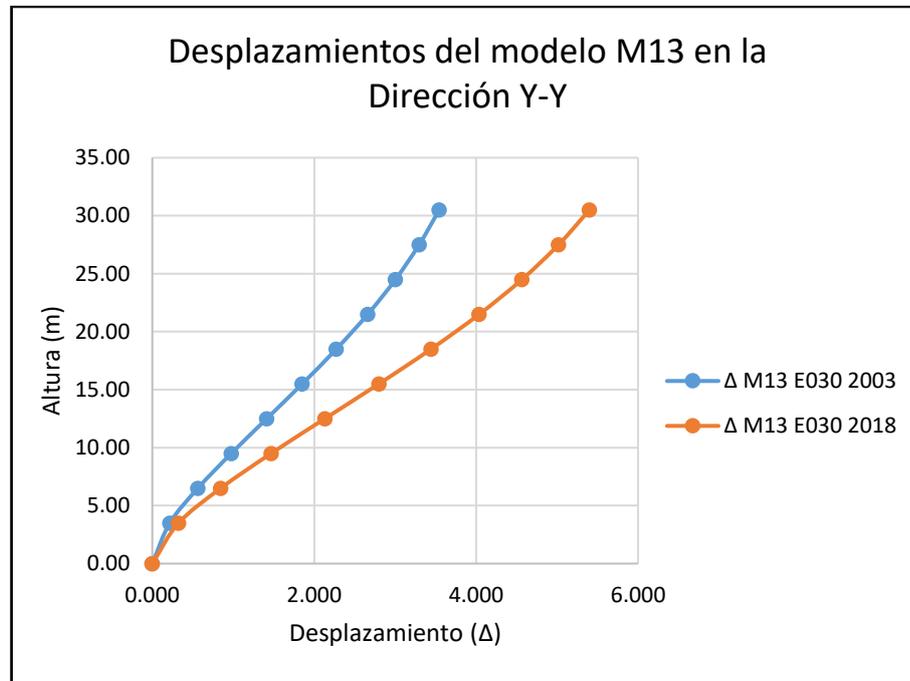
| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | MODELO M23 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 3.544 | 5.400 | 3.440 |
| Piso 9 | 27.50 | 3.296 | 5.018 | 3.106 |
| Piso 8 | 24.50 | 3.003 | 4.566 | 2.746 |
| Piso 7 | 21.50 | 2.661 | 4.038 | 2.362 |
| Piso 6 | 18.50 | 2.273 | 3.443 | 1.958 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.852 | 2.799 | 1.543 |
| Piso 4 | 12.50 | 1.414 | 2.131 | 1.134 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.975 | 1.467 | 0.749 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.563 | 0.845 | 0.411 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.216 | 0.324 | 0.150 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 50 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M13. Además, en el Gráfico 51 se observa también que

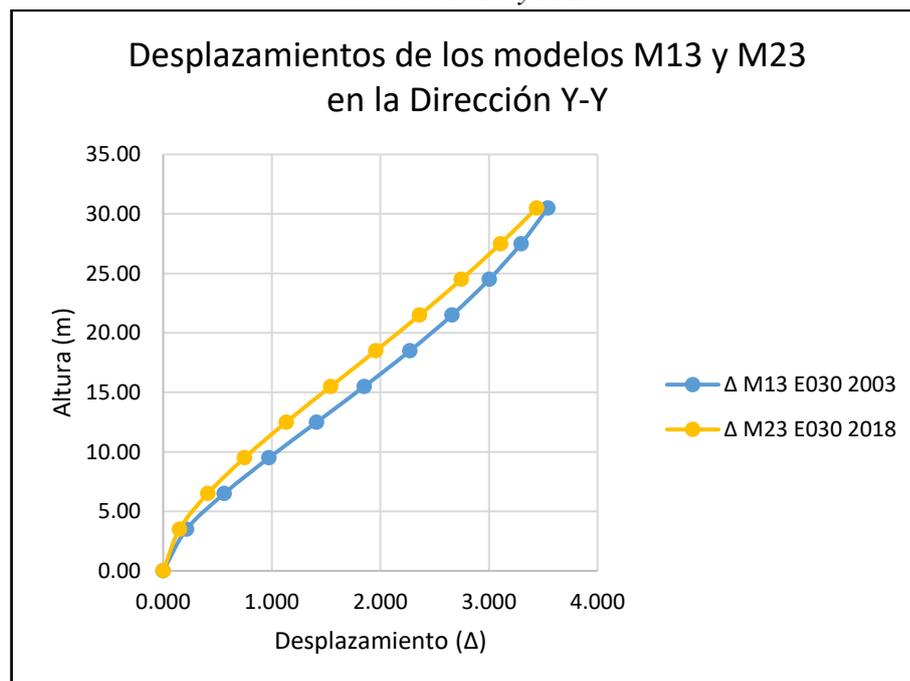
la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M13 para obtener el modelo M23 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor.

Gráfico 50. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M13



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 51. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M13 y M21



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 213 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 52.37% del Modelo M13 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 2.93% del Modelo M23 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M13 bajo la Norma E.030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, sin embargo, en el sentido “Y” de análisis no afectará la colindancia, debido a que tanto en el frente como en el respaldo de la edificación existen espacios libres de otras estructuras. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 213 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

ii. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

Tabla 214. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M13 y M23

| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | MODELO M23 |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 30.50 | 3.328 | 4.961 | 3.552 |
| Piso 9 | 27.50 | 2.997 | 4.469 | 3.154 |
| Piso 8 | 24.50 | 2.699 | 4.024 | 2.742 |
| Piso 7 | 21.50 | 2.367 | 3.530 | 2.317 |
| Piso 6 | 18.50 | 2.008 | 2.994 | 1.906 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.629 | 2.429 | 1.531 |
| Piso 4 | 12.50 | 1.243 | 1.854 | 1.154 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.865 | 1.290 | 0.791 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.514 | 0.766 | 0.461 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.214 | 0.320 | 0.185 |

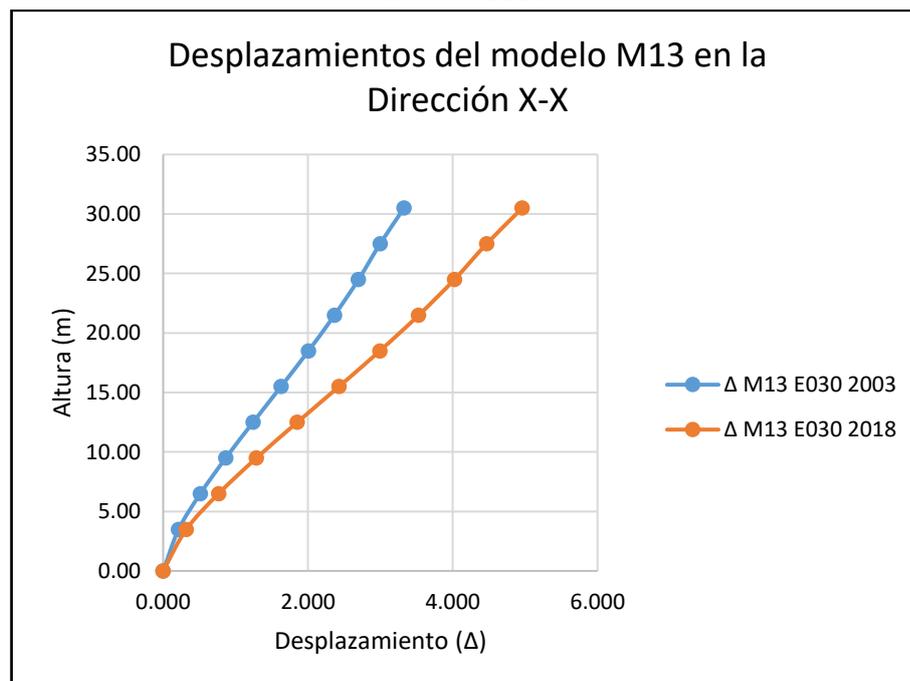
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las observaciones son las mismas que las del análisis estático, del Gráfico 52 se puede apreciar que una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el

aumento de los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M13. Además, en el Gráfico 53 se observa que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M13 para obtener el modelo M23 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor.

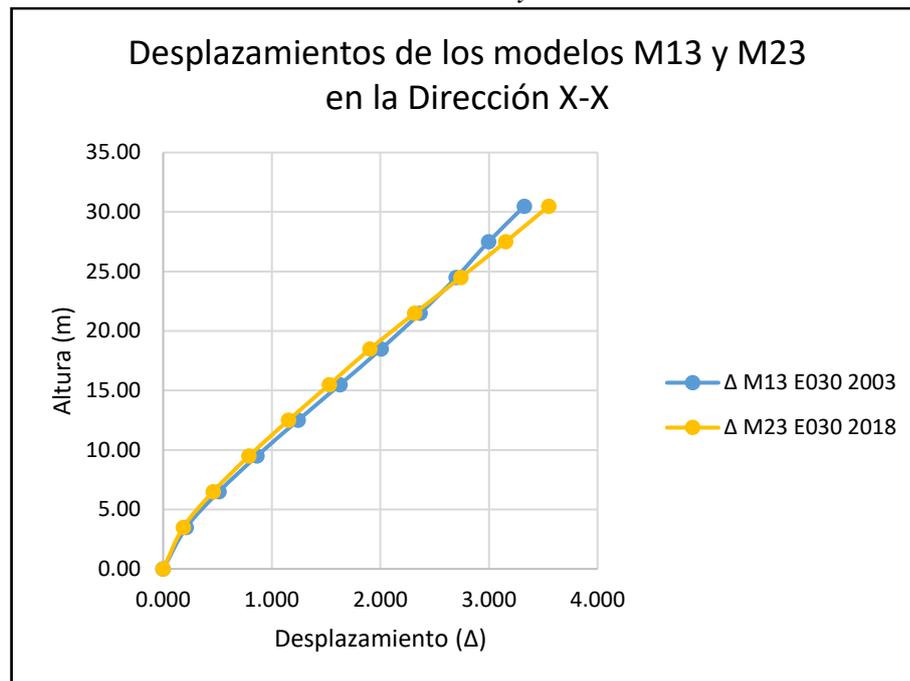
De la Tabla 214 se calculó un incremento del desplazamiento de azotea de 49.07% del Modelo M13 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y un incremento del desplazamiento de azotea de 6.73% de Modelo M23 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M13 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 214 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

Gráfico 52. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M13



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 53. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 215. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M13 y M23

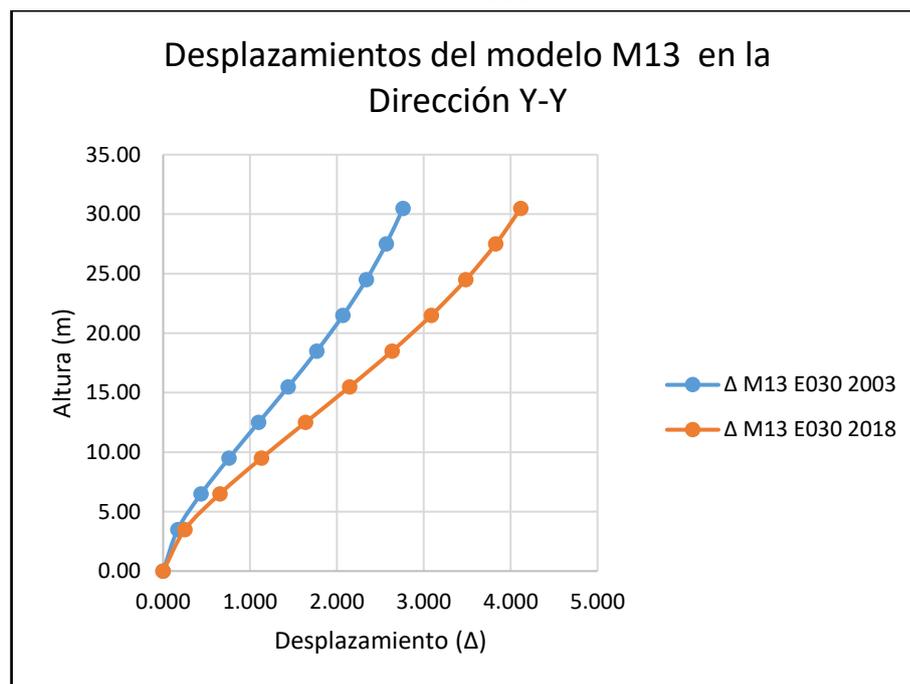
| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | MODELO M23 |
|--------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Techo | 30.50 | 2.762 | 4.118 | 2.593 |
| Piso 9 | 27.50 | 2.568 | 3.829 | 2.338 |
| Piso 8 | 24.50 | 2.339 | 3.486 | 2.063 |
| Piso 7 | 21.50 | 2.071 | 3.087 | 1.770 |
| Piso 6 | 18.50 | 1.769 | 2.637 | 1.464 |
| Piso 5 | 15.50 | 1.441 | 2.148 | 1.151 |
| Piso 4 | 12.50 | 1.100 | 1.640 | 0.844 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.759 | 1.132 | 0.556 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.438 | 0.654 | 0.304 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.168 | 0.251 | 0.111 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del Gráfico 54 se puede apreciar que al igual que para los desplazamientos en la dirección “X” una consecuencia del incremento de las fuerzas cortantes es el aumento de

los desplazamientos cuando se aplica las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2018 sobre el modelo M13. Además, en el Gráfico 55 se observa también que la mayor rigidez que se le otorgó al modelo M13 para obtener el modelo M23 de tal manera que las derivas cumplan con las máximas permitidas dadas por la Norma E.030 del 2018, permitió que los desplazamientos no incrementaran su valor.

Gráfico 54. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M13

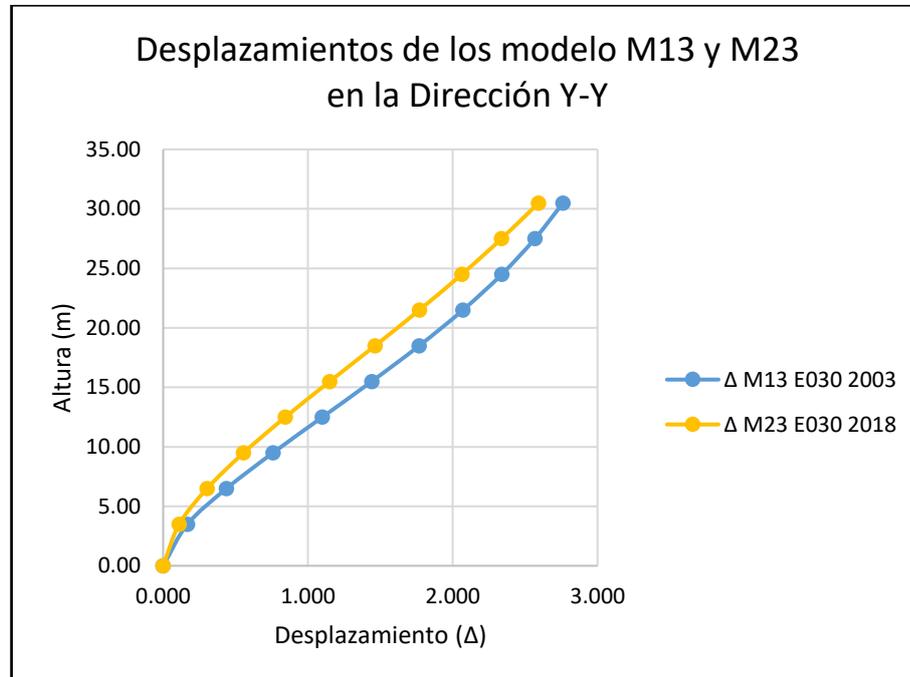


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 215 se calculó un incremento de desplazamiento de azotea de 49.09% del Modelo M13 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al mismo modelo bajo la Norma E.030 del 2003, y una reducción del desplazamiento de azotea de 6.12% del Modelo M23 bajo la Norma E.030 del 2018 con respecto al Modelo M13 bajo la Norma E030 del 2003. Los resultados de los desplazamientos de azotea afectarán directamente en el cálculo de la separación de edificios (s) dados en la Norma Sismorresistente E.030 correspondiente, sin embargo, en el sentido “Y” de análisis no afectará la colindancia, debido a que tanto en el frente como en el respaldo de la edificación existen espacios libres de otras estructuras. Y en general los valores de los desplazamientos de entrepiso

obtenidos del análisis matemático que se resumen en la Tabla 215 afectarán en el cálculo de las derivas presentadas en el ítem E.

Gráfico 55. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

E. VERIFICACIÓN DE LAS DERIVAS RESULTANTES

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

- En la dirección X-X

Las derivas máximas para el modelo M13 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y sexto piso respectivamente, y las derivas máximas para el modelo M23 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están en el sexto piso, tal como se observa en la Tabla 216.

En el Gráfico 57 y Tabla 216 se puede apreciar que ambos Modelos; M13 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M23 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 56 y Tabla 216 muestran la evaluación del Modelo M13 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior ya no es óptimo porque no cumple con la limitación de

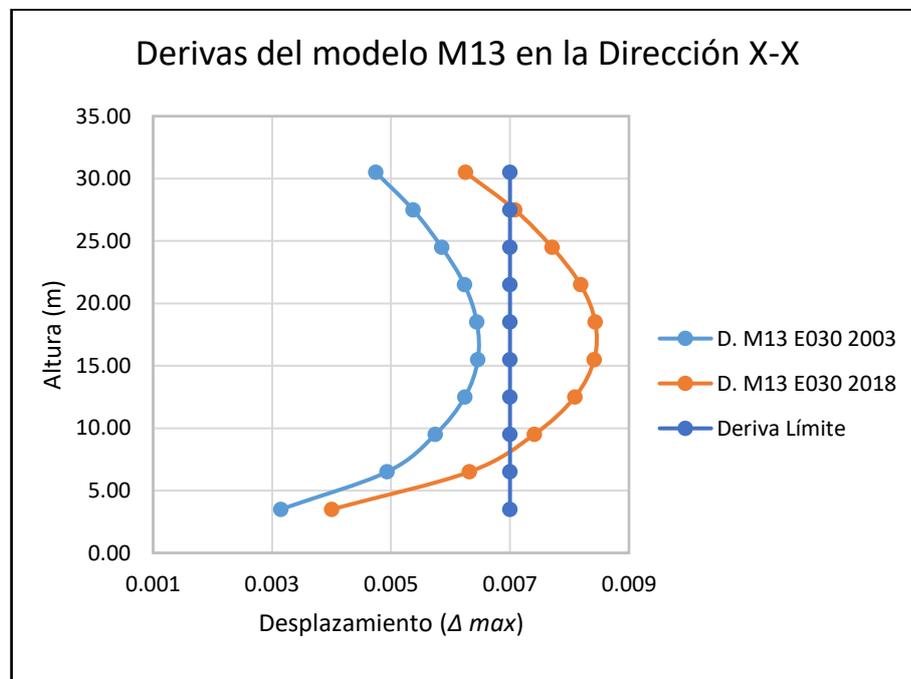
la norma vigente. Por lo que justifica la concepción del Modelo M23, es decir que cuenta con el área óptima de las secciones de los elementos verticales capaces de satisfacer el límite de derivas exigidas por la norma.

Tabla 216. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la dirección X de los modelos M13 y M23

| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.004743 | 0.006250 | 0.005342 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.005370 | 0.007080 | 0.005946 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.005850 | 0.007705 | 0.006396 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.006234 | 0.008187 | 0.006723 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.006443 | 0.008433 | 0.006867 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.006461 | 0.008416 | 0.006800 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.006242 | 0.008091 | 0.006485 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.005747 | 0.007408 | 0.005885 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.004934 | 0.006318 | 0.004970 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.003149 | 0.004005 | 0.002982 | 0.007 |

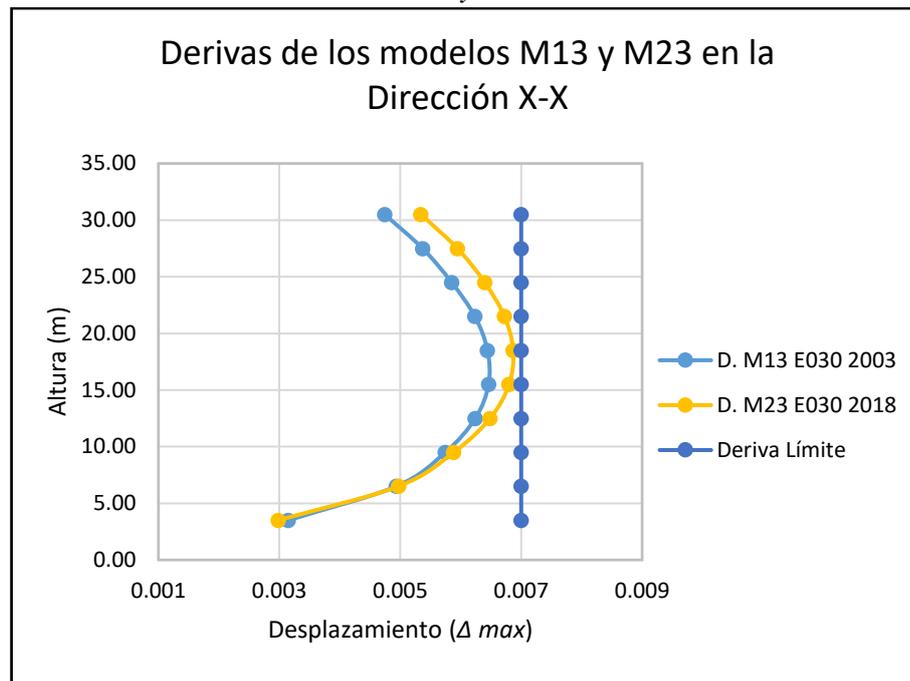
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 56. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X del modelo M13



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 57. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- En la dirección Y-Y

Tabla 217. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la dirección Y de los modelos M13 y M23

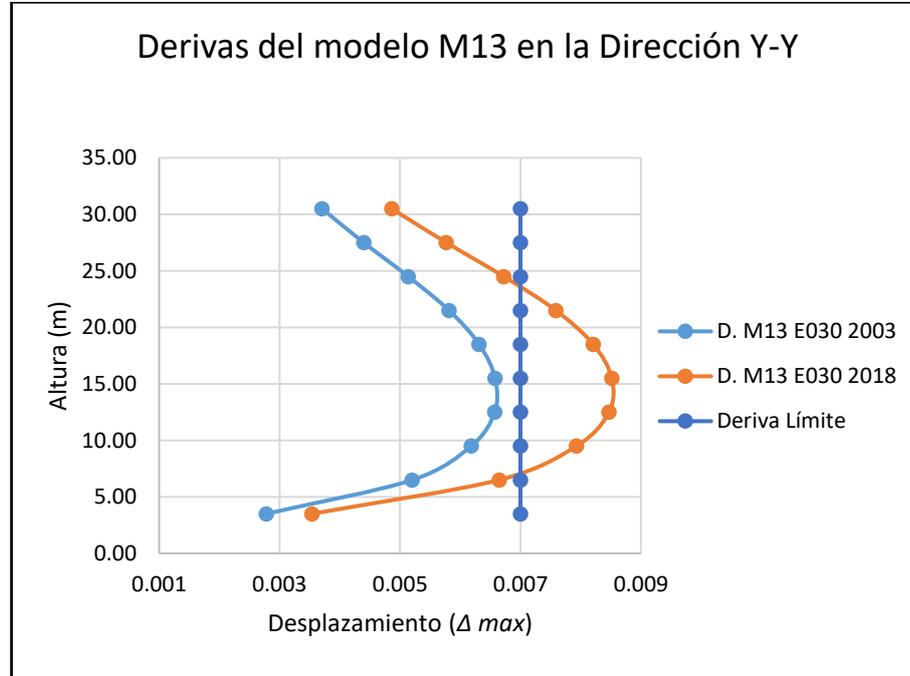
| Piso | Altura (m) | MODELO M11 | | MODELO M21 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.003706 | 0.004863 | 0.005006 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.004398 | 0.005769 | 0.005396 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.005136 | 0.006724 | 0.005763 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.005814 | 0.007589 | 0.006068 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.006315 | 0.008208 | 0.006215 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.006579 | 0.008517 | 0.006138 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.006573 | 0.008469 | 0.005780 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.006183 | 0.007932 | 0.005067 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.005204 | 0.006647 | 0.003912 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.002781 | 0.003538 | 0.001932 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las derivas máximas para el modelo M13 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo

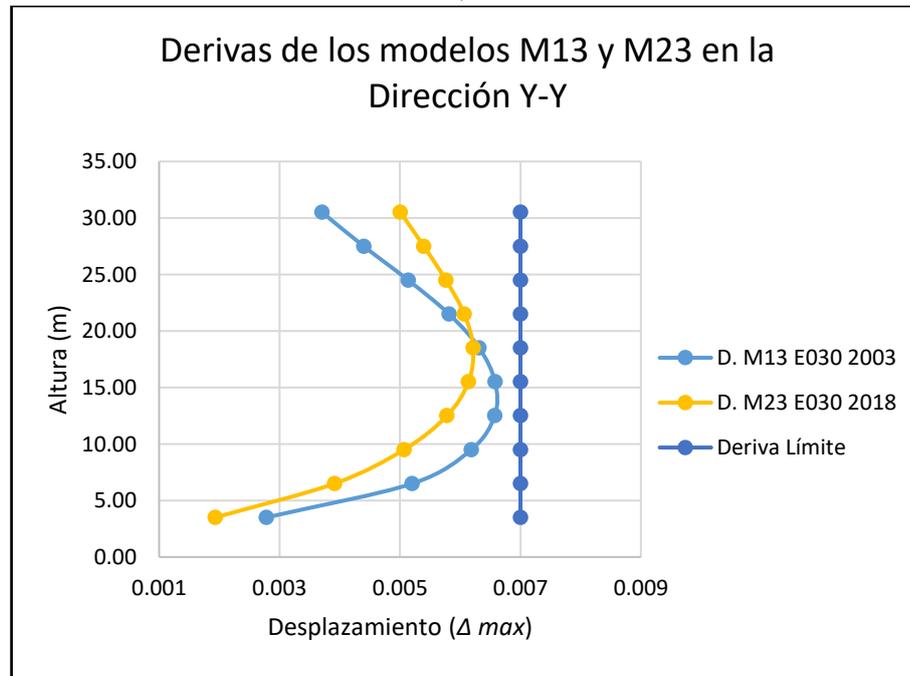
M23 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están en el sexto piso, tal como se observa en la Tabla 217.

Gráfico 58. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y del modelo M13



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 59. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 59 y Tabla 217 se puede apreciar que ambos Modelos; M13 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M23 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 58 y Tabla 217 muestran la evaluación del Modelo M13 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior es también óptimo en esta dirección de análisis “Y” a diferencia de la dirección “X”, porque cumple con la limitación de la norma vigente.

ii. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

- En la dirección X-X

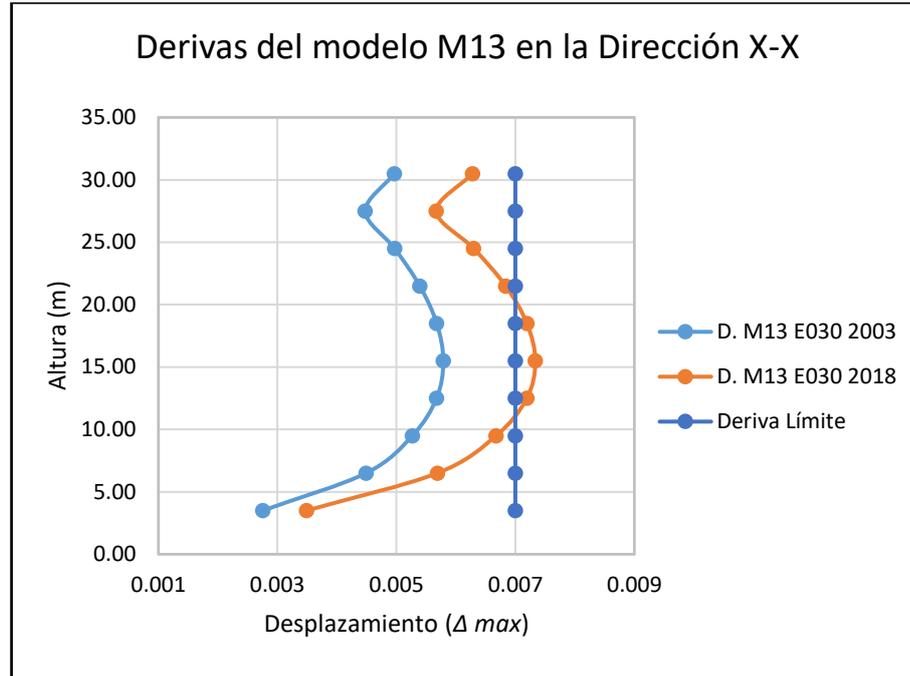
Tabla 218. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección X de los modelos M13 y M23

| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | MODELO M23 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.004965 | 0.006282 | 0.005967 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.004476 | 0.005672 | 0.006188 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.004971 | 0.006300 | 0.006371 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.005393 | 0.006837 | 0.006158 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.005678 | 0.007194 | 0.005633 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.005789 | 0.007336 | 0.005649 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.005676 | 0.007194 | 0.005445 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.005270 | 0.006678 | 0.004959 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.004491 | 0.005690 | 0.004133 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.002755 | 0.003493 | 0.002380 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

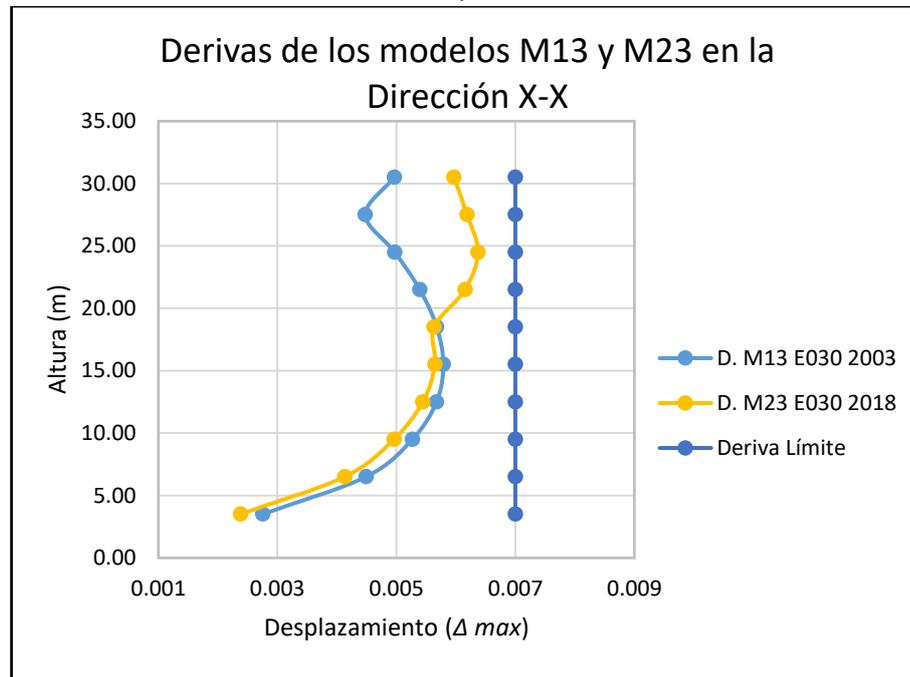
Las derivas máximas para el modelo M13 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo M23 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están también en el quinto piso, tal como se observa en la Tabla 218.

Gráfico 60. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X del modelo M13



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 61. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 61 y Tabla 218 se puede apreciar que ambos Modelos; M13 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M23 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 60 y Tabla 218 muestran la

evaluación del Modelo M13 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior ya no es óptimo porque no cumple con la limitación de la norma vigente. Por lo que justifica la concepción del Modelo M23, es decir que cuenta con el área óptima de las secciones de los elementos verticales capaces de satisfacer el límite de derivas exigidas por la norma. La consecuencia directa de la búsqueda de que los modelos cumplan con este límite, es la necesidad de mayores secciones tanto en dimensión y refuerzo de acero, las que se verán reflejadas en los posteriores análisis de cantidad de materiales y costos del área de estructuras, sin embargo el análisis dinámico espectral mostrará menos exigencia en el cumplimiento de este límite, debido a que los resultados de los desplazamientos del modelo matemático serán menores que los obtenidos por el análisis estático.

- En la dirección Y-Y

Tabla 219. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la dirección Y de los modelos M13 y M23

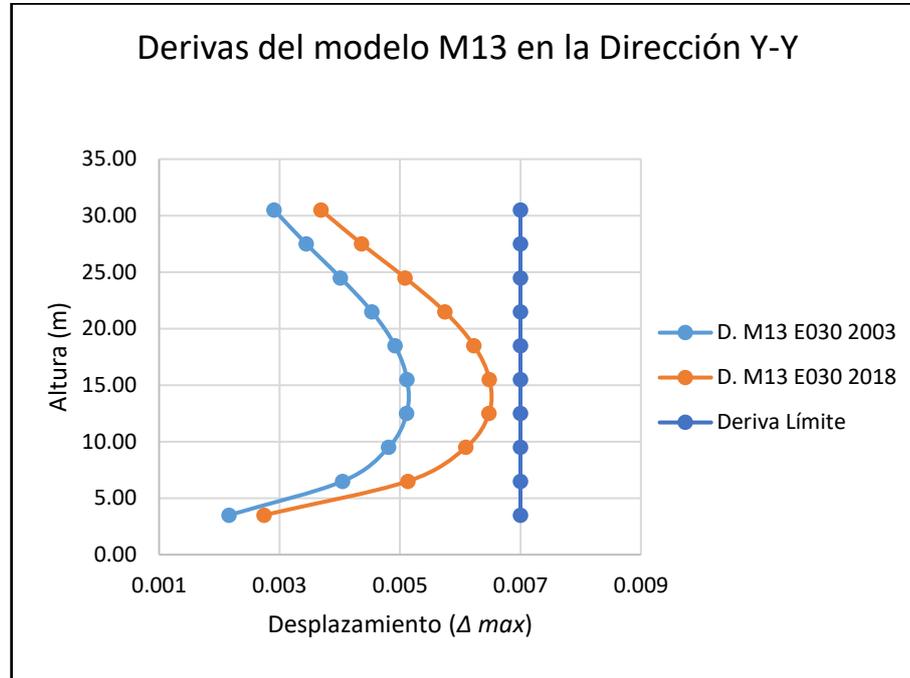
| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | MODELO M23 | Deriva Límite |
|---------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | Norma Sismorresistente E.030 del 2003 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | Norma Sismorresistente E.030 del 2018 | |
| | | Derivas | Derivas | Derivas | |
| Piso 10 | 30.50 | 0.002910 | 0.003687 | 0.003830 | 0.007 |
| Piso 9 | 27.50 | 0.003444 | 0.004364 | 0.004121 | 0.007 |
| Piso 8 | 24.50 | 0.004012 | 0.005085 | 0.004388 | 0.007 |
| Piso 7 | 21.50 | 0.004533 | 0.005744 | 0.004602 | 0.007 |
| Piso 6 | 18.50 | 0.004916 | 0.006228 | 0.004689 | 0.007 |
| Piso 5 | 15.50 | 0.005118 | 0.006486 | 0.004610 | 0.007 |
| Piso 4 | 12.50 | 0.005112 | 0.006478 | 0.004322 | 0.007 |
| Piso 3 | 9.50 | 0.004812 | 0.006096 | 0.003771 | 0.007 |
| Piso 2 | 6.50 | 0.004050 | 0.005132 | 0.002898 | 0.007 |
| Piso 1 | 3.50 | 0.002164 | 0.002743 | 0.001426 | 0.007 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las derivas máximas para el modelo M13 evaluado con la Norma E.030 del 2003 y la Norma E.030 del 2018 se dan en el quinto piso y las derivas máximas para el modelo

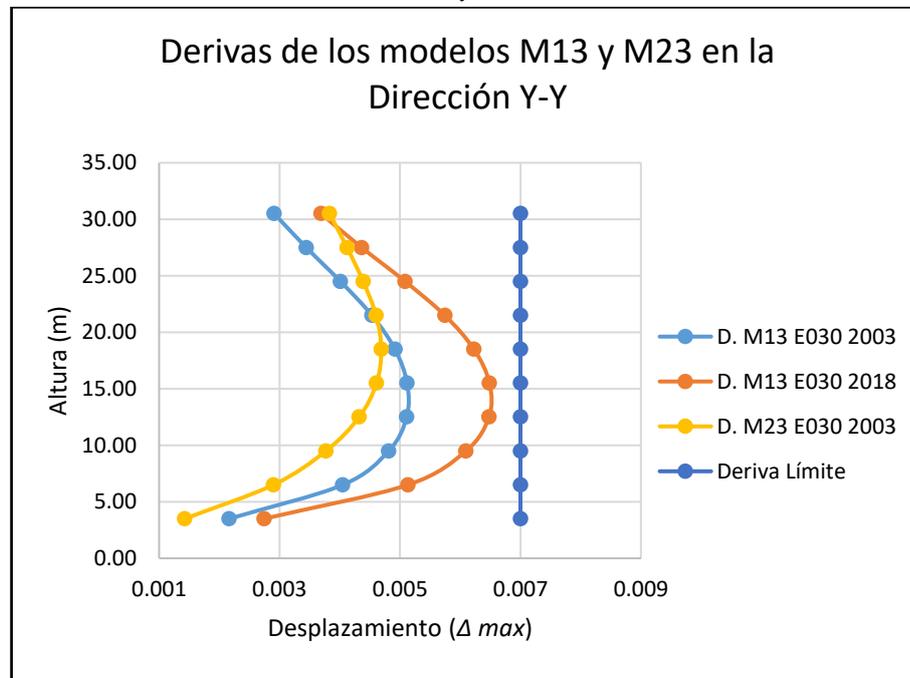
M23 evaluado con la Norma E.030 del 2018 están en el sexto piso, tal como se observa en la Tabla 219.

Gráfico 62. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y del modelo M13



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 63. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y de los modelos M13 y M23



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el Gráfico 63 y Tabla 219 se puede apreciar que ambos Modelos; M13 bajo la Norma E.030 del 2003 y el M23 bajo la Norma E.030 del 2018 cumplen con el límite de deriva máxima de la Norma E030. También el Gráfico 62 y Tabla 219 muestran la evaluación del Modelo M13 con la Norma E030-2018 en que se aprecia que el modelo planteado con la norma anterior es también óptimo en esta dirección de análisis “Y”, porque cumple con la limitación de la norma vigente.

4.2.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M31 Y M32)

Los Modelos M31 y M32 corresponden al Sistema Estructural de Muros Estructurales, los cuales presentan un determinado porcentaje de muros estructurales en la estructuración, de acuerdo a la Norma E030 para que tengan esta clasificación; además, para los propósitos de investigación, ambos modelos se diseñaron para la condición de base fija y en la condición de base aislada con aisladores de tipo LRB.

Se realiza la comparación de los resultados entre modelos, tomando en cuenta que el Modelo M31, es un modelo que cumple con las limitaciones de la Norma E.030-2003 y el Modelo M32 es un modelo que cumple las limitaciones de la Norma E.030-2018. Además, se realiza otra comparación de resultados de un mismo modelo, M31 o M32, en su condición de base fija y base aislada con aisladores de tipo LRB. Es importante señalar que los modelos M31 y M32 de base aislada, se diseñaron bajo la norma E.031 “Aislamiento Sísmico”.

A. ÁREA DE LAS SECCIONES OBTENIDAS

En este proyecto de investigación la adecuación de la estructuración produce una reducción del 3.84% con respecto a las secciones de las columnas y/o placas al aplicar la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y sus modificaciones al 2018 en los modelos M31 y M32 respectivamente, considerando además que, para el diseño del modelo de

base aislada de ambos modelos estudiados, se adoptó los parámetros dados la Norma E031 “Aislamiento Sísmico”.

Tabla 220. Variación de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas del modelo M32 con respecto al modelo M31

| MODELO M31 | | | | MODELO M32 | | | | Variación |
|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|-----------|
| Columna | Sección (cm) | N° de Columnas | Área Parcial (m ²) | Columna | Sección (cm) | N° de Columnas | Área Parcial (m ²) | |
| C1 | 40x40 | 8 | 1.28 | C1 | 40x40 | 10 | 1.28 | |
| C2 | 40x50 | 8 | 1.60 | C2 | 40x50 | 8 | 1.60 | |
| C3 | 50x70 | 16 | 5.60 | C3 | 50x70 | 16 | 5.60 | |
| C4 | 50x85 | 2 | 0.85 | C4 | 50x85 | 2 | 0.85 | |
| C5 | 50x50 | 2 | 0.50 | C5 | 50x60 | 2 | 0.50 | |
| PH | 45x320 | 2 | 2.88 | PH | 25x320 | 2 | 1.60 | |
| | 45x415 | 1 | 1.87 | | 25x435 | 1 | 1.09 | |
| P2 | 45x445 | 1 | 4.01 | P2 | 25x445 | 2 | 2.23 | |
| Total: | | | 18.58 | Total: | | | 14.74 | -3.84 |
| % | | | 100.00 | % | | | 79.34 | -20.66 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE

• FUERZA CORTANTE ESTÁTICA

Tabla 221. Variación del valor de la Fuerza Cortante Estática de Entrepiso del modelo M32 con respecto al modelo M31, ambos modelos con base aislada

| Piso | MODELO M31 | MODELO M32 | Variación | | MODELO M31 | MODELO M32 | Variación | | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|-------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | |
| Piso 10 | 90501.600 | 119525.150 | 29023.550 | 32.07 | 91766.850 | 169845.670 | 78078.820 | 85.084 | |
| Piso 9 | 201876.940 | 249605.010 | 47628.070 | 23.58 | 204800.680 | 393411.230 | 188610.550 | 92.095 | |
| Piso 8 | 301324.110 | 352198.640 | 50874.530 | 16.88 | 305536.770 | 582445.580 | 276908.810 | 90.630 | |
| Piso 7 | 389330.960 | 431435.480 | 42104.520 | 10.81 | 394774.000 | 743004.920 | 348230.920 | 88.210 | |
| Piso 6 | 463212.680 | 488209.460 | 24996.780 | 5.40 | 469688.610 | 875548.570 | 405859.960 | 86.410 | |
| Piso 5 | 527648.230 | 529489.610 | 1841.380 | 0.35 | 535025.010 | 987097.550 | 452072.540 | 84.496 | |
| Piso 4 | 580070.010 | 556430.650 | -23639.360 | -4.08 | 588179.670 | 1076064.950 | 487885.280 | 82.948 | |
| Piso 3 | 620842.510 | 572335.820 | -48506.690 | -7.81 | 629522.190 | 1142566.010 | 513043.820 | 81.497 | |
| Piso 2 | 649965.720 | 580190.120 | -69775.600 | -10.74 | 659052.550 | 1185714.370 | 526661.820 | 79.912 | |
| Piso 1 | 668014.310 | 582963.430 | -85050.880 | -12.73 | 677353.480 | 1206582.870 | 529229.390 | 78.132 | |
| | | | Promedio % | 5.37 | | | | Promedio % | 84.94 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El promedio de la variación porcentual los valores de las fuerzas cortantes del modelo M32 de base aislada con respecto al modelo M31 de base aislada también,

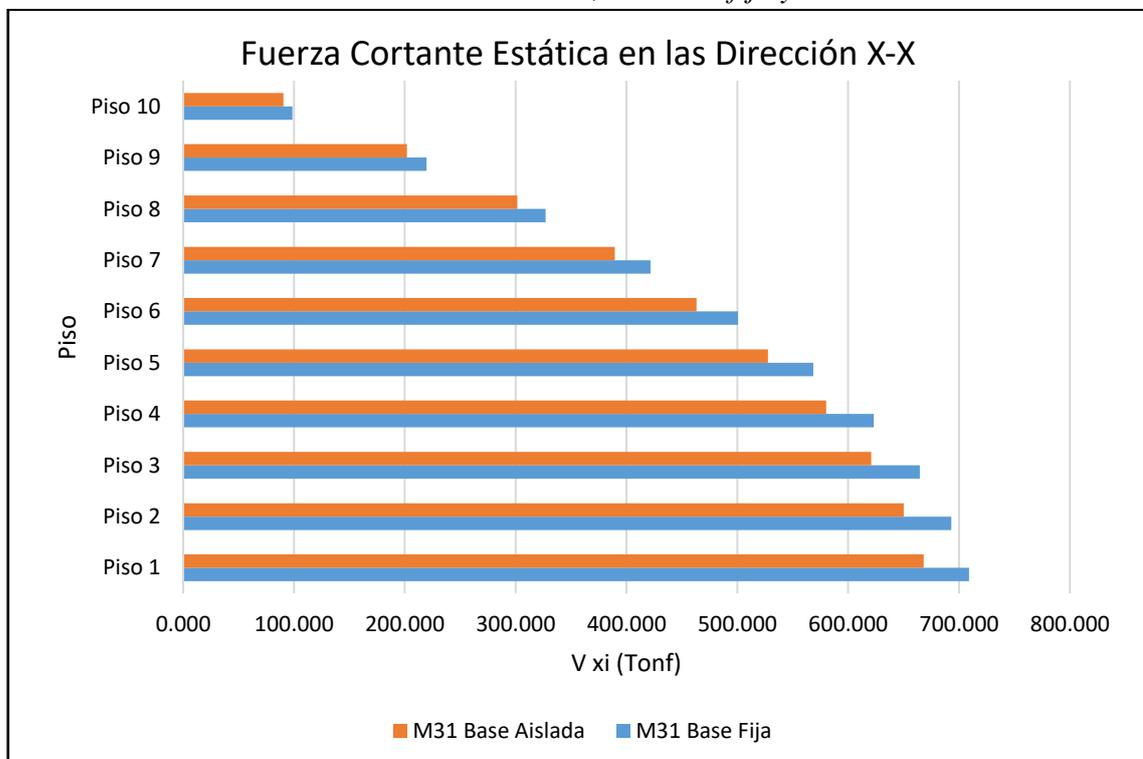
produce un aumento de 5.37% y 84.94% en la dirección X-X y Y-Y, tal como se muestra en la Tabla 221.

Tabla 222. Variación del valor de la Fuerza Cortante Estática de Entrepiso del modelo M31, con base fija y base aislada

| Piso | MODELO M11 | | | | | | | |
|---------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | M13 con Base Fija | M13 con Base Aislada | Variación | | M13 con Base Fija | M13 con Base Aislada | Variación | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ |
| Piso 10 | 98591.800 | 90501.600 | -8090.200 | -8.21 | 92201.590 | 91766.850 | -434.740 | -0.47 |
| Piso 9 | 219613.120 | 201876.940 | -17636.180 | -8.03 | 205378.940 | 204800.680 | -578.260 | -0.28 |
| Piso 8 | 327006.290 | 301324.110 | -25682.180 | -7.85 | 305811.440 | 305536.770 | -274.670 | -0.09 |
| Piso 7 | 421622.960 | 389330.960 | -32292.000 | -7.66 | 394295.550 | 394774.000 | 478.450 | 0.12 |
| Piso 6 | 500485.240 | 463212.680 | -37272.560 | -7.45 | 468046.390 | 469688.610 | 1642.220 | 0.35 |
| Piso 5 | 568588.610 | 527648.230 | -40940.380 | -7.20 | 531735.650 | 535025.010 | 3289.360 | 0.62 |
| Piso 4 | 623200.000 | 580070.010 | -43129.990 | -6.92 | 582807.410 | 588179.670 | 5372.260 | 0.92 |
| Piso 3 | 664704.660 | 620842.510 | -43862.150 | -6.60 | 621621.950 | 629522.190 | 7900.240 | 1.27 |
| Piso 2 | 693102.590 | 649965.720 | -43136.870 | -6.22 | 648179.270 | 659052.550 | 10873.280 | 1.68 |
| Piso 1 | 708896.660 | 668014.310 | -40882.350 | -5.77 | 662949.660 | 677353.480 | 14403.820 | 2.17 |
| | | | Promedio % | -7.19 | | | Promedio % | 0.63 |

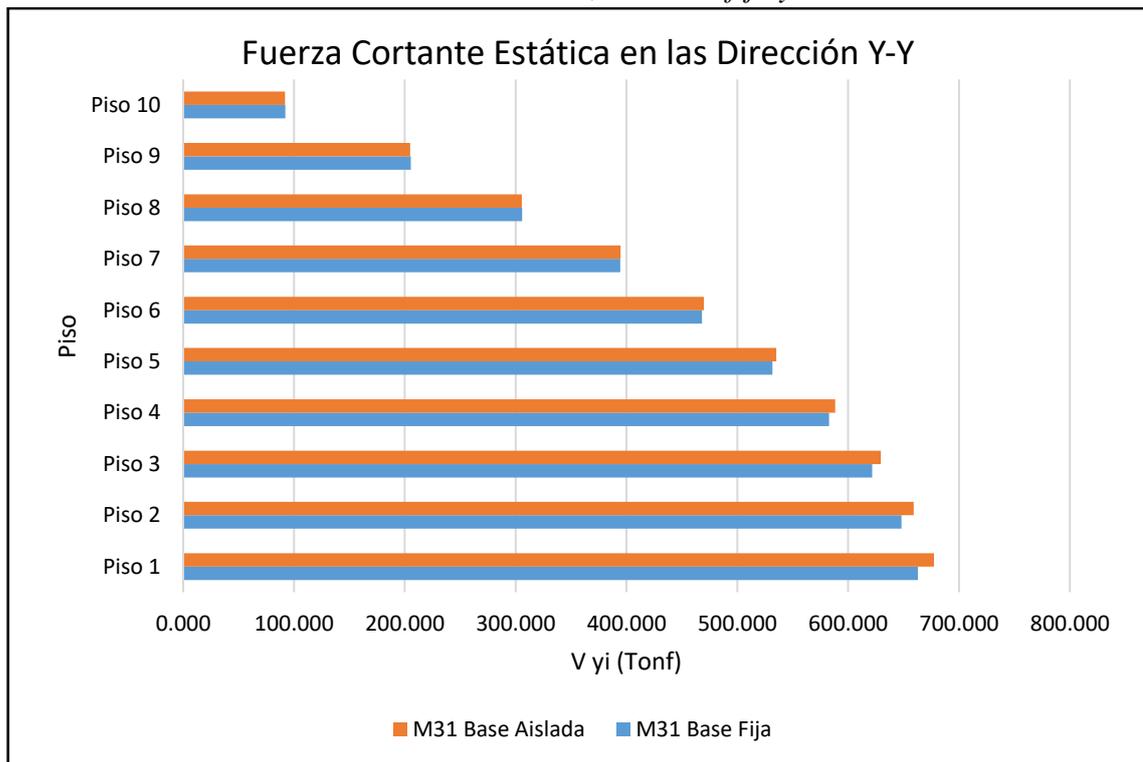
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 64. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M31, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 65. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M31, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

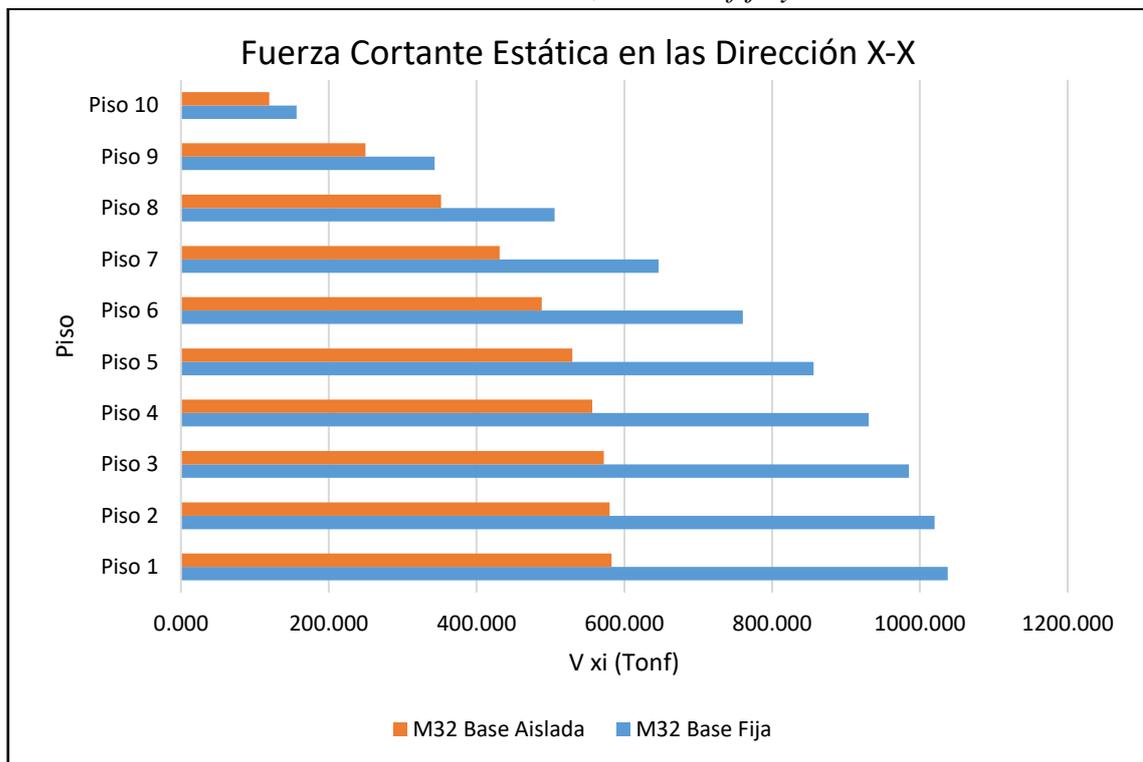
La aplicación del sistema de aisladores de base tipo LRB, sobre el Modelo M31 produce una reducción promedio porcentual aproximado de 7.19% y 0.63% en la dirección X-X y Y-Y de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2003 y cuando el modelo M31 tenía base fija, tal como se muestra en la Tabla 222 y los Gráficos 65 y 66. Teóricamente los valores de las fuerzas cortantes de un edificio aislado son menores que los valores de fuerzas cortantes del mismo edificio, pero de base fija. En la investigación se cumple con lo expuesto, sin embargo, la reducción es mínimo, debido a que el sistema estructural es de muros estructurales, y en los modelos de base fija optimiza la grandeza de los valores de fuerzas cortante.

Tabla 223. Variación del valor de la Fuerza Cortante Estática de Entrepiso del modelo M32, con base fija y base aislada

| Piso | MODELO M11 | | | | | | | |
|---------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | M13 con Base Fija | M13 con Base Aislada | Variación | | M13 con Base Fija | M13 con Base Aislada | Variación | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ |
| Piso 10 | 156648.330 | 119525.150 | -37123.180 | -23.70 | 161466.920 | 169845.670 | 8378.750 | 5.19 |
| Piso 9 | 343230.060 | 249605.010 | -93625.050 | -27.28 | 354037.480 | 393411.230 | 39373.750 | 11.12 |
| Piso 8 | 505826.840 | 352198.640 | -153628.200 | -30.37 | 522096.110 | 582445.580 | 60349.470 | 11.56 |
| Piso 7 | 646225.730 | 431435.480 | -214790.250 | -33.24 | 667448.720 | 743004.920 | 75556.200 | 11.32 |
| Piso 6 | 760382.320 | 488209.460 | -272172.860 | -35.79 | 785855.690 | 875548.570 | 89692.880 | 11.41 |
| Piso 5 | 856422.010 | 529489.610 | -326932.400 | -38.17 | 885692.140 | 987097.550 | 101405.410 | 11.45 |
| Piso 4 | 930884.640 | 556430.650 | -374453.990 | -40.23 | 963307.280 | 1076064.950 | 112757.670 | 11.71 |
| Piso 3 | 985113.510 | 572335.820 | -412777.690 | -41.90 | 1020026.580 | 1142566.010 | 122539.430 | 12.01 |
| Piso 2 | 1020092.650 | 580190.120 | -439902.530 | -43.12 | 1056786.350 | 1185714.370 | 128928.020 | 12.20 |
| Piso 1 | 1037724.270 | 582963.430 | -454760.840 | -43.82 | 1075459.700 | 1206582.870 | 131123.170 | 12.19 |
| | | | Promedio % | -35.16 | | | Promedio % | 11.02 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 66. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M32, con base fija y base aislada

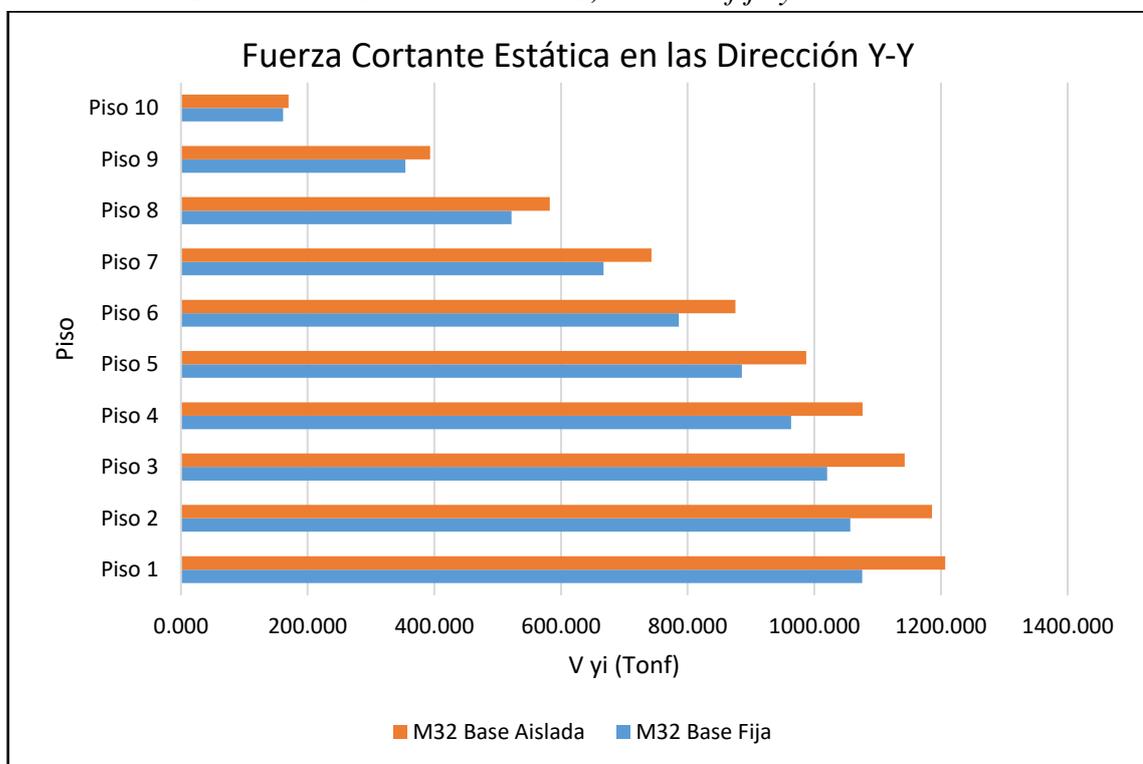


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La aplicación del sistema de aisladores de base tipo LRB, sobre el Modelo M32 produce una reducción promedio porcentual aproximado de 35.16% en la dirección X-X

y un incremento promedio porcentual de 11.02% en la dirección Y-Y de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2018 y cuando el modelo M32 tenía base fija, tal como se muestra en la Tabla 223 y los Gráficos 67 y 68. De los resultados se observa una reducción considerable de los valores de la fuerza cortante del modelo M32 de base aislada con respecto al mismo modelo pero de base fija en la dirección X-X, sin embargo en la dirección Y-Y contrariamente, existe un incremento.

Gráfico 67. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M32, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **FUERZA CORTANTE DINÁMICA**

La aplicación de la Norma E030 del año 2018, sobre el Modelo M11 produce un aumento promedio aproximado de 17.71% y 19.70% en la dirección X-X y Y-Y respectivamente, de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2003, tal como se muestra en la Tabla 224.

Tabla 224. Variación del valor de la Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso del modelo M32 con respecto al modelo M31, ambos modelos con base aislada

| Piso | MODELO M31 | MODELO M32 | Variación | | MODELO M31 | MODELO M32 | Variación | |
|---------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ |
| Piso 10 | 64322.480 | 57006.170 | -7316.310 | -11.37 | 79261.580 | 65825.540 | -13436.040 | -16.95 |
| Piso 9 | 146638.470 | 127144.080 | -19494.390 | -13.29 | 184710.370 | 151339.520 | -33370.850 | -18.07 |
| Piso 8 | 223530.890 | 190555.720 | -32975.170 | -14.75 | 287186.610 | 233441.450 | -53745.160 | -18.71 |
| Piso 7 | 296000.610 | 248095.140 | -47905.470 | -16.18 | 387487.240 | 312802.630 | -74684.610 | -19.27 |
| Piso 6 | 362188.790 | 298498.290 | -63690.500 | -17.58 | 482236.850 | 386777.840 | -95459.010 | -19.80 |
| Piso 5 | 427032.930 | 346196.790 | -80836.140 | -18.93 | 577643.220 | 460666.500 | -116976.720 | -20.25 |
| Piso 4 | 489068.270 | 390723.200 | -98345.070 | -20.11 | 670578.820 | 532217.320 | -138361.500 | -20.63 |
| Piso 3 | 549594.330 | 433876.780 | -115717.550 | -21.06 | 761910.340 | 602432.900 | -159477.440 | -20.93 |
| Piso 2 | 609515.320 | 477130.080 | -132385.240 | -21.72 | 851959.360 | 671848.010 | -180111.350 | -21.14 |
| Piso 1 | 671644.770 | 523122.850 | -148521.920 | -22.11 | 943958.510 | 743039.030 | -200919.480 | -21.28 |
| | | | Promedio % | -17.71 | | | Promedio % | -19.70 |

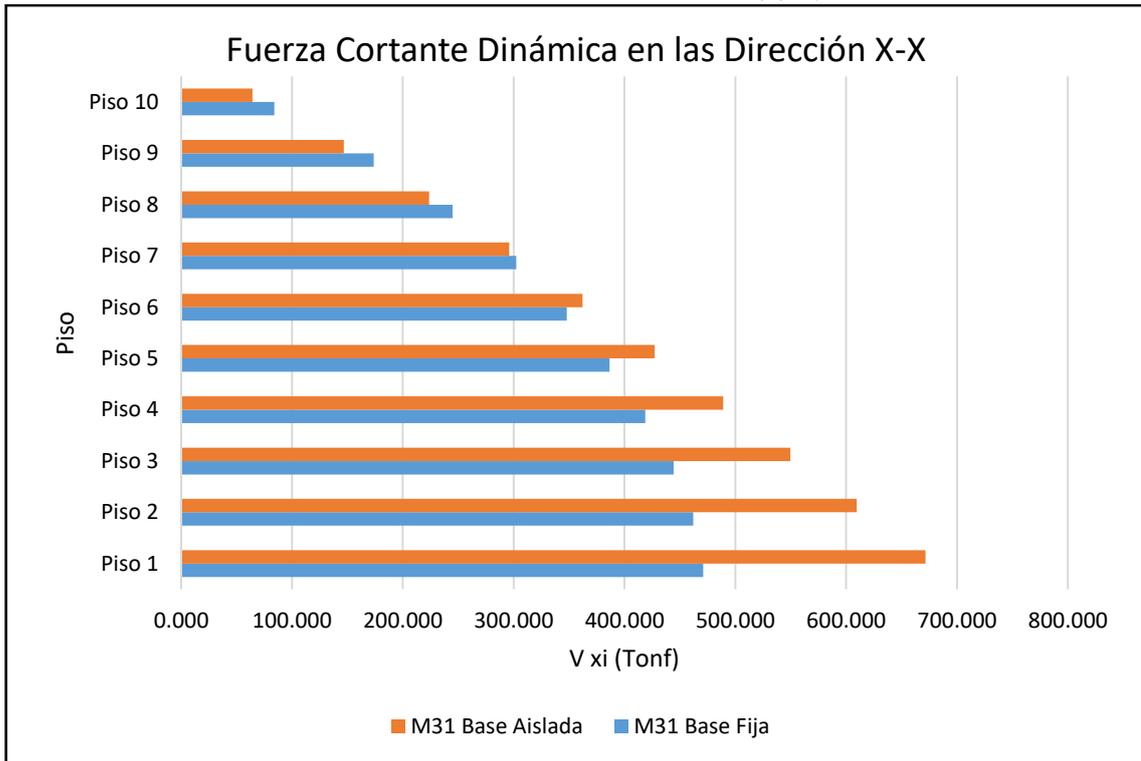
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 225. Variación del valor de la Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso del modelo M31, con base fija y base aislada

| Piso | MODELO M11 | | | | | | | |
|---------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | M13 con Base Fija | M13 con Base Aislada | Variación | | M13 con Base Fija | M13 con Base Aislada | Variación | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ |
| Piso 10 | 84123.110 | 64322.480 | -19800.630 | -23.54 | 98622.630 | 79261.580 | -19361.050 | -19.63 |
| Piso 9 | 173781.020 | 146638.470 | -27142.550 | -15.62 | 205139.440 | 184710.370 | -20429.070 | -9.96 |
| Piso 8 | 244724.700 | 223530.890 | -21193.810 | -8.66 | 293303.600 | 287186.610 | -6116.990 | -2.09 |
| Piso 7 | 302470.310 | 296000.610 | -6469.700 | -2.14 | 368019.660 | 387487.240 | 19467.580 | 5.29 |
| Piso 6 | 347893.860 | 362188.790 | 14294.930 | 4.11 | 429299.630 | 482236.850 | 52937.220 | 12.33 |
| Piso 5 | 386618.990 | 427032.930 | 40413.940 | 10.45 | 482592.800 | 577643.220 | 95050.420 | 19.70 |
| Piso 4 | 418703.820 | 489068.270 | 70364.450 | 16.81 | 526367.510 | 670578.820 | 144211.310 | 27.40 |
| Piso 3 | 444203.540 | 549594.330 | 105390.790 | 23.73 | 560356.390 | 761910.340 | 201553.950 | 35.97 |
| Piso 2 | 461843.400 | 609515.320 | 147671.920 | 31.97 | 583407.700 | 851959.360 | 268551.660 | 46.03 |
| Piso 1 | 471052.160 | 671644.770 | 200592.610 | 42.58 | 594872.490 | 943958.510 | 349086.020 | 58.68 |
| | | | Promedio % | -7.19 | | | Promedio % | 17.37 |

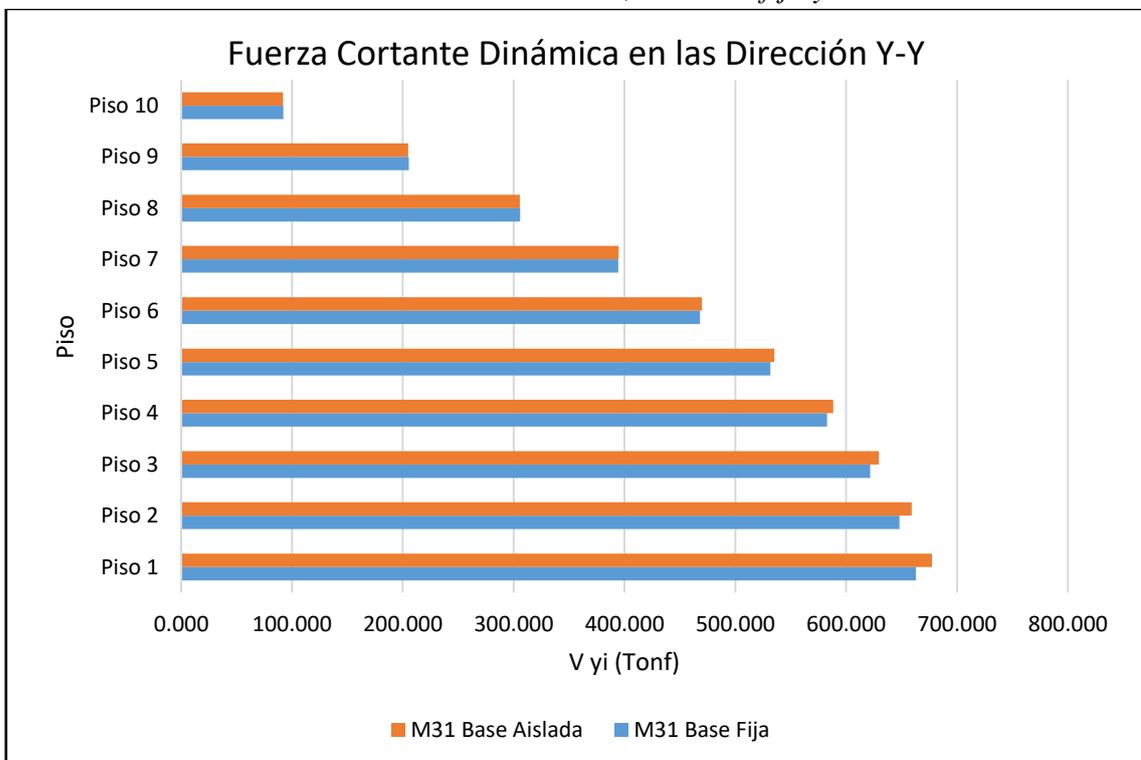
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 68. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M31, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 69. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M31, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La aplicación del sistema de aisladores de base tipo LRB, sobre el Modelo M31 produce una reducción promedio porcentual aproximado de 7.19% en la dirección X-X y un incremento promedio porcentual de 17.37% en la dirección Y-Y de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2018 y cuando el modelo M31 tenía base fija, tal como se muestra en la Tabla 225 y los Gráficos 69 y 70. De los resultados se observa una reducción mínima de los valores de la fuerza cortante del modelo M31 de base aislada con respecto al mismo modelo pero de base fija en la dirección X-X, sin embargo en la dirección Y-Y contrariamente, existe un incremento.

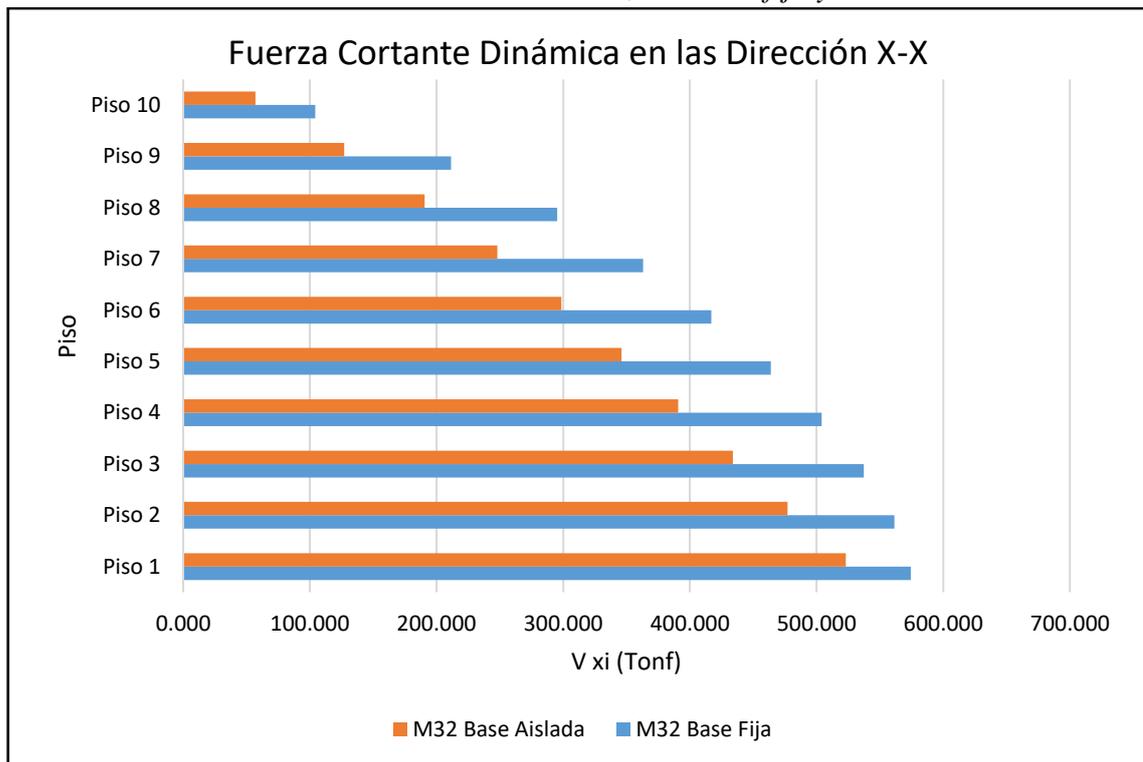
Tabla 226. Variación del valor de la Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso del modelo M32, con base fija y base aislada

| Piso | MODELO M32 | | | | | | | |
|---------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | M32 con Base Fija | M32 con Base Aislada | Variación | | M32 con Base Fija | M32 con Base Aislada | Variación | |
| | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $\Delta V_{xi}(kgf)$ | $V_{xi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $\Delta V_{yi}(kgf)$ | $V_{yi}(kgf)$ |
| Piso 10 | 104322.970 | 57006.170 | -47316.800 | -45.36 | 138005.790 | 65825.540 | -72180.250 | -52.30 |
| Piso 9 | 211532.120 | 127144.080 | -84388.040 | -39.89 | 288183.890 | 151339.520 | -136844.370 | -47.49 |
| Piso 8 | 295193.380 | 190555.720 | -104637.660 | -35.45 | 413227.640 | 233441.450 | -179786.190 | -43.51 |
| Piso 7 | 363055.650 | 248095.140 | -114960.510 | -31.66 | 519615.620 | 312802.630 | -206812.990 | -39.80 |
| Piso 6 | 416917.450 | 298498.290 | -118419.160 | -28.40 | 607031.070 | 386777.840 | -220253.230 | -36.28 |
| Piso 5 | 463914.740 | 346196.790 | -117717.950 | -25.37 | 683495.290 | 460666.500 | -222828.790 | -32.60 |
| Piso 4 | 504157.270 | 390723.200 | -113434.070 | -22.50 | 746769.290 | 532217.320 | -214551.970 | -28.73 |
| Piso 3 | 537362.570 | 433876.780 | -103485.790 | -19.26 | 796540.160 | 602432.900 | -194107.260 | -24.37 |
| Piso 2 | 561373.500 | 477130.080 | -84243.420 | -15.01 | 831034.440 | 671848.010 | -159186.430 | -19.16 |
| Piso 1 | 574464.040 | 523122.850 | -51341.190 | -8.94 | 848861.720 | 743039.030 | -105822.690 | -12.47 |
| | | | Promedio % | -27.18 | | | Promedio % | -33.67 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

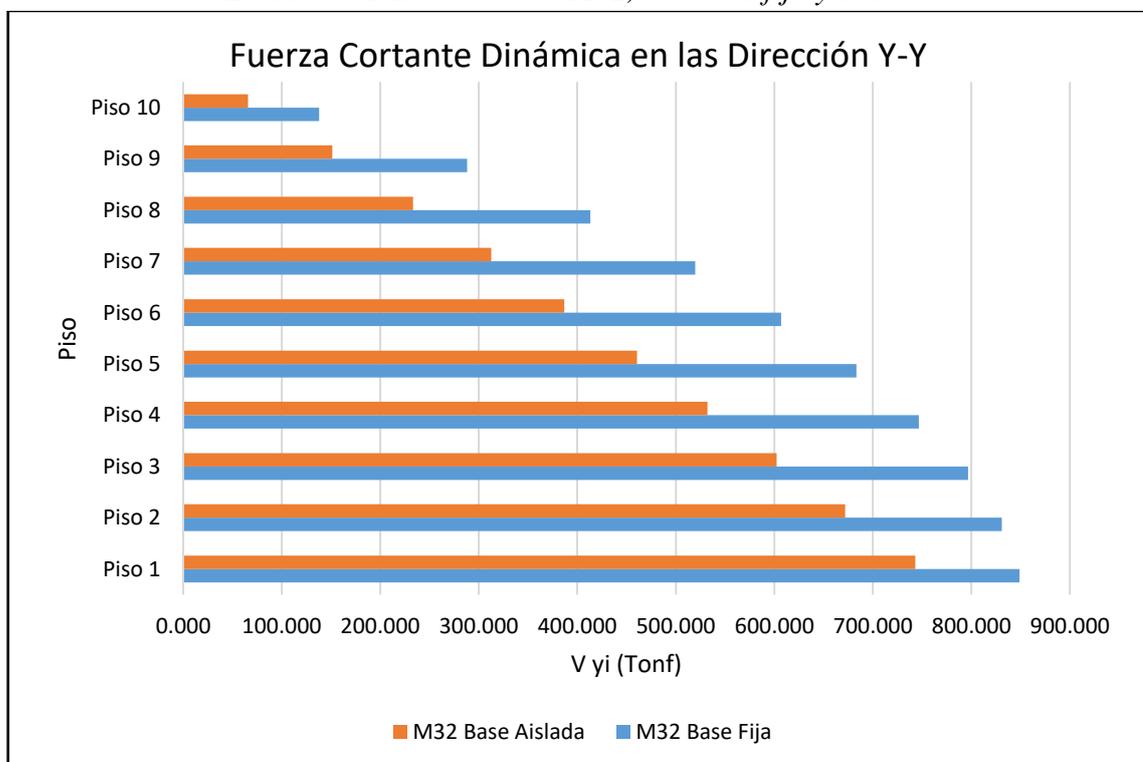
La aplicación del sistema de aisladores de base tipo LRB, sobre el Modelo M31 produce una reducción promedio porcentual aproximado de 27.18% y 33.67% en la dirección X-X y Y-Y de las fuerzas horizontales calculadas con respecto a las fuerzas horizontales obtenidas cuando se aplicó la Norma E030 del año 2003 y cuando el modelo M31 tenía base fija, tal como se muestra en la Tabla 226 y los Gráficos 71 y 72.

Gráfico 70. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección X-X del modelo M32, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 71. Comparación de los resultados de Fuerza Cortante Dinámica de Entrepiso en la Dirección Y-Y del modelo M32, con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Teóricamente los valores de las fuerzas cortantes de un edificio aislado son menores que los valores de fuerzas cortantes del mismo edificio, pero de base fija. En la investigación se cumple con lo expuesto, sin embargo, la reducción es mínimo, debido a que el sistema estructural es de muros estructurales, y en los modelos de base fija optimiza la grandeza de los valores de fuerzas cortante.

C. DESPLAZAMIENTOS

i. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático

Tabla 227. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático del modelo M31

| Piso | Altura (m) | MODELO M31 | | | |
|----------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | |
| | | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 31.30 | 2.851 | 27.234 | 3.057 | 23.197 |
| Piso 9 | 28.30 | 2.600 | 26.692 | 2.827 | 22.916 |
| Piso 8 | 25.30 | 2.318 | 26.141 | 2.561 | 22.597 |
| Piso 7 | 22.30 | 2.013 | 25.583 | 2.257 | 22.236 |
| Piso 6 | 19.30 | 1.691 | 25.017 | 1.918 | 21.835 |
| Piso 5 | 16.30 | 1.359 | 24.448 | 1.554 | 21.401 |
| Piso 4 | 13.30 | 1.029 | 23.882 | 1.180 | 20.943 |
| Piso 3 | 10.30 | 0.711 | 23.325 | 0.809 | 20.473 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.422 | 22.788 | 0.464 | 20.004 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.177 | 22.280 | 0.178 | 19.552 |
| Aislador | 0.80 | | 21.742 | | 19.095 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 227 y Gráficos 73 y 74 se observa que los desplazamientos de azotea en el modelo M31 de base fija, en las direcciones X y Y, son 2.851 y 3.057 cm respectivamente. Por otro lado, en el Gráfico 73 y Gráfico 74, se aprecia que en el modelo M31 de base aislada, en el nivel de aislador se produce un desplazamiento abrupto de 21.742 y 19.095 cm en las direcciones X y Y respectivamente, produciendo que el diagrama de desplazamiento de la estructura se desplace hacia la derecha. Al calcular los desplazamientos de azotea del modelo M31 de base aislada se obtiene, 5.492 y 4.102 cm, valores correspondientes a las direcciones X y Y. Se debe indicar que los valores

obtenidos de los desplazamientos relativos en el análisis estático mediante el modelo matemático, tanto para el modelo M31 de base fija y modelo M31 de base aislada, nos muestra mayores valores de desplazamiento para este último, sin embargo se debe tomar en cuenta que estos resultados son desplazamientos inelásticos calculados para modelos diseñados con diferentes ductilidades, es decir, con diferentes valores de reducción; en el modelo de base fija se le afectó al coeficiente basal con un factor de reducción $R=6$ y al modelo de base aislada con un $R=2$. Para el cálculo de las variaciones de los desplazamientos de azotea, se utilizó los desplazamientos elásticos, sin la afectación de algún factor de reducción, obteniendo una reducción del valor del desplazamiento de azotea de 35.79% en la dirección X, y una reducción de 55.27% en la dirección Y.

Tabla 228. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático del modelo M32

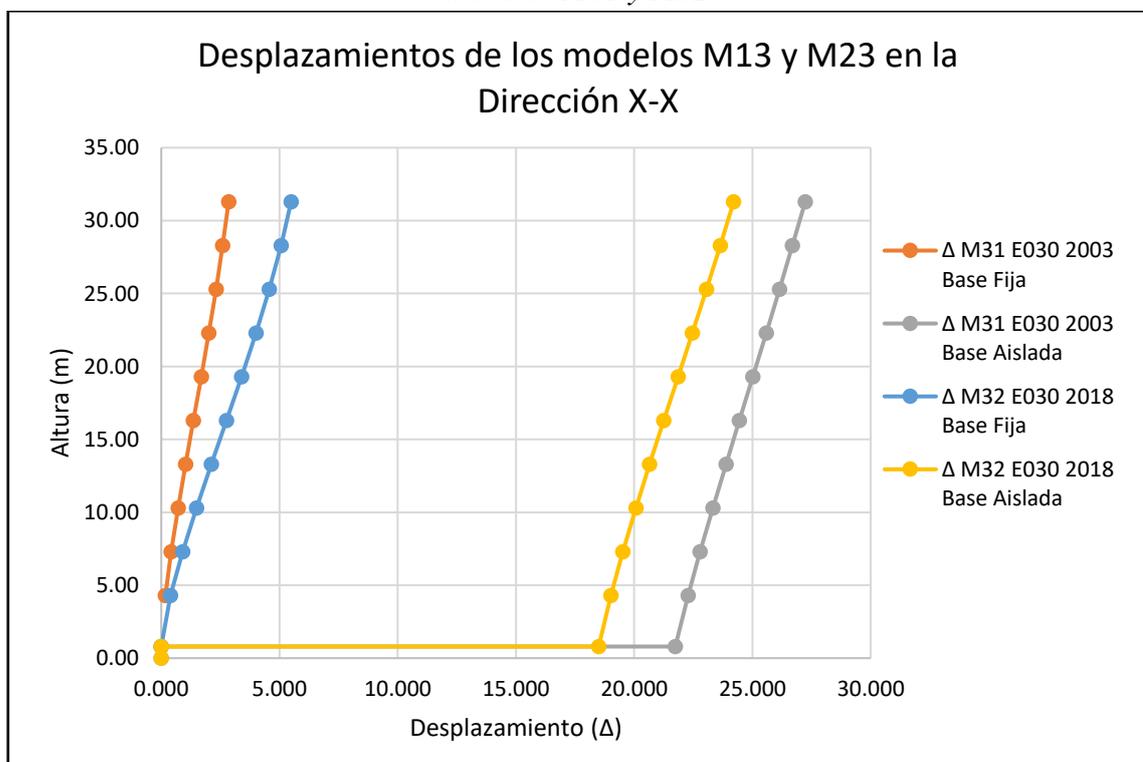
| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | | |
|----------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | |
| | | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 31.30 | 5.493 | 24.205 | 5.450 | 21.509 |
| Piso 9 | 28.30 | 5.065 | 23.637 | 5.073 | 21.206 |
| Piso 8 | 25.30 | 4.564 | 23.054 | 4.619 | 20.850 |
| Piso 7 | 22.30 | 4.004 | 22.460 | 4.092 | 20.446 |
| Piso 6 | 19.30 | 3.398 | 21.857 | 3.497 | 20.000 |
| Piso 5 | 16.30 | 2.763 | 21.252 | 2.855 | 19.525 |
| Piso 4 | 13.30 | 2.119 | 20.655 | 2.189 | 19.036 |
| Piso 3 | 10.30 | 1.490 | 20.076 | 1.526 | 18.545 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.903 | 19.526 | 0.901 | 18.066 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.390 | 19.018 | 0.366 | 17.613 |
| Aislador | 0.80 | | 18.500 | | 17.169 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 228 y Gráficos 73 y 74 se observa que los desplazamientos de azotea en el modelo M32 de base fija, en las direcciones X y Y, son 5.493 y 5.450 cm respectivamente. Por otro lado, en el Gráfico 73 y Gráfico 74, se aprecia que en el modelo M32 de base aislada, en el nivel de aislador se produce un desplazamiento abrupto de 18.500 y 17.169 cm en las direcciones X y Y respectivamente, produciendo que el

diagrama de desplazamiento de la estructura se desplace hacia la derecha. Al calcular los desplazamientos relativos de azotea del modelo M32 de base aislada se obtiene, 5.705 y 4.340 cm, valores correspondientes a las direcciones X y Y. Los valores obtenidos de los desplazamientos relativos en el análisis estático mediante el modelo matemático, tanto para el modelo M32 de base fija y modelo M32 de base aislada, nos muestra mayores valores de desplazamiento para este último en la dirección X y menores desplazamientos en la dirección Y, sin embargo estos resultados nos muestran los desplazamientos inelásticos calculados con diferentes ductilidades, es decir los modelos se diseñaron con diferentes valores de reducción “R”, $R=6$ para el modelo de base fija y $R=2$ para el modelo de base aislada. Para el cálculo de la variación de desplazamientos de azotea, al igual que para el modelo M31 se comparó los desplazamientos elásticos, sin la afectación de algún factor de reducción, obteniendo una reducción del valor del desplazamiento de azotea de 65.38% en la dirección X, y una reducción de 73.46% en la dirección Y.

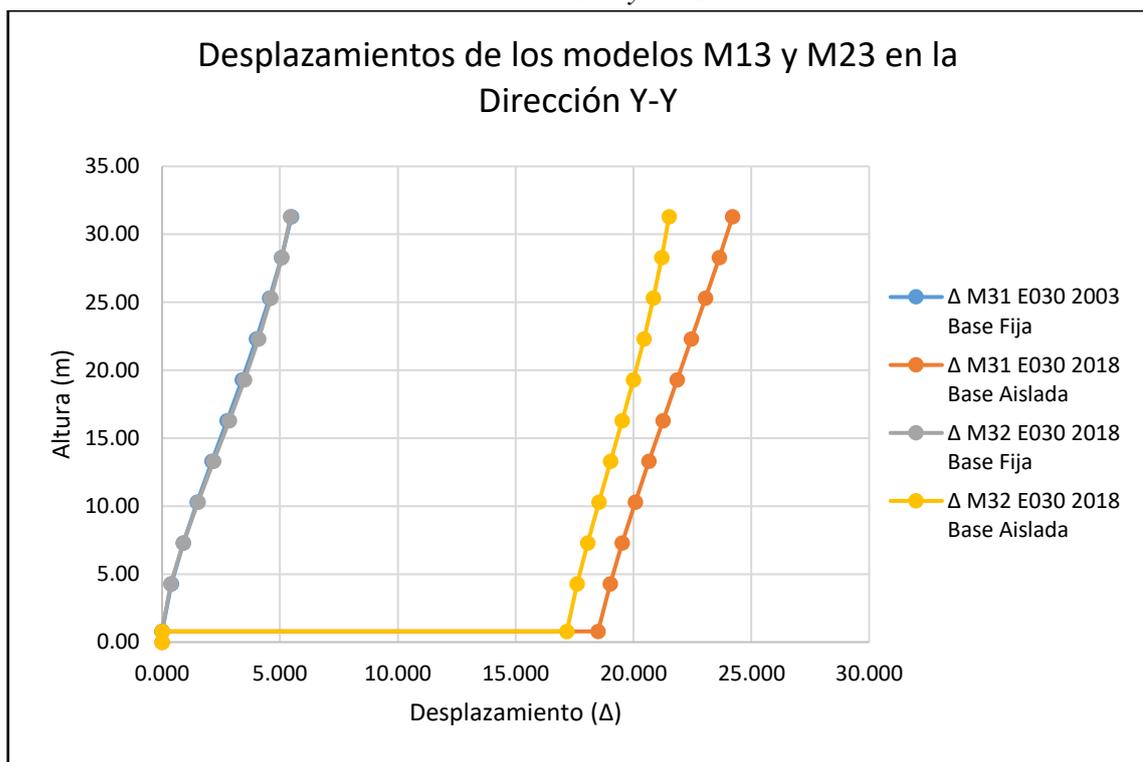
Gráfico 72. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De las Tablas 227 y 228 y Gráficos 73 y 74 si comparamos los modelos M31 y M32, ambos de base aislada, se observa que en la dirección X, los mayores desplazamientos a nivel del aislador, se da en el modelo M31, y en la dirección Y se da en el modelo M32. Y si comparamos los desplazamientos de azotea, se observa que los resultados del modelo M31 de base aislada, son mayores en ambos sentidos de análisis.

Gráfico 73. Desplazamientos obtenidos del Análisis Estático en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico

De la Tabla 229 y Gráficos 75 y 76 se observa que los desplazamientos de azotea en el modelo M31 de base fija, en las direcciones X y Y, son 3.157 y 2.756 cm respectivamente. Por otro lado, en el Gráfico 75 y Gráfico 76, se aprecia que en el modelo M31 de base aislada, en el nivel de aislador se produce un desplazamiento abrupto de 35.839 y 29.425 cm en las direcciones X y Y respectivamente, produciendo que el diagrama de desplazamiento de la estructura se desplace hacia la derecha. Al calcular los desplazamientos relativos de azotea del modelo M31 de base aislada se obtiene, 6.573 y

4.640 cm, valores correspondientes a las direcciones X y Y. Se debe indicar que los valores obtenidos de los desplazamientos relativos inelásticos en el análisis dinámico mediante el modelo matemático, tanto para el modelo M31 de base fija y modelo M31 de base aislada, nos muestra mayores valores de desplazamiento para este último. Para el cálculo de las variaciones de los desplazamientos elástico de azotea, se utilizó los desplazamientos elásticos, sin la afectación de algún factor de reducción, obteniendo una reducción del valor del desplazamiento de azotea de 30.60% en la dirección X, y una reducción de 43.88% en la dirección Y.

Tabla 229. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico del modelo M31

| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | | |
|----------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | |
| | | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 31.30 | 3.157 | 42.412 | 2.756 | 34.065 |
| Piso 9 | 28.30 | 2.796 | 41.835 | 2.547 | 33.776 |
| Piso 8 | 25.30 | 2.423 | 41.239 | 2.305 | 33.448 |
| Piso 7 | 22.30 | 2.041 | 40.620 | 2.029 | 33.075 |
| Piso 6 | 19.30 | 1.656 | 39.976 | 1.723 | 32.653 |
| Piso 5 | 16.30 | 1.322 | 39.308 | 1.396 | 32.185 |
| Piso 4 | 13.30 | 0.999 | 38.621 | 1.059 | 31.676 |
| Piso 3 | 10.30 | 0.687 | 37.925 | 0.726 | 31.135 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.401 | 37.233 | 0.417 | 30.575 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.164 | 36.561 | 0.160 | 30.014 |
| Aislador | 0.80 | | 35.839 | | 29.425 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 230 y Gráficos 75 y 76 se observa que los desplazamientos de azotea en el modelo M32 de base fija, en las direcciones X y Y, son 4.890 y 4.163 cm respectivamente. Por otro lado, en el Gráfico 75 y Gráfico 76, se aprecia que en el modelo M32 de base aislada, en el nivel de aislador se produce un desplazamiento abrupto de 27.532 y 23.253 cm en las direcciones X y Y respectivamente, produciendo que el diagrama de desplazamiento de la estructura se desplace hacia la derecha. Al calcular los desplazamientos de azotea del modelo M32 de base aislada se obtiene, 5.301 y 3.759 cm,

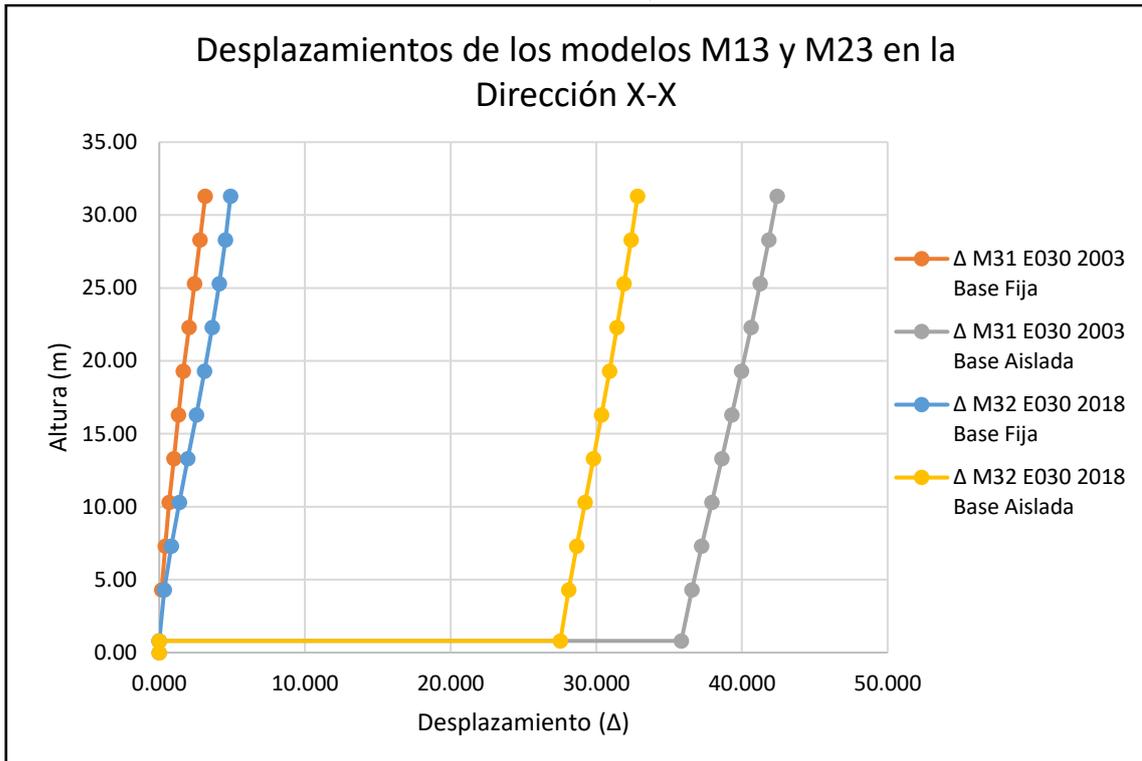
valores correspondientes a las direcciones X y Y. Los valores obtenidos de los desplazamientos en análisis dinámico espectral mediante el modelo matemático, tanto para el modelo M32 de base fija y modelo M32 de base aislada, nos muestra mayores valores de desplazamiento inelástico de azotea para el modelo de base aislada en la dirección X y menores desplazamientos inelásticos en la dirección Y. En el cálculo de la variación de desplazamientos elástico de azotea, se obtuvo una reducción del valor del desplazamiento de azotea de 63.87% en la dirección X, y una reducción de 69.90% en la dirección Y.

Tabla 230. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico del modelo M32

| Piso | Altura (m) | MODELO M13 | | | |
|----------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | |
| | | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada |
| | | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) | Desplazamiento (cm) |
| Piso 10 | 31.30 | 4.890 | 32.833 | 4.163 | 27.012 |
| Piso 9 | 28.30 | 4.538 | 32.385 | 3.876 | 26.794 |
| Piso 8 | 25.30 | 4.117 | 31.916 | 3.533 | 26.539 |
| Piso 7 | 22.30 | 3.639 | 31.423 | 3.134 | 26.244 |
| Piso 6 | 19.30 | 3.111 | 30.904 | 2.684 | 25.905 |
| Piso 5 | 16.30 | 2.546 | 30.360 | 2.197 | 25.526 |
| Piso 4 | 13.30 | 1.962 | 29.798 | 1.690 | 25.111 |
| Piso 3 | 10.30 | 1.381 | 29.226 | 1.182 | 24.667 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.832 | 28.657 | 0.700 | 24.205 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.355 | 28.109 | 0.286 | 23.738 |
| Aislador | 0.80 | | 27.532 | | 23.253 |

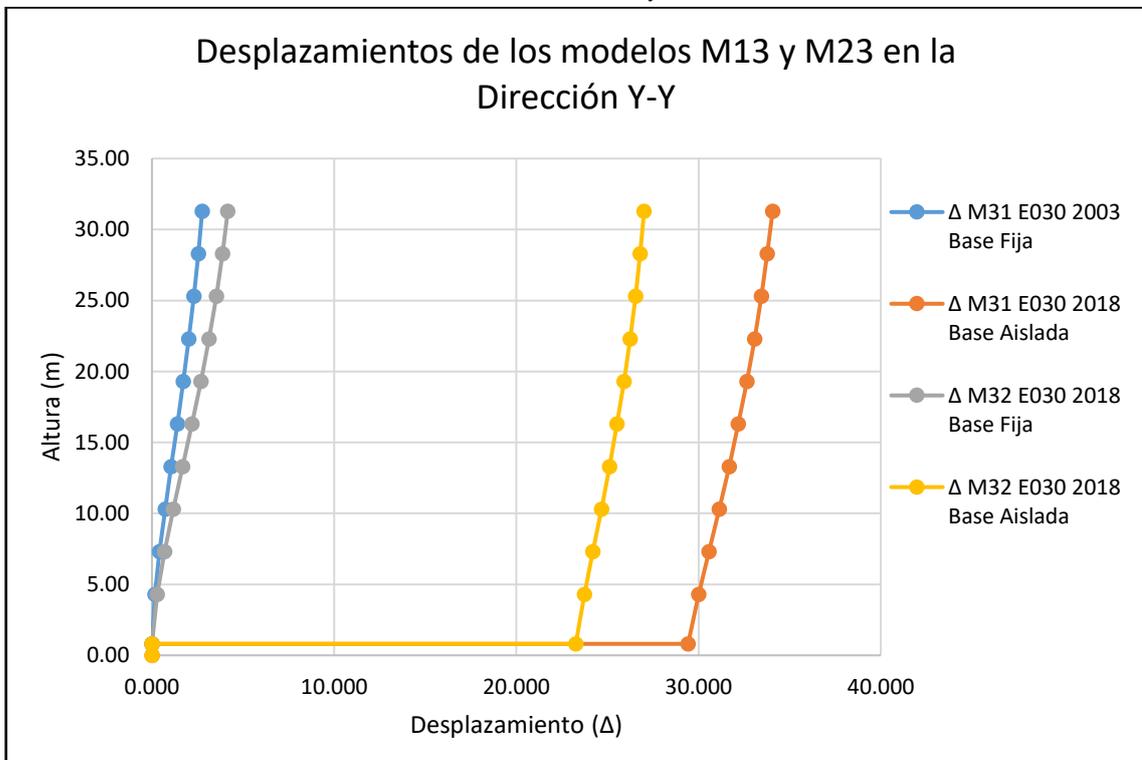
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 74. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 75. Desplazamientos obtenidos del Análisis Dinámico en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. DERIVAS

i. Derivas obtenidas del Análisis Estático

En el Gráfico 77 y Tabla 231 se puede apreciar que ambos modelos, M31 de base fija, bajo la Norma E.030 del 2003 cumple con la deriva límite inelástica dada 0.007 y el modelo M31 de base aislada cumple con la deriva máxima inelástica diseñada bajo la Norma E031 “Aislamiento Sísmico”, que es de 0.0035. Del mismo modo, en el Gráfico 78 y Tabla 232 se observa que ambos modelos; M32 de base fija, elaborada bajo la Norma E.030 del 2018 cumple con la deriva límite inelástica dada 0.007 y el modelo M32 de base aislada cumple con la deriva máxima inelástica de la Norma E031 “Aislamiento Sísmico”. La adición de un sistema de aislamiento mejoró la respuesta sísmica de la estructura estudiada en ambos modelos M31 y M32. El modelo M32, es el modelo de mayor grado de optimización, debido a que, en su condición no aislada, no cumplía con la deriva inelástica límite 0.007, y ahora contando con un sistema de aislamiento cumple con holgura la deriva inelástica límite 0.0035; además este modelo salvó la irregularidad torsional que presentaba anteriormente.

Tabla 231. Derivas obtenidas del Análisis Estático del modelo M31

| Piso | Altura (m) | MODELO M31 | | | | Deriva Límite |
|---------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | | |
| | | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada | |
| | | Deriva | Deriva | Deriva | Deriva | |
| Piso 10 | 31.30 | 0.003774 | 0.002708 | 0.003452 | 0.001405 | 0.007 |
| Piso 9 | 28.30 | 0.004226 | 0.002753 | 0.003992 | 0.001596 | 0.007 |
| Piso 8 | 25.30 | 0.004569 | 0.002794 | 0.004560 | 0.001802 | 0.007 |
| Piso 7 | 22.30 | 0.004836 | 0.002829 | 0.005087 | 0.002005 | 0.007 |
| Piso 6 | 19.30 | 0.004974 | 0.002845 | 0.005456 | 0.002171 | 0.007 |
| Piso 5 | 16.30 | 0.004961 | 0.002833 | 0.005624 | 0.002288 | 0.007 |
| Piso 4 | 13.30 | 0.004763 | 0.002783 | 0.005558 | 0.002351 | 0.007 |
| Piso 3 | 10.30 | 0.004341 | 0.002686 | 0.005169 | 0.002345 | 0.007 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.003663 | 0.002540 | 0.004292 | 0.002260 | 0.007 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.002281 | 0.002306 | 0.002292 | 0.001961 | 0.007 |

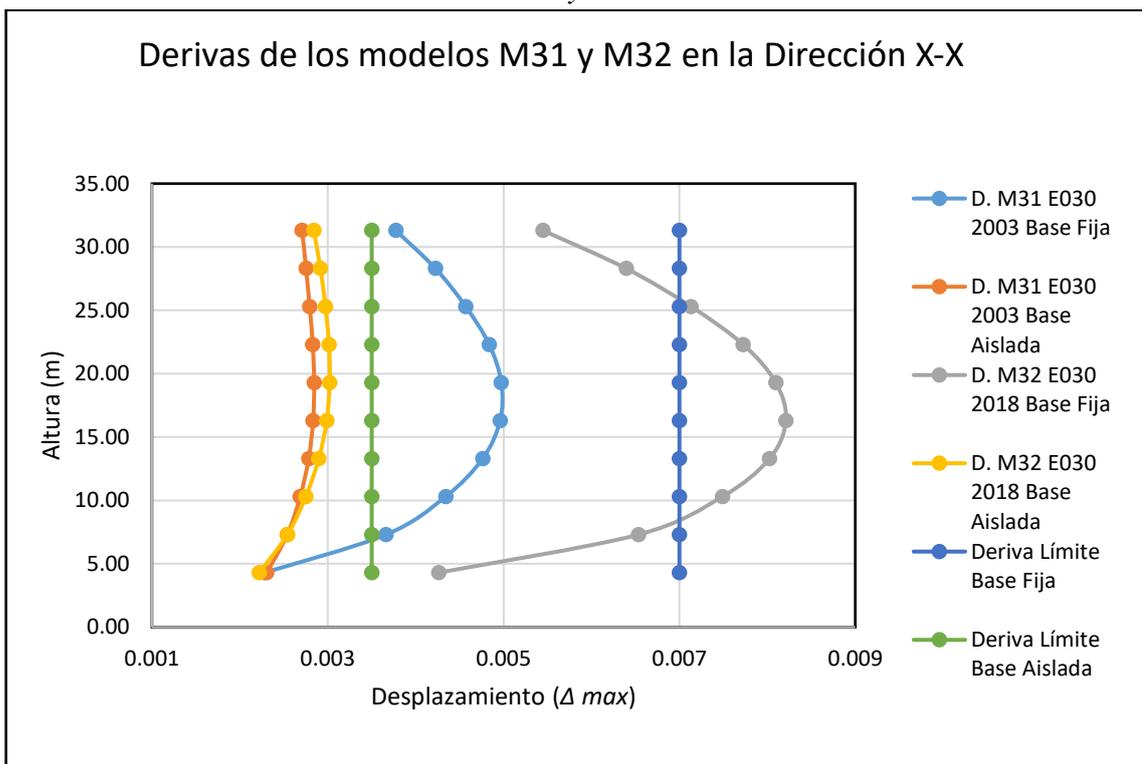
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 232. Derivas obtenidas del Análisis Estático del modelo M32

| Piso | Altura (m) | MODELO M31 | | | | Deriva Límite |
|---------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | | |
| | | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada | |
| | | Deriva | Deriva | Deriva | Deriva | |
| Piso 10 | 31.30 | 0.005449 | 0.002841 | 0.004814 | 0.001515 | 0.007 |
| Piso 9 | 28.30 | 0.006395 | 0.002916 | 0.005781 | 0.001778 | 0.007 |
| Piso 8 | 25.30 | 0.007131 | 0.002973 | 0.006729 | 0.002022 | 0.007 |
| Piso 7 | 22.30 | 0.007725 | 0.003014 | 0.007585 | 0.002230 | 0.007 |
| Piso 6 | 19.30 | 0.008096 | 0.003022 | 0.008187 | 0.002373 | 0.007 |
| Piso 5 | 16.30 | 0.008211 | 0.002987 | 0.008484 | 0.002445 | 0.007 |
| Piso 4 | 13.30 | 0.008026 | 0.002898 | 0.008449 | 0.002455 | 0.007 |
| Piso 3 | 10.30 | 0.007489 | 0.002749 | 0.007970 | 0.002397 | 0.007 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.006534 | 0.002541 | 0.006824 | 0.002265 | 0.007 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.004262 | 0.002220 | 0.004001 | 0.001903 | 0.007 |

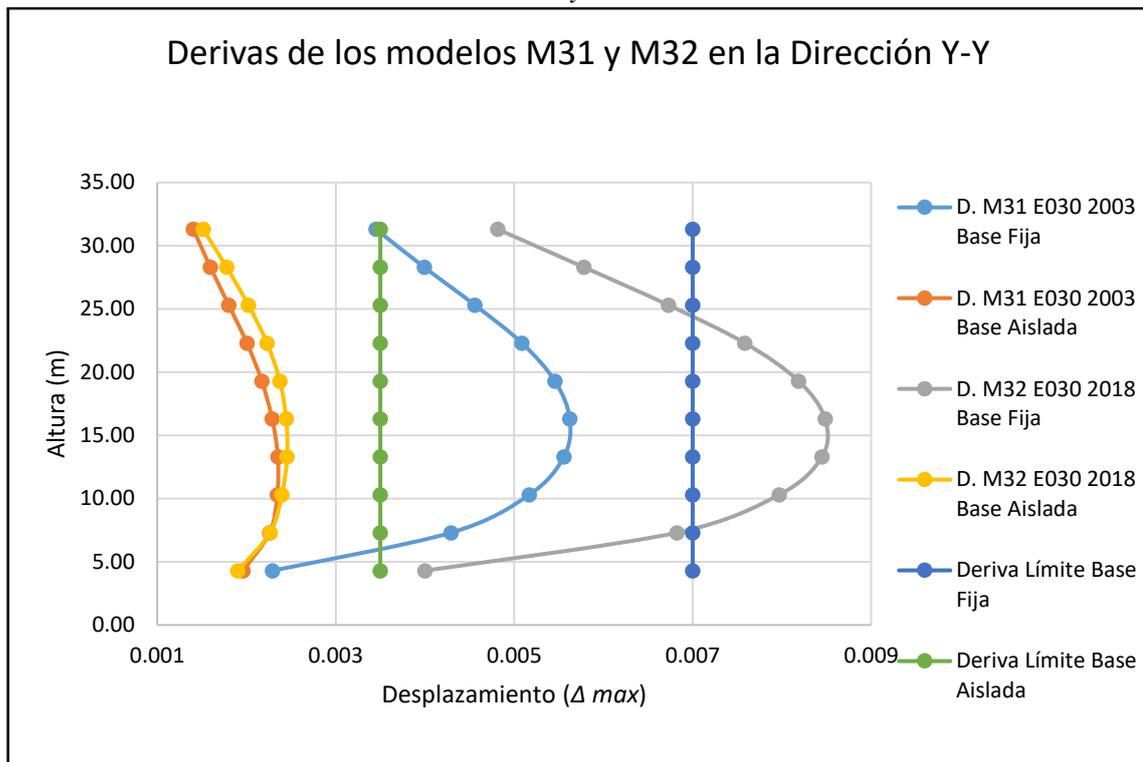
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 76. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 77. Derivas obtenidas del Análisis Estático en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

i. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico

En el Gráfico 79 y Tabla 233 se puede apreciar que ambos modelos, M31 de base fija, bajo la Norma E.030 del 2003 cumple con la deriva límite inelástica dada 0.007 y el modelo M31 de base aislada diseñada bajo la Norma E031 “Aislamiento Sísmico” cumple con la deriva máxima inelástica, que es de 0.0035. Del mismo modo, en el Gráfico 80 y Tabla 234 se observa que ambos modelos; M32 de base fija, elaborada bajo la Norma E.030 del 2018 cumple con la deriva límite inelástica dada 0.007 y el modelo M32 de base aislada cumple con la deriva máxima inelástica de la Norma E031 “Aislamiento Sísmico”. La adición de un sistema de aislamiento mejoró la respuesta sísmica de la estructura estudiada en ambos modelos M31 y M32. El modelo M32, es el modelo de mayor grado de optimización, debido a que, en su condición no aislada, en la dirección X no cumplía con la deriva inelástica límite 0.007, y ahora contando con un sistema de

aislamiento cumple con holgura la deriva inelástica límite 0.0035; además este modelo salvó la irregularidad torsional que presentaba anteriormente.

Tabla 233. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico del modelo M31

| Piso | Altura (m) | MODELO M31 | | | | Deriva Límite |
|---------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | | |
| | | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada | Modelo M31 con Base Fija | Modelo M31 con Base Aislada | |
| | | Deriva | Deriva | Deriva | Deriva | |
| Piso 10 | 31.30 | 0.005418 | 0.002884 | 0.003147 | 0.001447 | 0.007 |
| Piso 9 | 28.30 | 0.005592 | 0.002981 | 0.003629 | 0.001639 | 0.007 |
| Piso 8 | 25.30 | 0.005726 | 0.003094 | 0.004133 | 0.001865 | 0.007 |
| Piso 7 | 22.30 | 0.005786 | 0.003222 | 0.004593 | 0.002111 | 0.007 |
| Piso 6 | 19.30 | 0.005000 | 0.003340 | 0.004913 | 0.002342 | 0.007 |
| Piso 5 | 16.30 | 0.004845 | 0.003432 | 0.005055 | 0.002543 | 0.007 |
| Piso 4 | 13.30 | 0.004691 | 0.003479 | 0.004989 | 0.002705 | 0.007 |
| Piso 3 | 10.30 | 0.004281 | 0.003460 | 0.004638 | 0.002802 | 0.007 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.003558 | 0.003360 | 0.003851 | 0.002807 | 0.007 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.002109 | 0.003096 | 0.002057 | 0.002524 | 0.007 |

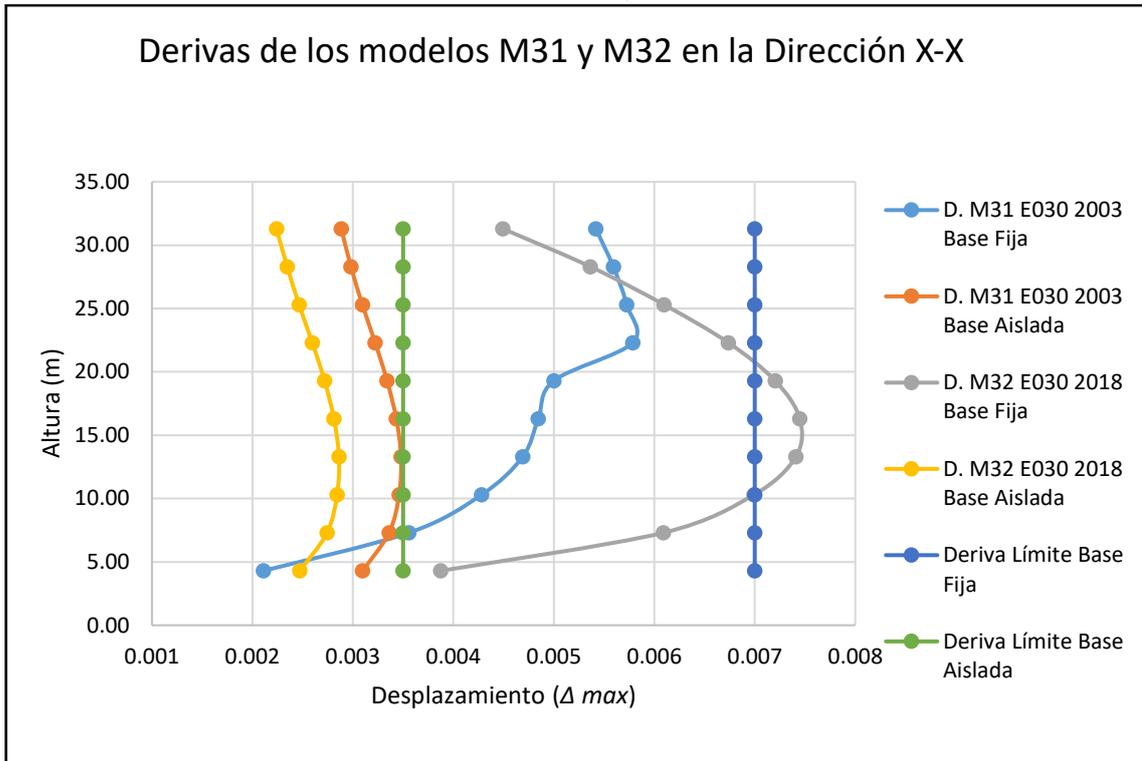
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 234. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico del modelo M32

| Piso | Altura (m) | MODELO M31 | | | | Deriva Límite |
|---------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| | | Dirección X-X | | Dirección Y-Y | | |
| | | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada | Modelo M32 con Base Fija | Modelo M32 con Base Aislada | |
| | | Deriva | Deriva | Deriva | Deriva | |
| Piso 10 | 31.30 | 0.004491 | 0.002239 | 0.003657 | 0.001091 | 0.007 |
| Piso 9 | 28.30 | 0.005364 | 0.002346 | 0.004376 | 0.001274 | 0.007 |
| Piso 8 | 25.30 | 0.006097 | 0.002464 | 0.005089 | 0.001478 | 0.007 |
| Piso 7 | 22.30 | 0.006737 | 0.002596 | 0.005740 | 0.001694 | 0.007 |
| Piso 6 | 19.30 | 0.007202 | 0.002718 | 0.006211 | 0.001896 | 0.007 |
| Piso 5 | 16.30 | 0.007449 | 0.002811 | 0.006463 | 0.002074 | 0.007 |
| Piso 4 | 13.30 | 0.007409 | 0.002861 | 0.006471 | 0.002219 | 0.007 |
| Piso 3 | 10.30 | 0.006992 | 0.002843 | 0.006143 | 0.002313 | 0.007 |
| Piso 2 | 7.30 | 0.006089 | 0.002743 | 0.005286 | 0.002333 | 0.007 |
| Piso 1 | 4.30 | 0.003875 | 0.002471 | 0.003122 | 0.002080 | 0.007 |

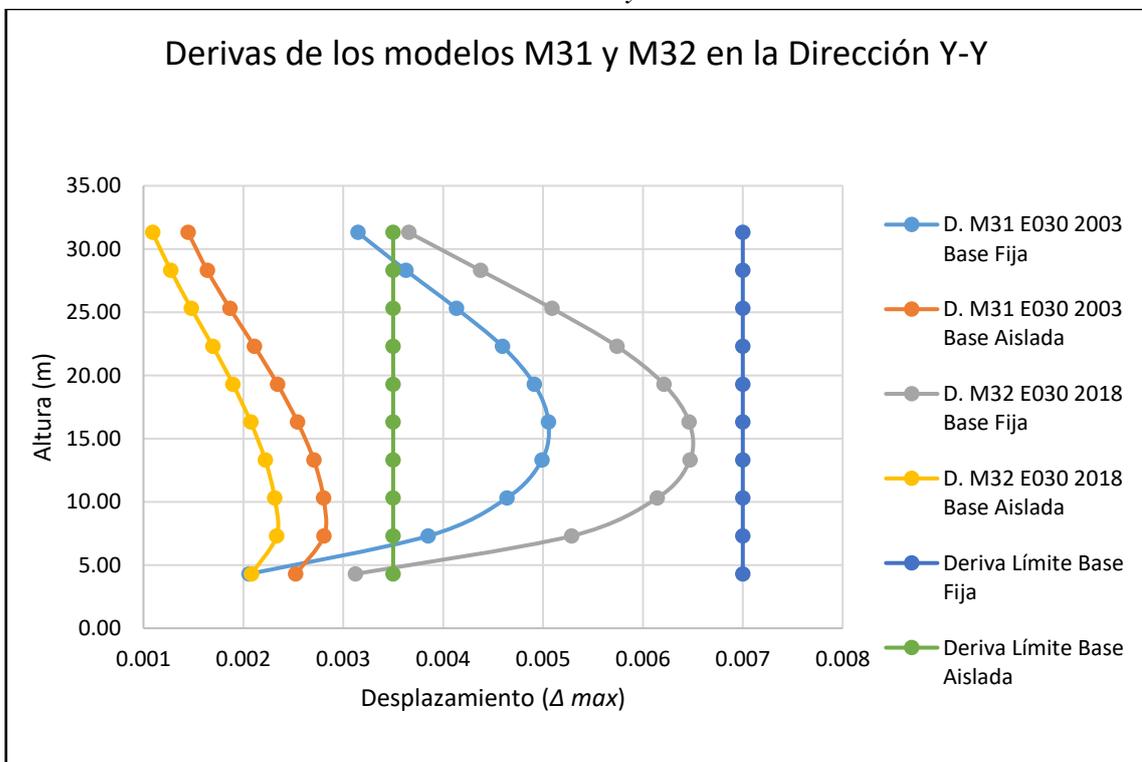
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 78. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección X-X de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 79. Derivas obtenidas del Análisis Dinámico en la Dirección Y-Y de los modelos M31 y M32



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



4.2.5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS (DESARROLLO DE LOS MODELOS M11, M21, M12, M22, M13, M23, M31 Y M32)

A. ÁREA DE SECCIONES

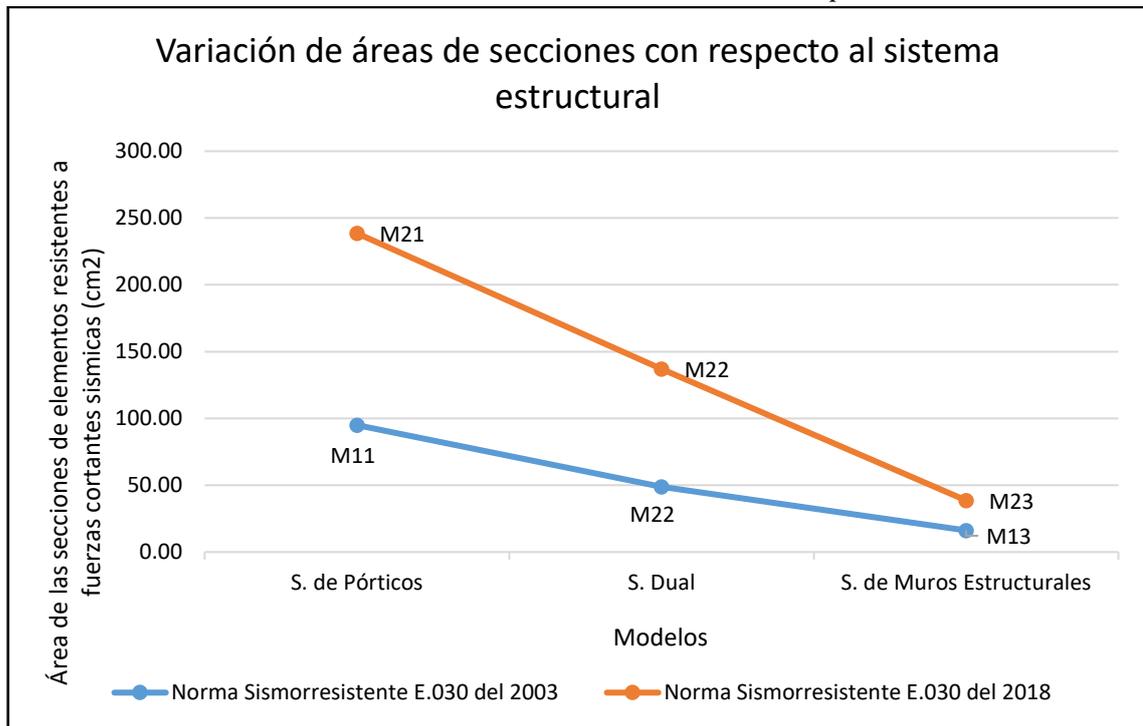
De la Tabla 235 y el Gráfico 81, se observa que en el análisis de variación de áreas de las secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según las modificaciones de la Norma Sismorresistente E.030, los modelos que tienen menor variación son los modelos M13 y M23, esto nos indica que estos modelos pertenecientes al sistema estructural de concreto armado de muros estructurales son menos afectados por la modificación de la norma. Respecto a la variación de áreas de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según la optimización de las estructuraciones de concreto armado, utilizando la norma E.030 del año 2003, se logra reducir las áreas de secciones de dichos elementos en un 48.70% cuando se cambia del sistema de pórticos al sistema dual, y se reduce aún más, cuando se opta por el sistema de muros estructurales, dándonos resultados de reducción de 83.59% con respecto a los resultados del modelo de sistema estructural de pórticos. Al utilizar la norma E.030 del 2018, se produce el mismo efecto al optimizar la estructuración del edificio de concreto armado del caso de estudio evaluado, consiguiendo una diferencia del 38.54% al cambiar del sistema de pórticos al sistema dual y un 84.78% cuando se utiliza el modelo de muros estructurales.

Tabla 235. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según la Norma Sismorresistente E.030 empleada y según el sistema estructural empleado

| | Área secciones (m ²) M11 | Área secciones (m ²) M12 | Área secciones (m ²) M13 | Análisis de variación de áreas de las secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según el Sistema Estructural (%) |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| MODELO BASADO EN LA NORMA E.030 DEL 2003 | 94.98 | 48.73 | 15.59 | 1. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y/o placas) del modelo M12 con respecto al modelo M11, disminuye en 46.25m ² , que representa el 48.70% y el valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y/o placas) del modelo M13 con respecto al modelo M11, disminuye en 79.39m ² , que representa el 83.59%. |
| MODELO BASADO EN LA NORMA E.030 DEL 2018 | 143.58 | 88.25 | 21.86 | 2. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y/o placas) del modelo M22 con respecto al modelo M21, disminuye en 55.33m ² , que representa el 38.54% y el valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y/o placas) del modelo M23 con respecto al modelo M22, disminuye en 121.72m ² , que representa el 84.78%. |
| Análisis de variación de áreas de las secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según la Norma E.030 (%) | <p>1. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas) del modelo M21 con respecto al modelo M11, se incrementa en 48.60 m² que representa el 51.17%.</p> <p>2. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y placas) del modelo M22 con respecto al modelo M12, se incrementa en 39.52 m² que representa el 81.10%.</p> <p>3. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y placas) del modelo M23 con respecto al modelo M13, se incrementa en 6.27 m² que representa el 38.74%.</p> | | | <p>OBSERVACIONES:</p> <p>El M11 y M21 pertenecen al sistema estructural de concreto armado de pórticos.</p> <p>El M12 y M22 pertenecen al sistema estructural de concreto armado dual.</p> <p>El M13 y M23 pertenecen al sistema estructural de concreto de muros estructurales.</p> |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 80. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según el sistema estructural y la modificación de la norma Sismorresistente del año 2003 al año 2018 empleado



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

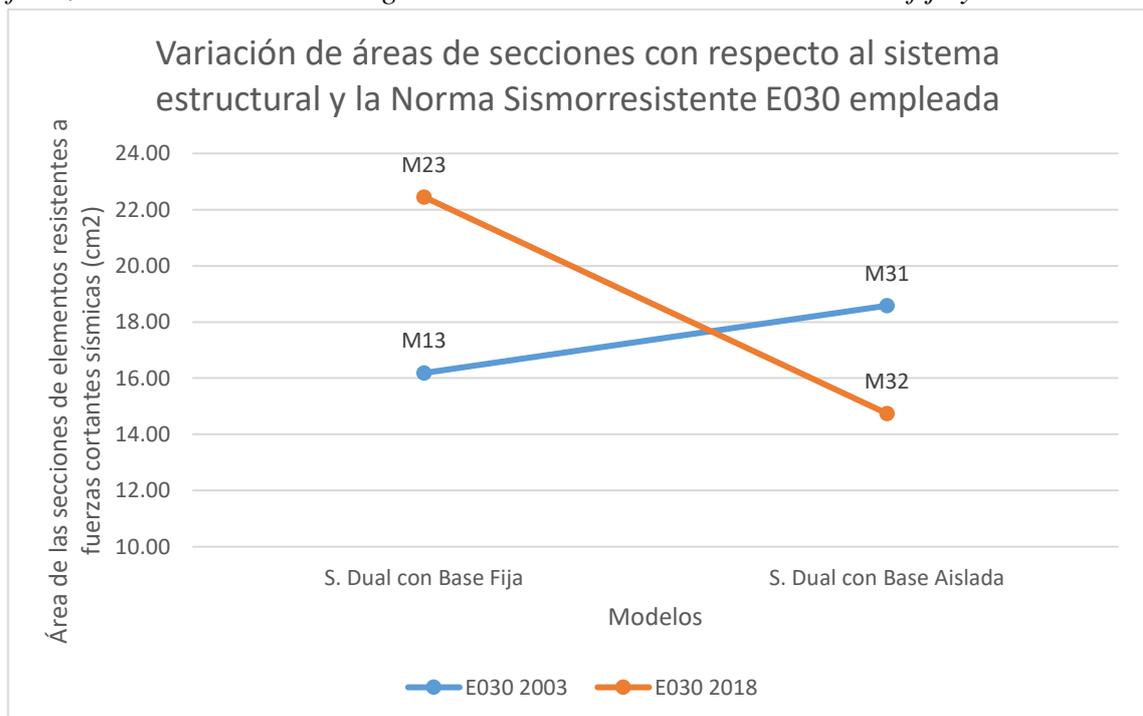
Se realizó la comparación de los modelos M13 y M23 con los modelos M31 y M32 de base aislada, debido a que todos los modelos mencionados pertenecen al sistema estructural de muros estructurales. Es preciso mencionar que los modelos M13 y M23 tienen la rigidez necesaria para cumplir los requerimientos de derivas máximas e irregularidades estructurales dadas en la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y 2018 respectivamente. Sin embargo, los modelos M31 Y M32, en su condición de base fija, no necesariamente cumplen con los requerimientos dados en dichas normas. De la Tabla 236 y el Gráfico 82, se observa que en el análisis de variación de áreas de las secciones de elementos a fuerzas cortantes sísmicas según la Norma Sismorresistente E.030, el modelo que optimizó las secciones es el modelo M32 de base aislada sobre el modelo M23; y contrariamente el modelo M31 de base aislada sobre el modelo M13, no optimizó los primeros resultados, lo que resultaría no ser conveniente si se recurre a esta opción.

Tabla 236. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según el sistema estructural de muros estructurales con base fija y base aislada

| MODELO BASADO EN LA NORMA E.030 DEL 2003 | Área secciones (m ²) M13 | Área secciones (m ²) M31 | Análisis de variación de áreas de las secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según el Sistema Estructural (%) |
|--|--|---|---|
| | 16.19 | 18.58 | |
| MODELO BASADO EN LA NORMA E.030 DEL 2018 | Área secciones (m ²) M23 | Área secciones (m ²) M32 | 2. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y/o placas) del modelo M32 con respecto al modelo M23, disminuye en 7.71m ² , que representa el 47.65% |
| | 22.46 | 14.74 | |
| Análisis de variación de áreas de las secciones de elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas según la Norma E.030 (%) | 1. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y placas) del modelo M23 con respecto al modelo M13, se incrementa en 6.27 m ² que representa el 38.74%. 2. El valor de las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas (columnas y placas) del modelo M32 con respecto al modelo M31, disminuye en 3.84 m ² que representa el 20.66%. | | OBSERVACIONES: |
| | | | El M12 y M22 pertenecen al sistema estructural de concreto armado dual, con base fija. El M31 y M32 pertenecen al sistema estructural de concreto armado dual, con base aislada |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 81. Comparación de áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicos según el sistema estructural dual con base fija y base aislada



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. CANTIDAD DE MATERIALES

i. COMPARACIONES DE CANTIDADES DE MATERIALES SEGÚN LA NORMA APLICADA

En esta sección se analizará las variaciones de la cantidad de materiales, concreto y acero de los diferentes modelos estudiados, respecto a la Norma Sismorresistente E.030 aplicada. Es importante analizar este estudio debido a que se obtendrá resultados, que nos ayudarán a identificar las variaciones de la cantidad de materiales de un mismo sistema estructural, afectados por la modificación de la Norma Sismorresistente E.030 del 2018 sobre la norma del 2003. Se presentará la variación de la cantidad de materiales del modelo M21 con respecto al modelo M11, la variación del modelo M22 con respecto al modelo M12 y la variación del modelo M23 con respecto al modelo M13; pares correspondientes a los sistemas estructurales de Pórticos, Dual y Muros Estructurales respectivamente. En el metrado de la cantidad de materiales, concreto y acero, se tomará en cuenta los elementos estructurales; columnas, placas, vigas, losa aligerada y losa de cimentación.

i.1. Comparaciones de cantidades de CONCRETO según la norma E.030 aplicada

Tabla 237. Comparación de cantidades de concreto y variación porcentual según la norma E.030 aplicada (m^3)

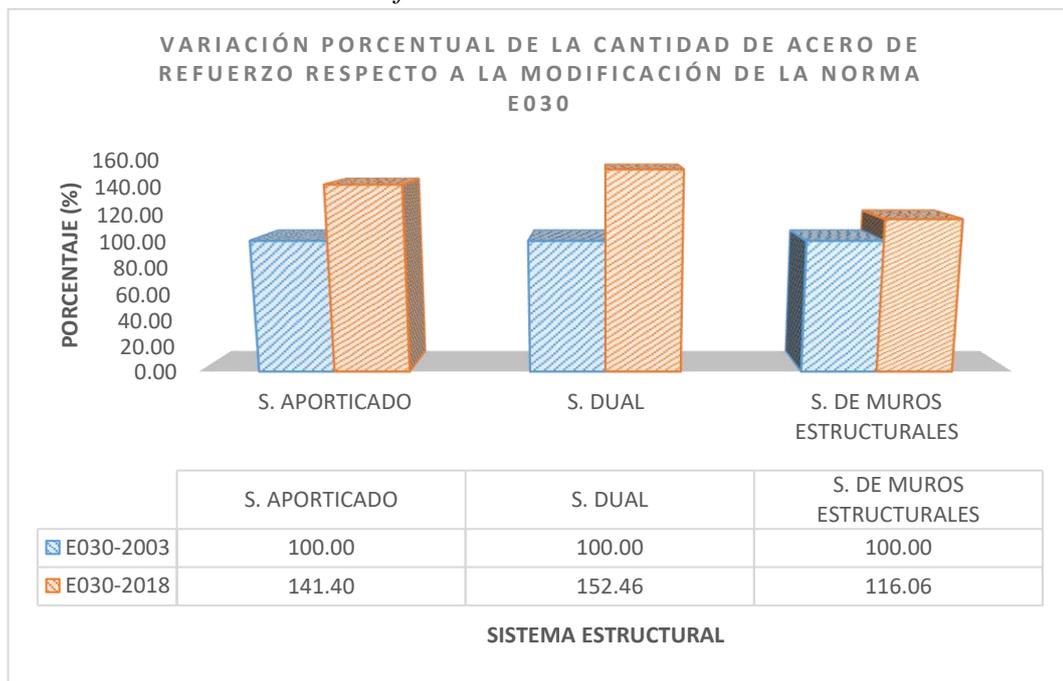
| NORMA APLICADA | Unidad | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| E030-2003 | m ³ | 3,708.67 | 2,318.31 | 1,455.14 |
| | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| E030-2018 | m ³ | 5,243.99 | 3,534.47 | 1,688.78 |
| | % | 141.40 | 152.46 | 116.06 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 237 y en el Gráfico 83, se observa que el sistema estructural de mayor variación en cantidad de concreto, con un aumento del 52.46%, es el Sistema Dual, lo que

significa que el modelo M12, al modificarse la Norma Sismorresistente en el 2018, requerirá ese porcentaje de concreto adicional para cumplir con las nuevas disposiciones dadas y dar origen a un nuevo modelo M22. Este resultado es razonable, debido a que en la estructuración se modificó en mayor porcentaje la rigidez de las columnas, aumentándole la sección transversal, y en menor porcentaje la sección de placas, debido a que se pretendía que este segundo modelo continúe perteneciendo al sistema estructural dual. El segundo sistema estructural de mayor variación en cantidad de concreto, es el sistema Aporticado, con un aumento del 41.40%, el razonamiento para explicar dicha variación es la misma que la desarrollada para el sistema estructural dual, siendo en este caso modificaciones únicamente de las secciones de columnas del modelo M21 con respecto al modelo M11.

Gráfico 82. Variación porcentual de las cantidades de concreto respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La menor variación en cantidad de concreto se da en el sistema estructural de muros estructurales, con un aumento del 16.06%, lo que significa que el modelo M13, al modificarse la Norma Sismorresistente en el 2018, requerirá ese porcentaje de concreto



adicional para cumplir con las nuevas disposiciones dadas y dar origen a un nuevo modelo M23. A partir del razonamiento de los anteriores pares analizados, cabe indicar que la presencia de mayor número de placas estructurales dispuestas razonablemente, además de absorber gran cantidad de fuerza cortante a diferencia de las columnas que se requiere mayor cantidad y secciones transversales más grandes, es susceptible a no ser afectado por las modificaciones de la Norma Sismorresistente E.030, teniendo en cuenta que en Perú los parámetros dados en la norma mencionada, en su mayoría tienden a ser más conservadoras.

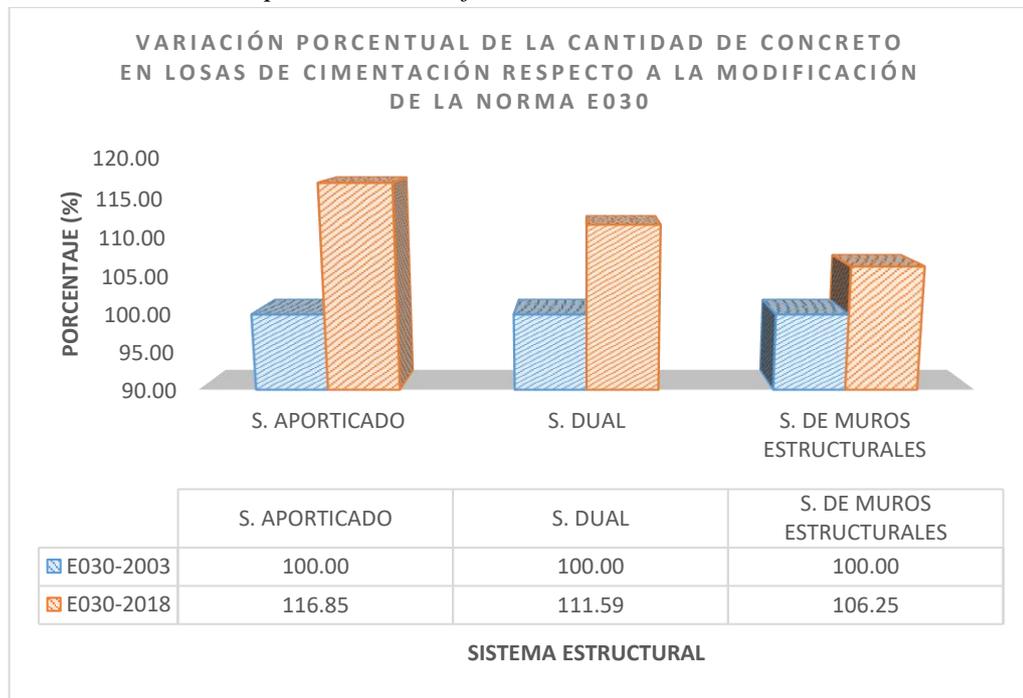
Para un análisis detallado de la variación en cantidad de concreto de los diferentes pares de sistemas estructurales analizados, con respecto a la modificación de la Norma Sismorresistente E.030 al 2018, en la Tabla 238 y en los Gráficos 84, 85 y 86, se adjunta las variaciones de la cantidad de concreto en los elementos estructurales: 1. Losas de Cimentación, 2. Columnas y/o placas y 3. Vigas. De los resultados obtenidos, se comprueba en todos los pares de sistemas estructurales analizados, que la mayor incidencia de la modificación de la norma, en el aumento porcentual de la cantidad de concreto, se da en las columnas y/o placas. Por otro lado, se observa también que la variación de la cantidad de concreto en losa de cimentación, es menos considerable; pero de porcentajes representativos. Contrariamente a los resultados expuestos, en vigas se reduce la cantidad de concreto.

Tabla 238. Comparación de cantidades de concreto y variación porcentual según la norma E.030 aplicada y el tipo de elemento estructural (m³)

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|------------------------|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| 1. LOSA DE CIMENTACIÓN | E030-2003 | m3 | 508.34 | 455.53 | 541.40 |
| | | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | E030-2018 | m3 | 594.00 | 508.34 | 575.23 |
| | | % | 116.85 | 111.59 | 106.25 |
| 2. COLUMNA Y/O PLACAS | E030-2003 | m3 | 2,896.89 | 1,512.34 | 512.25 |
| | | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | E030-2018 | m3 | 4,379.19 | 2,724.57 | 698.36 |
| | | % | 151.17 | 180.16 | 136.33 |
| 3. VIGAS | E030-2003 | m3 | 303.43 | 350.43 | 401.50 |
| | | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | E030-2018 | m3 | 270.79 | 301.56 | 415.19 |
| | | % | 89.24 | 86.06 | 103.41 |

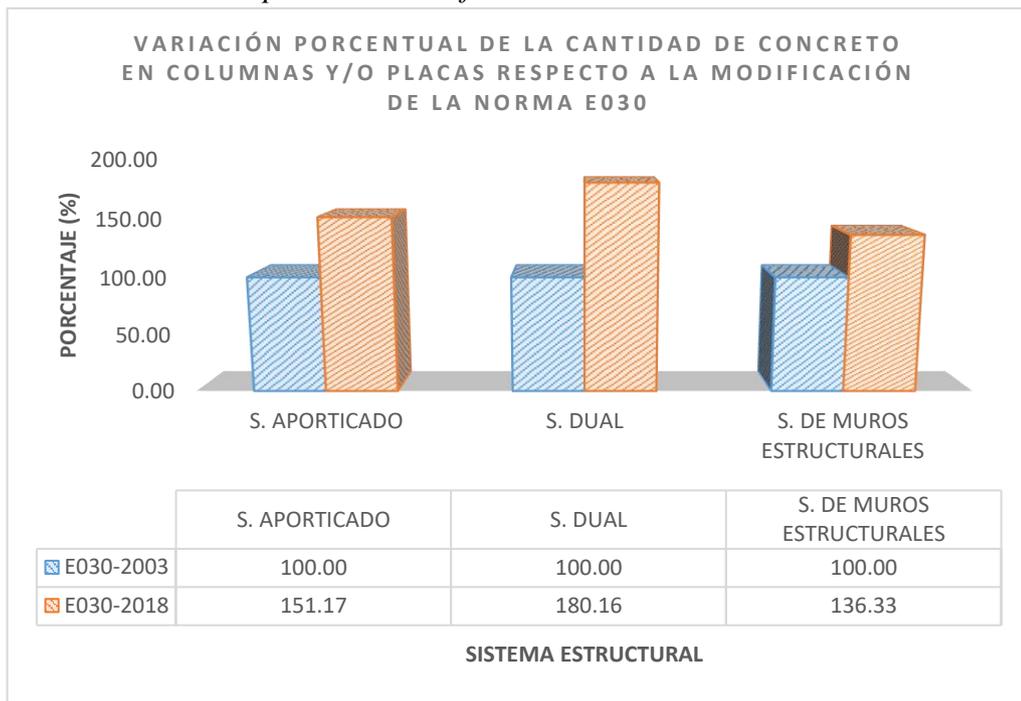
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 83. Variación porcentual de las cantidades de concreto en losas de cimentación respecto a la modificación de la norma E.030



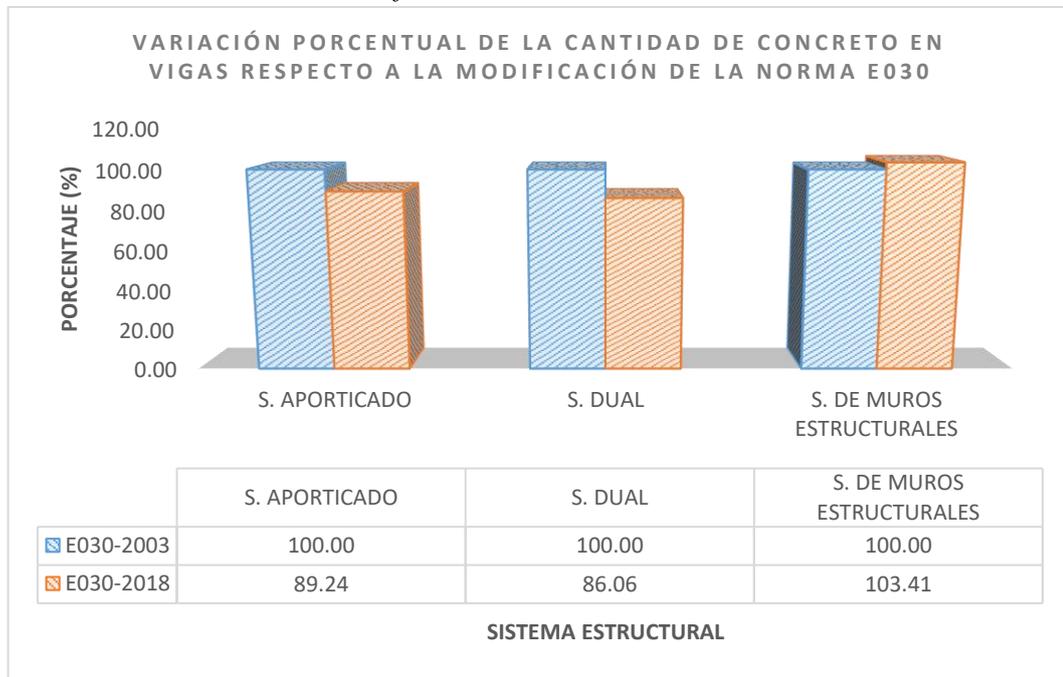
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 84. Variación porcentual de las cantidades de concreto en columnas y/o placas respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 85. Variación porcentual de las cantidades de concreto en vigas respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

i.2. Comparaciones de cantidades de ACERO DE REFUERZO según la norma

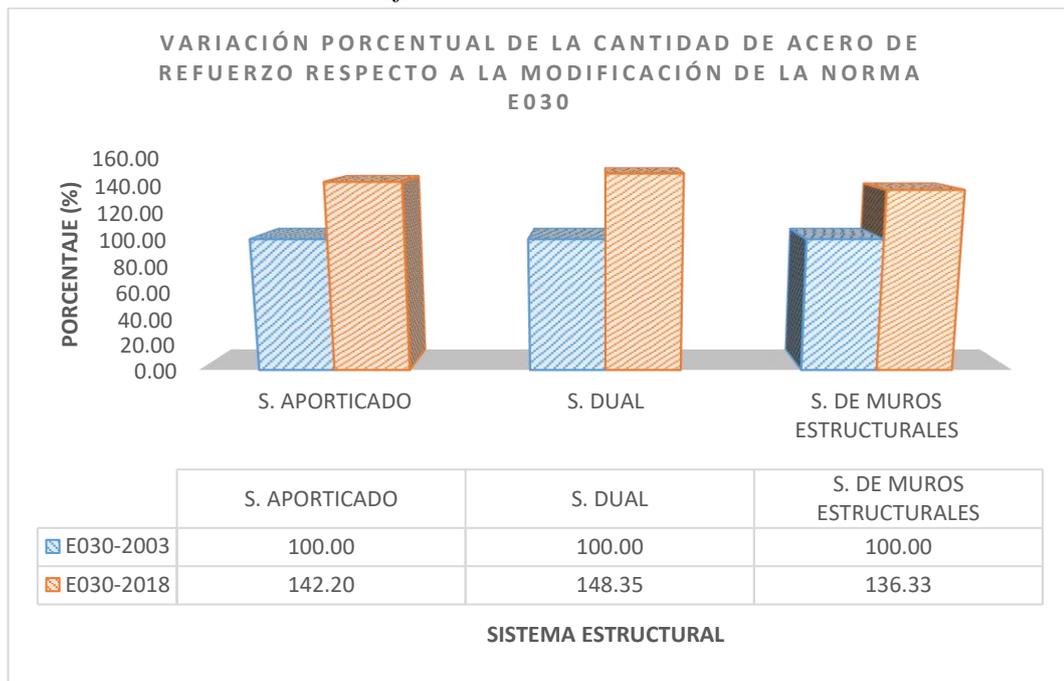
E.030 aplicada

Tabla 239. Comparación de cantidades y variación porcentual de acero de refuerzo según la norma E.030 aplicada

| NORMA APLICADA | Unidad | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| E030-2003 | kg | 470,663.97 | 300,020.75 | 145,001.23 |
| | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| E030-2018 | kg | 669,285.06 | 445,084.65 | 197,681.78 |
| | % | 142.20 | 148.35 | 136.33 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 86 Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para un análisis detallado de la variación en cantidad de acero de los diferentes pares de sistemas estructurales analizados, con respecto a la modificación de la Norma Sismorresistente E.030 al 2018, en la Tabla 240, Gráfico 88, 89 y 90, se adjunta las variaciones de la cantidad de acero en los elementos estructurales: 1. Losas de Cimentación, 2. Columnas y placas y 3. Vigas. De los resultados obtenidos, se

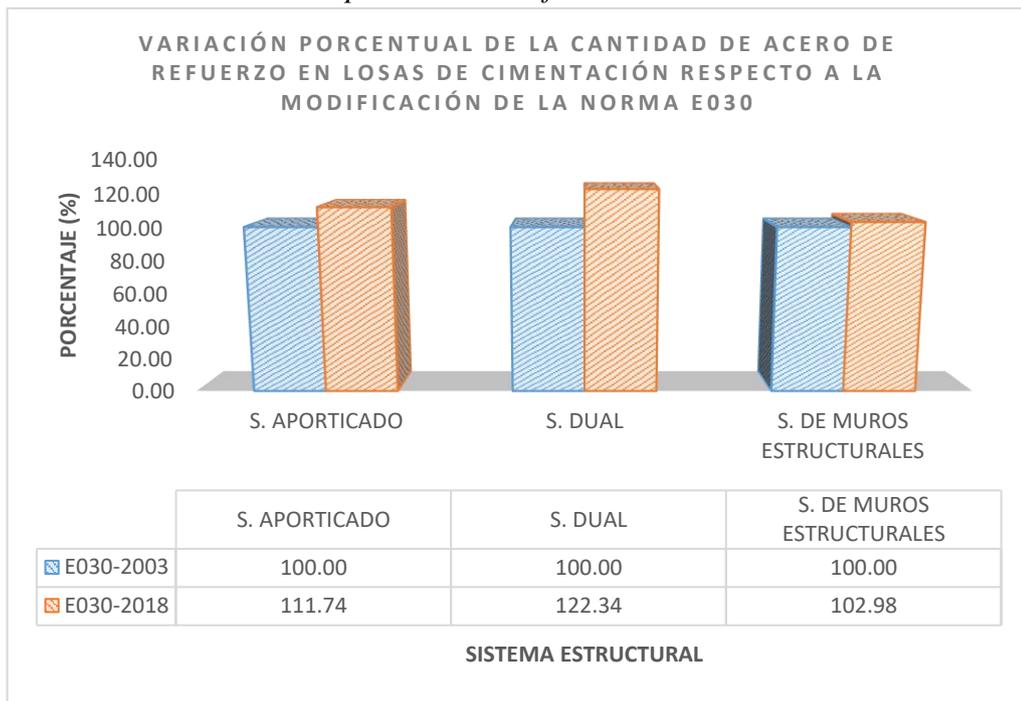
comprueba en todos los pares de sistemas estructurales analizados, que producto del incremento de fuerzas internas, se requerirá mayor refuerzo en todos los elementos estructurales estudiados. Al desarrollar el diseño de acero en todos los modelos estudiados, se apreció que en las columnas no será necesario más que el área mínima de refuerzo dada en la Norma E060, sin embargo, en las placas estructurales se requerirá en por lo menos en los primeros dos o tres niveles de la estructura más que el área mínima, incluso las áreas de acero serán de cantidades considerables. Con respecto a las vigas, en todos los modelos requerirán áreas de acero mayores al mínimo. En las losas de cimentación el refuerzo se incrementa en menores cantidades, debido al aumento de la carga permanente y las secciones de las columnas y/o placas.

Tabla 240. Comparación de cantidades de acero de refuerzo y variación porcentual según la norma E.030 aplicada y el tipo de elemento estructural (m3)

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|------------------------|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| 1. LOSA DE CIMENTACIÓN | E030-2003 | kg | 131,681.11 | 10,3314.29 | 70,869.90 |
| | | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | E030-2018 | kg | 147,135.29 | 12,6397.02 | 72,981.94 |
| | | % | 111.74 | 122.34 | 102.98 |
| 2. COLUMNA Y/O PLACAS | E030-2003 | kg | 288,798.85 | 15,3130.49 | 37,045.81 |
| | | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | E030-2018 | kg | 425,887.23 | 26,8503.63 | 74,473.47 |
| | | % | 147.47 | 175.34 | 201.03 |
| 3. VIGAS | E030-2003 | kg | 50,184.01 | 43,575.97 | 37,085.52 |
| | | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | E030-2018 | kg | 96,262.54 | 50,184.01 | 50,226.37 |
| | | % | 191.82 | 115.16 | 135.43 |

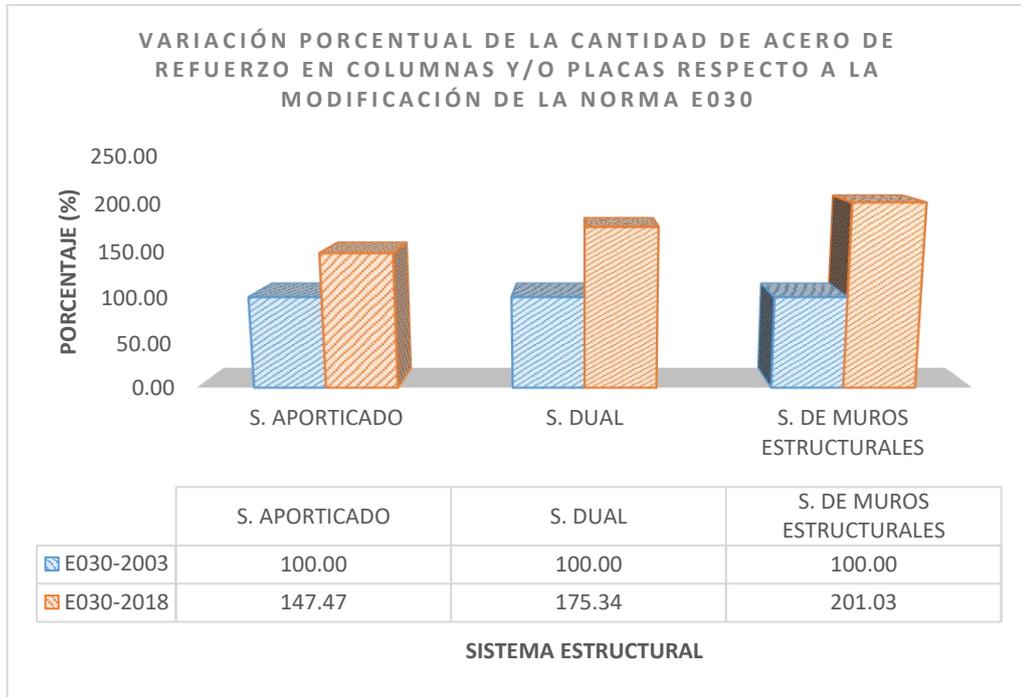
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 87. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo en losas de cimentación respecto a la modificación de la norma E.030



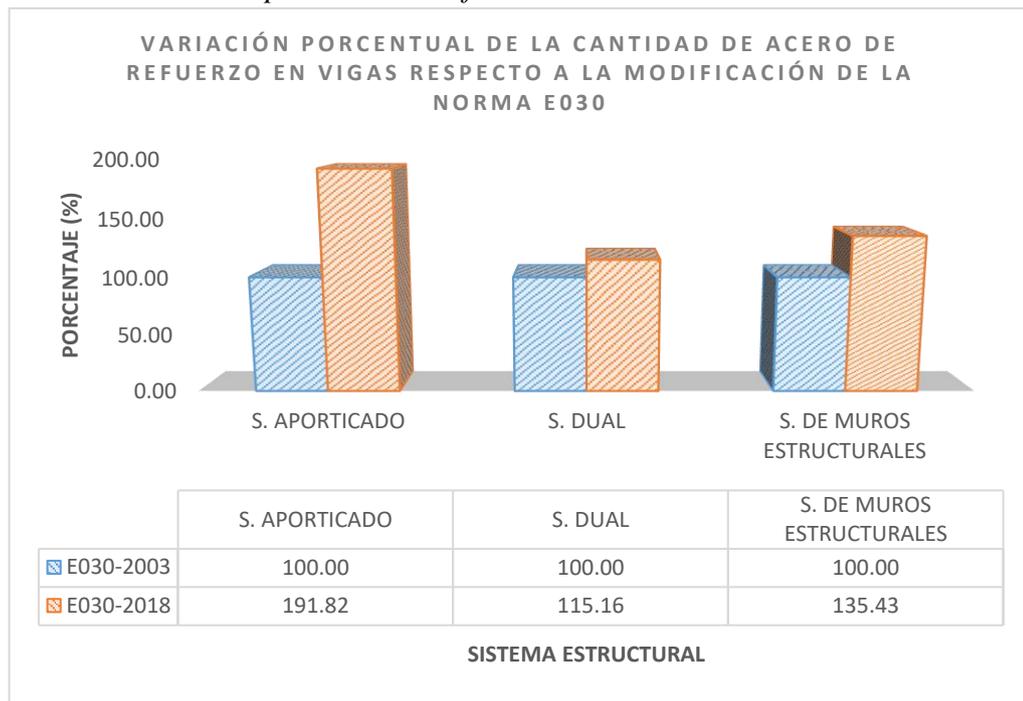
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 88. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo en columnas y/o placas respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 89. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo en vigas respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

ii. COMPARACIONES DE CANTIDADES DE MATERIALES SEGÚN LA ESTRUCTURACIÓN

En esta sección se analizará las variaciones de la cantidad de materiales; concreto y acero de los diferentes modelos estudiados, respecto a la estructuración aplicada. Es importante analizar este estudio debido a que se obtendrá resultados, que nos ayudarán a identificar las variaciones de la cantidad de materiales en base a una norma Sismorresistente E030 empleada, con diferentes estructuraciones. Se presentará la variación de la cantidad de materiales del modelo M12 y M13 con respecto al modelo M11 y la variación del modelo M22 y M23 con respecto al modelo M21; dos grupos de modelos basados en la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y 2018 respectivamente. En el metrado de la cantidad de materiales; concreto y acero, se tomará en cuenta al igual que el anterior ítem, los elementos estructurales; columnas, placas, vigas, losa aligerada y losa de cimentación.

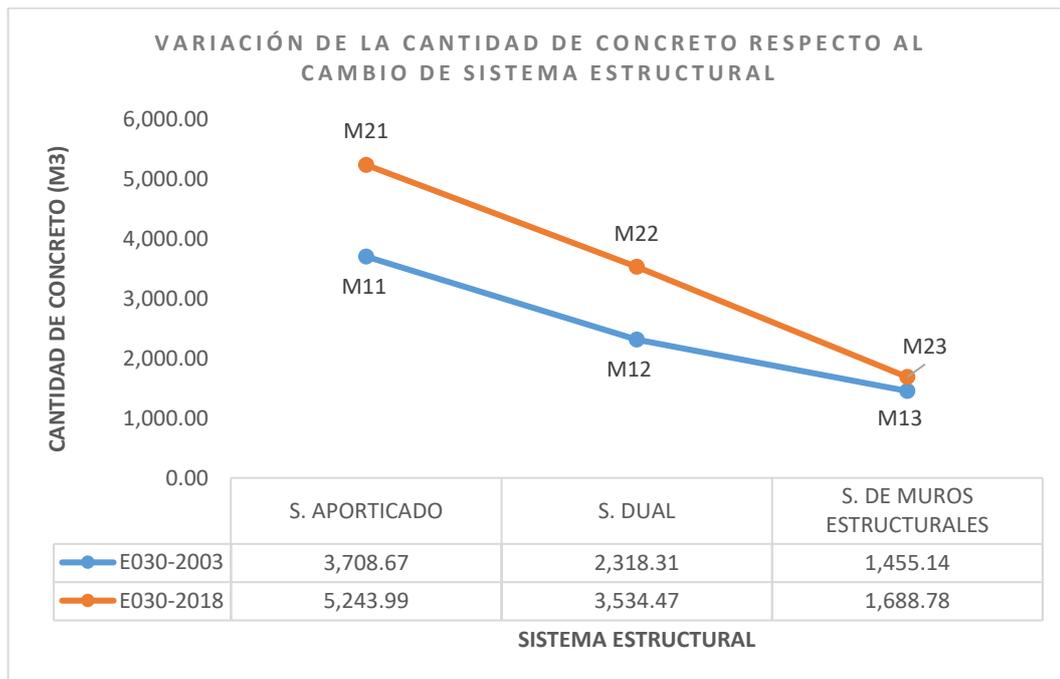
ii.1. Comparaciones de cantidades de CONCRETO según el sistema estructural aplicado

Tabla 241. Comparación de cantidades y variación porcentual de las cantidades de concreto respecto al cambio de sistema estructural

| NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| E030-2003 | m3 | 3,708.67 | 2,318.31 | 1,455.14 |
| | % | 100.00 | 62.51 | 39.24 |
| E030-2018 | m3 | 5,243.99 | 3,534.47 | 1,688.78 |
| | % | 100.00 | 67.40 | 32.20 |

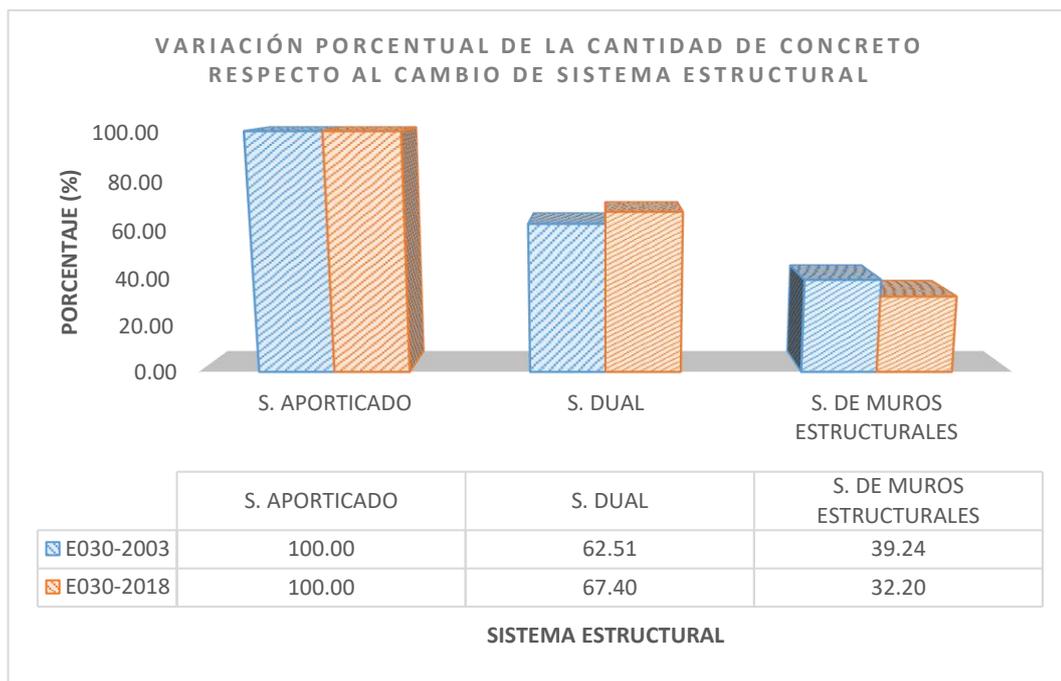
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 90. Comparación de cantidades de concreto respecto al cambio de sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 91. Variación porcentual de las cantidades de acero de concreto respecto al cambio de sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 241 y en los Gráficos 91 y 92, se observa en los modelos basados en la Norma Sismorresistente del 2003, que en el proceso de encontrar un modelo ideal, partiendo de un modelo M11 de sistema aporticado, se consigue reducir la cantidad de en un 37.49% del valor inicial, dando origen a un nuevo modelo M12 de sistema dual; sin embargo en el afán de conseguir menores secciones de los elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas y adecuación a la configuración arquitectónica, se crea otro modelo M13 de sistema de muros estructurales, reduciendo aún más la cantidad en un 60.76% de la cantidad inicial. Del mismo modo se observa en los modelos basados en la Norma Sismorresistente del 2018, que partiendo de un modelo M21 de sistema aporticado, se consigue reducir la cantidad de concreto al crear el modelo M22 de sistema dual, en un 32.60% del valor inicial, y posteriormente se crea otro modelo M13 de sistema de muros estructurales, reduciendo la cantidad de concreto a un 67.8% de la cantidad inicial.

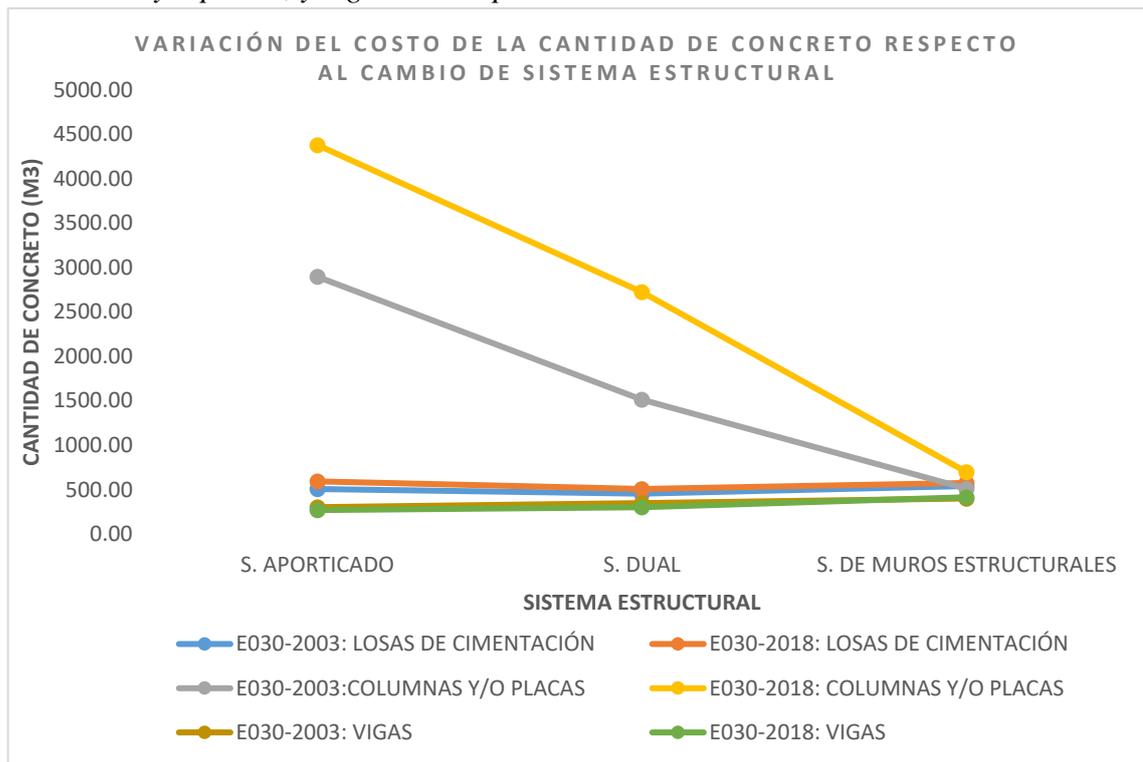
Las variaciones porcentuales de las cantidades de concreto respecto al cambio de estructuración, en ambos grupos bajo la norma Sismorresistente E030 del 2003 y sus modificaciones al 2018, son similares, y de variación lineal tal como se observa en el Gráfico 91. Para un análisis detallado de la variación en cantidad de concreto de los dos grupos analizados con respecto a la modificación de su estructuración, en la Tabla 242 y Gráfico 93, se adjunta las variaciones de la cantidad de concreto en los elementos estructurales: 1. Losas de Cimentación, 2. Columnas y/o placas y 3. Vigas. De los resultados obtenidos, se observa que los elementos que producen reducción en la cantidad de concreto son las columnas y/o placas, y las de menor incidencia son las losas de cimentación, sin embargo, las vigas representan un pequeño incremento de cantidad de concreto en el proceso de encontrar el modelo ideal.

Tabla 242. Comparación de cantidades de concreto y variación porcentual con respecto al cambio del sistema estructural y el tipo de elemento estructural (m³)

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|------------------------|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| 1. LOSA DE CIMENTACIÓN | E030-2003 | m3 | 508.34 | 455.53 | 541.40 |
| | | % | 100.00 | 89.61 | 106.50 |
| | E030-2018 | m3 | 594.00 | 508.34 | 575.23 |
| | | % | 100.00 | 85.58 | 96.84 |
| 2. COLUMNA Y/O PLACAS | E030-2003 | m3 | 2896.89 | 1512.34 | 512.25 |
| | | % | 100.00 | 52.21 | 17.68 |
| | E030-2018 | m3 | 4379.19 | 2724.57 | 698.36 |
| | | % | 100.00 | 62.22 | 15.95 |
| 3. VIGAS | E030-2003 | m3 | 303.43 | 350.43 | 401.50 |
| | | % | 100.00 | 115.49 | 132.32 |
| | E030-2018 | m3 | 270.79 | 301.56 | 415.19 |
| | | % | 100.00 | 111.36 | 153.32 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 92. Variación de las cantidades de concreto en losas de cimentación, columnas y/o placas, y vigas con respecto al cambio del sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

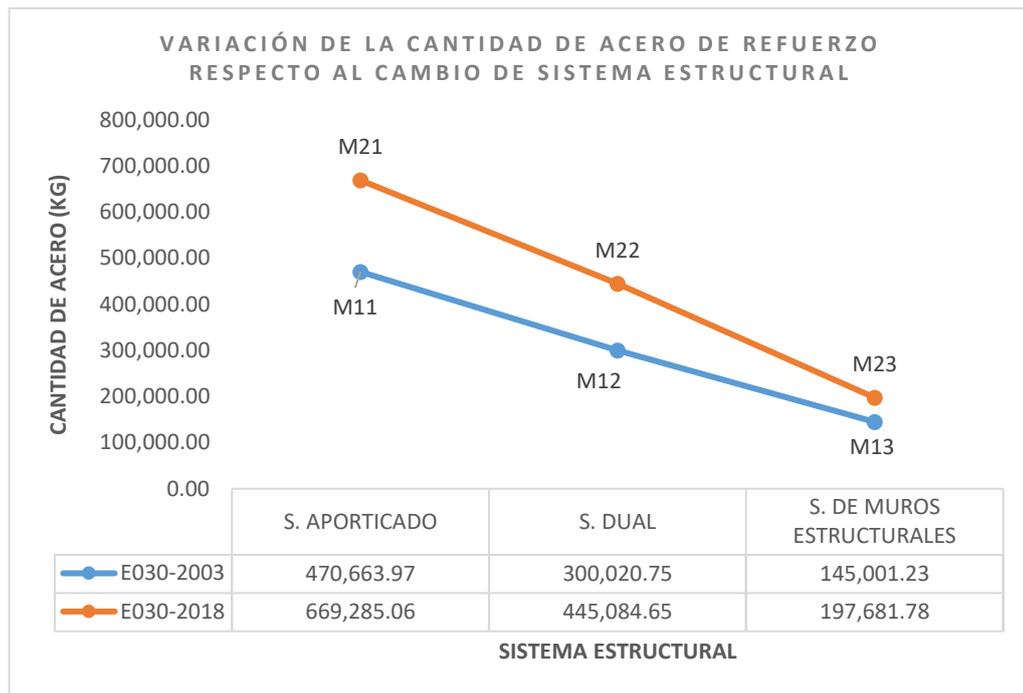
ii. 2. Comparaciones de cantidades de ACERO DE REFUERZO según el cambio de sistema estructural

Tabla 243. Comparación de cantidades y variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto al cambio de sistema estructural

| NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| E030-2003 | kg | 470,663.97 | 300,020.75 | 145,001.23 |
| | % | 100.00 | 63.74 | 30.81 |
| E030-2018 | kg | 669,285.06 | 445,084.65 | 197,681.78 |
| | % | 100.00 | 66.50 | 29.54 |

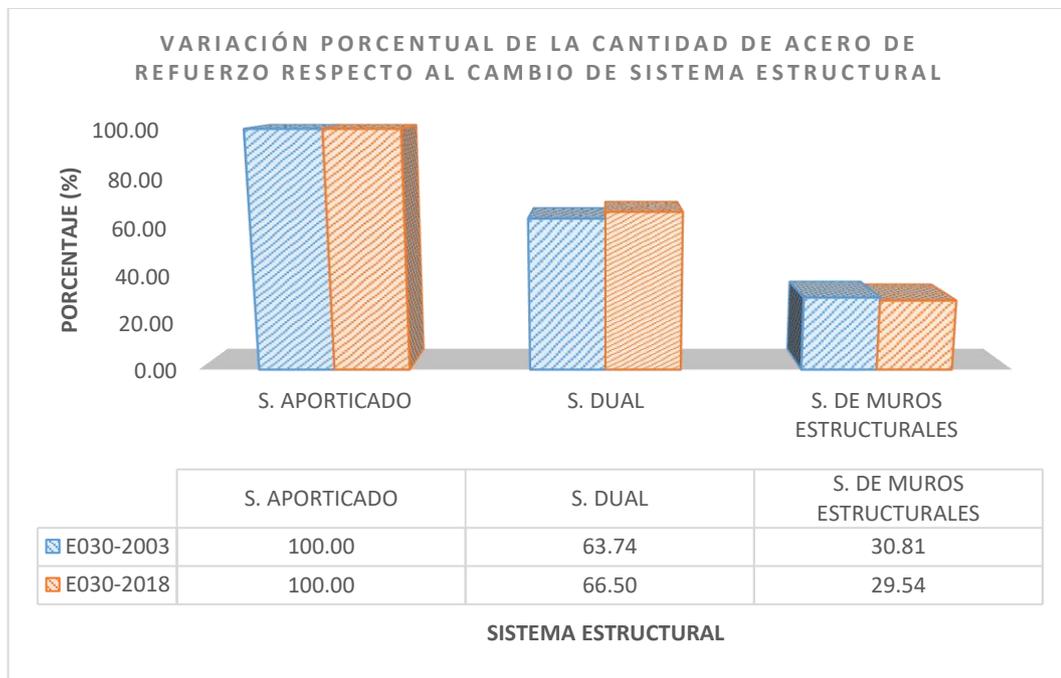
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 93. Comparación de cantidades de acero de refuerzo respecto al cambio de sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 94. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto al cambio de sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 243 y en los Gráficos 94 y 95, se observa en los modelos basados en la Norma Sismorresistente del 2003, que, en el proceso de encontrar un modelo ideal, partiendo de un modelo M11 de sistema aporticado, se consigue reducir la cantidad de

acero en un 36.26% del valor inicial, se crea otro modelo M13 de sistema de muros estructurales, que reduce aún más la cantidad de acero en un 69.19%. de la cantidad inicial. Del mismo modo se observa en los modelos basados en la Norma Sismorresistente del 2018, que partiendo de un modelo M21 de sistema aporticado, se consigue reducir la cantidad de concreto al crear el modelo M22 de sistema dual, en un 33.50% del valor inicial, y posteriormente se crea otro modelo M13 de sistema de muros estructurales, reduciendo la cantidad de concreto en un 70.46% de la cantidad inicial.

Tabla 244. Comparación de cantidades de acero de refuerzo y variación porcentual con respecto al cambio del sistema estructural y el tipo de elemento estructural (m3)

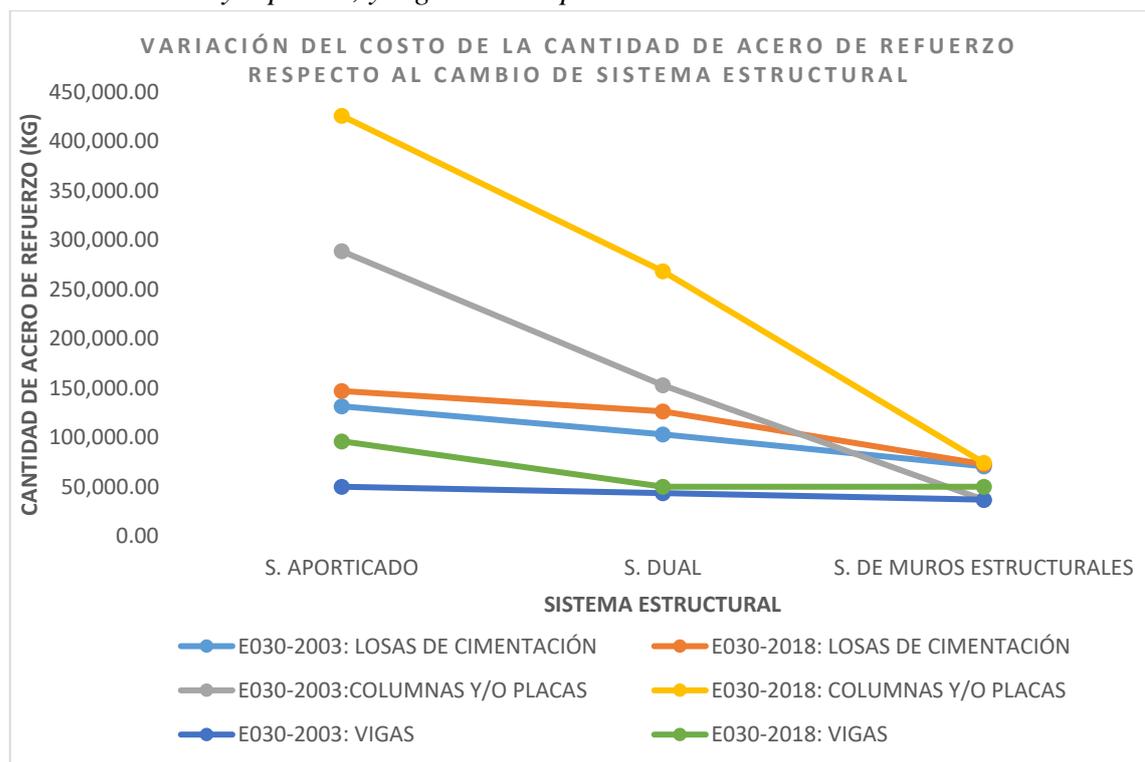
| ELEMENTO ESTRUCTURAL | NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|------------------------|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| 1. LOSA DE CIMENTACIÓN | E030-2003 | kg | 131,681.11 | 103,314.29 | 70,869.90 |
| | | % | 100.00 | 78.46 | 53.82 |
| | E030-2018 | kg | 147,135.29 | 126,397.02 | 72,981.94 |
| | | % | 100.00 | 85.91 | 49.60 |
| 2. COLUMNA Y/O PLACAS | E030-2003 | kg | 288,798.85 | 153,130.49 | 37,045.81 |
| | | % | 100.00 | 53.02 | 12.83 |
| | E030-2018 | kg | 425,887.23 | 268,503.63 | 74,473.47 |
| | | % | 100.00 | 63.05 | 17.49 |
| 3. VIGAS | E030-2003 | kg | 50,184.01 | 43,575.97 | 37,085.52 |
| | | % | 100.00 | 86.83 | 73.90 |
| | E030-2018 | kg | 96,262.54 | 50,184.01 | 50,226.37 |
| | | % | 100.00 | 52.13 | 52.18 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las variaciones porcentuales de las cantidades de acero respecto al cambio de estructuración, en ambos grupos bajo la norma Sismorresistente E030 del 2003 y sus modificaciones al 2018, son similares, y de variación lineal tal como se observa en el Gráfico 94, además son semejantes a las variaciones porcentuales calculadas para la cantidad de concreto. Para un análisis detallado de la variación en cantidad de acero de los dos grupos analizados con respecto a la modificación de su estructuración, en la Tabla 244 y Gráfico 96, se adjunta las variaciones de la cantidad de acero en los elementos

estructurales:1. Losas de Cimentación, 2. Columnas y/o placas y 3. Vigas. De los resultados obtenidos, se observa que los elementos que producen reducción en la cantidad de concreto son las columnas y/o placas, y las de menor incidencia son las losas de cimentación, en cantidades de acero de refuerzo, las vigas también se reducen en el proceso de encontrar el modelo ideal.

Gráfico 95. Variación de las cantidades de acero de refuerzo en losas de cimentación, columnas y/o placas, y vigas con respecto al cambio del sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. COSTOS OBTENIDOS DE LA PARTIDA DE ESTRUCTURAS

En esta sección se realiza las diferentes comparaciones de costos de la Partida Estructuras según la modificación de la Norma Sismorresistente E030 y la estructuración aplicada.

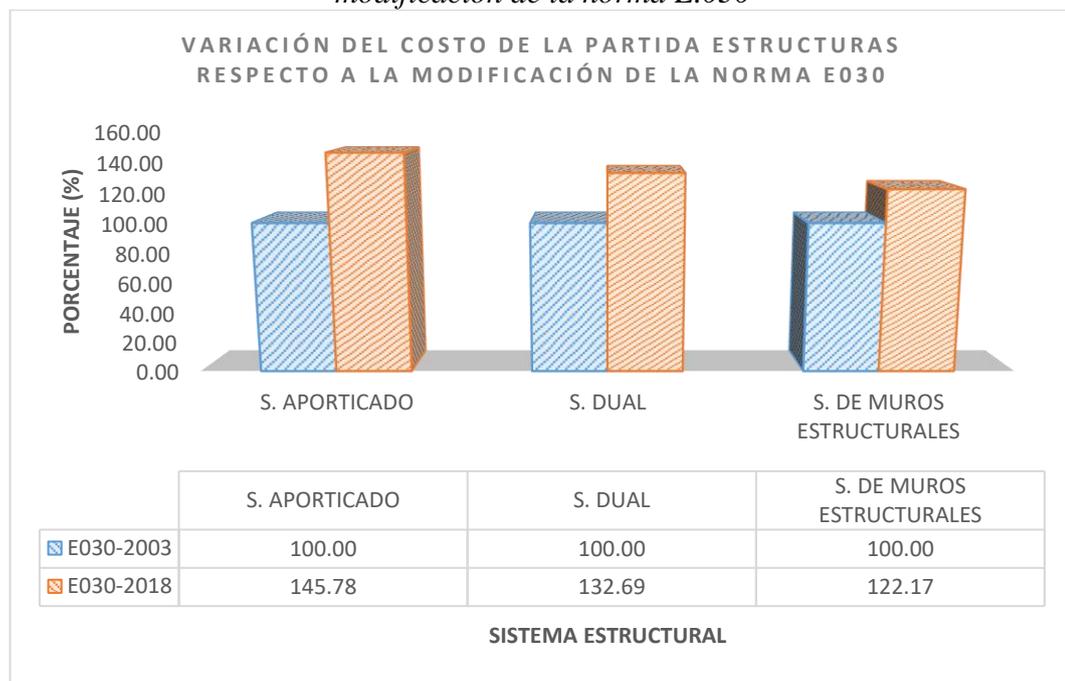
i. 1. Comparaciones de costos de la Partida Estructuras según la norma E.030 aplicada

Tabla 245. Comparación de cantidades y variación porcentual del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de la norma E.030 aplicada

| NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| E030-2003 | S/. | 6,978,667.23 | 5,117,409.82 | 3,496,147.47 |
| | % | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| E030-2018 | S/. | 10,173,796.91 | 6,790,105.38 | 4,271,372.34 |
| | % | 145.78 | 132.69 | 122.17 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 96. Variación porcentual de las cantidades de acero de refuerzo respecto a la modificación de la norma E.030



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

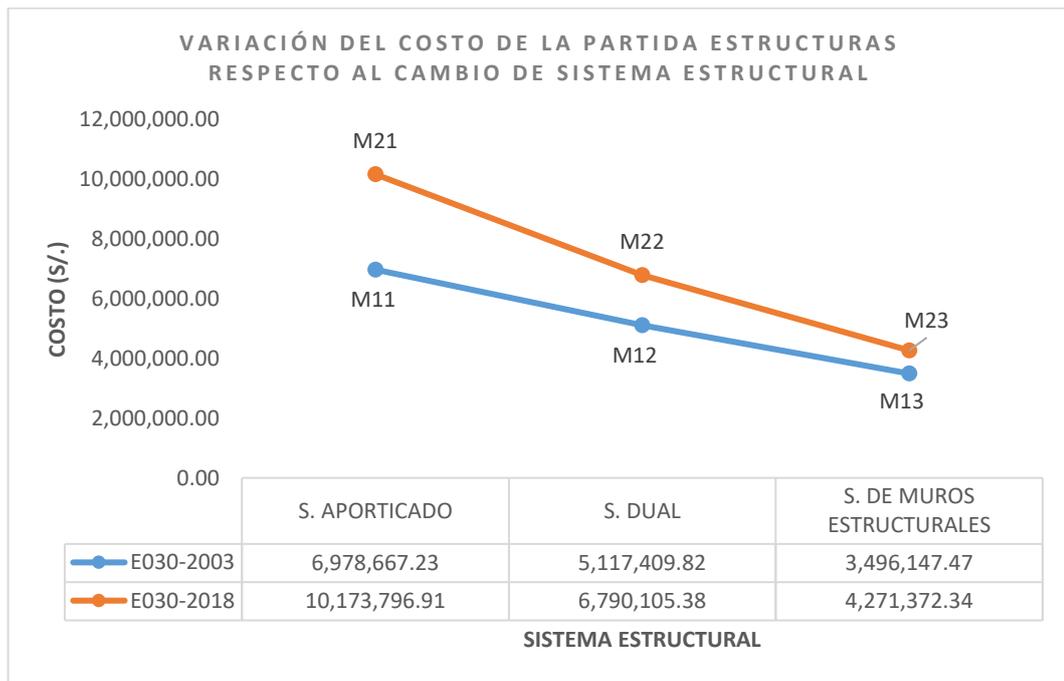
i. 2. Comparaciones del costo de la Partida Estructuras según el sistema estructural aplicado

Tabla 246. Comparación de cantidades y variación porcentual del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de sistema estructural

| NORMA APLICADA | UNIDAD | SISTEMAS ESTRUCTURALES | | |
|----------------|--------|--------------------------------|--------------------------|---|
| | | APORTICADO (MODELOS M11 y M21) | DUAL (MODELOS M12 y M22) | MUROS ESTRUCTURALES (MODELOS M13 y M23) |
| E030-2003 | S/. | 6,978,667.23 | 5,117,409.82 | 3,496,147.47 |
| | % | 100.00 | 73.33 | 50.10 |
| E030-2018 | S/. | 10,173,796.91 | 6,790,105.38 | 4,271,372.34 |
| | % | 100.00 | 66.74 | 41.98 |

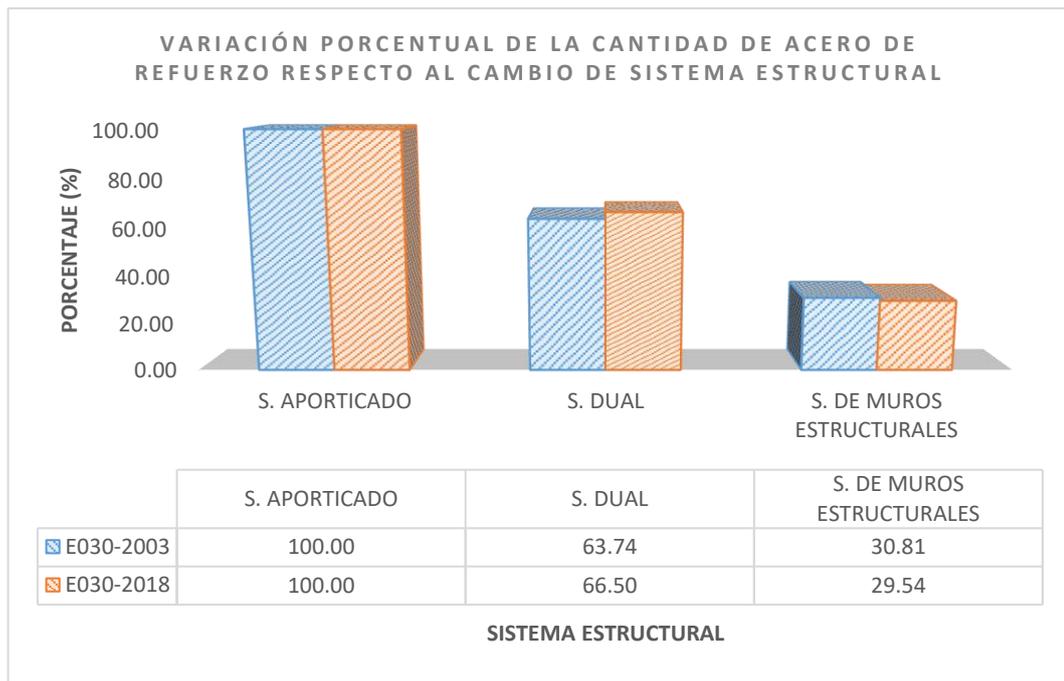
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 97. Comparación del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 98. Variación porcentual del costo de la Partida Estructuras respecto al cambio de sistema estructural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: CONCLUSIÓN QUE RESPONDE AL OBJETIVO GENERAL

En la investigación mediante los resultados obtenidos tanto en la respuesta del edificio ante un evento sísmico y el presupuesto obtenido para cada modelo estudiado, se explica las incidencias de la modificación de la Norma Sismorresistente E030 del año 2003 al año 2018, en un edificio de 10 niveles ubicado en la Ciudad de Puno. La investigación, en el proceso de encontrar opciones de solución para afrontar las diversas variaciones y llegar a una solución óptima cumpliendo los principios de diseño de edificaciones: que son resistencia, seguridad, economía y funcionalidad, controlando los daños estructurales y no estructurales con restricciones de derivas dadas en la Norma; se recorrió por los diferentes sistemas estructurales dados en la misma y aportando diversas configuraciones estructurales, e incluso incluyendo modelos con aisladores tipo LRB en la base de la estructura. Tomando en cuenta que como proyectistas del área nos limitamos a manipular del total de parámetros sísmicos dados en la norma estudiada, principalmente el factor de amplificación sísmica “C”, que depende del periodo de la estructura, y el Factor de reducción “R”, que depende del sistema estructural adoptado y las irregularidades permitidas.

Las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del 2003 al año 2018, a nivel de la respuesta de la estructura ante un evento sísmico, nos indica que para controlar los daños estructurales y no estructurales restringiendo las derivas a que sean inferiores a 0.007, condicionan al proyectista a aumentar la rigidez de los elementos estructurales independientemente del sistema estructural elegido. En la investigación al evaluar los resultados, se observó que el grado de afectación varía según el sistema estructural adoptado, siendo los modelos correspondientes al sistema dual los más afectados, seguidos por los modelos del sistema de pórticos y finalmente los de menor afección son



los pertenecientes a muros estructurales. Y si evaluamos los resultados obtenidos en los modelos de base aislada, con aislador tipo LRB, restringidas por derivas de 0.035 dadas en la Norma de Aislamiento Sísmico E031, el efecto de las modificaciones de la norma, son mínimas respecto a los resultados anteriores. Para un diseñador respecto a la respuesta sísmica, es conveniente usar el sistema estructural de muros estructurales, u optar por la solución de la estructura de base aislada, porque resultaron ser los menos afectados ante la modificación de la norma y, además, porque tienen mejor comportamiento sísmico en comparación a los otros sistemas estructurales.

Las modificaciones de la Norma Sismorresistente E030 del año 2003 al 2018, a nivel de presupuesto de la partida de estructuras, nos indica que serán necesario aumentar el presupuesto destinado inicialmente independientemente del sistema estructural adoptado. En la investigación al evaluar los resultados, se observó que el grado de afección varía según el sistema estructural adoptado, siendo los modelos correspondientes al sistema de pórticos los más afectados, seguidos por los modelos del sistema dual y finalmente los de menor afección son los pertenecientes a muros estructurales. Para un diseñador respecto al presupuesto de la partida estructuras, es conveniente usar el sistema estructural de muros estructurales, porque el impacto de la modificación de la norma es menor y, además, porque nos muestra el menor presupuesto en comparación a los otros sistemas estructurales, e incluso a los presupuestos de los modelos de base aislada, que son afectados por el costo de los aisladores y su instalación.

SEGUNDO: CONCLUSIÓN QUE RESPONDE AL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO

La aplicación de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 y sus modificaciones en el año 2018, origina un cambio en la metodología de diseño estructural que implica el cálculo de los parámetros sísmicos, criterios de regularidad estructural,



inclusión de estructuras en categorías diferentes, microzonificación sísmica, y nuevas regulaciones del periodo de la estructura. En la investigación, una de las consecuencias directas de la modificación de la norma, en el análisis estático, es el incremento del valor del coeficiente basal, valor que representa el porcentaje del peso de la edificación, obtenido para el cálculo de la fuerza cortante basal. En el análisis dinámico, otra de las consecuencias de la modificación de la norma, es la modificación del espectro de aceleraciones.

Tanto el coeficiente basal y el espectro de aceleraciones, se incrementaron debido a la modificación de los parámetros sísmicos, En todos los modelos estudiados, el Factor de Zona “Z”, varía de 2 a 3, a causa del cambio de la distribución espacial de zonas sísmicas, y además porque se adiciona una zona sísmica. El factor de amplificación del suelo “S” es afectado también, modificando su valor de 1.2 a 1.5, valor que depende de la zona en la que se proyecta; además se implementa los valores de $T_p=0.6$ y $T_l=2.0$ del terreno, que afectarán en el cálculo del factor “C”. El factor de uso “U” igual a 1, correspondiente a edificaciones de categoría C, no tiene mayor variación. El factor de reducción “R” varía, porque el criterio de identificar irregularidad de piso blando y la irregularidad por torsión cambian respecto al que se tenía en el 2003. En la norma del 2003 se castigaba al factor “R” para todos los casos de irregularidad por 0.75, en cambio en el 2018 esta reducción se da por un factor que varía desde 0.5 a 0.9 según el tipo de irregularidad. El valor de “C” varía según el periodo de la estructura, que a su vez depende de la estructuración elegida.-Finalmente, al calcular la cortante de entrepiso y el espectro de aceleraciones, se modifica la ecuación para este propósito, incluyendo el exponente k, que depende del periodo de la edificación y es diferente de 1 si el periodo de la edificación es mayor que 5 segundos.



TERCERO: CONCLUSIÓN QUE RESPONDE AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO

De los resultados obtenidos en el análisis estático y dinámico de los modelos matemáticos elaborados, se evaluó los modelos bajo la Norma Sismorresistente E030 del 2003 y sus modificaciones al año 2018, para cada sistema estructural contemplado en la misma. En la investigación se observó que, para dar cumplimiento a los límites máximos de derivas, en todos los casos de estudio, se ha tenido que incrementar la rigidez de sus elementos estructurales resistentes a fuerzas cortantes sísmicas, el que resulta de aumentar el área de sus secciones resistentes a fuerzas horizontales sísmicas en un proceso iterativo. Este fenómeno se dio, a causa de que tanto los modelos bajo la Norma Sismorresistente E.030 del 2003 y 2018, apenas cumplían con las restricciones de límite de deriva máximo.

En los Modelos de Sistema Estructural de Pórticos, fue necesario incrementar las secciones resistentes a fuerzas cortantes sísmicas en un 51.17%, para cumplir con la restricción de valores de derivas máximas de 0.007, obteniendo los siguientes resultados en el análisis estático de 0.006868 y 0.004570 y en el análisis dinámico de 0.005174 y 0.003472 en las direcciones X y Y respectivamente. En consecuencia, se modificó el periodo fundamental de la estructura, con reducciones de 0.803 a 0.691s en la dirección X y de 0.612 a 0.533s en la dirección Y. En el análisis estático, se obtuvo incrementos de la fuerza cortante hasta en un 69.04% y 46.66% en la dirección X y Y respectivamente, sin embargo, convenientemente se presentaron reducciones en sus máximos desplazamientos hasta en un 1.01% y 11.44% correspondientes a las direcciones estudiadas. En el análisis dinámico, se modificó la respuesta estructural, con incrementos de la fuerza cortante hasta en un 63.18% y 44.65% en la dirección X y Y respectivamente, y se presentaron reducciones en sus máximos desplazamientos hasta en un 4.21% y 12.82% correspondientes a las direcciones X y Y.



En los modelos de sistema estructural dual, la incidencia de la modificación de la norma es mayor debido a que fue necesario incrementar el área de sus secciones en un 81.10%, para cumplir con la restricción de valores de derivas máximas de 0.007, obteniendo los siguientes resultados en el análisis estático de 0.006773 y 0.003376 y en el análisis dinámico de 0.005399 y 0.002597 en las direcciones X y Y respectivamente. En consecuencia, se modificó el periodo fundamental de la estructura, con reducciones de 0.734 a 0.654s en la dirección X y de 0.550 a 0.444s en la dirección Y. Los resultados del análisis estático no muestran incrementos de las fuerzas cortantes en un 65.70% y 44.65% correspondientes a las direcciones X y Y, sin embargo, se obtuvo mejores resultados en los desplazamientos máximos, al reducirse en un 3.36% y 25.89% en las direcciones estudiadas. Y los resultados del análisis dinámico, nos indican que se modificó la respuesta sísmica, con incrementos de las fuerzas cortantes en un 64.88% y 44.59% correspondientes a las direcciones X y Y, y respecto a los desplazamientos máximos, en la dirección se incrementó en un 3.36%, sin embargo, en la dirección Y se redujo en un 25.89%.

Respecto al sistema estructural de muros estructurales, que tuvo menor impacto ante la modificación de la norma, se requirió incrementar las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas en un 38.74% para cumplir con la restricción de valores de derivas máximas de 0.007, obteniendo los siguientes resultados en el análisis estático de 0.006867 y 0.006215 y en el análisis dinámico de 0.005649 y 0.004689 en las direcciones X y Y respectivamente. En consecuencia, se modificó el periodo fundamental de la estructura, con reducciones de 0.826s a 0.737s en la dirección X y de 0.759 a 0.589 en la dirección Y. De los resultados obtenidos en el análisis estático, se obtiene incrementos de la fuerza cortante en un 40.13% y 54.94% en la dirección X y Y respectivamente, e incremento de los máximos desplazamientos hasta en un 5.74% en la



dirección X y reducción en un 2.93% en la dirección Y. De los resultados obtenidos en el análisis dinámico espectral, se modificó la respuesta sísmica de la estructura, produciendo incrementos de la fuerza cortante en un 36.83% y 49.03% en la dirección X y Y respectivamente, e incrementando los máximos desplazamientos hasta en un 6.73% en la dirección X y reduciendo en un 6.12% en la dirección Y.

Respecto a los modelos de base aislada, ante la modificación de la norma, se requirió disminuir las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmicas en un 3.84% para cumplir con la restricción de valores de derivas máximas de 0.0035, obteniendo los siguientes resultados en el análisis estático de 0.003022 y 0.002455 y en el análisis dinámico de 0.002861 y 0.002333 en las direcciones X y Y respectivamente. De los resultados obtenidos en el análisis estático, se obtiene reducciones de la fuerza cortante en un 17.71% y 19.70 % en la dirección X y Y respectivamente, y reducción de los máximos desplazamientos hasta en un 11.12% en la dirección X y reducción en un 7.28% en la dirección Y. De los resultados obtenidos en el análisis dinámico espectral, se modificó la respuesta sísmica de la estructura, produciendo incrementos de la fuerza cortante en un 7.19% y 17.37% en la dirección X y Y respectivamente, y reducción de los máximos desplazamientos hasta en un 22.59% en la dirección X y en un 20.70% en la dirección Y.

En el proceso de optimizar los resultados de las respuestas sísmicas de la estructura, se estudió tres diferentes estructuraciones otorgadas por la Norma Sismorresistente E030. Las estructuraciones bajo la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003, muestran reducciones en las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmica, de 48.70% cuando se cambia del sistema de pórticos al sistema dual y cuando cambia al sistema de muros estructurales, se reduce aún más, en un 83.58% del valor inicial. Por otro lado, las estructuraciones bajo la Norma



Sismorresistente E.030 del año 2003, muestran reducciones en las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas cortantes sísmica, de 38.54% cuando se cambia del sistema de pórticos al sistema dual y cuando se pasa al sistema de muros estructurales, se reduce aún más, en un 84.78% del valor inicial. Por otro lado, al comparar las áreas de las secciones de los elementos resistentes a fuerzas sísmicas, de los modelos de base con los obtenidos en el sistema estructural de muros estructurales, debido a que ambos pertenecen a este sistema, se observó que, el modelo de base aislada bajo la norma del año 2003, inconvenientemente incrementó las áreas en un 10.68%, sin embargo, en el modelo de base aislada bajo la norma del 2018 se logró reducir las áreas en un 47.65%.

A partir de los resultados se concluye que el modelo óptimo respecto a la respuesta sísmica es el que pertenece a muros estructurales, debido a que presenta el menor impacto de respuesta sísmica tanto en el cambio de Norma Sismorresistente E030 y en el proceso de obtención de la mejor estructuración.

CUARTO: CONCLUSIÓN QUE RESPONDE AL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO

Las modificaciones de la Norma Sismorresistente E.030 del año 2003 al 2018, originan incrementos en los metrados de materiales, en concreto y acero, y por consiguiente incrementos en el presupuesto de la estructura. Las variaciones del presupuesto de la partida estructuras respecto a la modificación de la norma, para los diferentes sistemas estructurales, nos muestra que los modelos pertenecientes al sistema de pórticos, presentan mayores incrementos presupuestales, en un 45.78%; los modelos pertenecientes al sistema dual, presentan incrementos de 32.69% y los modelos pertenecientes al sistema de muros estructurales, son las que presentan menor incremento, con un 22.17%. Y si se evalúa las reducciones de valor presupuestal respecto al cambio de estructuración en base a una misma Norma Sismorresistente E.030, se observa que en



los modelos que se basaron en la Norma Sismorresistente E.030 del 2003, al cambiar del sistema estructural de pórticos al sistema dual, se redujo el monto presupuestal en un 26.67% del monto inicial y al cambiarlo al sistema de muros estructurales se redujo aún más, reduciéndose en un 49.90% del valor inicial. En los modelos que se basaron en la Norma Sismorresistente E.030 del 2018, al cambiar del sistema estructural de pórticos al sistema dual, se redujo el monto presupuestal en un 33%.26 del monto inicial y al cambiarlo al sistema de muros estructurales se redujo aún más, reduciéndose en un 58.02% del valor inicial. A partir de los resultados se concluye que el modelo óptimo es el que pertenece a muros estructurales, debido a que presenta la menor variación porcentual de costos respecto a la modificación de la Norma Sismorresistente E030 y en el proceso de obtención de la mejor estructuración.



VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda priorizar distribuciones regulares y simétricas de los espacios de una edificación durante el diseño arquitectónico, porque de esta forma se preverá tener diseños que tengan una mejor respuesta sísmica, acordes a los parámetros dados en la Norma Sismorresistente E.030.
2. A partir de las modificaciones de la Norma Sismorresistente E.030, se sugiere que se realicen más investigaciones sobre esta línea de investigación.
3. A partir de los resultados obtenidos de los modelos ensayados se sugiere optimizar la estructuración de los modelos matemáticos con el uso de placas, siendo que el proyectista deberá encontrar un modelo que tenga un buen comportamiento sísmico por medio de procesos iterativos.
4. En la presente investigación se ha planteado el estudio de aisladores con respecto a la Norma E.030, pero dado que en el mes de noviembre del 2018 se aprobó la Norma E.031, amerita una investigación independiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Salguero, O. E., Jiménez Velazco, R. J., & Pineda Renderos, S. E. (2008). *Influencia de la Estructuración Sísmica en el Proceso del Diseño Estructural en Edificios*. San Salvador: Universidad de EL Salvador.
- Barbat, & Canet. (1994). *Estructuras Sometidas a Acciones Sísmicas* (Segunda ed.). Barcelona: Ediciones CIMNE.
- Blanco, M. (septiembre de 2012). Criterios Fundamentales para el Diseño Sismorresistente. *Fac. Ing. UCV*, 27(3).
- Cáceres Callo, Y., & Aquino Mamani, C. A. (2017). *Aislamiento Sísmico de un Hospital de 4 pisos en la región de Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras*. Ediciones Pearson.
- D.S. N°355-2018-VIVIENDA. (22 de octubre de 2018). Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Diario Oficial El Peruano.
- Esteva, I. (1980). Seismicity. *Elsevier Scientific*.
- Giuliani, H., Citrionovitz, A., Alandro, S., & Benavidez, H. (febrero de 1987). Arquitectura Sismo-resistente. Un nuevo enfoque para la solución integral del problema sísmico. *Informes de la Contrucción*, 38(387), 64-69.
- Inc, C. &. (2015). *CSI Analysis Reference Manual*. Computers & Structures Inc .
- Katkhoda, A., & Hnaa, R. (2012). Optimization in the Selection of Structural System for the Design of Reinforced Concrete High-rise Buildings in Resisting Seismic Forces. *Elsiever*, 269-275. doi:10.1016/j.egypro.2012.05.206
- Kelly, J., & Naeim, F. (1999). *Design of Sismic Isolated Structures from Theory to Practice*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Lafuente, M., Grases, J., & Genatios, C. (2014). Revisión de la normativa sísmica en América Latina. Geopolis;, Caracas: CAF. Recuperado de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/897>
- Leon Ingaruca, M. H., & Gutierrez Morales, S. D. (2018). *Comparación Estructural y económica de edificio de 7 piso ante modificación de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Meli Piralla, R. (2002). *Diseño Estructural* (2da ed.). Mexico: Noriega Editores.
- N°011-2006-VIVIENDA, D. (2006). Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Diario Oficial El Peruano.
- Oshiro Higa, F. (s.f.). *Edificios de Concreto Armado Cálculo Estructural Antisísmico* (Vol. I). Lima: Gráfica Horizonte.
- Santana Tapia, R. (2014). *Concreto Armado*. Huancayo: International Star Student ISS-PERÚ.



- Symans, M. D. (2012). *Instructional Material Complementing FEMA 451, Design Examples*.
- Torrealva Dávila, D. (2012). Evolución de las normas sísmicas peruanas y el diseño sismo resistente. *FORO: Evaluación de la vulnerabilidad y medidas de prevención ante riesgo sísmico y tsunami*. Lima.
- Torroja, E. (1957). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid.
- Villagomez, D. (2015). *Lineamientos para el Análisis y Diseño de Estructuras Sísmicamente Aislada en el Perú*. Lima. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Villareal Castro, G. (2009). *Análisis Estructural*. Lima.
- Wight, J. K., & Macgregor, J. G. (2012). *Reinforced concrete: Mechanics and design* (Sexta ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Wilson, E. L. (2002). *Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*. Berkeley: Computers and Structures, Inc.



ANEXOS