



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



**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE
MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA Y APORTICADO EN LA
RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR DE CINCO NIVELES, CIUDAD DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

DONALDO EMILIO LLERENA PARIAPAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres Georges y Mary, quienes con su infinito amor, ejemplo y dedicación supieron guiarme y apoyarme incondicionalmente en el transcurso de mi vida y a mis hermanos Darier y Marvin por estar presentes.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida que me ha dado, a mis padres por ser mi fortaleza y estar apoyándome en los momentos más difíciles.

A mi asesor, presidente de tesis y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la U.N.A. Puno por guiarme y brindarme todo su apoyo.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 16

ABSTRACT..... 17

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN..... 18

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 19

1.2.1 Problema general. 19

1.2.2 Problemas específicos. 19

1.2.2.1 Problema Específico 1. 19

1.2.2.2 Problema Específico 2. 19

1.2.2.3 Problema Específico 3. 20

1.3 IMPORTANCIA Y UTILIDAD DEL ESTUDIO..... 20

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. 21

1.4.1 Objetivo General. 21

1.4.2 Objetivos Específicos..... 21

1.4.2.1 Objetivo Específico 1..... 21

1.4.2.2 Objetivo Específico 2..... 21

1.4.2.3 Objetivo Específico 3..... 21

1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 21

1.5.1 Hipótesis General..... 21

1.5.2 Hipótesis Específicos. 22

1.5.2.1 Hipótesis Específica 1..... 22

1.5.2.2 Hipótesis Específica 2..... 22

1.5.2.3 Hipótesis Específica 3..... 22

1.6 CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.

..... 22



1.6.1	Localización del proyecto.	22
1.6.2	Características principales del proyecto.....	22
1.6.3	Organización del trabajo.	24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	MARCO TEÓRICO.	26
2.1.1	Generalidades.....	26
2.1.2	Antecedentes de la investigación.	26
2.1.3	Marco conceptual.	31
2.1.3.1	Configuración estructural.	31
2.1.3.2	Sistemas estructurales.	31
2.1.4	Sistema aporticado.	32
2.1.4.1	Definición del sistema.	32
2.1.4.2	Elementos estructurales.	32
2.1.5	Sistema de muros de ductilidad limitada (m.d.l).	33
2.1.5.1	Definición del sistema.	33
2.1.5.2	Elementos estructurales.	33
2.1.6	Filosofía de diseño sismorresistente.	34
2.1.7	Sismología.....	34
2.1.8	Sismos.	35
2.1.9	Causas de los sismos.	36
2.1.10	Clasificación de los sismos.	36
2.1.10.1	Según su origen.....	36
2.1.11	Sismicidad en el Perú.	37
2.1.12	Efectos sísmicos en los edificios.....	38
2.1.13	Criterios de estructuración y diseño.....	41
2.1.13.1	Simplicidad y simetría.	41
2.1.13.2	Resistencia y ductilidad.	41
2.1.13.3	Hiperestaticidad y monolitismo.	42
2.1.13.4	Uniformidad y continuidad de la estructura.	43
2.1.13.5	Rigidez lateral.	43
2.1.13.6	Existencia de losas que permitan considerar a la estructura como una unidad (diafragma rígido).	44
2.1.14	Métodos de análisis estructural.	44



2.1.14.1 Procedimiento de las fuerzas laterales equivalentes (análisis estático).	45
2.1.14.2 Procedimiento de análisis dinámico.	45
2.1.15 Características relevantes de los edificios para comportamientos sísmico.	47
2.1.16 Diseño De Elementos Estructurales	49
2.1.16.1 Combinaciones de cargas de diseño.	50
2.1.16.2 Diseño a flexión.	50
2.1.16.3 Diseño por cortante.	54
2.1.16.4 Diseño por Flexo Compresión	56
2.1.16.5 Diseño de muros de ductilidad limitada.	58

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES	60
3.1.1 Materiales utilizados en el proceso de Investigación	60
3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.2.1 Tipo de Investigación	61
3.2.2 Nivel de Investigación	61
3.2.3 Método de Investigación	61
3.2.4 Diseño de la Investigación	61
3.2.5 Esquema del proceso de Investigación	62
3.2.6 Población y Muestra	62
3.2.6.1 Población.	62
3.2.6.2 Muestra.	63
3.2.7 Instrumentos.	63
3.2.7.1 Instrumentos metodológicos.	63
3.2.7.2 Instrumentos de ingeniería.	63
3.2.8 Procedimiento de recolección de Datos	63
3.2.8.1 Perfil de Suelo	63
3.2.8.2 Arquitectura del Proyecto	64
3.3 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO	65
3.4 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO.	65
3.5 SISTEMA APORTICADO.	66
3.5.1 Predimensionamiento sistema aporticado.	66



3.5.2	Predimensionamiento de Vigas.....	66
3.5.3	Predimensionamiento de losa aligerada.....	67
3.5.4	Predimensionamiento de columnas.....	68
3.5.5	Metrado de Cargas Sistema Aporticado	70
3.5.6	Inicialización del Modelo Sistema Aporticado	73
3.5.7	Configuración de Grillas.....	73
3.5.8	Definición de Materiales.....	73
3.5.9	Definición de Secciones de Elementos Viga y Columna.....	74
3.5.10	Dibujo de Elementos Estructurales	75
3.5.11	Cargas y Combinación de Cargas	75
3.5.12	Estimación del Peso	76
3.5.13	Asignación de Cargas a la Estructura	77
3.5.14	Definición de Diafragma Rígido de Entrepiso.....	77
3.5.15	Definir Brazos Rígidos para Vigas y Columnas	78
3.5.16	Análisis Sísmico Estático Sistema Aporticado	78
3.5.16.1	Cálculo del Periodo Fundamental Normativo	79
3.5.16.2	Cálculo del Factor de Amplificación Sísmica	80
3.5.16.3	Cálculo del Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica.....	80
3.5.16.4	Cálculo de la fuerza cortante en la base.....	80
3.5.16.5	Fuerza Cortante en la Base	82
3.5.16.6	Desplazamientos y Derivas Máximas.....	82
3.5.17	Análisis dinámico sistema aporticado.....	82
3.5.17.1	Asignación del espectro de respuesta.	82
3.5.17.2	Asignación del caso de carga del espectro.....	83
3.5.17.3	Fuerza cortante en la base.....	84
3.5.17.4	Desplazamientos y derivas máximas.....	84
3.5.17.5	Fuerza cortante mínima para diseño.	85
3.5.17.6	Diseño de elementos estructurales.....	85
3.6	SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA.....	93
3.6.1	Predimensionamiento sistema muros de ductilidad limitada.....	93
3.6.1.1	Losa maciza.	93
3.6.1.2	Muros de ductilidad limitada.	94
3.6.2	Metrado de cargas sistema muros de ductilidad limitada.	95
3.6.2.1	Losas macizas.	95



3.6.2.2 Muros de ductilidad limitada.	96
3.6.3 Inicialización del modelo sistema mdl.	96
3.6.4 Configuración de grillas.	96
3.6.5 Definición de materiales.	97
3.6.6 Definición de muros de ductilidad limitada y losas macizas.	97
3.6.7 Dibujo de muros de ductilidad limitada.	98
3.6.8 Cargas y combinación de cargas.	99
3.6.9 Estimación del peso.	100
3.6.10 Asignación de cargas a la estructura.	101
3.6.11 Definición de diafragma rígido de entrepiso.	102
3.6.12 Discretización de mdl.	102
3.6.13 Análisis estático sistema muros de ductilidad limitada.	103
3.6.13.1 Parámetros sísmicos.	103
3.6.13.2 Cálculo del periodo fundamental normativo.	103
3.6.13.3 Cálculo del factor de amplificación sísmica.	104
3.6.13.4 Cálculo del coeficiente de reducción de la fuerza sísmica.	105
3.6.13.5 Cálculo de la fuerza cortante en la base.	105
3.6.13.6 Fuerza cortante en la base.	106
3.6.13.7 Desplazamientos y derivas máximas.	107
3.6.14 Análisis dinámico sistema de muros de ductilidad limitada.	107
3.6.14.1 Asignación del espectro de respuesta.	107
3.6.14.2 Asignación del caso de carga del espectro.	108
3.6.14.3 Fuerza cortante en la base.	108
3.6.14.4 Desplazamientos y derivas máximas.	110
3.6.14.1 Diseño de elementos estructurales.	110
3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO.	115
3.7.1 Planilla de Metrados	116
3.7.2 Análisis de Precios Unitarios	117
3.7.3 Presupuesto	117

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS	118
4.1.1 Desplazamientos y Derivas Máximas de Entrepiso.	118
4.1.2 Fuerza Cortante	126



4.1.3	Análisis Económico	129
4.2	DISCUSIONES Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	131
4.2.1	Del análisis estático y dinámico.....	131
4.2.2	Del análisis económico.	135
4.2.3	Escalamiento de fuerzas para diseño.	135
4.2.4	Escalamiento de fuerzas para diseño y control de deriva sistema mdl. ...	136
4.3	PRUEBA DE HIPÓTESIS	136
4.3.1	Coefficiente o Índice de Correlación	137
4.3.2	Prueba de Hipótesis Específica Número 1	138
4.3.3	Prueba de Hipótesis Específica Número 2.....	139
4.3.4	Prueba de Hipótesis Específica Número 3.....	139
V.	CONCLUSIONES.....	141
VI.	RECOMENDACIONES	143
VII.	REFERENCIAS.....	144
	ANEXOS.....	146

Tema : Simulación y diseño estructural de edificios

Área : Estructuras

Línea de Investigación: Análisis y Diseño Estructural

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 DE FEBRERO DEL 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización del proyecto de investigación.	23
Figura 1.2 Zonas sísmicas.....	23
Figura 1.3 Vista 1-3D del proyecto en análisis.....	23
Figura 1.4 Vista 2-3D del proyecto en análisis.....	24
Figura 2.1 Movimientos de placas.....	36
Figura 2.2 Placa de Nazca y Sudamericana.....	37
Figura 2.3 Fuerza de inercia.....	38
Figura 2.4 Modelo de un sistema de un grado de libertad.....	39
Figura 2.5 Amplificación del movimiento.....	40
Figura 2.6 Relación carga-deformación de una estructura.....	40
Figura 2.7 Peso sísmico en una estructura.....	47
Figura 2.8 Formas asimétricas en planta indeseables.....	48
Figura 2.9 Posibles remedios en planta.....	48
Figura 2.10 Posibles remedios en elevación.....	49
Figura 2.11 Requerimientos de estribos en vigas.....	55
Figura 3.1 Esquema de trabajo.....	62
Figura 3.2 Plano arquitectónico1.....	64
Figura 3.3 Plano arquitectónico 2.....	65
Figura 3.4 Distribución de ejes.....	69
Figura 3.5 Inicialización de modelo.....	73
Figura 3.6 Configuración de grillas sistema aporticado.....	73
Figura 3.7 Definición de material concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$	74
Figura 3.8 Sección de los elementos estructurales.....	74
Figura 3.9 Modelado del sistema aporticado.....	75
Figura 3.10 Patrones de carga.....	75
Figura 3.11 Combinaciones de carga.....	76
Figura 3.12 Asignación del peso sísmico.....	76
Figura 3.13 Asignación de cargas al modelo.....	77
Figura 3.14 Asignación de diafragma rígido.....	77
Figura 3.15 Asignación de brazo rígido.....	78
Figura 3.16 Participación modal y periodos aporticado.....	79
Figura 3.17 Asignación de coeficiente en X.....	81



Figura 3.18 Asignación de coeficiente en Y.....	81
Figura 3.19 Espectro de diseño en X.	82
Figura 3.20 Espectro de diseño en Y.	83
Figura 3.21 Asignación del caso de carga en X.....	83
Figura 3.22 Asignación del caso de carga en Y.....	84
Figura 3.23 Escalamiento de fuerzas.	85
Figura 3.24 Pórtico donde se muestran las vigas a diseñar.	86
Figura 3.25 Envolvente de momentos eje B segundo nivel.....	87
Figura 3.26 Vista de la columna a diseñar.....	90
Figura 3.27 Distribución de acero longitudinal C-2.	90
Figura 3.28 Diagrama de interacción M33-X.....	92
Figura 3.29 Diagrama de interacción M22-X.....	92
Figura 3.30 Diagrama de interacción M33-Y.....	92
Figura 3.31 Diagrama de interacción M22-Y.....	93
Figura 3.32 Estructuración y distribución M.D.L.....	95
Figura 3.33 Inicialización de modelo sistema M.D.L.....	96
Figura 3.34 Configuración de grillas sistema M.D.L.	97
Figura 3.35 Definición de material concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	97
Figura 3.36 Sección de muros de ductilidad limitada.....	98
Figura 3.37 Sección de losa maciza.....	98
Figura 3.38 Modelado del sistema M.D.L.	99
Figura 3.39 Distribución de los muros de ductilidad limitada.....	99
Figura 3.40 Combinaciones de carga M.D.L.....	100
Figura 3.41 Combinaciones de carga para Sistema M.D.L.	100
Figura 3.42 Peso sísmico sistema M.D.L.	101
Figura 3.43 Cargas del sistema M.D.L.	101
Figura 3.44 Diafragma rígido sistema M.D.L.	102
Figura 3.45 Discretización sistema M.D.L.....	103
Figura 3.46 Participación modal y periodos M.D.L.	104
Figura 3.47 Asignación de coeficiente en X.....	106
Figura 3.48 Asignación de coeficientes en Y.	106
Figura 3.49 Espectro de diseño en X.	107
Figura 3.50 Espectro de diseño en Y.	108



Figura 3.51 Asignación del caso de carga en X.....	109
Figura 3.52 Asignación del caso de carga en Y.....	109
Figura 3.53 Distribución de acero Y10.....	112
Figura 3.54 Diagrama de interacción M33-X.....	113
Figura 3.55 Diagrama de interacción M22-X.....	114
Figura 3.56 Diagrama de interacción M33-Y.....	114
Figura 3.57 Diagrama de interacción M22-Y.....	115
Figura 4.1 Desplazamiento máximo-sistema aporticado.....	122
Figura 4.2 Desplazamiento máximo-sistema M.D.L.....	122
Figura 4.3 Desplazamiento máximo-sistema aporticado.....	123
Figura 4.4 Desplazamiento máximo-sistema M.D.L.....	123
Figura 4.5 Derivas máximas-sistema aporticado.....	124
Figura 4.6 Derivas máximas-sistema M.D.L.....	125
Figura 4.7 Derivas máximas-sistema aporticado.....	125
Figura 4.8 Derivas máximas-sistema M.D.L.....	126
Figura 4.9 Fuerza cortante en X e Y-sismo estático.....	131
Figura 4.10 Fuerza cortante e X e Y-sismo dinámico.....	132
Figura 4.11 Desplazamiento máximo-sismo estático.....	133
Figura 4.12 Derivas máximas-análisis sísmico estático.....	133
Figura 4.13 Desplazamiento máximo-sísmico dinámico.....	134
Figura 4.14 Derivas Máximas-sísmico dinámico.....	134



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Factores de reducción.	50
Tabla 2.2 Peraltes mínimos de vigas no preesforzadas.	50
Tabla 3.1 Propiedades mecánicas del concreto consideradas.	66
Tabla 3.2 Categoría de edificación.	68
Tabla 3.3 Predimensionamiento primario de columnas.	68
Tabla 3.4 Predimensionamiento final de columnas.	69
Tabla 3.5 Metrado de cargas puntual pisos típicos ejes secundarios.	70
Tabla 3.6 Metrado de cargas muros de azotea.	70
Tabla 3.7 Metrado de cargas muros de pisos típicos ejes principales.	71
Tabla 3.8 Metrado de cargas muros de pisos típicos ejes secundarios.	72
Tabla 3.9 Tabla diseño de viga tramo 1 eje 1-2.	87
Tabla 3.10 Tabla diseño de viga tramo 2 eje 2-3.	87
Tabla 3.11 Tabla diseño de viga tramo 3 eje 3-4.	87
Tabla 3.12 Tabla diseño de viga tramo 4 eje 4-5.	88
Tabla 3.13 Tabla diseño de viga tramo 1 eje 1-2.	88
Tabla 3.14 Tabla diseño de viga tramo 2 eje 2-3.	88
Tabla 3.15 Tabla diseño de viga tramo 3 eje 2-3.	89
Tabla 3.16 Tabla diseño de viga tramo 4 eje 4-5.	89
Tabla 3.17 Cargas en la base de la columna C-2.	90
Tabla 3.18 Combinaciones en X de la columna C-2.	90
Tabla 3.19 Combinaciones de carga en Y de la columna C-2.	91
Tabla 3.20 Metrado de cargas de losa maciza.	96
Tabla 3.21 Cargas en la base del muro Y10.	112
Tabla 3.22 Combinaciones de carga en X para el muro Y10.	112
Tabla 3.23 Combinaciones de carga en Y para el muro Y10.	113
Tabla 3.24 Relación de partidas sistema aporticado.	116
Tabla 3.25 Relación de partidas sistema M.D.L.	116
Tabla 4.1 Desplazamiento y derivas en X-sistema aporticado.	119
Tabla 4.2 Desplazamiento y derivas en Y-sistema aporticado.	119
Tabla 4.3 Desplazamiento y derivas en X-sistema aporticado.	119
Tabla 4.4 Desplazamiento y derivas de en Y-sistema aporticado.	120
Tabla 4.5 Desplazamientos y derivas en X-sistema M.D.L.	120



Tabla 4.6 Desplazamientos y derivas en Y-sistema M.D.L.....	120
Tabla 4.7 Desplazamiento y derivas en X-sistema M.D.L.	121
Tabla 4.8 Desplazamiento y derivas en Y-sistema M.D.L.	121
Tabla 4.9 Fuerza cortante en X-sistema aporticado.....	127
Tabla 4.10 Fuerza cortante en Y-sistema aporticado.....	127
Tabla 4.11 Fuerza cortante en X-sistema aporticado.....	127
Tabla 4.12 Fuerza cortante en Y-sistema aporticado.....	128
Tabla 4.13 Fuerza cortante en X-sistema M.D.L.....	128
Tabla 4.14 Fuerza cortante en Y-sistema M.D.L.....	128
Tabla 4.15 Fuerza cortante en X-sistema M.D.L.....	129
Tabla 4.16 Fuerza cortante en Y-sistema M.D.L.....	129
Tabla 4.17 Presupuesto final sistema aporticado.....	130
Tabla 4.18 Presupuesto final sistema muros de ductilidad limitada.....	131
Tabla 4.19 Coeficientes de escalamiento-sistema aporticado.	136
Tabla 4.20 Coeficientes de escalamiento-sistema M.D.L.	136
Tabla 4.21 Prueba de hipótesis específica número 1.....	138
Tabla 4.22 Prueba de hipótesis específica número 2.....	139



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ACI: American Concrete Institute.

ETABS: Extend Three Dimensional Analysis of Building System.

MDL: Muros de Ductilidad Limitada.

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.



RESUMEN

El déficit de vivienda en la región de Puno es alto, debido al crecimiento poblacional. En la última década ha surgido en el país como alternativa de solución de este problema la construcción de edificios de mediana y gran altura. No obstante, la problemática más recurrente para los ingenieros es la de que sistema estructural se utilizará en este tipo de edificaciones para obtener un mejor comportamiento sismorresistente. El objetivo fue evaluar la influencia de los Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno. El método de análisis sísmico que se utilizó para comparar los parámetros de fuerza cortante y derivas máximas de entrepiso fue el análisis sísmico estático y dinámico modal espectral, para obtener las fuerzas sísmicas de diseño se utilizó únicamente el análisis dinámico modal espectral escalándolo respecto al análisis sísmico estático como es exigido por nuestra norma E.030. Para el diseño de elementos estructurales se tomó de referencia la Norma E.060-2009. También se realizó un análisis económico del costo que conlleva cada sistema estructural, esto para determinar la mejor alternativa económica. En el sistema aporticado se obtuvo una deriva máxima de 99.5% del permisible por la norma, para el sistema de muros de ductilidad limitada de 37.08% del permisible. Respecto a los desplazamientos máximos para el análisis dinámico en el sistema aporticado se obtuvieron valores de 6.90 y 7.33 mm en los ejes X e Y respectivamente, en tanto en el sistema de muros de ductilidad limitada 3.28 y 3.41 mm en X e Y. Para las fuerzas cortantes del análisis dinámico se obtuvieron valores máximos de 248.04 y 324.90tonf para el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada respectivamente. Respecto al análisis económico el sistema de muros de ductilidad limitada resulto ser más económico que el sistema aporticado en S/ 11,367.20. En consecuencia, de los resultados obtenidos en la presente investigación se muestra que para el edificio multifamiliar en análisis el sistema estructural de muros de Ductilidad Limitada presenta una mejor respuesta sismorresistente en los parámetros evaluados con respecto al sistema aporticado.

Palabras clave: Análisis Sísmico Dinámico, Análisis Sísmico Estático, Sistema Aporticado, Sistema Muros de Ductilidad Limitada.



ABSTRACT

The housing deficit in the Puno region is high, due to population growth. In the last decade, the construction of medium and high-rise buildings has emerged as an alternative solution to this problem. However, the most recurrent problem for engineers is which structural system will be used in this type of buildings to obtain a better earthquake-resistant behavior. The objective was to evaluate the influence of the Systems of Walls of Limited Ductility and Contributed in the structural response of a multi-family building of five levels in the city of Puno. The seismic analysis method used to compare the parameters of shear force and maximum mezzanine drifts was the spectral modal static and dynamic seismic analysis, to obtain the design seismic forces only the spectral modal dynamic analysis was used scaling it with respect to the seismic analysis. static as required by our E.030 standard. For the design of structural elements, Standard E.060-2009 was taken as a reference. An economic analysis of the cost involved in each structural system was also carried out in order to determine the best economic alternative. In the contributed system, a maximum drift of 99.5% of the permissible by the standard was obtained, for the system of walls of limited ductility of 37.08% of the permissible. Regarding the maximum displacements for the dynamic analysis in the contributed system, values of 6.90 and 7.33 mm were obtained in the X and Y axes respectively, while in the limited ductility wall system 3.28 and 3.41 mm in X and Y. Shear forces from the dynamic analysis obtained maximum values of 248.04 and 324.90 tonf for the cast system and walls of limited ductility, respectively. Regarding the economic analysis, the system of walls of limited ductility turned out to be cheaper than the system provided in S/11,367.20. Consequently, from the results obtained in the present investigation it is shown that for the multifamily building under analysis, the structural system of walls of Limited Ductility presents a better earthquake-resistant response in the parameters evaluated with respect to the provided system.

Key Words: Dynamic Seismic Analysis, Static Seismic Analysis, Ported System, Limited Ductility Walls System.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

El Perú es un país de alta sismicidad a consecuencia de su ubicación en el cinturón de fuego del pacífico, muchas ciudades pertenecientes a la zona costera del país se encuentran pasando por un largo periodo de silencio sísmico, manteniendo la vulnerabilidad y el gran temor ante una pronta llegada de un sismo de gran magnitud (Chavez, 2017, p. 5). Estos sismos ocasionan pérdidas económicas y de vidas humanas.

Por lo cual los ingenieros estructurales deben diseñar los sistemas estructurales tomando en consideración la acción sísmica. Para hacer frente a estas solicitaciones se han establecido a lo largo de la historia diversos reforzamientos a las estructuras tales como diferentes planteamientos estructurales (aporticado, dual, muros de ductilidad limitada, albañilería confinada, etc.), sistemas de disipación de energía y otros. Todos estos son utilizados en la actualidad según sea necesario en cada proyecto estructural para contrarrestar los posibles daños ocasionados por los sismos.

La ciudad de Puno no está exenta de los movimientos sísmicos ya que se encuentra ubicada en una zona sísmica tipo 3 (Sismicidad alta) según la norma técnica E.030 - 2018, existiendo antecedentes registrados por el instituto geofísico del Perú (IGP). Es por ello que los ingenieros proyectistas de la especialidad de estructuras deben de tener más cuidado al momento de realizar el análisis sísmico de los edificios, tomando como fundamento la Norma Técnica E.030.



Por otro lado, la mayoría de edificios Multifamiliares de 4 a 7 niveles existentes en la ciudad de Puno están diseñadas convencionalmente por el sistema estructural aporticado, no obstante, en el norte de nuestro país se vienen construyendo edificios de este tipo con el sistema estructural de Muros de Ductilidad Limitada (MDL). Por lo cual en la presente investigación se propone evaluar la influencia de los sistemas de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en el control de la respuesta estructural (Derivas de entrepiso, desplazamientos, fuerza cortante en la base) y costo de un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1 Problema general.

¿Cómo influye el Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno?

1.2.2 Problemas específicos.

1.2.2.1 Problema Específico 1.

¿Cómo influye el Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en el control de la deriva de entrepisos de un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno?

1.2.2.2 Problema Específico 2.

¿Cómo influye el Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en el control de la fuerza cortante de un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno?



1.2.2.3 Problema Específico 3.

¿Cómo influye el Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en la mejora del análisis económico de un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno?

1.3 IMPORTANCIA Y UTILIDAD DEL ESTUDIO.

Debido a que la región de Puno se encuentra en una zona sísmica (3) según la norma E.030-2018 y la población va creciendo de forma acelerada con el tiempo, es necesario que los ingenieros estructurales realicen diseños de edificaciones que sean seguras y eficaces ante solicitaciones sísmicas que se pudieran dar en la región.

Según Villareal (2015, pp) el sistema estructural de muros de ductilidad limitada se ha venido utilizando desde hace años atrás, pero ha recobrado mucha importancia a partir del año 2000 para adelante, la construcción de edificaciones con este sistema estructural ha sido muy alta sobre todo en las clases de niveles C y D, porque en este sistema son a su vez muros portantes y muros de corte.

La presente investigación se realizó con la finalidad de conocer cuál de los dos sistemas estructurales más utilizados en los proyectos de edificios multifamiliares de cinco niveles presenta mejor respuesta estructural ante un evento sísmico, todo esto en base a los análisis sísmicos (análisis estático y análisis dinámico modal espectral) que nos exige la Norma Técnica E.030-2018, así también realizar el diseño de concreto armado de cada sistema estructural analizado.



1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar la influencia de los Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de cinco niveles, ciudad de Puno.

1.4.2 Objetivos Específicos.

1.4.2.1 Objetivo Específico 1

Determinar la influencia del Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en el control de la deriva de entrepisos de un edificio multifamiliar de cinco niveles, ciudad de Puno.

1.4.2.2 Objetivo Específico 2

Determinar la influencia del Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Aporticado en el control de la fuerza cortante de un edificio multifamiliar de cinco niveles, ciudad de Puno.

1.4.2.3 Objetivo Específico 3

Seleccionar la mejor alternativa en el costo de la estructura con justificación técnica e incentivar el uso de este sistema estructural.

1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.5.1 Hipótesis General.

El sistema de muros de ductilidad limitada presenta una mejor respuesta estructural que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno.



1.5.2 Hipótesis Específicos.

1.5.2.1 Hipótesis Específica 1.

El sistema de muros de ductilidad limitada presenta una menor deriva de entrepiso que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno.

1.5.2.2 Hipótesis Específica 2.

El sistema de muros de ductilidad limitada presenta menor fuerza cortante que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno.

1.5.2.3 Hipótesis Específica 3.

El sistema de muros de ductilidad limitada presenta una mejor alternativa económica que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de cinco niveles en la ciudad de Puno.

1.6 CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.

1.6.1 Localización del proyecto.

La investigación contempla un proyecto de edificación de vivienda multifamiliar de cinco niveles ubicado en el Jr. San Juan Bosco del barrio San José de la Ciudad de Puno. Esta se ubica en una zona sísmica de tipo (3).

1.6.2 Características principales del proyecto.

Cada nivel tiene un área aproximada de 419 m² y comprende 4 mini departamentos por nivel.



Figura 1.1 Localización del proyecto de investigación.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 1.2 Zonas sísmicas.
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E.030-2018.



Figura 1.3 Vista 1-3D del proyecto en análisis.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Los departamentos tienen un dormitorio principal con baño propio, un dormitorio común, una sala comedor, una cocina y un baño en común.



Figura 1.4 Vista 2-3D del proyecto en análisis.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

1.6.3 Organización del trabajo.

En el capítulo I se muestran los lineamientos generales, planteamiento metodológico (problema, objetivos e hipótesis) que sustentan la investigación.

En el capítulo II se presenta los antecedentes de la investigación y el marco teórico, definiciones y la importancia de cada sistema estructural acerca del tema de investigación tales como: definiciones e importancia de los sistemas estructurales Aporticado y Muros de Ductilidad Limitada.

En el capítulo III comprende la metodología utilizada para la elaboración de la investigación. Procedimientos para el análisis estático y análisis dinámico modal espectral por cada sistema estructural, diseño estructural de cada sistema todo esto con la ayuda del software ETABS 2016.

En el capítulo IV se muestran los resultados acerca del procedimiento desarrollado en el capítulo III, de esta forma estos son analizados con referencia a los objetivos planteados en la investigación, así mostrando resultados comparativos entre los dos sistemas estructurales estudiados.



En el capítulo V se muestran las conclusiones a las que se llegó después de realizar la investigación a partir de los objetivos propuestos y los resultados obtenidos.

En el capítulo VI se elaboran las recomendaciones de la investigación a partir de las conclusiones obtenidas.

En el capítulo VII se muestran las referencias bibliográficas consultadas para la elaboración de la presente investigación. Finalmente se concluye con los anexos siguientes:

El ANEXO 1, contiene los planos de arquitectura de la vivienda multifamiliar.

El ANEXO 2, contiene los planos de diseño en concreto armado de cada sistema estructural.

El ANEXO 3, contiene los diagramas de interacción de columnas.

El ANEXO 4, contiene los diagramas de interacción de los muros de ductilidad limitada.

El ANEXO 5, contiene los análisis de precios unitarios para el análisis económico.

El ANEXO 6, contiene las planillas de metrados para el análisis económico.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO.

2.1.1 Generalidades.

En el presente capítulo se presentan los antecedentes de la investigación y se describen las referencias teóricas relacionadas al tema de investigación, definiciones y conceptos entorno al sistema estructural aporticado, muros de ductilidad limitada (MDL), diseño estructural y respuesta estructural según la norma E.030, 2018.

2.1.2 Antecedentes de la investigación.

En el ámbito internacional y nacional existen investigaciones respecto a la respuesta sísmica de los sistemas estructurales Aporticado y Muros de Ductilidad Limitada por separado.

Delgado y Rodríguez (2006), es su estudio referido a edificios peruanos con muros de ductilidad limitada, busca identificar las características principales en los edificios de muros de ductilidad limitada peruanos para realizar una primera aproximación al comportamiento sismorresistente, para ello se formó un panel de expertos para opinar sobre la seguridad sísmica y para lograr estimaciones de las posibles pérdidas materiales por sismo. Se obtuvo como resultados en la opinión de expertos el desarrollo de un modelo de probabilidades para cuantificar la relación intensidad daño mediante curvas de fragilidad y matrices de daño. Y se concluyó que los edificios con muros de ductilidad de 5 a 7 pisos quedarían con un daño irreparable para intensidades mayores o iguales a IX MM. En caso de sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno), los resultados muestran que el



daño sería reparable con un factor de daño medio del orden del 15%. En el caso de sismos raros (500 años de periodo de retorno), los resultados indican que estos edificios presentarían un daño reparable con un factor de daño medio de alrededor de 50%.

Campaña (2015), realizó un análisis comparativo de los sistemas estructurales: aporticado y muros portantes en un edificio de 10 pisos, en esta investigación el autor se propone comparar parámetros estructurales globales en dos alternativas constructivas, una aporticada y la otra estructura de la misma área con muros portantes. Se emplea un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo con el fin de determinar la relación existente entre las variables. Obteniendo como resultados que el edificio con el sistema estructural con muros portantes presenta mayores valores de cortante basal estático y dinámico así también el sistema aporticado presenta derivas máximas mayores que el edificio con muros portantes. De esta manera el autor concluye que el edificio con el sistema aporticado presenta una mayor excentricidad produciendo una torsión excesiva con respecto al sistema de muros portantes ante un evento sísmico.

Barros (2015) , en su estudio acerca del análisis comparativo económico-estructural entre un sistema aporticado, un sistema aporticado con muros estructurales y un sistema de paredes portantes, en un edificio de 10 pisos, el autor busca estudiar y analizar dos sistemas estructurales alternativos al sistema aporticado, con el fin de demostrar que su comportamiento sísmico es mucho mejor. Y en función de este análisis establecerlos como alternativas de construcción. En la presente investigación se emplea un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo con el fin de determinar la relación existente entre las variables. Obteniendo como resultados que el edificio con el sistema estructural aporticado



por ser un sistema flexible requieren de secciones de gran tamaño principalmente en columnas para resistir las sollicitaciones por cortante que produce el sismo en ambas direcciones. En el edificio aporticado los daños presentados en elementos estructurales y no estructurales después de un sismo fuerte son graves, en el sistema de muros portantes muy poco daño localizado. Llegando a la conclusión que el sistema de paredes portantes es indudablemente mejor tanto estructural como económicamente, pero para que su comportamiento sísmico sea el adecuado, es fundamental tener un correcto planteamiento arquitectónico.

Chasi (2016), en su investigación realiza un análisis comparativo entre los sistemas de muros de ductilidad limitada con el sistema aporticado y la incidencia que tiene en el costo beneficio aplicado a una vivienda unifamiliar en Ecuador. En dicha investigación el autor busca realizar el análisis-diseño de una edificación, Describir procesos constructivos y evaluar costo; todos estos para cada sistema estructural. Para lo cual emplea un enfoque cuali-cuantitativo de nivel descriptivo con el fin de determinar la relación existente entre las variables dependiente e independiente. Obteniendo como resultado que el sistema de muros de ductilidad limitada presenta un mejor comportamiento que el sistema aporticado reduciendo las derivas de piso en más del 50 % dando mayor seguridad en caso de un sismo y concluye que el sistema de muros de ductilidad limitada tiene menor incidencia en costo en un 33.33% respecto al sistema aporticado.

Caceres y Enriquez (2017), en su investigación de diseño sismorresistente-estructural comparativo entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería estructural de un edificio multifamiliar. Busca realizar una comparación entre la respuesta sísmica de una edificación de albañilería estructural y una edificación de muros de ductilidad limitada e identificar el



sistema constructivo más económico, mediante una comparación de análisis de costos unitarios. En esta investigación se empleó el diseño de investigación no experimental, transversal descriptivo comparativo. Los resultados que obtuvieron en el caso de muros de ductilidad limitada la deriva en X e Y son el 31.25% y el 18% del permisible respectivamente, asimismo, para el caso de albañilería confinada las derivas X e Y son el 33.75% y el 27% del permisible respectivamente, en el tema de análisis económico el sistema M.D.L. tiene un costo directo de S/ 407,375.41 mientras que el sistema de albañilería confinada S/ 464,515.57. Por tal motivo concluye que los desplazamientos laterales máximos de entrepiso del sistema de muros de ductilidad limitada son menores en un 2.50% en la dirección “X” con respecto a los muros de albañilería estructural y 9 % menor a los de albañilería confinada en la dirección “Y”, indicándose así que la rigidez lateral de muros de ductilidad limitada es mayor a la de albañilería confinada, así también en el análisis económico se concluye que el costo del metro cuadrado en cascaron estructural del sistema de albañilería confinada es de 12.30% mayor al sistema de muros de ductilidad limitada.

Cáceres (2018), en su investigación acerca del análisis comparativo técnico – económico de un sistema tradicional aporticado y un sistema estructural liviano para la construcción de viviendas, se busca comparar los dos sistemas mediante un análisis estructural para determinar cual tiene mejor desempeño sísmico según las normas NEC 2015 y realizar la comparación de costos para determinar cuál sistema es más económico. Para esta investigación se emplea un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo. Los resultados que se obtuvieron es que el sistema estructural liviano obtiene una cortante basal mucho menor que la estructura aporticada, lo cual lo convierte en un excelente sistema



sismorresistente. Y se concluye que el sistema liviano es más económico en un 4.4% que el sistema tradicional, esta reducción se refleja en todos los componentes relativos a los costos como materiales y mano de obra.

Sulla y Condori (2018), presentan el comparativo de diseño sismorresistente, entre el sistema Dual y muros de ductilidad limitada en un edificio ,multifamiliar de 7 pisos en la ciudad de Arequipa, cuyos objetivos son realizar el análisis y diseño sísmico para cada sistema estructural así también identificar cuál de estos sistemas presenta menos costo y tiempo de ejecución. Para esta investigación se emplea un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo. En la parte de resultados obtuvieron tanto el sistema de muros de ductilidad limitada y dual presentan un adecuado comportamiento ante amenaza sísmica, ya que ambos cumplen con requisitos del diseño sismorresistente y el diseño estructural que plantea el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, así también a nivel de costo el sistema dual resulto tener un costo S/ 3,002,676.03 y el sistema M.D.L. S/ 2,752,267.41, concluyendo que los muros de ductilidad limitada pueden presentar daños considerables ante un sismo severo, así mismo no se puede deducir el comportamiento torsor de un muro que presenta una forma irregular en planta, debido a la complejidad de su comportamiento y en el análisis económico el sistema de M.D.L. tiene menos incidencia en costo a comparación del sistema dual.

Lingán (2018), evalúa el comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar de 5 pisos con los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada frente a amenaza sísmica. En esta investigación se busca desarrollar el diseño y análisis sísmico de ambos sistemas estructurales cumpliendo con la norma técnica E.030. Para el trabajo de investigación se empleó

el diseño de investigación no experimental, transversal descriptivo comparativo. Se obtuvieron como resultados las distorsiones inelásticas de entrepiso; el sistema de Muros de Ductilidad Limitada (MDL) tiene una derivada máxima de 0.00033 en ambas direcciones y el sistema de Albañilería Confinada (AC) obtuvo en la dirección “X” 0.00031 y en la dirección “Y” 0.00047; ambos sistemas cumplen con la limitación de derivas máximas menores a 0.005 establecido en la norma; por tal motivo se concluye que el sistema de albañilería confinada contempla más deformaciones siendo más dúctil a comparación del sistema muros de ductilidad limitada con menos deformación y tiende a ser más rígido.

2.1.3 Marco conceptual.

2.1.3.1 Configuración estructural.

Es la distribución y ubicación que se le da a los elementos estructurales que aportan la resistencia y ductilidad a una estructura, es decir, columnas, vigas, losas, M.D.L, placas; según al sistema estructural.

2.1.3.2 Sistemas estructurales.

Es el ensamblaje de elementos independientes para conformar una estructura única, es creada para transmitir solicitaciones (cargas) a la cimentación.

Los sistemas estructurales se diferencian entre sí, por el comportamiento de sus elementos ante determinadas solicitaciones. Para obtener un adecuado diseño estructural se debe de tomar en cuenta el sistema estructural elegido y la configuración estructural dada al diseño.

2.1.4 Sistema aporticado.

2.1.4.1 Definición del sistema.

Es llamado sistema aporticado al conjunto estructural conformado por columnas y losas con vigas peraltadas o chatas, donde la resistencia ante cargas sísmicas y cargas de gravedad esta disipada por dichos elementos. También permite una gran libertad en los espacios, ya que las columnas están aisladas en sentido longitudinal. No se contempla la presencia de muros estructurales (placas) en este sistema estructural. (Belizario, 2015, p. 22).

2.1.4.2 Elementos estructurales.

Columnas: Se denomina a los elementos verticales que soportan el sistema de piso estructural y transmiten las cargas en forma longitudinal al elemento.

Son miembros que trabajan a compresión lineal sujetos en la mayoría de los casos a carga axial y flexión; están sujetos a aplastamientos o pandeo dependiendo de su esbeltez relativa. En sus dimensiones se deben tener en cuenta factores como la relación entre el área y su longitud, para evitar problemas de pandeo (Belizario, 2015, p. 24).

Losas: Son elementos estructurales cuya dimensión en planta, son relativamente grandes en comparación con su peralte, soportan cargas normales a su plano ya que se usan, para disponer de superficies horizontales útiles, en ocasiones también actúan cargas contenidas en su plano como en el caso de losas inclinadas en los que la carga vertical tienen un componente paralelo a la losa, se puede decir que las losas



actúan como un diafragma horizontal que une marcos verticales de distinta rigidez o sujetos a fuerzas horizontales verticales (Op.cit., 2015, p. 26).

Vigas: Se denomina a los elementos estructurales que transmiten las cargas tributarias de las losas de piso a las columnas verticales, estas tienen gran participación ante un sismo tanto en resistencia como en rigidez (Op.cit., 2015, p. 25).

2.1.5 Sistema de muros de ductilidad limitada (m.d.l).

2.1.5.1 Definición del sistema.

Es aquel sistema estructural donde la resistencia ante cargas sísmicas y cargas de gravedad, en las dos direcciones, está dada por muros de concreto armado que no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes. Los muros son de espesores reducidos, se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Los sistemas de piso son losas macizas que cumplen la función de diafragma rígido. Respecto al número de pisos nuestra norma nos limita hasta 7 pisos. (Zavaleta, 2009, p. 6)

2.1.5.2 Elementos estructurales.

Losas macizas: son elementos que trabajan principalmente en dos direcciones, su función es la de recibir cargas y transmitir las hacia los apoyos. Su principal sollicitación es a flexión.

Muros delgados de concreto: son elementos delgados de 10 cm de espesor generalmente, cumplen dos funciones a la vez, la de muros



portantes y de corte. Tienen comportamiento ante carga vertical y ante carga de sismo.

2.1.6 Filosofía de diseño sismorresistente.

Santana (2013, p. I-1) sostiene: La filosofía de diseño aceptada por prácticamente todos los países sísmicos del mundo establece, por una parte, que los edificios deben diseñarse de modo que no sufran daños de ninguna especie durante los eventos sísmicos que ocurren frecuentemente, esto es, varias veces durante el periodo de vida útil (50 a 70 años) del edificio. Pero, por otra parte, establece que las estructuras pueden sufrir daños, e incluso tener que demolerse con posterioridad al sismo, ante la eventualidad del sismo más severo que se puede esperar en un determinado lugar, siempre y cuando se garantice que la estructura no colapsará durante la ocurrencia de este sismo severo. La justificación de esta filosofía radica en el elevado costo que significaría diseñar las estructuras para impedir la ocurrencia de daños durante el sismo de gran severidad, unido al hecho de la muy baja probabilidad de ocurrencia de tal evento sísmico. Esta filosofía, de aplicarse adecuadamente en un determinado país, garantiza la preservación de las vidas humanas frente a cualquier circunstancia, junto con optimizar el uso de los recursos económicos de la sociedad.

2.1.7 Sismología.

Santana (2013, p. I-1) sostiene que: Los eventos sísmicos se han convertido en los últimos años en uno de los fenómenos naturales más frecuentes en nuestro medio. Caracterizados por la rapidez con que se generan, el ruido que generalmente lo acompaña, los efectos sobre el terremoto, etc. Es por esto que



han sido calificados por la población como uno de los fenómenos naturales más terribles, debido principalmente a que ocurren en una forma repentina e inesperada por su capacidad de destrucción.

Durante las sacudidas sísmicas producidas por grandes terremotos se libera la energía de deformación acumulada en las zonas de contacto entre placas tectónicas de forma brusca y relativamente rápida. Esto se traduce en daños sobre el medio natural, las personas, los objetos y las estructuras.

La energía liberada se transforma en ondas sísmicas que se propagan, se reflejan, se refractan y atenúan por el interior de la tierra hasta llegar al sustrato rocoso que este situado bajo el terreno de cimentación de la estructura.

2.1.8 Sismos.

Bazán y Meli (2004, p. 15) sostiene. Los sismos son movimientos vibratorios que se producen repentinamente en una zona de la superficie terrestre por efecto de fracturas bruscas en el lecho rocoso. Estos movimientos son de traslación y de rotación en todas las direcciones, pero se acostumbra representarlos en dos direcciones horizontales (perpendiculares entre sí) y una dirección vertical.

Son generados por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y hasta por explosiones. Sin embargo, los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que esta subdividida dicha corteza. Se identifica un punto, generalmente subterráneo que se denomina foco o hipocentro que se

considera el inicio del movimiento, a su proyección sobre la superficie de la tierra se le llama epicentro.

2.1.9 Causas de los sismos.

Santana (2013, p. I-5) afirma. La corteza terrestre está compuesta al menos por una docena de placas rígidas que se mueven. Estos bloques descansan sobre una capa de roca caliente y flexible, llamada astenosfera, que fluye lentamente a modo de alquitrán caliente.

2.1.10 Clasificación de los sismos.

2.1.10.1 Según su origen.

Tectónicos: son causados por la rotura brusca de las capas rocosas a lo largo de las superficies de fallas producida por los movimientos de la corteza terrestre son más frecuentes y más destructivos. En la figura 2.1 se muestra de manera esquemática la forma como se producen este tipo de sismos (Op.cit., 2013, p. I-4).

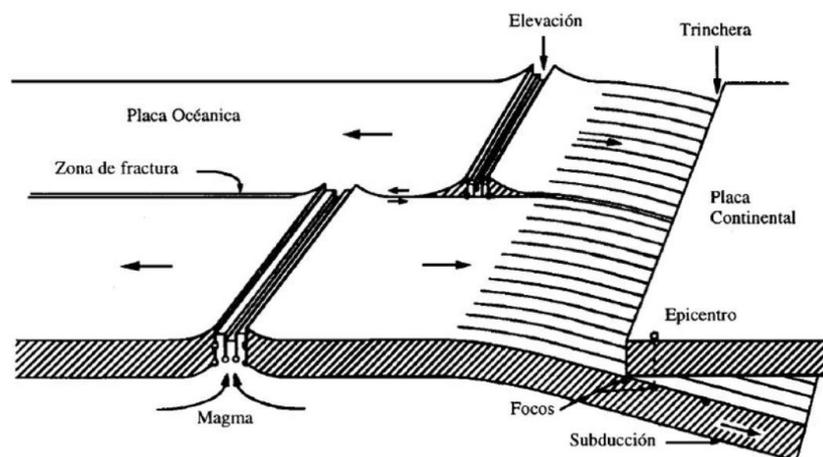


Figura 2.1 Movimientos de placas.

Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Nota: En la figura 2.1 se muestra el movimiento de placas y generación de sismos mediante el mecanismo de subducción.

Volcánicos: son causados por la explosión de gases durante las erupciones volcánicas, son poco intensos y poco frecuentes (Op.cit., 2013, p. I-4).

Colapso: son originados por el colapso de las cavidades subterráneas, son de baja intensidad (Op.cit., 2013, p. I-4).

Según la profundidad de su foco

Superficiales: si el foco se ubica entre 0 y 60 km.

Intermedios: si el foco se ubica entre 60 y 300 km.

Profundos: si el foco se ubica entre 300 a 700 km que es la máxima profundidad focal registrada (Op.cit., 2013, p. I-4).

2.1.11 Sismicidad en el Perú.

(Santana, 2013, p. I-27) afirma: El Perú es uno de los países con mayor actividad sísmica en el mundo debido a que se encuentra en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. Su actividad sísmica es debida a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La placa de Nazca se mueve a una velocidad de 8 a 10 cm al año y es considerada una de las más rápidas del mundo y por ende la frecuencia de sismos ocurridos en su subducción.

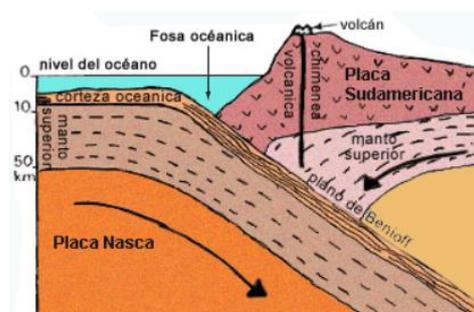


Figura 2.2 Placa de Nazca y Sudamericana.

Fuente: (Santana, 2013)

Nota: En la figura 2.2 se muestra el mecanismo de subducción entre la placa de Nazca y Sudamericana.

Los sismos que se producen en localidades y regiones tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales. Estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie, han tienen un gran poder destructor. (Op.cit., 2015, p. I-27).

2.1.12 Efectos sísmicos en los edificios.

Las ondas sísmicas que viajan por el suelo, se transmiten a los edificios que se apoyan sobre este. La base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo, por inercia, la masa del edificio se opone a ser desplazada y a seguir el movimiento de su base, como muestra la Figura 2.3. En este proceso se generan fuerzas de inercia que ponen en peligro la seguridad de la estructura (Bazán y Meli, 2004, P. 29).

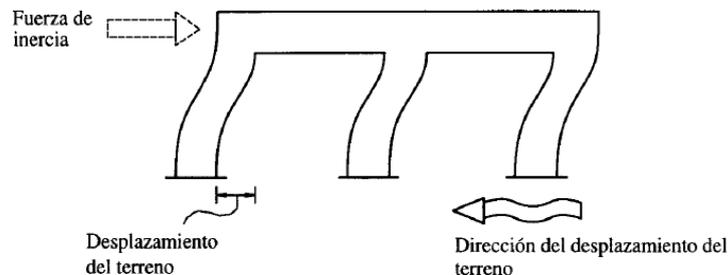


Figura 2.3 Fuerza de inercia.

Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Nota: En la figura 2.3 se muestra las fuerzas de inercia generada por la vibración de la estructura en un sismo.

Para poder entender de mejor manera la respuesta sísmica de una estructura es necesario estudiar el modelo del sistema de un grado de libertad,

conformado por una masa concentrada y un elemento vertical con cierta rigidez lateral y amortiguamiento, mostrado en la figura 2.4.

La intensidad de la vibración inducida en un edificio depende tanto de las características del movimiento del terreno como de las propiedades dinámicas de la estructura. Para sismos moderados la estructura se mantiene, normalmente, dentro de su intervalo de comportamiento elástico lineal y su respuesta puede calcularse con buena aproximación en los métodos de análisis dinámico de sistemas lineales. (Op.cit., 2004, p. 28).

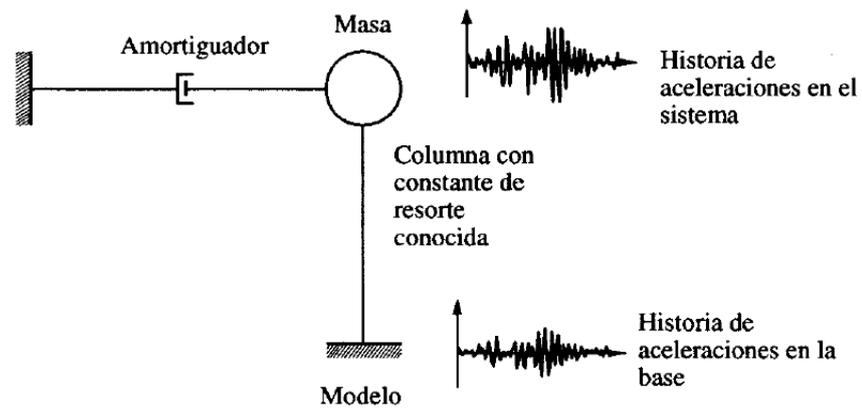


Figura 2.4 Modelo de un sistema de un grado de libertad.
Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Las características esenciales de la respuesta se llegan a estimar con aceptable precisión al modelar la estructura mediante un sistema de un grado de libertad con periodo igual al fundamental de la estructura. La Figura 2.5 ilustra algunos aspectos del problema. Si se someten varios sistemas de un grado de libertad con diferentes periodos a cierta ley de movimientos del terreno, cada uno responde de manera diferente; la amplitud de su respuesta depende esencialmente de la relación entre el periodo del sistema y el periodo dominante del movimiento del suelo (T_E/T_S). A medida que la intensidad de la excitación aplicada al edificio aumenta, se generan cambios

en las propiedades dinámicas del mismo, las que alteran su respuesta. En términos generales, el comportamiento deja de ser lineal, la rigidez tiende a bajar y el amortiguamiento tiende a aumentar. (Op.cit., 2004, p. 28).

La ductilidad es una propiedad muy importante en una estructura que debe resistir efectos sísmicos, ya que elimina la posibilidad de una falla súbita de tipo frágil y además pone en juego una fuente adicional de amortiguamiento (Op.cit., 2004, p. 32).

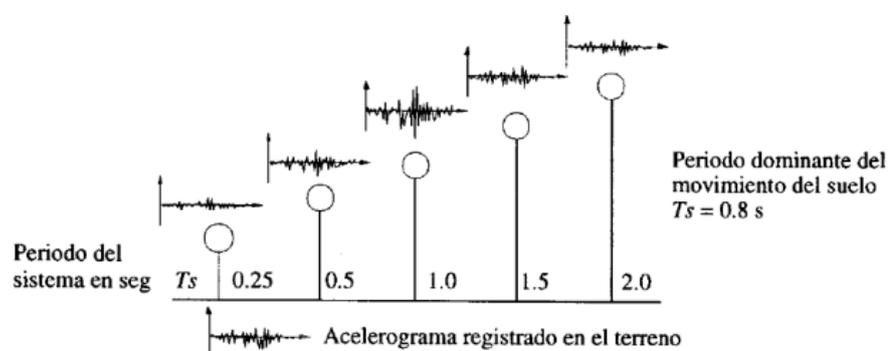


Figura 2.5 Amplificación del movimiento.
Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Nota: En la figura 2.5 se muestra la amplificación del movimiento del terreno en sistemas con distinto periodo fundamental de vibración.

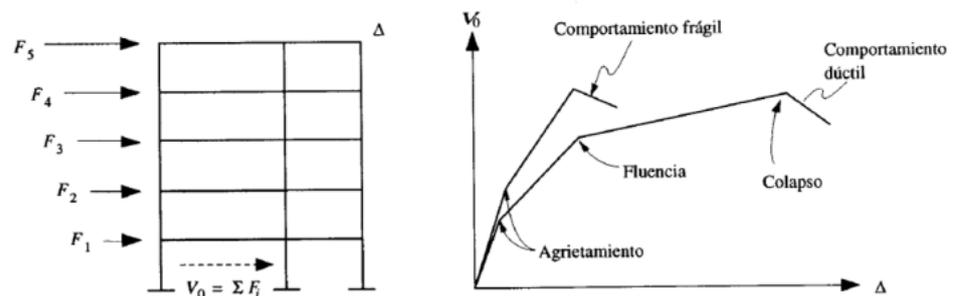


Figura 2.6 Relación carga-deformación de una estructura.
Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

El comportamiento de los principales materiales y sistemas estructurales es de mucha importancia, sobre todo en la modificación de la respuesta que se tiene después de la fluencia, cuando la rigidez de la estructura se reduce



drásticamente y por otra parte entran en juego fuentes de amortiguamiento mucho mayores que las que se tienen en la etapa de comportamiento lineal. Es costumbre relacionar este comportamiento de la respuesta debido a la disipación de energía por comportamiento no lineal de la estructura, a una propiedad llamada ductilidad, la que se refiere a su capacidad de mantener su resistencia para deformaciones muy superiores a aquella para la que se inició la fluencia (Cutipa, 2018, p. 60)

2.1.13 Criterios de estructuración y diseño.

Blanco (1999, p. 10) recomienda algunos criterios que son necesarios para lograr una estructura sismorresistente, los cuales son:

2.1.13.1 *Simplicidad y simetría.*

La experiencia ha demostrado repetidamente que las estructuras simples se comportan mejor durante los sismos. Hay dos razones principales para que esto sea así primero, nuestra habilidad para predecir el comportamiento sísmico de una estructura es marcadamente mayor para las estructuras simples que para las complejas y segundo, nuestra habilidad para idealizar elementos estructurales es mayor para las estructuras simples que para las complicadas.

La simetría de las estructuras en dos direcciones es deseable y una de las razones es que la falta de simetría produce efectos torsionales que son difíciles de evaluar y pueden ser muy destructivos.

2.1.13.2 *Resistencia y ductilidad.*

Las estructuras deben de tener resistencia sísmica en todas sus direcciones; debe existir en dos direcciones ortogonales o



aproximadamente ortogonales para garantizar la estabilidad de la estructura en conjunto, así como cada uno de sus elementos.

Las cargas deben transferirse desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia, por lo tanto, deben proveerse una trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado transporte de las cargas.

Un antecedente que es conveniente tener presente en la estructuración, es que la ductilidad depende de la carga aplicada al elemento, este efecto actúa en forma diferente, según el tipo de material constituyente. Si este es concreto armado, un aumento de la carga se traduce en un aumento de la resistencia con la disminución de la ductilidad.

Al suministrar ductilidad a una estructura debe tenerse presente que esta no depende únicamente de la ductilidad de sus elementos individuales, sino también de la correspondiente a las conexiones entre ellas, por lo cual estas deben diseñarse para permitir el desarrollo de dicha ductilidad.

Al diseñar una estructura de concreto armado debe garantizarse que la falla se produzca por fluencia del acero y no por compresión del concreto.

2.1.13.3 Hiperestaticidad y monolitismo.

Como concepto general de diseño sismorresistente debe indicarse la conveniencia de que las estructuras tengan una disposición hiperestática ello logra una mayor capacidad resistente al permitir que, la producción de rotulas plásticas, se disipe en mejor forma la energía sísmica y, por



otra parte, al aumentar la capacidad resistente se otorga a la estructura un mayor grado de seguridad.

2.1.13.4 Uniformidad y continuidad de la estructura.

La estructura debe ser continua tanto en planta como en elevación con elementos que no cambien bruscamente de rigidez a manera de evitar concentración de esfuerzos.

2.1.13.5 Rigidez lateral.

Para que una estructura pueda resistir fuerzas horizontales sin tener deformaciones importantes, será necesario proveerla de elementos estructurales que aporten rigidez lateral en sus direcciones principales. Las estructuras flexibles tienen la ventaja de ser más fáciles de analizar y de alcanzar la ductilidad deseada. Sus desventajas son: que el pórtico flexible tiene dificultades en el proceso constructivo ya que puede existir gran congestión de acero en los nudos, que los elementos no estructurales pueden invalidar el análisis ya que al ser difíciles de separar completamente de la estructura es posible que introduzcan una distribución diferente de esfuerzos y que las deformaciones son significativas siendo a menudo excesivas.

Las estructuras rígidas tienen la ventaja de no tener mayores problemas constructivos y no tener que aislar y detallar cuidadosamente los elementos no estructurales, pero poseen la desventaja de no alcanzar ductilidades elevadas y su análisis es más complicado. Actualmente es práctica generalizada la inclusión de muros de corte en edificios aporticados a fin de tener una combinación de elementos rígidos y



flexibles. Con esto se consigue que el muro limite la flexibilidad del pórtico, disminuyendo las deformaciones, en tanto que el pórtico le confiere la hiperestaticidad al muro, otorgándole mejor posibilidad de disipación de energía sísmica.

2.1.13.6 Existencia de losas que permitan considerar a la estructura como una unidad (diafragma rígido).

En los análisis es usual considerar como hipótesis básica la existencia de una losa rígida en su plano, que permite la idealización de la estructura como una unidad, donde las fuerzas horizontales aplicadas pueden distribuirse en las columnas y placas de acuerdo a su rigidez lateral, manteniendo todas unas mismas deformaciones laterales para un determinado nivel.

Debe tenerse especial cuidado en las reducciones de planta con zonas tipo puente. Las estructuras alargadas en planta tienen mayor posibilidad de sufrir diferentes movimientos sísmicos aplicados en sus extremos, situación que puede producir resultados indeseables. Una solución a este problema es independizar el edificio en dos o más secciones, mediante juntas de separación sísmica, que deben ser debidamente detalladas y construidas para evitar el choque de dos edificaciones vecinas.

2.1.14 Métodos de análisis estructural.

Los métodos de análisis que se utilizan para el diseño de estructuras sismorresistentes se clasifican en el análisis estático y dinámico, los cuales son:



2.1.14.1 Procedimiento de las fuerzas laterales equivalentes (análisis estático).

El procedimiento de la fuerza lateral equivalente es un método que por simplicidad en el cálculo reemplaza la fuerza sísmica lateral por una fuerza estática lateral equivalente. Es común considerar las fuerzas laterales como una constante K multiplicada por el peso de cada elemento de la estructura. Recientemente ha habido una tendencia a utilizar el concepto del cortante sísmico en la base. Por lo tanto la estructura se diseña para resistir una fuerza que se aplica en el terreno igual a la constante C , multiplicada por el peso total de la estructura y que se transmite a cada piso de ella (Godiño et al., 2018, p. 119).

2.1.14.2 Procedimiento de análisis dinámico.

Puesto que la fuerza lateral que actúa durante un sismo no se puede evaluar en forma precisa por el procedimiento de la fuerza lateral equivalente, se adopta el análisis dinámico cuando se requiere una evaluación más acertada de la fuerza sísmica y el comportamiento estructural. El análisis dinámico permite determinar la respuesta de una estructura estáticamente diseñada bajo una fuerza dinámica y valorar la seguridad de la respuesta de la estructura. Si la respuesta es insegura el diseño se modifica para satisfacer el comportamiento requerido de la estructura. Existen dos métodos tanto elástico como inelástico para el análisis dinámico (Op.cit., 2018, p. 134).

Análisis elástico dinámico. La respuesta elástica de una estructura bajo una fuerza sísmica se puede determinar en mejor forma mediante un análisis modal. Primero se obtienen las historias en el tiempo de la



respuesta de cada modo característico, después se suman para obtener la respuesta de la historia en el tiempo del sistema de masas concentradas y con n grados de libertad.

Este procedimiento se llama análisis modal de historia en el tiempo. No siempre es necesario ya que a menudo solo se requiere los valores máximos de respuesta por cada modo se obtienen de los espectros de diseño y se suman para determinar la respuesta máxima de todo el sistema. Este procedimiento se llama análisis modal del espectro de respuesta. La técnica de suma que generalmente se utiliza es el método de la raíz cuadrada de la suma de cuadrado. Sin embargo, este método no se puede utilizar cuando, por ejemplo, hay algunos modos de vibración traslacional o torsional que tienen periodos casi iguales al del periodo natural, de manera que se presenta un acoplamiento. En dichos casos, se requiere la integración directa de la ecuación de movimiento (Op.cit., 2018, p. 135)

Análisis dinámico inelástico. Para obtener la respuesta dinámica de una estructura sometida a un sismo grande es necesario el análisis dinámico inelástico. El análisis modal se puede extender para tratar el régimen inelástico de la respuesta. Sin embargo, para una solución más rigurosa, se requiere la integración directa de la ecuación del movimiento; esto es, utilizar las características inelásticas de la fuerza restauradora y aplicar, paso a paso, la técnica para el análisis de la respuesta no lineal. Cuando se realiza este procedimiento, se debe utilizar una onda sísmica apropiada como datos de entrada (Op.cit., 2018, p. 135)

2.1.15 Características relevantes de los edificios para comportamientos sísmico.

Peso.

Reconociendo que las fuerzas de inercia son proporcionales a la masa y, en consecuencia, al peso del edificio, debe procurarse que este sea lo más ligero posible. Considerando también que las aceleraciones introducidas en el edificio crecen con la altura es importante evitar masas excesivas en las partes altas de los edificios. Deben evitarse fuertes diferencias sísmicas en los pesos de pisos sucesivos, porque generan variaciones bruscas en las fuerzas de inercia y en la forma de vibrar del edificio. Se debe de tratar que el peso del edificio este distribuido simétricamente en la planta de cada nivel. Una posición fuertemente asimétrica generaría vibraciones torsionales. (Sulla & Condori, 2018, p. 12).

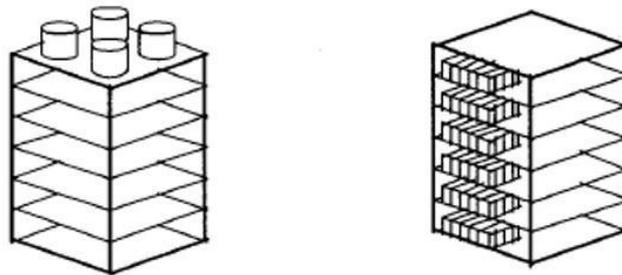


Figura 2.7 Peso sísmico en una estructura.

Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Irregularidad en planta.

Algunos aspectos de la forma en planta del edificio propician una respuesta sísmica poco conveniente y deben evitarse. Entre estos aspectos lo principal es la asimetría de la planta, la que tiende a provocar vibraciones torsionales del edificio; por ello, deben evitarse formas totalmente asimétricas, para minimizar estos problemas es necesario hacer coincidir el centro de masas

con el centro de rigidez, mediante la distribución de elementos resistentes.

(Op.cit, 2018, p. 12)



Figura 2.8 Formas asimétricas en planta indeseables.

Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Otra forma de remediar los problemas de asimetría de la planta es mediante elementos estructurales exteriores que ligen las distintas partes del edificio y que lo vuelvan más simétrico (Cutipa, 2018, p. 67)

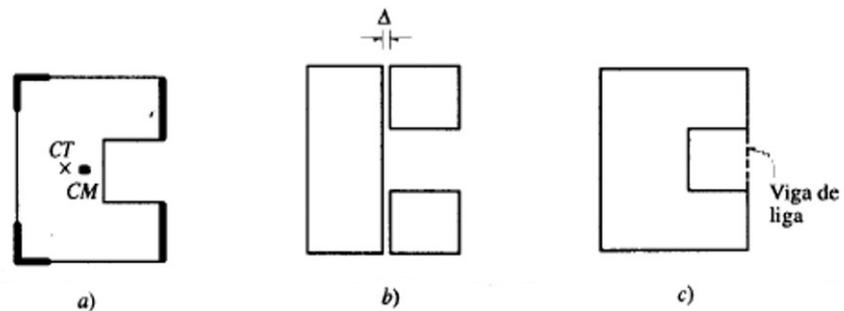


Figura 2.9 Posibles remedios en planta.

Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Nota: en la figura 2.9 se muestra los posibles remedios en planta para eliminar los problemas de plantas asimétricas en edificaciones.

Irregularidad en altura.

La sencillez, regularidad y simetría son deseables también en la elevación del edificio para evitar que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de la vibración en las partes superiores del

edificio. La figura 2.10 indica formas para evitar las reducciones bruscas en el tamaño de la planta de los pisos superiores (Op.cit., 2018, p. 67).

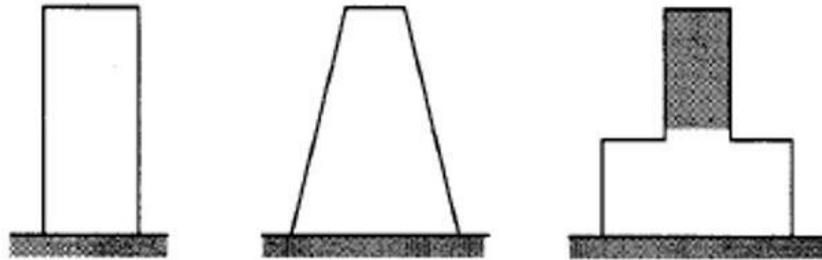


Figura 2.10 Posibles remedios en elevación.
Fuente: (Bazán y Meli, 2004)

Nota: en la figura 2.10 se muestra los posibles remedios a la reducción de elevación en edificaciones.

2.1.16 Diseño De Elementos Estructurales

Para el diseño de elementos estructurales se tomará como referencia la norma técnica peruana E-060 (2009).

Las estructuras y los elementos estructurales deberán diseñarse para obtener en todas sus secciones de diseño (ϕR_n) por lo menos igual a las resistencias requeridas (R_u) calculadas para las cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se estipulan en esta Norma (R.N.E. - Norma E.060 Concreto Armado, 2009). En todas las secciones de los elementos estructurales deberán cumplirse los siguiente:

$$\phi R_n \geq R_u \quad \dots 2.1$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

R_n : Resistencia nominal.

R_u : Resistencia última.

2.1.16.1 *Combinaciones de cargas de diseño.*

Para realizar el diseño de elementos de concreto armado la Norma E.060 recomienda las siguientes combinaciones:

$$U=1.4CM+1.7CV \quad \dots 2.2$$

$$U=1.25(CM+CV) \pm CS \quad \dots 2.3$$

$$U=0.9CM \pm CS \quad \dots 2.4$$

Tabla 2.1 Factores de reducción.

DESCRIPCIÓN	FACTOR DE REDUCCIÓN
Carga axial de tracción con o sin flexión	0.90
Carga Axial de compresión con o sin flexión	0.75
Cortante y torsión	0.85
Aplastamiento en el concreto	0.70

Fuente: (Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E.060 Concreto Armado, 2009)

Nota: En la tabla 2.1 se muestra los factores de reducción para el diseño de elementos estructurales de concreto armado.

2.1.16.2 *Diseño a flexión.*

Revisión de la deflexión

En el capítulo 9, la norma E-0.60 en la tabla 9.1 indica que el peralte mínimo para no verificar deflexiones se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 2.2 Peraltes mínimos de vigas no preesforzadas.



	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Fuente: (Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E.060 Concreto Armado, 2009)

Para el diseño de elementos estructurales sometidos a flexión se debe cumplir lo siguiente:

$$M_{u \max} \leq \phi \times M_n \quad \dots 2.5$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

$M_{u \max}$: Máximo momento amplificado en la sección.

M_n : Resistencia nominal a flexión.

Peralte efectivo:

Es la distancia desde la fibra más comprimida de la sección hasta el centroide de la varilla en tracción (Esteba, 2017)

Se puede obtener de la siguiente expresión:

$$d = h - Rec. - \frac{\phi}{2} \quad \dots 2.6$$

Donde:

d : Peralte efectivo.

h : Peralte total.

Rec : Recubrimiento.



\emptyset : Diámetro de la varilla del refuerzo longitudinal.

Cuando no se conocen los diámetros de los aceros se puede estimar de la siguiente manera:

- ✓ Refuerzo en una sola capa $d=h-6$ cm
- ✓ Refuerzo en dos capas $d=h-9$ cm

Cuantía de acero en tracción

Para elementos simplemente reforzados la cuantía ρ del acero en tracción es la proporción del área de acero de refuerzo respecto al área del concreto efectivo de la sección (Esteba, 2017, p. 81)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \quad \dots 2.7$$

Donde:

ρ : Cuantía de acero en tracción.

A_s : Acero requerido.

b : Base del elemento.

d : Peralte efectivo.

Para el diseño de elementos a flexión existen tres tipos de falla que están relacionados con la cuantía balanceada (ρ_b).

- a) Falla por tracción o dúctil $\rho < \rho_b$
- b) Falla por compresión o frágil $\rho > \rho_b$
- c) Falla balanceada $\rho = \rho_b$



Si la falla es frágil esta se produce súbitamente y de manera explosiva, en cambio si la falla es dúctil, esta es gradual y está precedida por signos visibles como el ensanchamiento y alargamiento de las grietas, y el marcado aumento de la flecha del elemento. (Santana, 2014)

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000+f_y} \right) \quad \dots 2.8$$

Donde:

ρ_b : Cuantía balanceada.

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto.

f_y : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.

β_1 : 0.85 si f'_c (170-280), 0.80 si $f'_c=350$ y 0.75 si $f'_c=350$

Según la Norma E.060 (2009), el área mínima de refuerzo por tracción de las secciones rectangulares y de las secciones T con el ala a compresión, no será menor de:

$$A_{s \min} = \frac{0.22\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad \dots 2.9$$

Donde:

$A_{s \min}$: Área mínima de refuerzo de flexión (mm²).

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto (MPa).

f_y : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (MPa).

b_w : Ancho del alma o diámetro de la sección circular (mm).

2.1.16.3 *Diseño por cortante.*

Según a la norma E-060 (2009), el diseño de secciones transversales que están sometidas a fuerza cortantes debe cumplir con la ecuación

2.10

$$\phi V_n \geq V_u \quad \dots 2.10$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

V_n : Resistencia nominal a cortante.

V_u : Resistencia ultima a cortante.

V_u es la fuerza cortante amplificada en la sección considerada y V_n es la resistencia nominal al cortante calculada mediante la ecuación 2.7

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots 2.11$$

En la ecuación 2.8, V_c es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, V_s es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.

La resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados y para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión, se calcula con la ecuación 2.9.

$$V_c = 0.17\sqrt{f'_c}b_wd \quad \dots 2.12$$

Donde:

V_c : Resistencia nominal a cortante proporcionada por el concreto (N).

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto (MPa).

b_w : Ancho del alma o diámetro de la sección circular (mm).

d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción (mm).

Para el cálculo de la resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante (V_s) será obtenido de la ecuación 2.10.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad \dots 2.13$$

Donde A_v es el área de refuerzo para cortante dentro del espaciamiento S , proporcionada por la suma de las áreas de las ramas de los estribos ubicados en el alma.

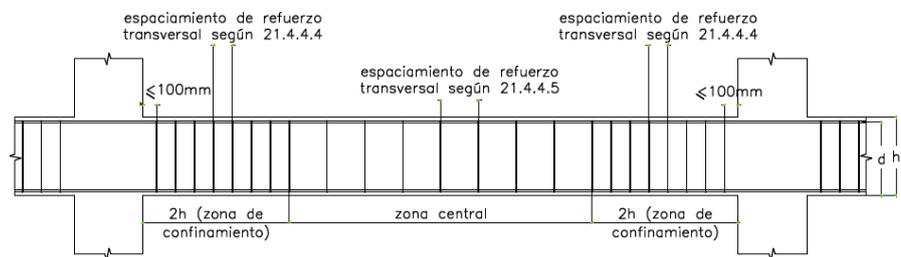


Figura 2.11 Requerimientos de estribos en vigas.

Fuente: (Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E.060, 2009)

Por otro la norma E.060 en el numeral 21.4.4 nos da disposiciones de diseño sísmico para el requerimiento de estribos en vigas, el cual se muestra a continuación:

El espaciamiento de los estribos cerrados no debe exceder el menor valor de las siguientes condiciones:



- ✓ Peralte efectivo entre cuatro.
- ✓ Diez veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
- ✓ Veinticuatro veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- ✓ Trecientos milímetros.
- ✓ En la zona de no confinamiento los estribos deben estar espaciados a no más de la mitad del peralte efectivo.

2.1.16.4 Diseño por Flexo Compresión

Generalmente el diseño de flexo compresión se da en las columnas, muros de corte. Según la Norma E.060 (2009) para elementos no preesforzado en los cuales se cumpla la ecuación 2.14

$$\phi P_n \leq 0.1 f'_c A_g \quad \dots 2.14$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto (MPa).

P_n : Resistencia axial nominal de la sección transversal (N).

A_g : Área bruta de la sección (mm²).

El refuerzo de acero en tracción no deberá exceder de $0.75A_{sb}$ donde A_{sb} es la cantidad de acero en tracción que produce la falla balanceada en la sección. En elementos con refuerzo en compresión, la porción de

A_{sb} equilibrada por el refuerzo en compresión no deberá reducirse mediante el factor 0.75. (Norma E.060, 2009, sección 10.3.4)

En la norma E-060 (2009), nos indica una cuantía de refuerzo longitudinal no será menor que 1% ni mayor que 6%, en columnas. Cuando la cuantía exceda de 4% los planos deberán incluir detalles constructivos de la armadura en la unión viga-columna.

Para elementos no preesforzados con estribos se tiene que cumplir la ecuación 2.12.

$$\phi P_{n\max} = 0.85 \phi P_{on} = 0.85\phi(0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \dots 2.15$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

$P_{n\max}$: Máximo valor permitido de P_n (N).

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto (MPa).

f_y : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (MPa).

A_g : Área bruta de la sección (mm²).

A_{st} : Área total de refuerzo longitudinal no preesforzada (mm²).

Los elementos sometidos a carga axial de compresión deben diseñarse para el momento máximo que puede acompañar a la carga axial. La fuerza axial amplificada P_u , a una excentricidad dada, no debe exceder de la resistencia de diseño. (Norma E.060, 2009, sección 10.3.7)

2.1.16.5 *Diseño de muros de ductilidad limitada.*

Para el diseño de los muros de ductilidad limitada se siguió las indicaciones de la norma E.060. las cuales son:

Se deberá verificar en el tercio inferior del edificio la resistencia nominal a flexo compresión del muro, sea por lo menos igual a 1.2 veces el momento de agrietamiento de su sección.

Para no usar los extremos confinados, debe verificarse que la profundidad del eje neutro “c” cumpla con la relación de la ecuación 2.16.

$$c \geq \frac{Lm}{600 \frac{\Delta m}{hm}} \quad \dots 2.16$$

Donde:

Lm : Longitud del muro a diseñar.

Δm : Desplazamiento del nivel más alto del muro.

hm : Altura total del muro.

El coeficiente $\frac{\Delta m}{hm}$ no debe tomarse menor que 0.005 según la norma E.060 2009.

Para la distribución horizontal y vertical del acero la norma establece dos condiciones:

Si $V_u < 0.27 \times \sqrt{f'_c} \times A_{cw}$ el refuerzo será distribuido.

- ✓ La cuantía del refuerzo horizontal no será menor que 0.002.
- ✓ La cuantía del refuerzo vertical no será menor que 0.0015.



- ✓ El espaciamiento “S” en ambas direcciones no será mayor que tres veces el espesor del muro, ni mayor que 40 cm.

Si $V_u > 0.27 \times \sqrt{f'_c} \times A_{cw}$ el refuerzo será distribuido.

La cuantía del refuerzo horizontal será mayor o igual que 0.0025.

- ✓ El espaciamiento del refuerzo horizontal no será mayor que 0.2L ni tres veces el ancho del muro, ni mayor que 0.40 cm.
- ✓ La cuantía del refuerzo vertical será mayor o igual que $\rho_v = (0.0025 + 0.5 \times (2.5 - \frac{H}{L}) \times (\rho_h - 0.0025))$
- ✓ El espaciamiento del refuerzo vertical no será mayor que 0.33L, ni mayor que tres veces el espesor del muro, ni mayor que 40 cm.

Para el diseño por flexo compresión se debe tener en cuenta los diagramas de interacción con las combinaciones de diseño.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materiales utilizados en el proceso de Investigación

Los materiales considerados para el procesamiento de datos y obtención de resultados son los que se muestran a continuación:

Exploración de los análisis sísmicos lineales

La búsqueda de información e interpretación de la misma acerca de los métodos de análisis sísmico de fuerzas laterales equivalentes y modal espectral fueron fundamentales para llevar a cabo la investigación.

Software AutoCAD 2016.

Con este software se realizó el dibujo de los diseños y detalles estructurales de ambos sistemas estructurales.

Software Revit 2017.

Programa en el cual se realizó el modelamiento arquitectónico en 3D para una mejor visualización en la presente investigación.

Software ETABS 2016.

Este software fue utilizado con mayor incidencia en la investigación, el cual ayudó para realizar el Análisis Estático y Análisis Dinámico Modal Espectral exigido por la E.030 de Diseño sismorresistente. Con este se pudo obtener resultados como derivas de entrepiso, pesos sísmicos, diseño de elementos estructurales, etc.



Software Word y Excel 2016.

Softwares utilizados en forma dinámica y general en la elaboración y edición de la presente investigación.

3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo observacional según la intervención del investigador, es prospectivo según la planificación de las mediciones, es transversal según el período temporal y el número de mediciones de la variable de estudio, analítica según el número de variables analíticas, es pura o básica según su finalidad y el tipo de conocimientos a obtener, y es cuantitativa según la naturaleza de la información y el tipo de datos a emplear.

3.2.2 Nivel de Investigación

Este trabajo de investigación es de nivel explicativo debido a que busca establecer las causas en distintos tipos de estudio, estableciendo conclusiones y explicaciones para enriquecer las teorías (Hernández, 2014, pp.)

3.2.3 Método de Investigación

Esta investigación posee el método deductivo que, es una estrategia de razonamiento empleada para deducir conclusiones lógicas a partir de una serie de premisas o principios. En este sentido, es un proceso de pensamiento que va de lo general (leyes o principios) a lo particular (fenómenos o hechos concretos) (Hernández, 2014, pp).

3.2.4 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es transversal, se utiliza cuando la investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un

momento dado o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo. En este tipo de diseño se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito esencial es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández, 2014, pp).

3.2.5 Esquema del proceso de Investigación

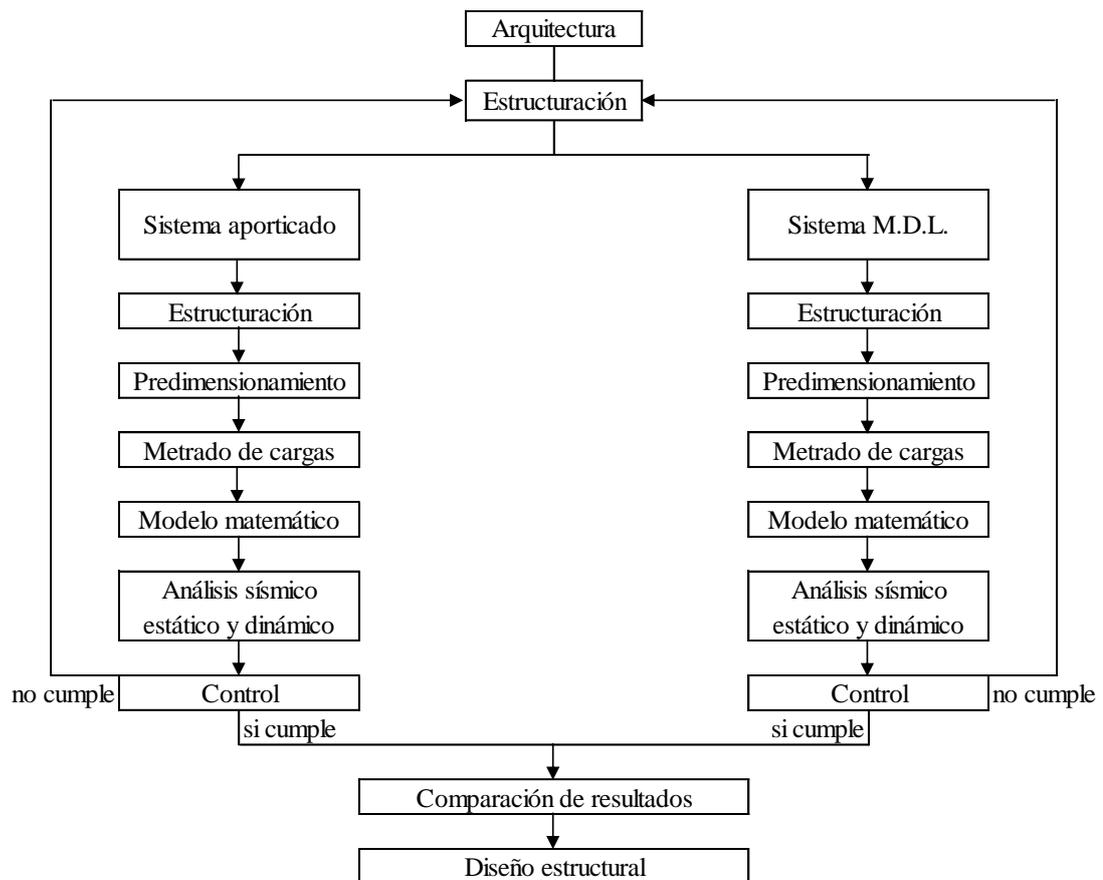


Figura 3.1 Esquema de trabajo.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.6 Población y Muestra

3.2.6.1 Población.

La población que se consideró para la presente investigación está constituida por los sistemas estructurales que se vienen utilizando en la construcción de edificios multifamiliares en la región de Puno los



cuales son aporticados, dual, albañilería confinada y muros de ductilidad limitada (MDL).

3.2.6.2 Muestra.

La muestra de la presente investigación es de tipo no probabilística ya que fue elegida basada en un juicio subjetivo por el investigador.

3.2.7 Instrumentos.

3.2.7.1 Instrumentos metodológicos.

Los instrumentos metodológicos que se utilizaron en la presente investigación están constituidos básicamente por libros, artículos científicos, tesis y video conferencias; todas estas en documentos físicos y archivos digitales.

3.2.7.2 Instrumentos de ingeniería.

Esta investigación se ciñó estrictamente en lo indicado en el Reglamento Nacional de Edificaciones y se tuvo más incidencia en las siguientes normas técnicas:

- Norma de Diseño Sismorresistente E.030 de 2018.
- Norma E.020 Cargas.
- Norma E. 060 Diseño en Concreto Armado de 2009.

3.2.8 Procedimiento de recolección de Datos

3.2.8.1 Perfil de Suelo

Para el presente proyecto de investigación se consideró un tipo de suelo con resistencia al corte en condición no drenada de 0.8 kg/cm², clasificado según la norma E.030 como S2 Suelo Intermedio.

3.2.8.2 Arquitectura del Proyecto

Se analiza un edificio multifamiliar de cinco niveles con sistema aporticado y sistema de muros de ductilidad limitada por separado, cada piso con 2.60 m de altura.

En las siguientes figuras se detallan la planta del primer nivel y la planta típica del Edificio de cinco (05) niveles. En el Anexo 1 se encuentra toda la arquitectura del proyecto.

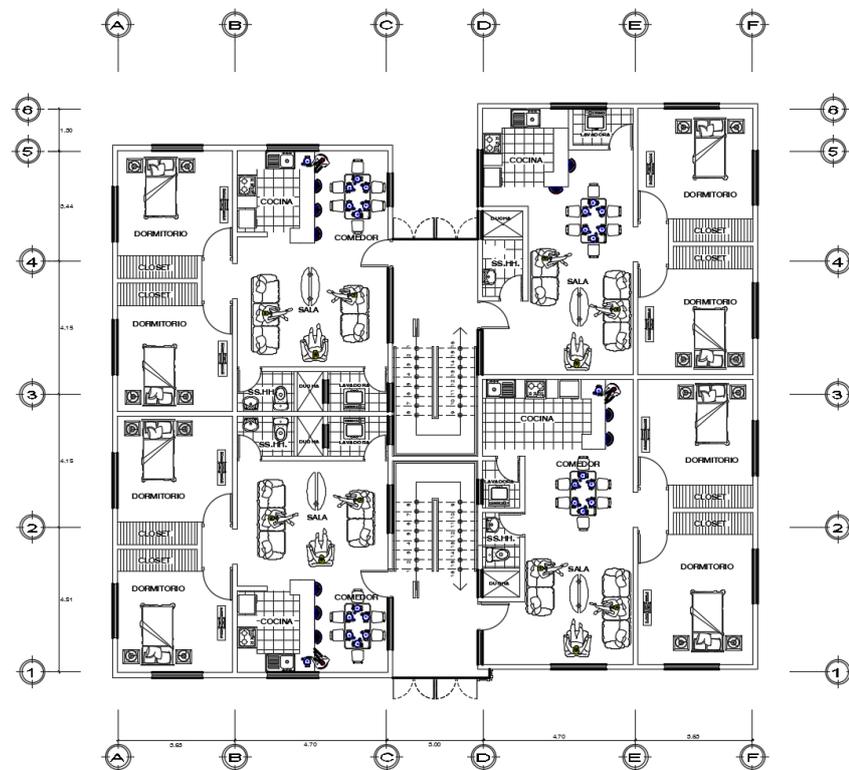


Figura 3.2 Plano arquitectónico 1.

Fuente: Tomado del AutoCAD 2016.

Nota: En la figura 3.2 se muestra el plano arquitectónico del primer nivel del edificio en análisis.

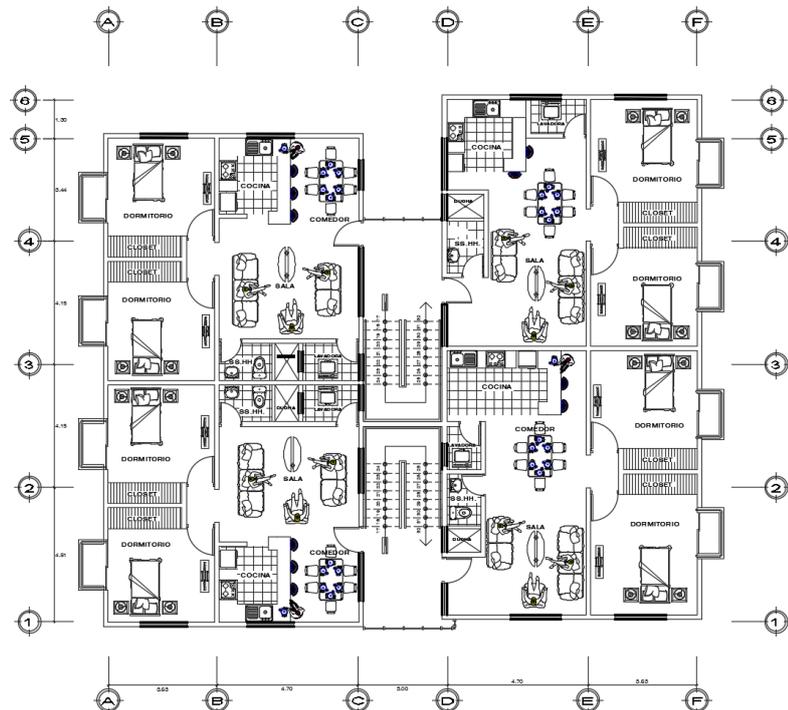


Figura 3.3 Plano arquitectónico 2.

Fuente: Tomado del AutoCAD 2016.

Nota: En la figura 3.3 se muestra el plano arquitectónico del segundo, tercer, cuarto y quinto nivel del edificio en análisis.

3.3 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

Teniendo en consideración los criterios de estructuración mostrados en el capítulo II se procedió a hacer la estructuración del proyecto para ambos sistemas estructurales.

La Figura 3.4 muestra la corrección de los ejes y la distribución de elementos estructurales para el sistema aporticado.

3.4 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO.

En la siguiente tabla 3.1 se presentan las características de los elementos estructurales de concreto armado considerados en el proyecto en investigación.

Tabla 3.1 Propiedades mecánicas del concreto consideradas.

Propiedades de los elementos de concreto armado	
Resistencia a compresión simple del concreto:	$f'_c = 210 \frac{kgf}{cm^2}$
Peso específico del concreto armado:	$\gamma_c = 2400 \frac{kgf}{m^3}$
Esfuerzo de fluencia del acero:	$f_y = 4200 \frac{kgf}{cm^2}$
Módulo de Elasticidad del acero:	$E_s = 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$
Módulo de Elasticidad del concreto: (Artículo 8.5.2 E.060)	$E_c = 15000 \times \sqrt{f'_c} \frac{kgf}{cm^2}$
Módulo de rigidez al esfuerzo cortante del concreto (Artículo 8.5.4 E060):	$G_c = \frac{E_c}{2.3} \frac{kgf}{cm^2}$
Módulo de poisson del concreto:	$\nu_c = \frac{E_c}{2 \times G_c} - 1$

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5 SISTEMA APORTICADO.

3.5.1 Predimensionamiento sistema aporticado.

Consiste en dimensionar de forma tentativa las dimensiones de los elementos estructurales tales como: Losa aligerada, vigas, Columnas, Muros de Ductilidad Limitada dependiendo del sistema estructural utilizado. Estas dimensiones se corregirán dependiendo al análisis sísmico y gravedad a los cuales van a estar expuestos.

3.5.2 Predimensionamiento de Vigas

Eje principal

Peralte de la viga $h=L/10$; $L/12$ $L=4.70$ m.

$$h = \frac{4.70}{10} = 0.470 \text{ m} \quad h = \frac{4.70}{12} = 0.391 \quad \rightarrow h = 0.50 \text{ m}$$



Base de la viga $b=h/2$; $2h/3$

$$b = 0.35 \text{ m}$$

Viga Principal (0.35x0.55 m)

Viga Principal (0.35x0.50 m)

Eje secundario

Peralte de la viga $h=L/10$; $L/12$

$L=4.15$.

$$h = \frac{4.15}{10} = 0.415 \text{ m} \quad h = \frac{4.15}{12} = 0.346 \quad \rightarrow h = 0.50 \text{ m}$$

Base de la viga $b=h/2$; $2h/3$

$$b = 0.35 \text{ m}$$

Viga Secundaria (0.35x0.55 m)

Viga Secundaria (0.35x0.50 m)

3.5.3 Predimensionamiento de losa aligerada.

De acuerdo con la estructuración realizada se tiene una luz máxima de vigueta de 3.85 m.

$$t = \frac{L}{18} \quad t = \frac{L}{25} \quad \dots 3.1$$

Como $L=4.15$ m, entonces:

$$t = \frac{3.8}{18} = 0.211 \quad t = \frac{3.8}{25} = 0.152 \quad \rightarrow t = 0.20 \text{ m}$$

El espesor de la losa para todos los niveles será de 0.20 m.

3.5.4 Predimensionamiento de columnas.

Las columnas al ser sometidas a cargas axiales y momento flector, tienen que ser dimensionadas considerando los dos efectos simultáneamente.

Columnas Centradas

$$A_{col} = \frac{A_{Tributaria} \times P \times N_{Pisos}}{0.45 \times f'_c} \quad \dots 3.2$$

Tabla 3.2 Categoría de edificación.

CATEGORIA A	Esencial	P= 1500 kgf/m ²
CATEGORIA B	Importante	P= 1250 kgf/m ²
CATEGORIA C	Común	P= 1000 kgf/m ²

Fuente: (Cutipa Quispe, 2018)

Columnas Excéntricas y Esquinadas

$$A_{col} = \frac{A_{Tributaria} \times P \times N_{Pisos}}{0.35 \times f'_c} \quad \dots 3.3$$

En la tabla 3.3 se presentan el resumen del predimensionamiento de columnas del sistema aporticado.

Tabla 3.3 Predimensionamiento primario de columnas.

Descripción	Categoría	Tipo	Nº de pisos	Área	Sección
C-1	Común	Esquinada	5	405.44	25x25 cm
C-2	Común	Excéntrica	5	661.22	30x30 cm
C-3	Común	Centrada	5	911.11	35x35 cm
C-4	Común	Centrada	5	834.92	30x30 cm

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

El proyecto de investigación es irregular en planta por discontinuidad de diafragma, por lo cual las secciones del predimensionado inicial no son suficientes y no cumplen con la deriva máxima indicada en la Norma Técnica

E.030 para absorber la fuerza sísmica. En consecuencia, se redimensionó con las siguientes características:

Tabla 3.4 Predimensionamiento final de columnas.

DESCRIPCIÓN	SECCIÓN DE COLUMNA
C-1 en L	35x35X60X60 cm
C-2 Rectangular	35X50 cm
C-3 Rectangular	40x50 cm
C-4 Rectangular	35x50 cm
C-5 Rectangular	35x60 cm

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

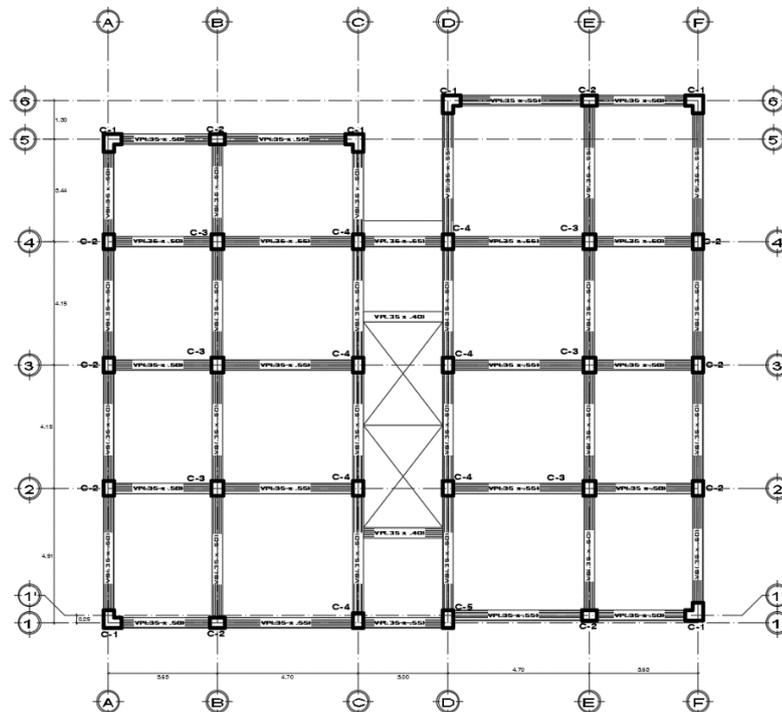


Figura 3.4 Distribución de ejes.

Fuente: Tomado del AutoCAD 2016.

Nota: En la figura 3.4 se muestra la distribución de ejes y elementos estructurales en el sistema aporticado.

3.5.5 Metrado de Cargas Sistema Aporticado

La norma técnica E.020 establece que los elementos estructurales deberán ser capaces de resistir cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto.

En las tablas 3.5 a la 3.8 se detalla el metrado de muros de las plantas típicas del proyecto, para posteriormente ser cargados en el programa.

Tabla 3.5 Metrado de cargas puntual pisos típicos ejes secundarios.

METRADO DE SOBRECARGA PERMANENTE PUNTUAL– MUROS TÍPICOS				
DESCRIPCIÓN	P. Muro Soga (kg/m²)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	PESO (kg)
Eje 2-2 entre A y B	290.00	1.55	2.40	1,078.80
Eje 2-2 entre D y E	290.00	2.05	2.40	1,426.80
Eje 2-2 entre E y F	290.00	1.55	2.40	1,078.80
Eje 3-3 entre B y C	290.00	2.65	2.40	1,844.40
Eje 4-4 entre D y E	290.00	2.95	2.40	2,053.20
Eje 6-6 entre D y E	290.00	1.30	2.40	901.32
Eje B-B entre 1 y 2	290.00	0.93	2.40	643.80

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.6 Metrado de cargas muros de azotea.

METRADO DE SOBRECARGA PERMANENTE – MUROS AZOTEA				
DESCRIPCIÓN	P. Muro Soga (kg/m²)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	PESO (kg/m)
Eje 1-1 entre A y B	290.00	3.63	1.20	348.00
Eje 1-1 entre B y C	290.00	4.70	1.20	348.00
Eje 1-1 entre C y D	290.00	3.00	1.20	348.00
Eje 1'-1' entre D y E	290.00	4.70	1.20	348.00
Eje 1'-1' entre E y F	290.00	3.63	1.20	348.00
Eje 5-5 entre A y B	290.00	3.63	1.20	348.00
Eje 5-5 entre B y C	290.00	4.70	1.20	348.00
Eje 6-6 entre D y E	290.00	4.70	1.20	348.00



Eje 6-6 entre E y F	290.00	3.63	1.20	348.00
Eje A-A entre 1 y 2	290.00	4.51	1.20	348.00
Eje A-A entre 2 y 3	290.00	4.15	1.20	348.00
Eje A-A entre 3 y 4	290.00	4.15	1.20	348.00
Eje A-A entre 4 y 5	290.00	3.44	1.20	348.00
Eje C-C entre 4 y 5	290.00	2.75	1.20	348.00
Eje D-D entre 4 y 5	290.00	3.44	1.20	348.00
Eje D-D entre 5 y 6	290.00	1.30	1.20	348.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.7 Metrado de cargas muros de pisos típicos ejes principales.

METRADO DE SOBRECARGA PERMANENTE DISTRIBUIDA – MUROS TÍPICOS				
DESCRIPCIÓN	P. Muro Soga (kg/m²)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	PESO (kg/m)
EJES PRINCIPALES				
Eje 1-1 entre A y B	290.00	3.63	2.20	638.00
Eje 1-1 entre B y C	290.00	4.70	2.10	609.00
Eje 1-1 entre C y D	290.00	3.00	2.10	609.00
Eje 1'-1' entre D y E	290.00	4.70	2.10	609.00
Eje 1'-1' entre E y F	290.00	3.63	2.20	638.00
Eje 2-2 entre A y B	290.00	2.45	2.40	696.00
Eje 2-2 entre E y F	290.00	2.45	2.40	696.00
Eje 3-3 entre A y B	290.00	3.63	2.40	696.00
Eje 3-3 entre B y C	290.00	4.70	2.40	696.00
Eje 3-3 entre B y C	290.00	3.15	2.40	696.00
Eje 3-3 entre D y E	290.00	4.70	2.40	696.00
Eje 3-3 entre E y F	290.00	3.63	2.40	696.00
Eje 4-4 entre A y B	290.00	2.45	2.40	696.00
Eje 4-4 entre E y F	290.00	2.45	2.40	696.00
Eje 6-6 entre E y F	290.00	3.63	2.20	638.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.8 Metrado de cargas muros de pisos típicos ejes secundarios.

METRADO DE SOBRECARGA PERMANENTE DISTRIBUIDA – MUROS TÍPICOS				
DESCRIPCIÓN	P. Muro Soga (kg/m²)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	PESO (kg/m)
EJES SECUNDARIOS				
Eje A-A entre 1 y 2	290.00	4.51	2.20	638.00
Eje A-A entre 2 y 3	290.00	4.15	2.20	638.00
Eje A-A entre 3 y 4	290.00	4.15	2.20	638.00
Eje A-A entre 4 y 5	290.00	3.44	2.20	638.00
Eje B-B entre 1 y 2	290.00	3.35	2.20	638.00
Eje B-B entre 2 y 3	290.00	4.15	2.20	638.00
Eje B-B entre 3 y 4	290.00	2.99	2.20	638.00
Eje B-B entre 4 y 5	290.00	3.44	2.20	638.00
Eje C-C entre 1 y 2	290.00	2.30	2.20	638.00
Eje C-C entre 2 y 3	290.00	1.28	2.20	638.00
Eje C-C entre 3 y 4	290.00	2.78	2.20	638.00
Eje C-C entre 4 y 5	290.00	2.75	2.20	638.00
Eje D-D entre 1 y 2	290.00	1.31	2.20	638.00
Eje D-D entre 2 y 3	290.00	3.39	2.20	638.00
Eje D-D entre 3 y 4	290.00	1.24	2.20	638.00
Eje D-D entre 4 y 6	290.00	1.27	2.10	609.00
Eje E-E entre 1 y 2	290.00	4.51	2.20	638.00
Eje E-E entre 2 y 3	290.00	3.06	2.20	638.00
Eje E-E entre 3 y 4	290.00	4.15	2.20	638.00
Eje E-E entre 4 y 6	290.00	3.65	2.10	609.00
Eje F-F entre 1 y 2	290.00	2.86	2.20	638.00
Eje F-F entre 2 y 3	290.00	2.75	2.20	638.00
Eje F-F entre 3 y 4	290.00	2.75	2.20	638.00
Eje F-F entre 4 y 6	290.00	3.34	2.10	609.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5.6 Inicialización del Modelo Sistema Aporticado

Para la inicialización del modelo se toma las características tal como se muestran en la siguiente figura 3.5.

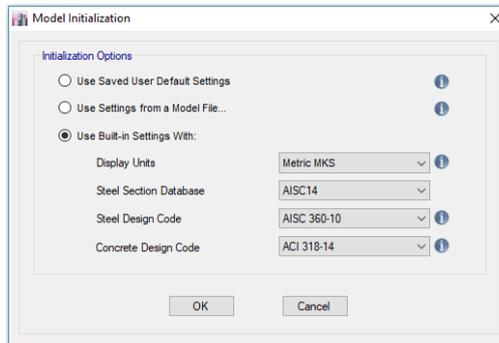


Figura 3.5 Inicialización de modelo.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.5 se muestra la inicialización del modelo para el sistema aporticado en el software ETABS 2016.

3.5.7 Configuración de Grillas

Para la definición de las grillas se realizó según a la configuración estructural presentada anteriormente para este sistema, como se muestra en la figura 3.6.

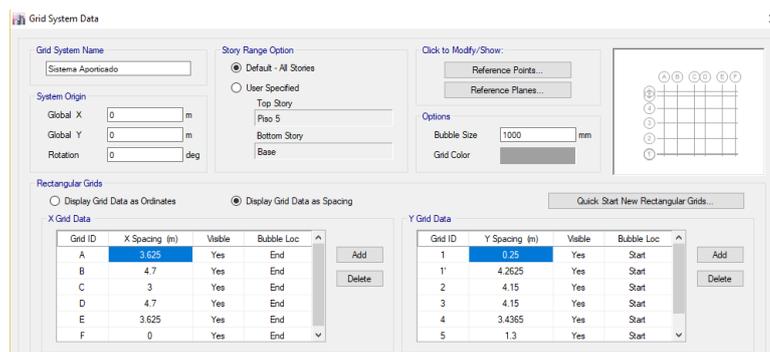


Figura 3.6 Configuración de grillas sistema aporticado.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.5.8 Definición de Materiales

Para la definición de materiales se toma como referencia la tabla 3.1 de las propiedades de los elementos estructurales mostrada anteriormente.

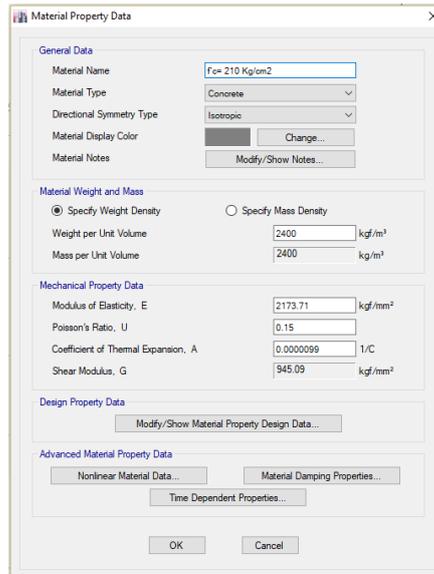


Figura 3.7 Definición de material concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.5.9 Definición de Secciones de Elementos Viga y Columna

Se ingresa las secciones de los elementos estructurales al software, para poder realizar la modelación.

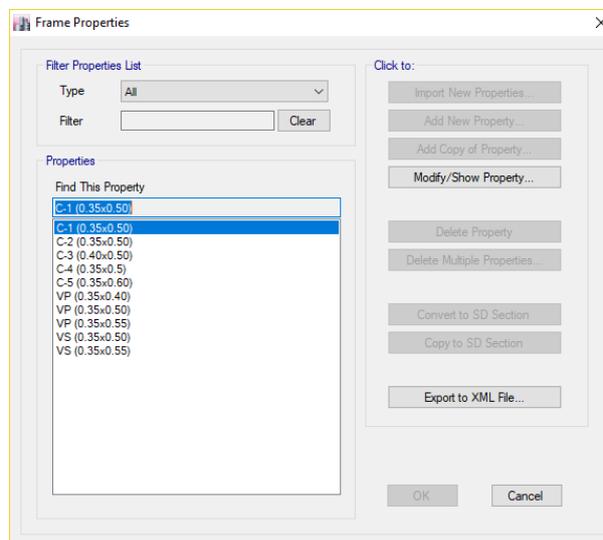


Figura 3.8 Sección de los elementos estructurales.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.8 se muestra la sección de los elementos estructurales considerados en el sistema aporricado.

3.5.10 Dibujo de Elementos Estructurales

Se procede a dibujar los elementos estructurales del sistema aporticado en el programa, cada uno con su respectivo material y sección correspondiente.

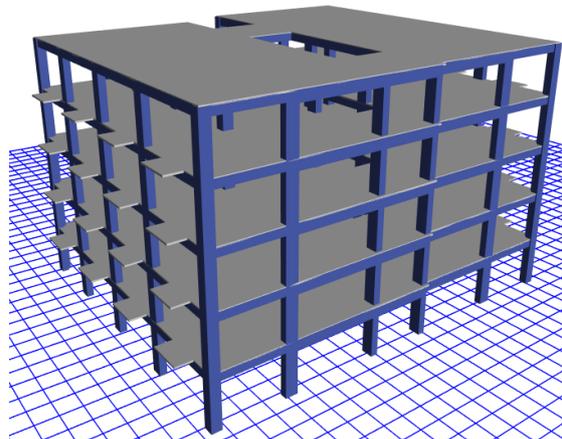


Figura 3.9 Modelado del sistema aporticado.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: en la figura 3.9 se muestra el modelo en 3D del sistema aporticado que genera el software ETABS 2016.

3.5.11 Cargas y Combinación de Cargas

Para aplicar las cargas al modelo se procede a definir los sistemas de cargas (muerta, sobrecarga permanente, viva, viva de techo, sismo). En donde: carga muerta (Peso propio de elementos estructurales), sobrecarga permanente (peso muro y acabado), carga de viva de techo (viva techo), carga viva (viva), carga de sismo (sismo).

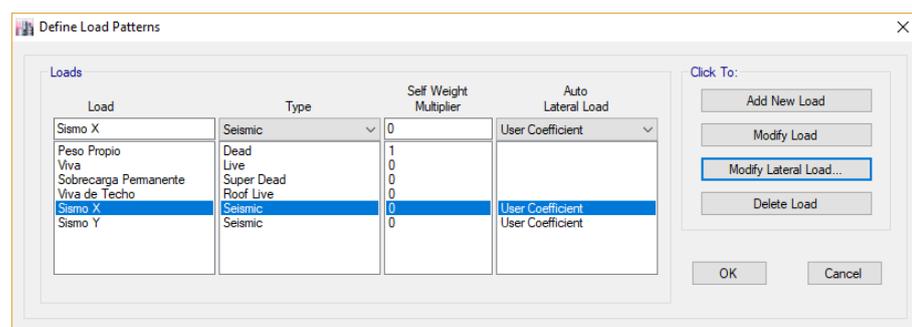


Figura 3.10 Patrones de carga.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.10 se muestra los patrones de carga considerados para el sistema aporticado.

Para el diseño de los elementos estructurales se tomó las combinaciones de Carga Indicadas en la Norma Técnica E.060 2009.

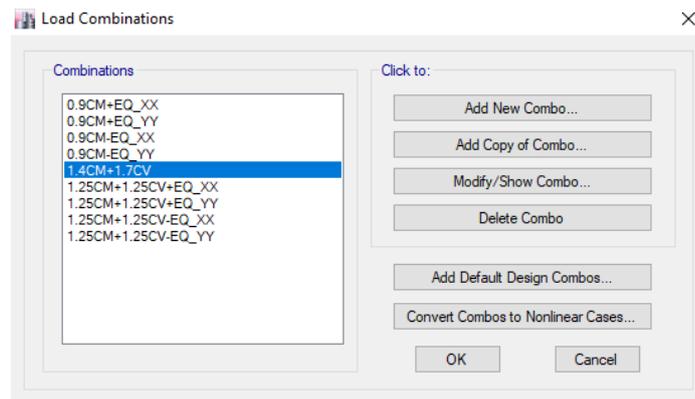


Figura 3.11 Combinaciones de carga.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.11 se muestra las combinaciones de carga consideradas para el diseño de elementos estructurales del sistema aporticado.

3.5.12 Estimación del Peso

Para la estimación del peso sísmico se realiza según la Norma técnica E.030-2018, la cual indica que para una categoría C en el cual se encuentra incluido nuestro proyecto se tomará el 25 % de la Carga viva.

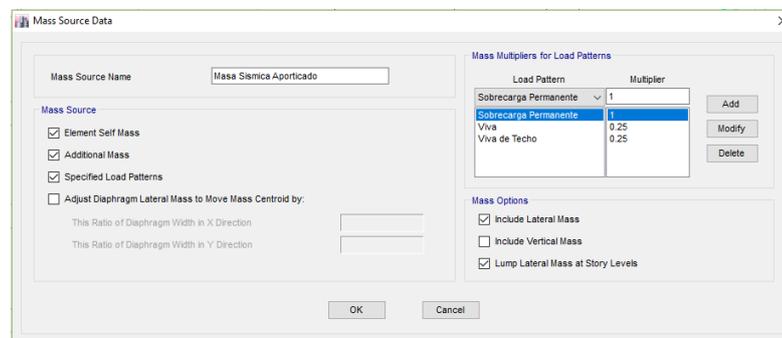


Figura 3.12 Asignación del peso sísmico.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.5.13 Asignación de Cargas a la Estructura

Se procede a asignar las cargas a la estructura, como se muestra en la figura

3.13:

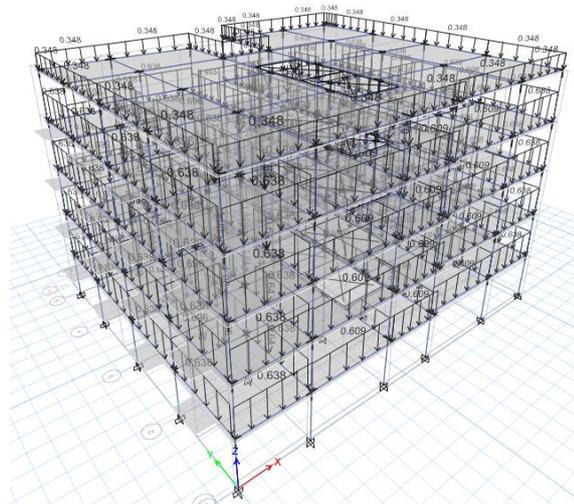


Figura 3.13 Asignación de cargas al modelo.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.5.14 Definición de Diafragma Rígido de Entrepiso

Se consideró en el modelo diafragmas rígidos en el plano horizontal en cada entrepiso, con lo que se estaría considerando el movimiento de los nudos de una manera dependiente al movimiento del centro de masas de cada nivel.

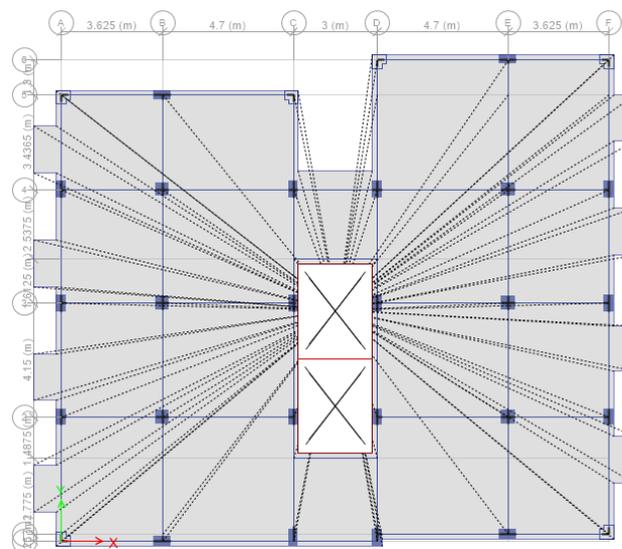


Figura 3.14 Asignación de diafragma rígido.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.5.15 Definir Brazos Rígidos para Vigas y Columnas

Para realizar el modelamiento de la unión de las columnas con las vigas en nuestro modelo, se procede a asignar los brazos rígidos, tal como se muestra en la figura 3.15.

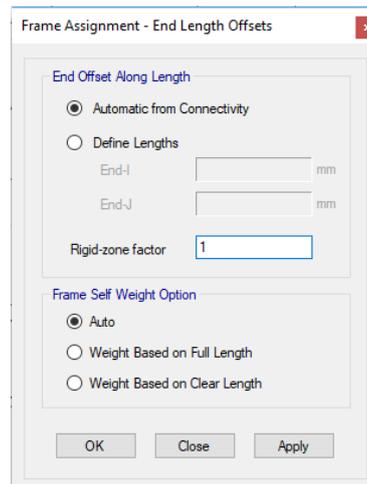


Figura 3.15 Asignación de brazo rígido.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.15 se muestra la asignación de brazo rígido en vigas y columnas del sistema aporticado.

3.5.16 Análisis Sísmico Estático Sistema Aporticado

Parámetros sísmicos

Zona sísmica= 3

Factor de Zona (Z)=0.35

Perfil de Suelo= S2 (Suelo intermedio)

Factor de uso (U)= 1

Factor de Suelo (S)= 1.15

3.5.16.1 Cálculo del Periodo Fundamental Normativo

Para la obtención del periodo fundamental de vibración, nos basamos en la norma técnica E.030-2018.

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad \dots 3.4$$

Para nuestro caso $C_T = 35$ debido a que nuestros elementos resistentes en X e Y están formados por pórticos de Concreto Armado sin muros de corte.

$$T_X = T_Y = \frac{5 \times 2.60}{35} = 0.371 \text{ s}$$

Alternativamente nos da la ecuación 3.5 para hallar el periodo fundamental:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i d_i^2)}{(g \sum_{i=1}^n f_i d_i)}} \quad \dots 3.5$$

Este cálculo nos lo da el software ETABS 2016 realizando el análisis modal obteniéndose un periodo en la dirección X e Y de $T_x = 0.463 \text{ s}$ $T_y = 0.453 \text{ s}$ respectivamente los cuales se muestran en la figura 3.16:

Case	Mode	Period sec	UX	UY
Modal	1	0.463	0.8036	3.514E-05
Modal	2	0.453	0.0001	0.829
Modal	3	0.412	0.0313	0.0002
Modal	4	0.146	0.1	2.396E-06
Modal	5	0.141	6.913E-06	0.1055
Modal	6	0.128	0.0043	4.412E-05
Modal	7	0.081	0.036	0
Modal	8	0.076	2.174E-06	0.0402
Modal	9	0.069	0.0017	1.762E-05
Modal	10	0.055	0.0166	0
Modal	11	0.05	0	0.019
Modal	12	0.045	0.0008	2.47E-06
Modal	13	0.042	0.0052	0
Modal	14	0.038	0	0.006
Modal	15	0.034	0.0003	0

Figura 3.16 Participación modal y periodos aporticado.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.16 se muestra la participación modal y los periodos fundamentales para el sistema aporticado.

3.5.16.2 Cálculo del Factor de Amplificación Sísmica

Como el perfil de suelo es un suelo intermedio S2 $T_p = 0.6, T_L = 2.0$

$$T_X = 0.463 \text{ y } T_Y = 0.453 < T_p \rightarrow C_X = C_Y = 2.5$$

3.5.16.3 Cálculo del Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica

La norma E.030-2018 nos indica que el coeficiente de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente R_0 (Tipo de sistema estructural), I_a (Irregularidad en altura) y I_p (Irregularidad en planta)

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad \dots 3.6$$

Para nuestro proyecto $R_0 = 8, I_a = 1$ (Regular en altura) y $I_p = 1$ (Existe una irregularidad en el eje Y por discontinuidad del diafragma)

$$\rightarrow R_x = 8 \times 1 \times 1 = 8 \quad R_y = 8 \times 1 \times 0.85 = 6.8$$

3.5.16.4 Cálculo de la fuerza cortante en la base.

Para el cálculo de la fuerza cortante en la base se utiliza la ecuación 3.7:

$$V_X \text{ y } V_Y = \frac{ZUCS}{R} \times P \quad \dots 3.7$$

Donde la norma nos obliga a $\frac{C}{R} \geq 0.11$ para nuestro caso en X e Y si cumple con lo dispuesto.

$$V_X = \frac{0.35 \times 1 \times 2.5 \times 1.15}{8} \times P$$

$$V_X = 0.126 \times P$$

$$V_Y = \frac{0.35 \times 1 \times 2.5 \times 1.15}{6.8} \times P$$

$$V_Y = 0.148 \times P$$

Este parámetro es introducido al software ETABS 2016 tanto en la dirección X e Y, como se muestran en las figuras 3.17 y 3.18:

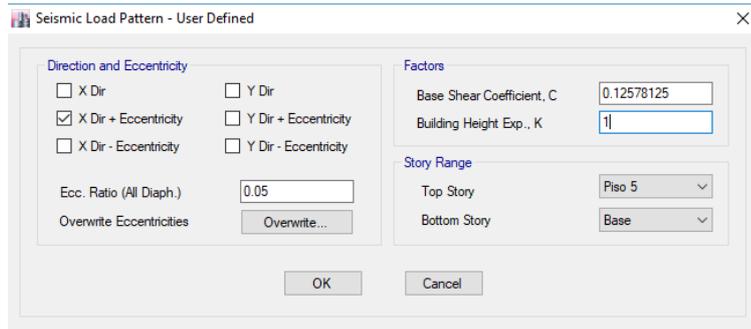


Figura 3.17 Asignación de coeficiente en X.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.17 se muestra la asignación de coeficientes para el análisis sísmico estático y el cálculo de fuerza cortante en la dirección X.

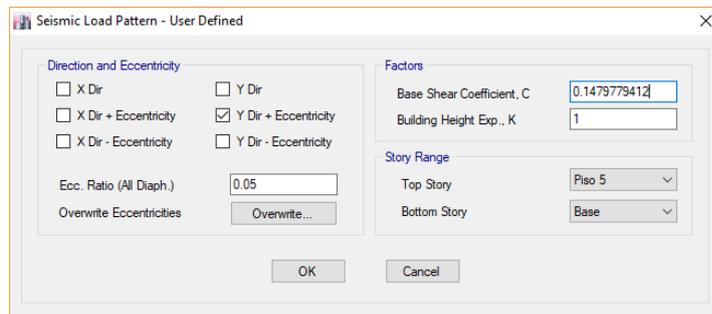


Figura 3.18 Asignación de coeficiente en Y.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.18 se muestra la asignación de coeficientes para el análisis sísmico estático y el cálculo de fuerza cortante en la dirección Y.

3.5.16.5 *Fuerza Cortante en la Base*

Para el análisis estático del sistema estructural aporticado se obtuvo una fuerza cortante en el eje X e Y, como se muestra en las tablas 4.9 y 4.10.

3.5.16.6 *Desplazamientos y Derivas Máximas*

En las tablas 4.1 y 4.2 se muestran los desplazamientos máximos y derivas de entrepiso para ambas direcciones obtenidas por el análisis Estático.

3.5.17 Análisis dinámico sistema aporticado.

3.5.17.1 *Asignación del espectro de respuesta.*

Para realizar el análisis dinámico es necesario cargar el espectro con los parámetros sísmicos calculados según norma E.030-2018 al software ETABS 2016.

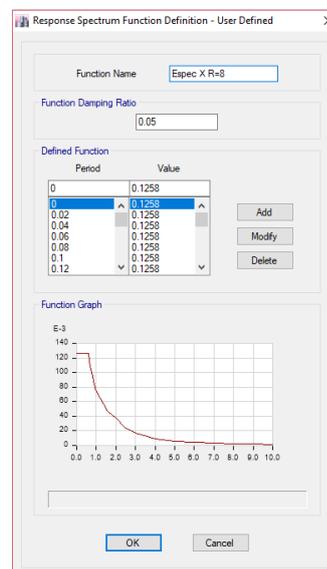


Figura 3.19 Espectro de diseño en X.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.19 se muestra la asignación del espectro de diseño para el análisis sísmico dinámico en la dirección X del sistema aporticado.

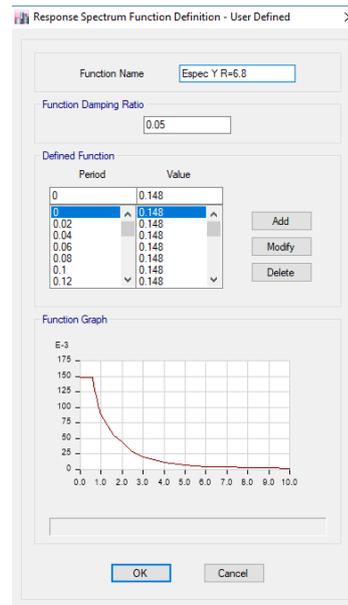


Figura 3.20 Espectro de diseño en Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.20 se muestra la asignación del espectro de diseño para el análisis sísmico dinámico en la dirección Y del sistema aporticado.

3.5.17.2 Asignación del caso de carga del espectro.

Se procede a asignar el caso de carga tanto en la dirección X e Y del espectro de respuesta.

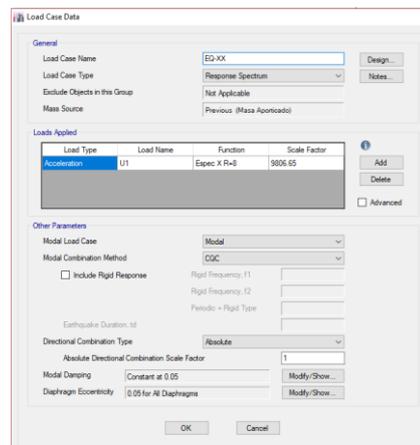


Figura 3.21 Asignación del caso de carga en X.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.21 se muestra la asignación del caso de carga del espectro de respuesta en la dirección X para el análisis sísmico dinámico sistema aporticado.

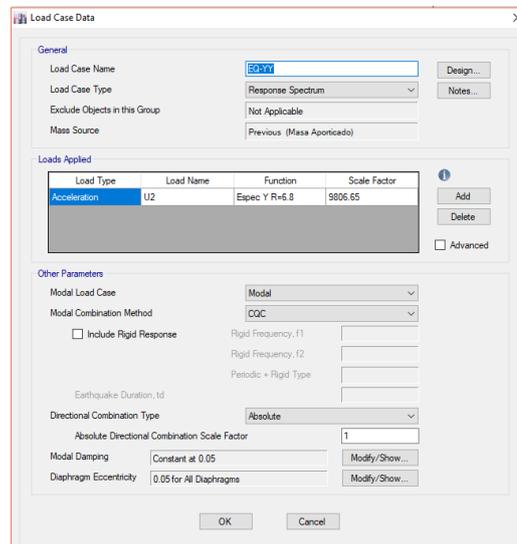


Figura 3.22 Asignación del caso de carga en Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.22 se muestra la asignación del caso de carga del espectro de respuesta en la dirección Y para el análisis sísmico dinámico sistema aporticado.

3.5.17.3 Fuerza cortante en la base.

Para el análisis dinámico del sistema estructural Aporticado se obtuvo una fuerza cortante en el eje X e Y, como se muestra en las tablas 4.11 y 4.12.

3.5.17.4 Desplazamientos y derivas máximas.

En las tablas 4.3 y 4.4 se muestran los desplazamientos máximos y derivas de entrepiso para ambas direcciones obtenidas por el análisis dinámico.

3.5.17.5 Fuerza cortante mínima para diseño.

Para obtener la fuerza cortante mínima para realizar el diseño con el análisis modal espectral, se tomará las recomendaciones dadas por la norma técnica E.030-2018, la cual indica que: la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el análisis estático equivalente para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares. Este análisis se muestra en la tabla 4.19.

De la tabla 4.19 se observa que la dirección X cumple con el mínimo del 80% que indica la norma; no obstante, en la dirección Y es necesario realizar un escalamiento para dar cumplimiento al 90% requerido.

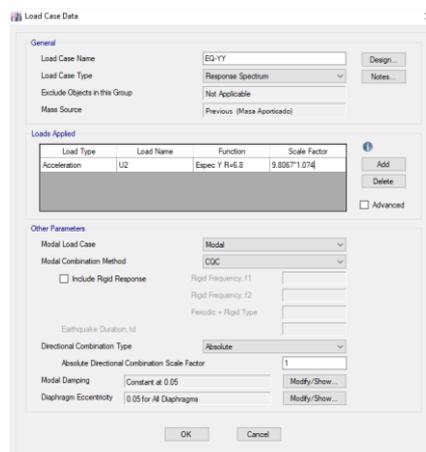


Figura 3.23 Escalamiento de fuerzas.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.23 se muestra el escalamiento de fuerzas del análisis sísmico dinámico para el diseño de elementos estructurales.

3.5.17.6 Diseño de elementos estructurales.

Diseño de vigas

El diseño de las vigas se realizó según lo establecido en la norma técnica E.060 -2009.

Como ejemplo de diseño a flexión y corte se tomará el pórtico B entre los ejes 1 y 5 del segundo nivel.



Figura 3.24 Pórtico donde se muestran las vigas a diseñar.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Revisión de la deflexión

Los peraltes totales de las vigas se encuentran en el orden 0.4, 0.5 y 0.55 cm siendo mayores a los indicados en la tabla 2.2 por lo cual no será necesario verificar la deflexión.

Diseño a flexión

Para el diseño por flexión se tomó en cuenta la envolvente de momentos y se procedió a calcular el acero requerido basado en los conceptos y fórmulas mostradas en la parte de la revisión de la literatura de la presente investigación.

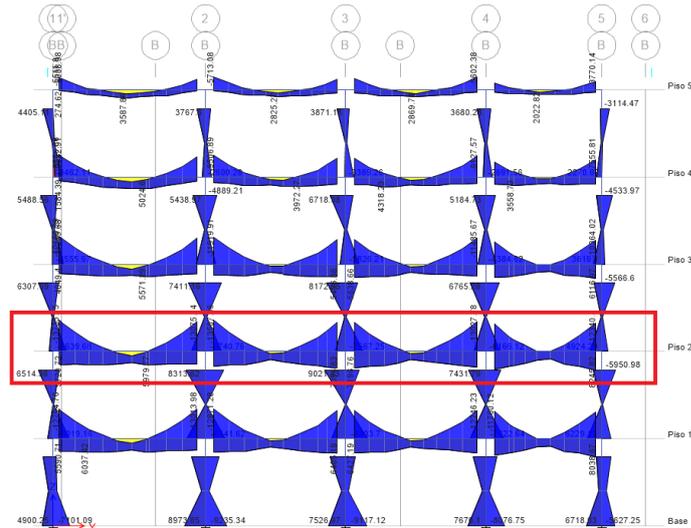


Figura 3.25 Envolvente de momentos eje B segundo nivel.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Tabla 3.9 Tabla diseño de viga tramo 1 eje 1-2.

	Tramo 1 entre ejes 1-2					
	Apoyo +	Apoyo -	Centro +	Centro -	Apoyo +	Apoyo -
b (cm)	35	35	35	35	35	35
d (cm)	44	44	44	44	44	44
Mu (kgf.m)	6,392.56	-12,785.12	5,979.77	-3,268.78	6,537.57	-13,075.14
As (cm ²)	3.97	8.21	3.70	2.00	4.06	8.41
As min (cm ²)	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
As max (cm ²)	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54
As colocado	2Ø5/8"+1Ø 1/2"	2Ø5/8"+2Ø 3/4"	2Ø5/8"	2Ø5/8"	2Ø5/8"+1Ø 1/2"	2Ø5/8"+2Ø 3/4"

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.10 Tabla diseño de viga tramo 2 eje 2-3.

	Tramo 2 entre ejes 2-3					
	Apoyo +	Apoyo -	Centro +	Centro -	Apoyo +	Apoyo -
b (cm)	35	35	35	35	35	35
d (cm)	44	44	44	44	44	44
Mu (kgf.m)	6,753.93	-13507.86	5,572.47	-3,376.97	7,094.83	-12,536.07
As (cm ²)	4.20	8.70	3.44	2.07	4.42	8.03
As min (cm ²)	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
As max (cm ²)	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54
As colocado	2Ø5/8"+1Ø 1/2"	2Ø5/8"+2Ø 3/4"	2Ø5/8"	2Ø5/8"	2Ø5/8"+1Ø 1/2"	2Ø5/8"+2Ø 3/4"

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.11 Tabla diseño de viga tramo 3 eje 3-4.

	Tramo 3 entre ejes 3-4					
	Apoyo +	Apoyo -	Centro +	Centro -	Apoyo +	Apoyo -
b (cm)	35	35	35	35	35	35
d (cm)	44	44	44	44	44	44
Mu (kgf.m)	6,309.12	-12,602.28	5,075.46	-3,256.95	6,798.66	-13,027.78
As (cm ²)	3.91	8.08	3.13	1.99	4.23	8.37
As min (cm ²)	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
As max (cm ²)	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54
As colocado	2Ø5/8"+1Ø 1/2"	2Ø5/8"+2Ø 3/4"	2Ø5/8"	2Ø5/8"	2Ø5/8"+1Ø 1/2"	2Ø5/8"+2Ø 3/4"

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



Tabla 3.12 Tabla diseño de viga tramo 4 eje 4-5.

	Tramo 4 entre ejes 4-5				
	Apoyo -	Centro +	Centro -	Apoyo +	Apoyo -
b (cm)	35	35	35	35	35
d (cm)	44	44	44	44	44
Mu (kgf.m)	-11,832.08	5,435.71	-3,085.10	8,245.82	-12,340.40
As (cm ²)	7.55	3.36	1.88	5.16	7.90
As min (cm ²)	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
As max (cm ²)	24.54	24.54	24.54	24.54	24.54
As colocado	2Ø5/8''+2Ø 3/4''	2Ø5/8''	2Ø5/8''	2Ø5/8''+1Ø 1/2''	2Ø5/8''+2Ø 3/4''

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Diseño por corte

El diseño por corte de la viga será calculado sumando el aporte del concreto y el acero, con las fórmulas indicadas en el capítulo II.

Tabla 3.13 Tabla diseño de viga tramo 1 eje 1-2.

	Tramo 1 entre ejes 1-2	
	Zona confinada	Zona no confinada
b (cm)	35	35
d (cm)	44	4
f _c (kgf/cm ²)	210	210
V _u (kgf)	11,917.18	7,513.67
V _c (kgf)	11,827.86	11,827.86
V _s (kgf)	21,868.00	13,120.80
Distribución	Ø 3/8'' : 1@5cm, 10@12cm, R@20cm	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.14 Tabla diseño de viga tramo 2 eje 2-3.

	Tramo 2 entre ejes 2-3	
	Zona confinada	Zona no confinada
b (cm)	35	35
d (cm)	44	4
f _c (kgf/cm ²)	210	210
V _u (kgf)	11,864.35	7,211.97
V _c (kgf)	11,827.86	11,827.86
V _s (kgf)	21,868.00	13,120.80
Distribución	Ø 3/8'' : 1@5cm, 10@12cm, R@20cm	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.15 Tabla diseño de viga tramo 3 eje 2-3.

	Tramo 3 entre ejes 3-4	
	Zona confinada	Zona no confinada
b (cm)	35	35
d (cm)	44	4
f _c (kgf/cm ²)	210	210
V _u (kgf)	11,579.49	6,701.18
V _c (kgf)	11,827.86	11,827.86
V _s (kgf)	21,868.00	13,120.80
Distribución	Ø 3/8": 1@5cm, 10@12cm, R@20cm	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 3.16 Tabla diseño de viga tramo 4 eje 4-5.

	Tramo 4 entre ejes 4-5	
	Zona confinada	Zona no confinada
b (cm)	35	35
d (cm)	44	4
f _c (kgf/cm ²)	210	210
V _u (kgf)	12,631.07	8,663.43
V _c (kgf)	11,827.86	11,827.86
V _s (kgf)	21,868.00	13,120.80
Distribución	Ø 3/8": 1@5cm, 10@12cm, R@20cm	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Diseño de Columnas

Las columnas son elementos estructurales que trabajan a compresión, flexión, corte y torsión. De acuerdo a la norma E.060 (2009) el diseño por flexo-compresión se realiza mediante el uso de diagramas de interacción los cuales dependen de la carga axial y el momento actuante. La cuantía de refuerzo longitudinal no debe ser menor que el 1% ni mayor que 6%.

La columna que se usará como ejemplo de diseño será la que se encuentra en la intersección de los ejes 3-B C-2(0.4x0.5m)

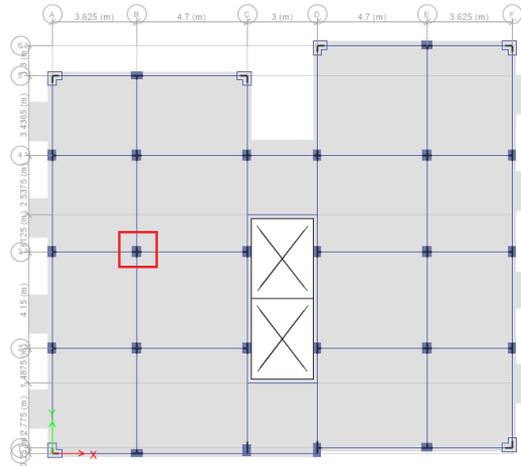


Figura 3.26 Vista de la columna a diseñar.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

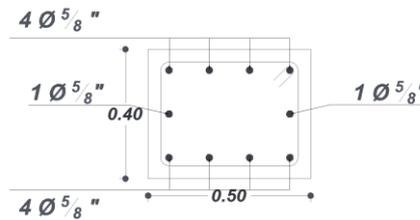


Figura 3.27 Distribución de acero longitudinal C-2.
Fuente: Tomado del AutoCad 2016.

Nota: En la figura 3.27 se muestra la distribución de acero longitudinal considerado en la columna C-2 del sistema aporticado.

Del análisis estructural se procede a obtener las cargas en la base del primer nivel de la columna C-2, posteriormente se procede a realizar las combinaciones de carga establecidas en la norma E.060 (2009).

Tabla 3.17 Cargas en la base de la columna C-2.

Carga	Estación	P (tonf)	Momento eje 2 (tonf.m)	Momento eje 3 (tonf.m)
Carga muerta	0	-76.43	-0.04	0.37
Carga viva	0	-15.69	0.00	0.10
Sismo X	0	2.72	2.02	8.14
Sismo Y	0	0.11	12.97	0.07

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Tabla 3.18 Combinaciones en X de la columna C-2.



SISMO X				
	Combinaciones	P (tonf)	Momento eje 2 (tonf.m)	Momento eje 3 (tonf.m)
	1.4CM+1.7CV	133.69	-0.05	0.69
Sismo en X positivo	1.25(CM+CV)+EQ_XX	117.88	1.97	8.73
	1.25(CM+CV)-EQ_XX	112.43	-2.06	-7.55
	0.9CM+EQ_XX	71.52	1.99	8.48
	0.9CM-EQ_XX	66.07	-2.05	-7.80
Sismo en X negativo	1.25(CM+CV)+EQ_XX	117.88	-1.97	-8.73
	1.25(CM+CV)-EQ_XX	112.43	2.06	7.55
	0.9CM+EQ_XX	71.52	-1.99	-8.48
	0.9CM-EQ_XX	66.07	2.05	7.80

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 3.18 se muestra las combinaciones de carga con la fuerza sísmica en la dirección X para la columna C-2.

Tabla 3.19 Combinaciones de carga en Y de la columna C-2.

SISMO Y				
	Combinaciones	P (tonf)	Momento eje 2 (tonf.m)	Momento eje 3 (tonf.m)
	1.4CM+1.7CV	133.69	-0.05	0.69
Sismo en Y positivo	1.25(CM+CV)+EQ_YY	115.27	12.92	0.66
	1.25(CM+CV)-EQ_YY	115.04	-13.01	0.52
	0.9CM+EQ_YY	68.91	12.93	0.41
	0.9CM-EQ_YY	68.68	-13.00	0.27
Sismo en Y negativo	1.25(CM+CV)+EQ_YY	115.27	-12.92	-0.66
	1.25(CM+CV)-EQ_YY	115.04	13.01	-0.52
	0.9CM+EQ_YY	68.91	-12.93	-0.41
	0.9CM-EQ_YY	68.68	13.00	-0.27

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 3.19 se muestra las combinaciones de carga con la fuerza sísmica en la dirección Y para la columna C-2.

Con la sección y la distribución de acero mostrada se realizan los diagramas de interacción y se procede a ubicar las combinaciones dentro de estos, para verificar si su sección y distribución de acero es adecuado.

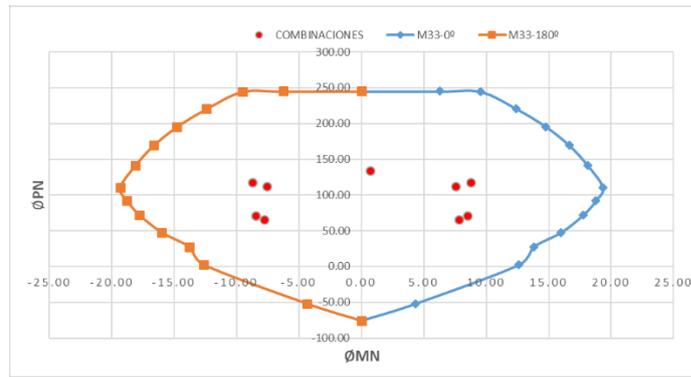


Figura 3.28 Diagrama de interacción M33-X.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.28 se muestra el diagrama de interacción M33 con el sismo en la dirección X de la columna C-2.

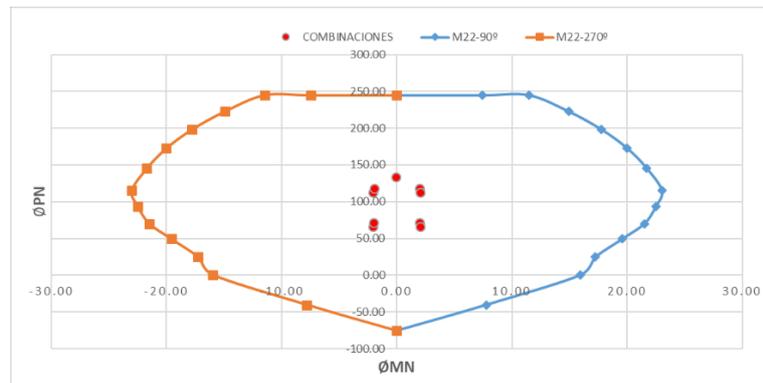


Figura 3.29 Diagrama de interacción M22-X.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.29 se muestra el diagrama de interacción M22 con el sismo en la dirección X de la columna C-2.

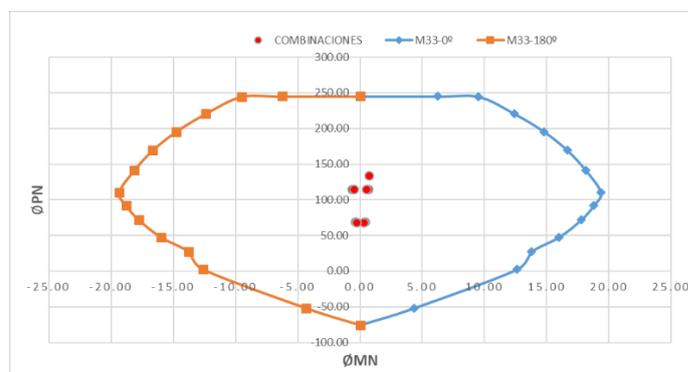


Figura 3.30 Diagrama de interacción M33-Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.30 se muestra el diagrama de interacción M33 con el sismo en la dirección Y de la columna C-2.

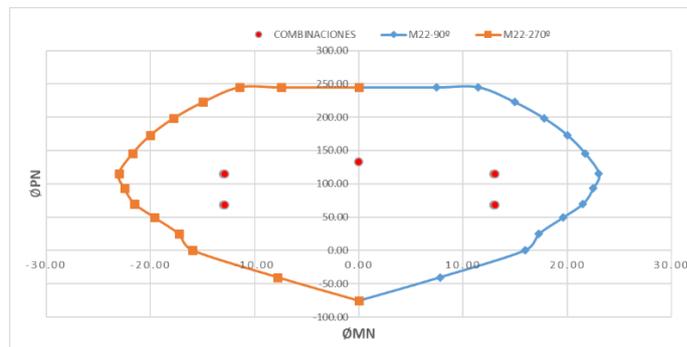


Figura 3.31 Diagrama de interacción M22-Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.31 se muestra el diagrama de interacción M22 con el sismo en la dirección Y de la columna C-2.

Se observa que todas las combinaciones se encuentran dentro de los diagramas de interacción, por lo cual se acepta la dimensión y la distribución de acero longitudinal.

3.6 SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA.

3.6.1 Predimensionamiento sistema muros de ductilidad limitada.

3.6.1.1 Losa maciza.

Es habitual la utilización de losas macizas en este sistema estructural, su función principal es de transmitir las cargas de gravedad hacia los muros. En caso de sismos es también considerada como diafragma rígido.

Para realizar el predimensionamiento de las losas macizas se utilizará la siguiente expresión:

$$h \geq \frac{\text{Perímetro}}{180} \quad \dots 3.8$$



Para realizar un predimensionamiento uniforme se tomará el paño más crítico ubicado 5-9 tramo D-F.

$$h \geq \frac{22}{180} = 0.122 \cong 0.12 \text{ m}$$

Se tomará el valor de 0.12 m de espesor de loza maciza.

3.6.1.2 Muros de ductilidad limitada.

En este sistema los muros delgados de concreto armado son los que deberán resistir la carga por gravedad y fuerza cortante por sismo. Según la norma técnica E.060 el espesor de los muros de corte no debe ser menor de 1/25 de la altura entre elementos que le proporcionen apoyo lateral, también indica que no debe ser menor de 10 cm.

Para realizar el predimensionamiento de los muros de ductilidad se utilizará la siguiente expresión:

$$Espesor \geq \frac{Altura Libre}{25} \quad \dots 3.9$$

Para nuestro caso.

$$Espesor \geq \frac{2.48}{25} = 0.096$$

Se tomar un espesor de 10 cm en la dirección X e Y, respectivamente.

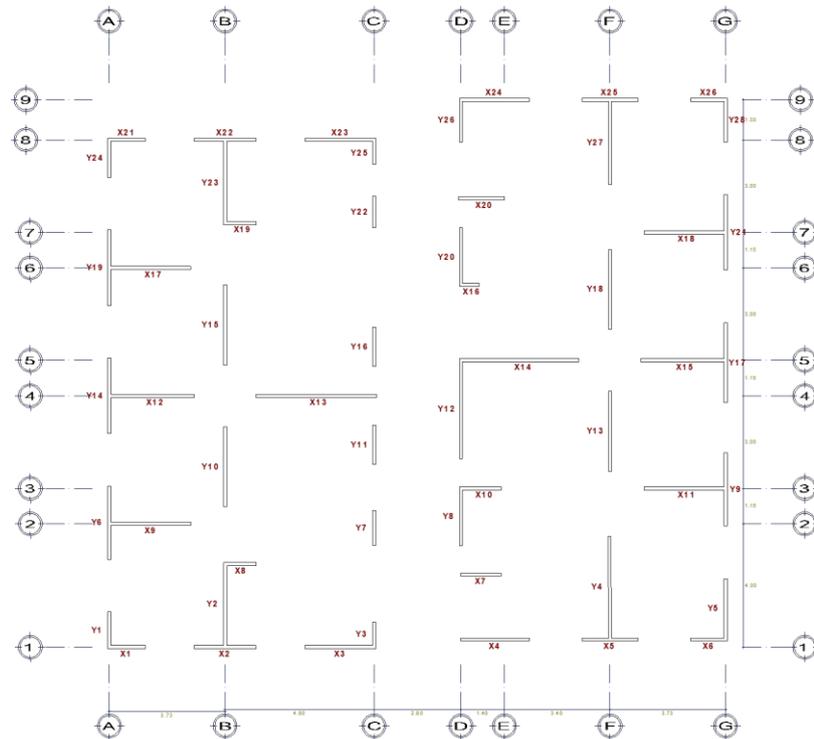


Figura 3.32 Estructuración y distribución M.D.L.
Fuente: Tomado del AutoCAD 2016.

Nota: En la figura 3.32 se muestra la estructuración y distribución de muros para el sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.2 Medrado de cargas sistema muros de ductilidad limitada.

3.6.2.1 Losas macizas.

Las cargas presentes en las losas macizas están comprendidas por el peso propio, la sobrecarga permanente del piso terminado, carga viva y carga viva de techo todas estas contempladas en la norma técnica E.020.

Tabla 3.20 Metrado de cargas de losa maciza.

Elemento	Espesor	Peso	Piso	Carga
Estructural	(m)	Propio (kg/m ²)	Terminado (kg/m ²)	Viva (kg/m ²)
Losa 1° Nivel	0.12	360.00	100.00	200.00
Losa 2° Nivel	0.12	360.00	100.00	200.00
Losa 3° Nivel	0.12	360.00	100.00	200.00
Losa 4° Nivel	0.12	360.00	100.00	200.00
Losa 5° Nivel	0.12	360.00	100.00	100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.6.2.2 Muros de ductilidad limitada.

En el metrado de cargas de muros se consideró los pesos de todos los elementos estructurales con las propiedades indicadas en la tabla 3.1.

3.6.3 Inicialización del modelo sistema mdl.

Para la inicialización del modelo se toma las características tal como se muestran en la figura 3.33.

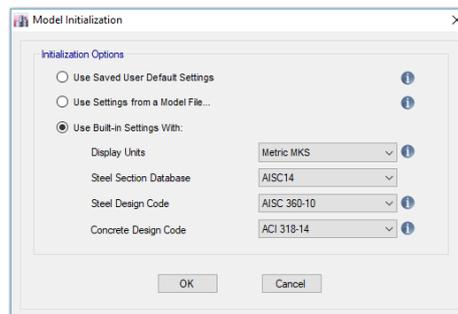


Figura 3.33 Inicialización de modelo sistema M.D.L.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.6.4 Configuración de grillas.

Se realizó según a la configuración estructural presentada anteriormente para este sistema, como se muestra en la figura 3.34.

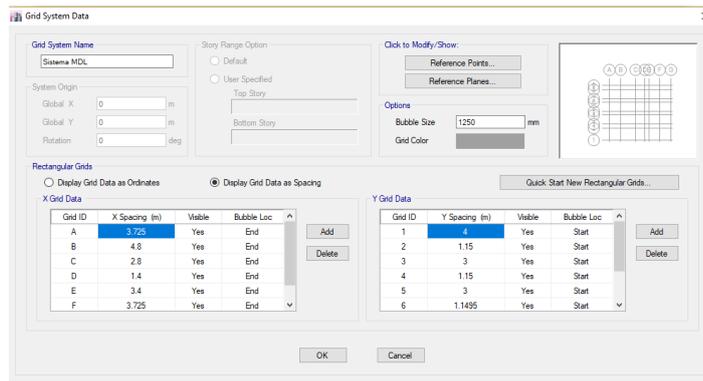


Figura 3.34 Configuración de grillas sistema M.D.L.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.6.5 Definición de materiales.

Para la definición de materiales se toma como referencia la tabla 3.1 de las propiedades de los elementos estructurales mostrada anteriormente.

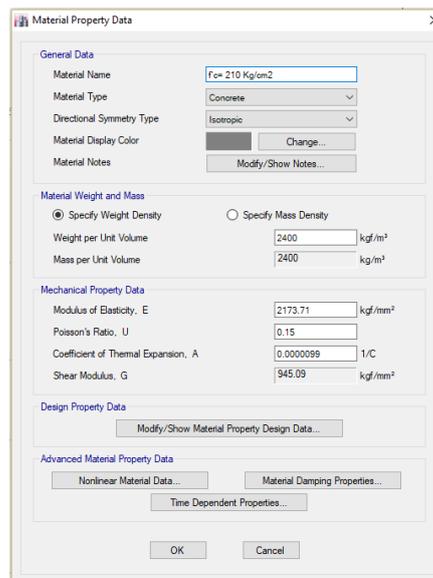


Figura 3.35 Definición de material concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.6.6 Definición de muros de ductilidad limitada y losas macizas.

Se ingresa las secciones de los elementos estructurales al software, para poder realizar la modelación.

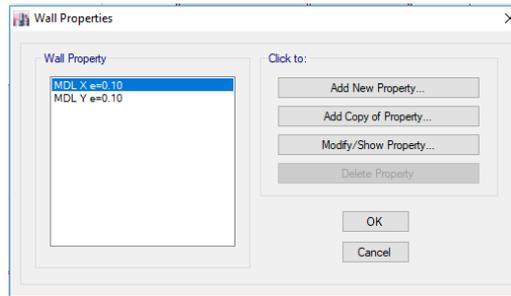


Figura 3.36 Sección de muros de ductilidad limitada.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

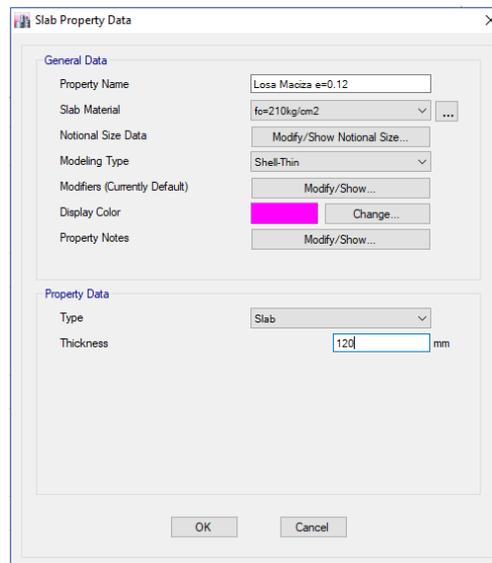


Figura 3.37 Sección de losa maciza.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.6.7 Dibujo de muros de ductilidad limitada.

Se procede a dibujar los elementos estructurales del sistema muros de ductilidad limitada en el programa, cada uno con su respectivo material y sección correspondiente.

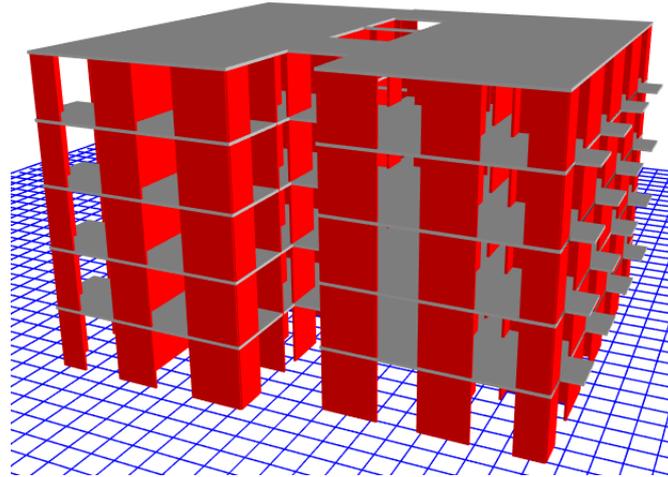


Figura 3.38 Modelado del sistema M.D.L.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

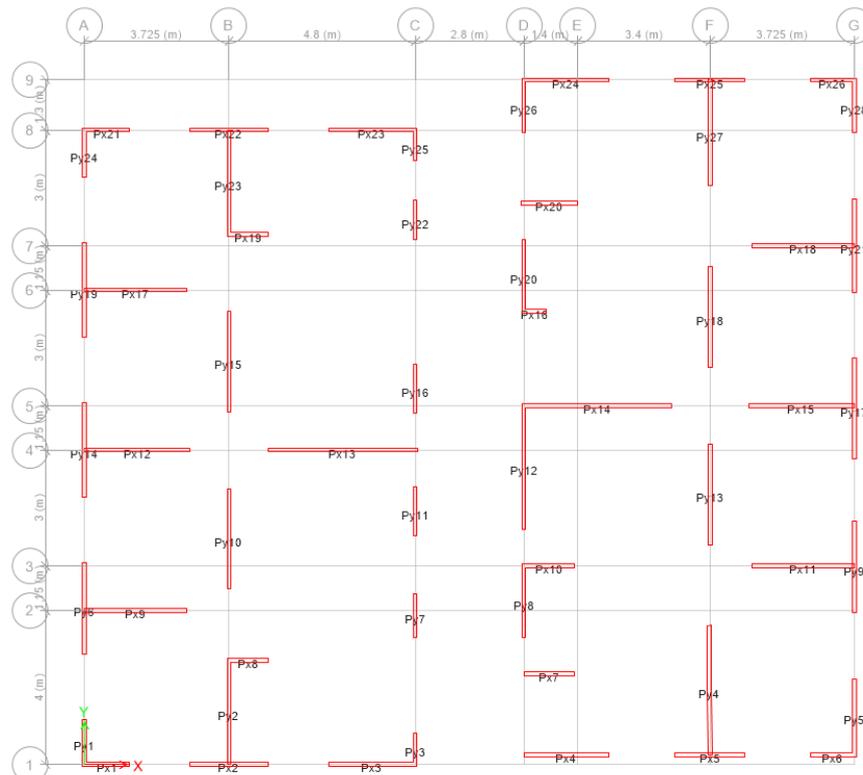


Figura 3.39 Distribución de los muros de ductilidad limitada.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

3.6.8 Cargas y combinación de cargas.

La aplicación de cargas al modelo se realiza de igual manera que en el sistema aperticado.

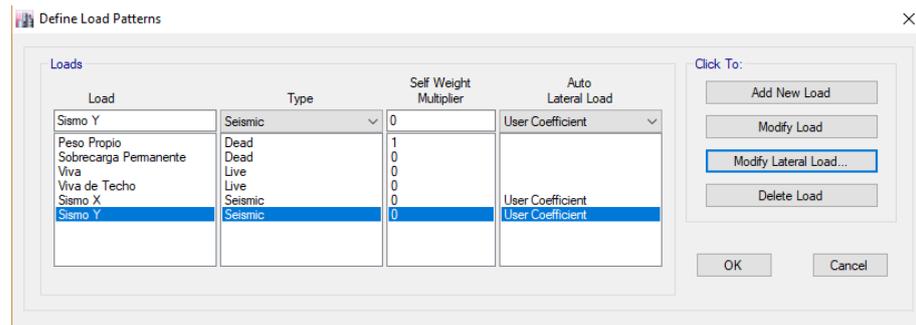


Figura 3.40 Combinaciones de carga M.D.L.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.40 se muestra las combinaciones de carga consideradas para el análisis del sistema de muros de ductilidad limitada.

Para el diseño de los elementos estructurales se tomará las combinaciones de carga indicadas en Norma Técnica E.060-2009.

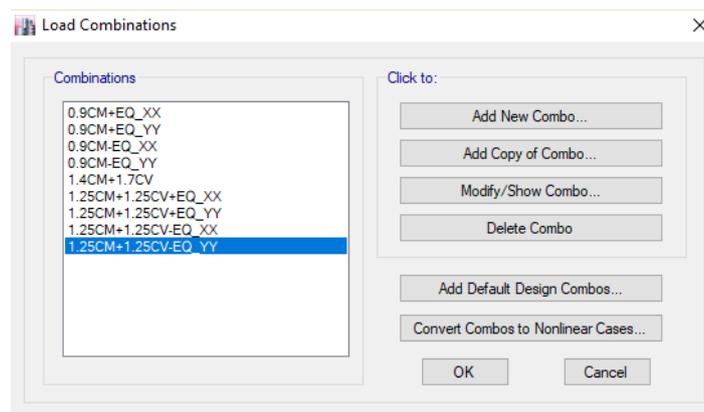


Figura 3.41 Combinaciones de carga para Sistema M.D.L.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.41 se muestra las combinaciones de carga para el diseño de elementos estructurales del sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.9 Estimación del peso.

Para la estimación del peso sísmico se realiza según la Norma técnica E.030, la cual indica que para una categoría C en el cual se encuentra incluido nuestro proyecto se tomara el 25 % de la Carga viva.

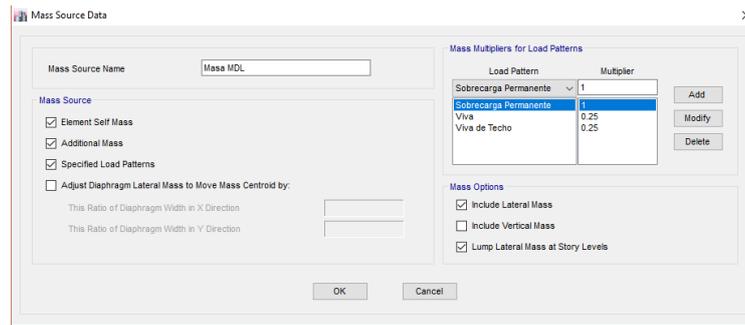


Figura 3.42 Peso sísmico sistema M.D.L.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.42 se muestra la asignación del peso sísmico para el sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.10 Asignación de cargas a la estructura.

Se procede a asignar las cargas a la estructura, como se muestra en la figura 3.43:

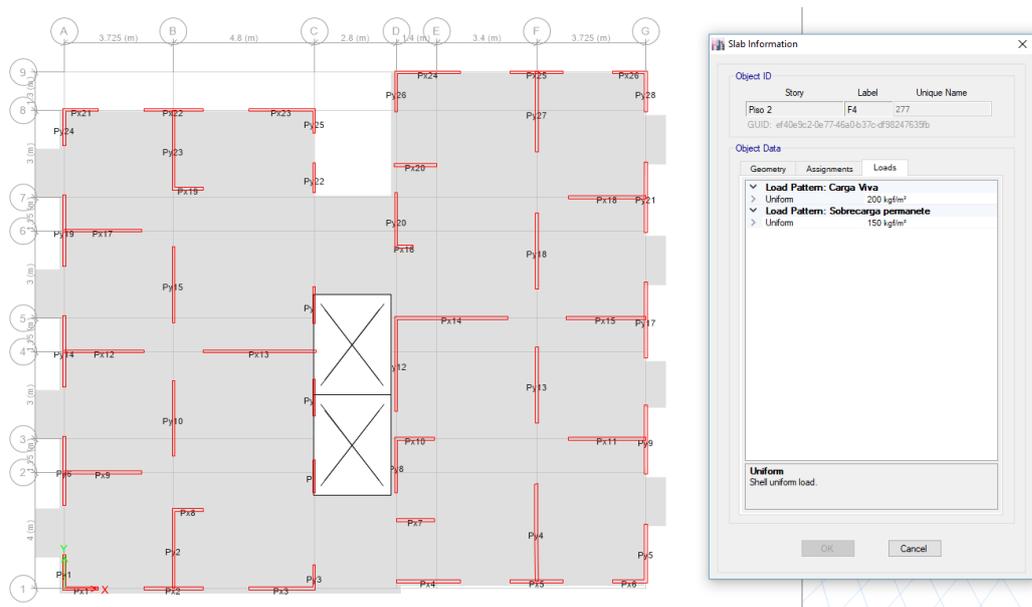


Figura 3.43 Cargas del sistema M.D.L.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.43 se muestra la asignación de cargas al modelo del sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.11 Definición de diafragma rígido de entrepiso.

Se consideró para el modelo diafragmas rígidos en el plano horizontal en cada entrepiso, con lo que se estaría considerando el movimiento de los nudos de una manera dependiente al movimiento del centro de masas de cada nivel del edificio, se muestra en la figura 3.44.

3.6.12 Discretización de mdl.

Se realizó una discretización de $0.50 \times 0.50 \text{ m}^2$ aproximadamente para una mejor aproximación de los resultados, se muestra en la figura 3.45.

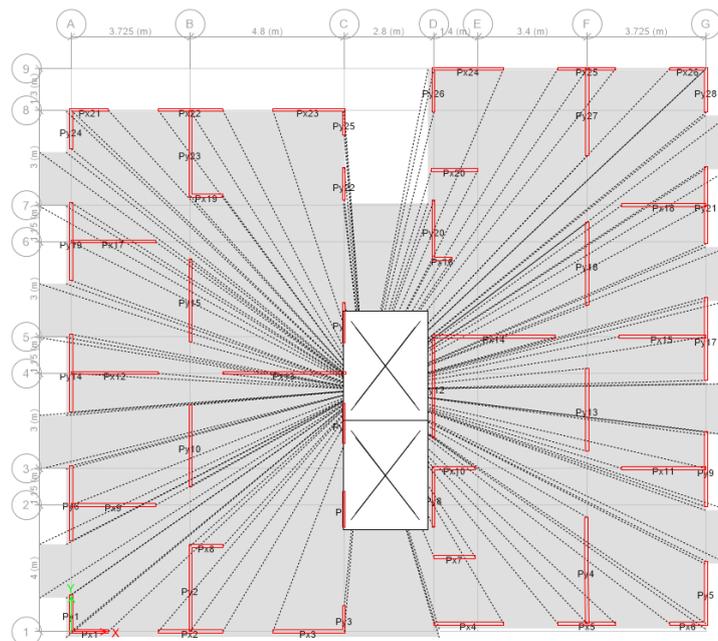


Figura 3.44 Diafragma rígido sistema M.D.L.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.44 se muestra la asignación de diafragma rígido para el sistema de muros de ductilidad limitada.

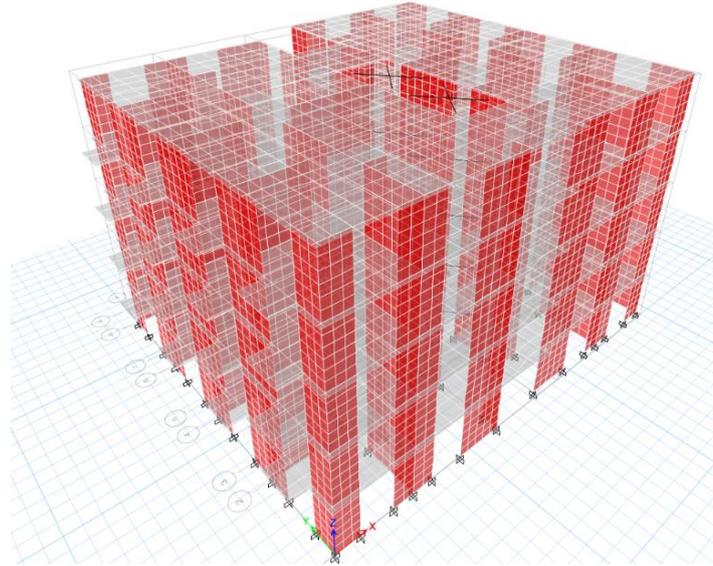


Figura 3.45 Discretización sistema M.D.L.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.45 se muestra la discretización de los elementos estructurales para el sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.13 Análisis estático sistema muros de ductilidad limitada.

3.6.13.1 Parámetros sísmicos.

Zona sísmica= 3

Factor de Zona (Z)=0.35

Perfil de Suelo= S2 (Suelo intermedio)

Factor de uso (U)= 1

Factor de Suelo (S)= 1.15

3.6.13.2 Cálculo del periodo fundamental normativo.

Para la obtención del periodo fundamental de vibración, nos basamos en la norma técnica E.030.

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad \dots 3.10$$

Para nuestro caso $C_T = 60$ debido a que nuestros elementos resistentes en X e Y están formados por pórticos de Concreto Armado sin muros de corte.

$$T_X = T_Y = \frac{5 \times 2.60}{60} = 0.21667 \text{ s}$$

Alternativamente nos da la siguiente expresión para hallar el periodo fundamental:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i d_i}} \quad \dots 3.11$$

Este cálculo nos lo da el software Etabs realizando el análisis modal obteniéndose un periodo en la dirección X e Y de $T_x = 0.274 \text{ s}$ $T_y = 0.247 \text{ s}$ respectivamente los cuales se muestran en la figura 3.46:

Case	Mode	Period sec	UX	UY
Modal	1	0.274	0.4455	0.171
Modal	2	0.255	0.0843	0.0037
Modal	3	0.247	0.1666	0.5246
Modal	4	0.061	0.1364	0.0563
Modal	5	0.058	0.0617	0.1136
Modal	6	0.056	0.0005	0.0243
Modal	7	0.048	0.0004	7.642E-06
Modal	8	0.039	0.0004	5.3E-07
Modal	9	0.035	2.707E-06	0.001
Modal	10	0.029	0.048	0.0101
Modal	11	0.028	0.0099	0.0449
Modal	12	0.021	0.0061	0.0193
Modal	13	0.02	0.0192	0.0059
Modal	14	0.013	0.0009	0.0133
Modal	15	0.012	0.0099	0.001

Figura 3.46 Participación modal y periodos M.D.L.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.46 se muestra la participación modal y los periodos fundamentales para el sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.13.3 Cálculo del factor de amplificación sísmica.

Como el perfil de suelo es un suelo intermedio S2 $T_p = 0.6, T_L = 2.0$

$$T_x \text{ y } T_y < 0.6 \rightarrow C_x = C_y = 2.5$$

3.6.13.4 Cálculo del coeficiente de reducción de la fuerza sísmica.

La norma E.030 nos indica que el coeficiente de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente R_0 (Tipo de sistema estructural), I_a (Irregularidad en altura) y I_p (Irregularidad en planta)

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad \dots 3.12$$

Para nuestro proyecto $R_0 = 4$, $I_a = 1$ (Regular en altura) y $I_p = 1$ (Existe una irregularidad en el eje Y por discontinuidad del diafragma)

$$\rightarrow R_x = 4 \times 1 \times 1 = 4 \quad R_y = 4 \times 1 \times 0.85 = 3.4$$

3.6.13.5 Cálculo de la fuerza cortante en la base.

Para el cálculo de la fuerza cortante en la base se utiliza la siguiente expresión:

$$V_X \text{ y } V_Y = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times P \quad \dots 3.13$$

Donde la norma nos obliga a $\frac{C}{R} \geq 0.11$ para nuestro caso en X e Y si cumple con lo dispuesto.

$$V_X = \frac{0.35 \times 1 \times 2.5 \times 1.15}{4} \times P$$

$$V_X = 0.252 \times P$$

$$V_Y = \frac{0.35 \times 1 \times 2.5 \times 1.15}{3.4} \times P$$

$$V_Y = 0.296 \times P$$

Este parámetro es introducido al software ETABS 2016 tanto en la dirección X e Y, como se muestra en la figura 3.47 y 3.48:

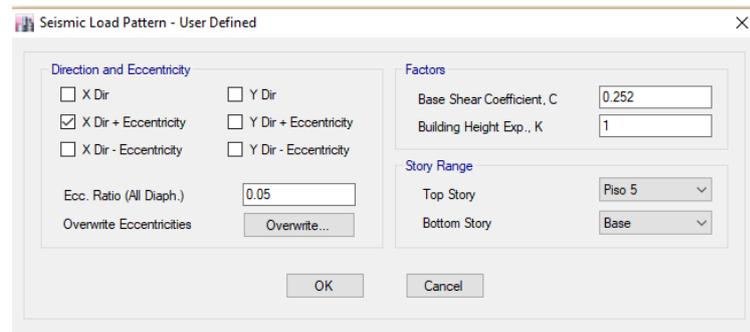


Figura 3.47 Asignación de coeficiente en X.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.47 se muestra la asignación de coeficientes para el análisis sísmico estático y el cálculo de fuerza cortante en la dirección X.

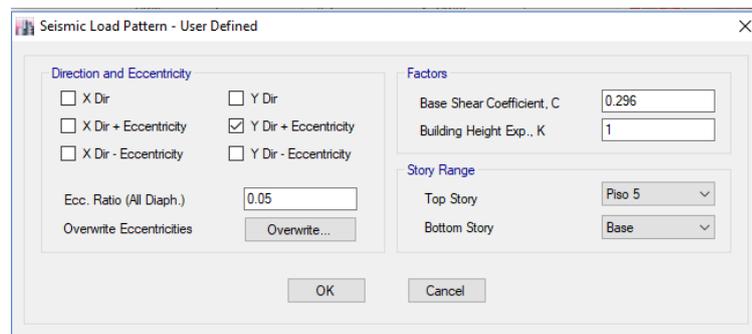


Figura 3.48 Asignación de coeficientes en Y.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.48 se muestra la asignación de coeficientes para el análisis sísmico estático y el cálculo de fuerza cortante en la dirección Y.

3.6.13.6 Fuerza cortante en la base.

Para el análisis estático del sistema estructural Muros de Ductilidad Limitada se obtuvo la siguiente fuerza cortante en el eje X e Y, como se muestra en las tablas 4.13 y 4.14.

3.6.13.7 Desplazamientos y derivas máximas.

En las tablas 4.5 y 4.6 se muestran los desplazamientos máximos y derivas de entrepiso para ambas direcciones obtenidas por el análisis Estático.

3.6.14 Análisis dinámico sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.14.1 Asignación del espectro de respuesta.

Para realizar el análisis dinámico se procede a cargar el espectro tanto en la dirección X e Y con los parámetros sísmicos calculados según la norma E.030 al software ETABS 2016.

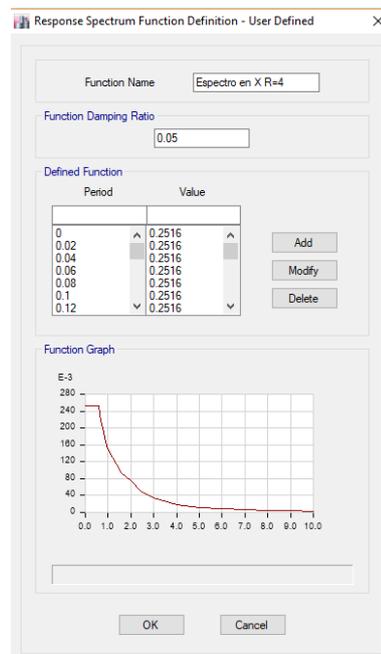


Figura 3.49 Espectro de diseño en X.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.49 se muestra la asignación del espectro de diseño para el análisis sísmico dinámico en la dirección X del sistema de muros de ductilidad limitada.

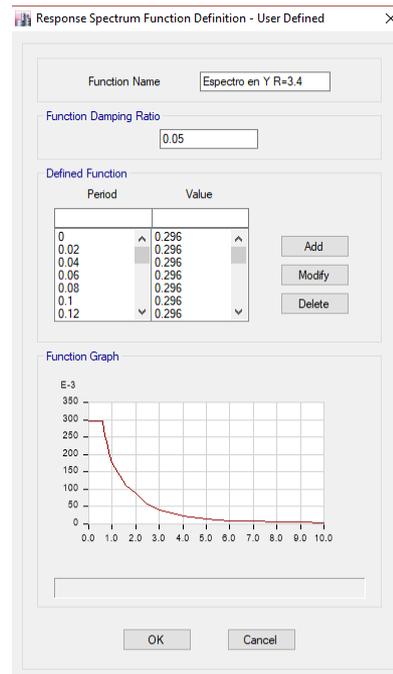


Figura 3.50 Espectro de diseño en Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.50 se muestra la asignación del espectro de diseño para el análisis sísmico dinámico en la dirección Y del sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.14.2 *Asignación del caso de carga del espectro.*

Se procede a asignar el caso de carga tanto en la dirección X e Y del espectro de respuesta, se muestra en la figura 3.51 y 3.52.

3.6.14.3 *Fuerza cortante en la base.*

Para el análisis dinámico del sistema estructural Muros de Ductilidad Limitada se obtuvo la siguiente fuerza cortante en el eje X e Y, como se muestra en las tablas 4.15 y 4.16.

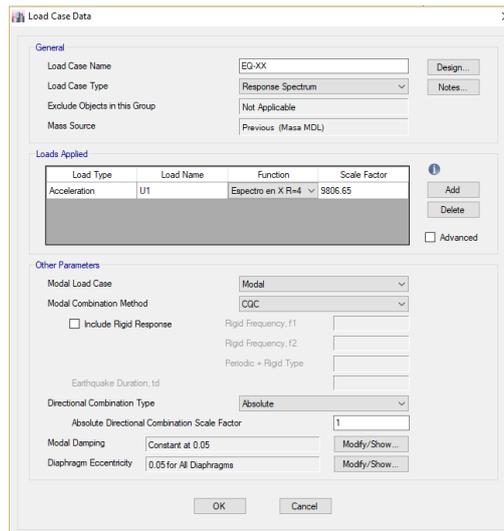


Figura 3.51 Asignación del caso de carga en X.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.51 se muestra la asignación del caso de carga del espectro de respuesta en la dirección X para el análisis sísmico dinámico sistema de muros de ductilidad limitada.

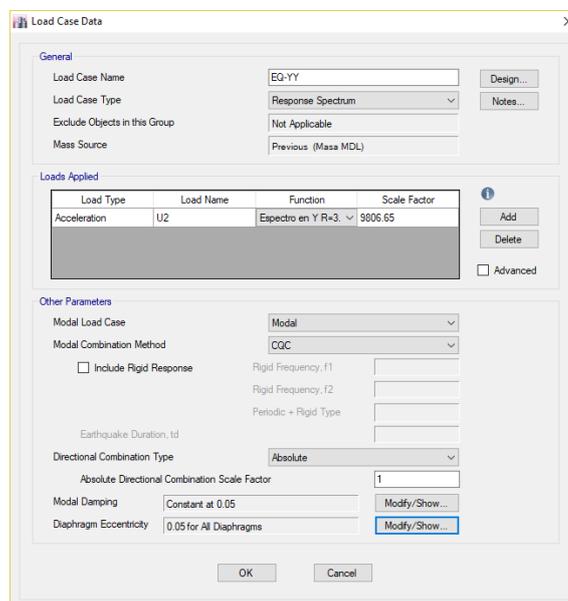


Figura 3.52 Asignación del caso de carga en Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.52 se muestra la asignación del caso de carga del espectro de respuesta en la dirección Y para el análisis sísmico dinámico sistema de muros de ductilidad limitada.

3.6.14.4 *Desplazamientos y derivas máximas.*

En las tablas 4.7 y 4.8 se muestran los desplazamientos máximos y derivas de entrepiso para ambas direcciones obtenidas por el análisis Dinámico.

3.6.14.1 *Diseño de elementos estructurales.*

Como ejemplo de diseño de los muros de ductilidad limitada se tomará el muro Y10 de la figura 3.27.

Comprobación de elementos de borde

Para la comprobación de la no inclusión de los elementos de borde se tiene que cumplir lo indicado en la ecuación 2.14 del capítulo II.

El valor de c del muro Y10 lo sacamos del programa ETABS 2016, el cual es 0.686 m

$$L_m = 2.60 \text{ m}$$

$$\Delta m = 0.00634 \text{ m}$$

$$h_m = 13.00 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta m}{h_m} = 0.000487 \rightarrow \frac{\Delta m}{h_m} = 0.005$$

$$c < \frac{L_m}{600 \frac{\Delta m}{h_m}} = 0.87 \text{ m} \quad \dots 3.14$$

Por lo tanto, no será necesario elementos de borde en la zona de compresión.

Cálculo del acero preliminar

Calculamos el valor de V_u que nos lo da el ETABS 2016, cuyo valor es de 10.06 tonf

$$V_u = 10.06 \text{ tonf}$$

Calculamos el valor de $0.27 \times \sqrt{f'_c} \times A_{cw}$ para determinar en qué condición nos encontramos

$$0.27 \times \sqrt{f'_c} \times A_{cw} = 10.172 \text{ Tonf}$$

$10.06 \text{ tonf} < 10.17 \text{ tonf}$ por lo tanto, se debe utilizar solo una capa de refuerzo.

La cuantía de refuerzo horizontal será mayor o igual a 0.0025.

Por lo tanto se colocara $\emptyset 3/8'' @ 0.15 \text{ m}$

El acero vertical es obtenido con el programa ETABS 2016 quedando como se muestra en la figura 3.48, esta distribución será verifica con las curvas de interacción.

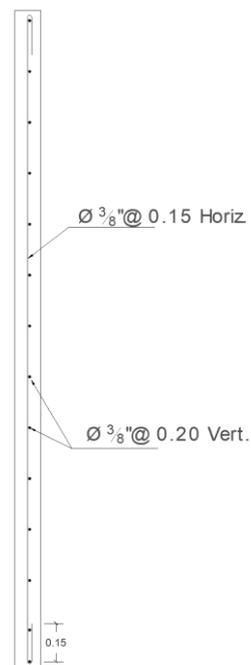


Figura 3.53 Distribución de acero Y10.
Fuente: Tomado del AutoCAD 2016.

Nota: En la figura 3.53 se muestra la distribución de acero vertical considerado para el muro Y10 del sistema de muros de ductilidad limitada.

Diseño por flexo compresión

Con los datos obtenidos del análisis estructural mediante el programa ETABS 2016 para el muro de ductilidad limitada Y10 se procede a realizar las combinaciones de carga establecidos en la norma E.060 (2009).

Tabla 3.21 Cargas en la base del muro Y10.

Carga	Estación	P (tonf)	Momento eje 2 (tonf.m)	Momento eje 3 (tonf.m)
Carga muerta	0	-35.96	0.13	0.92
Carga viva	0	-11.73	0.06	0.40
Sismo X	0	7.80	0.24	14.70
Sismo Y	0	4.78	0.11	51.57

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Tabla 3.22 Combinaciones de carga en X para el muro Y10.

SISMO X				
	COMBOS	P (tonf)	Momento eje 2 (tonf.m)	Momento eje 3 (tonf.m)
	1.4CM+1.7CV	70.28	0.29	1.97
Sismo en X positivo	1.25(CM+CV)+EQ_XX	67.41	0.48	16.36
	1.25(CM+CV)-EQ_XX	51.81	0.00	-13.05
	0.9CM+EQ_XX	40.17	0.36	15.53
	0.9CM-EQ_XX	24.56	-0.12	-13.87
Sismo en X negativo	1.25(CM+CV)+EQ_XX	67.41	-0.48	-16.36
	1.25(CM+CV)-EQ_XX	51.81	0.00	13.05
	0.9CM+EQ_XX	40.17	-0.36	-15.53
	0.9CM-EQ_XX	24.56	0.12	13.87

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 3.22 se muestra las combinaciones de carga con la fuerza sísmica en la dirección X para el muro Y10.

Tabla 3.23 Combinaciones de carga en Y para el muro Y10.

SISMO Y				
	COMBOS	P (tonf)	Momento eje 2 (tonf.m)	Momento eje 3 (tonf.m)
	1.4CM+1.7CV	70.28	0.29	1.97
Sismo en Y positivo	1.25(CM+CV)+EQ_XX	64.39	0.36	53.23
	1.25(CM+CV)-EQ_XX	54.83	0.13	-49.92
	0.9CM+EQ_XX	37.15	0.23	52.40
	0.9CM-EQ_XX	27.58	0.01	-50.74
Sismo en Y negativo	1.25(CM+CV)+EQ_XX	64.39	-0.36	-53.23
	1.25(CM+CV)-EQ_XX	54.83	-0.13	49.92
	0.9CM+EQ_XX	37.15	-0.23	-52.40
	0.9CM-EQ_XX	27.58	-0.01	50.74

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 3.23 se muestra las combinaciones de carga con la fuerza sísmica en la dirección Y para el muro Y10.

Con la sección y la distribución de acero mostrada se realizan los diagramas de interacción y se procede a ubicar las combinaciones dentro de estos, para verificar si su sección y distribución de acero es adecuado.

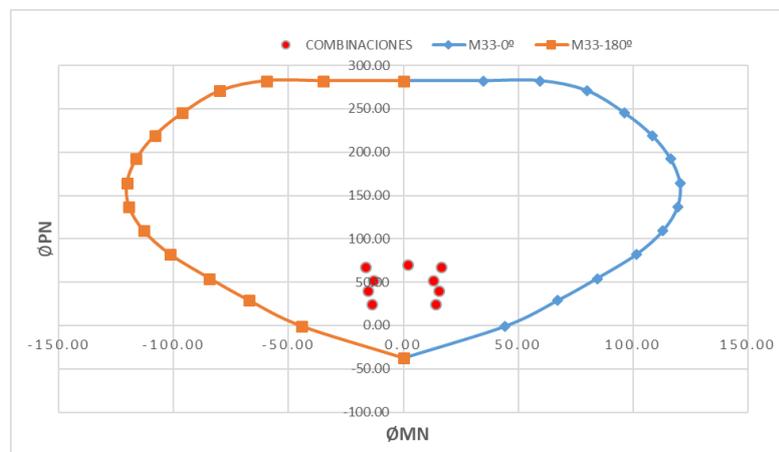


Figura 3.54 Diagrama de interacción M33-X.

Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.54 se muestra el diagrama de interacción M33 con el sismo en la dirección X del muro Y10.

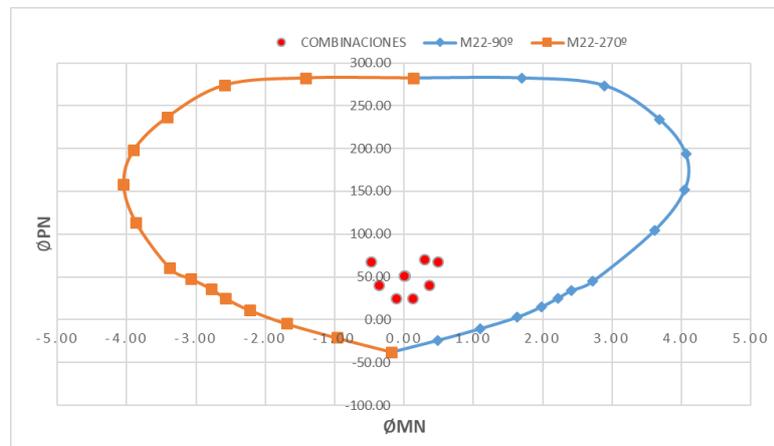


Figura 3.55 Diagrama de interacción M22-X.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.55 se muestra el diagrama de interacción M22 con el sismo en la dirección X del muro Y10.

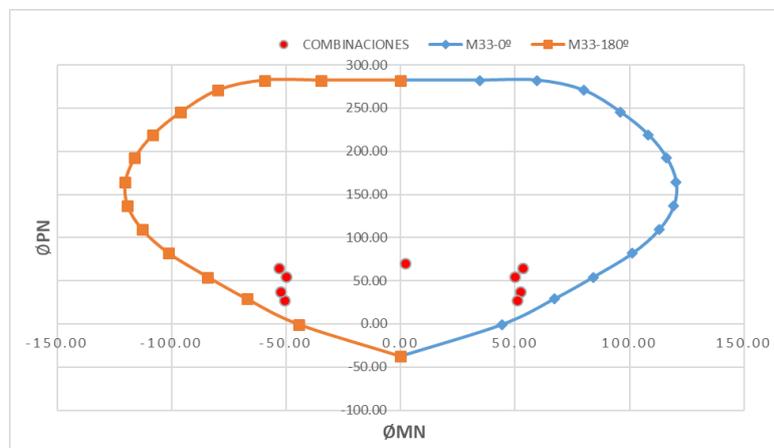


Figura 3.56 Diagrama de interacción M33-Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.56 se muestra el diagrama de interacción M33 con el sismo en la dirección Y del muro Y10.

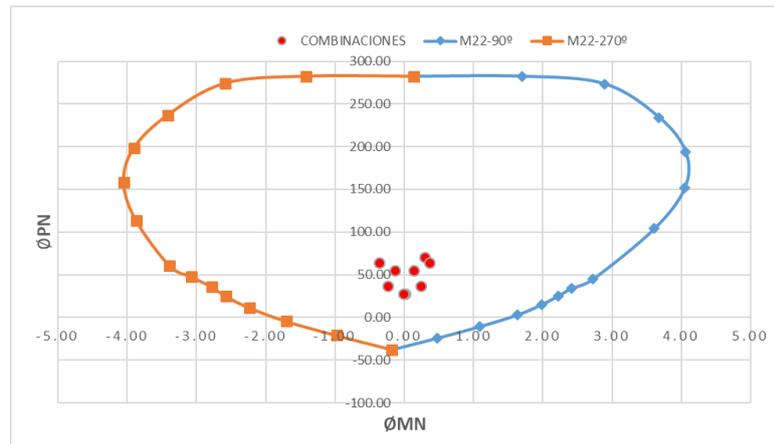


Figura 3.57 Diagrama de interacción M22-Y.
Fuente: Tomado del ETABS 2016.

Nota: En la figura 3.57 se muestra el diagrama de interacción M22 con el sismo en la dirección Y del muro Y10.

Se observa que todas las combinaciones se encuentran dentro de los diagramas de interacción del muro de ductilidad limitada, por lo cual se acepta la dimensión y la distribución de acero longitudinal.

3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Para el análisis económico del sistema estructural de muros de ductilidad limitada y aporticado, solo se tomaron partidas concernientes a la superestructura y tabiquería; ya que las demás tendrán la misma incidencia en costo en ambos sistemas estructurales.

En las tablas 3.24 y 3.25 se presentan la relación de partidas por cada sistema estructural para el respectivo análisis económico:

Tabla 3.24 Relación de partidas sistema aporticado.

DESCRIPCIÓN	UND
OBRAS DE CONCRETO ARMADO	
COLUMNAS RECTAS	
COLUMNAS RECTAS: CONCRETO $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	m^3
COLUMNAS RECTAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m^2
COLUMNAS RECTAS: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg
VIGAS HORIZONTALES	
VIGAS HORIZONTALES: CONCRETO $f'_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	m^3
VIGAS HORIZONTALES: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m^2
VIGAS HORIZONTALES: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg
LOSAS ALIGERADAS	
LOSA ALIGERADA: CONCRETO $f'_c =210 \text{ kg/cm}^2$	m^3
LOSA ALIGERADA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m^2
LOSA ALIGERADA: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg
LOSA ALIGERADA: LADRILLO DE TECHO DE 15x30X30 cm	und
MUROS Y TABIQUES	
MURO DE LADRILLO KING KONG MECANNIZADO (SOGA) J=2cm	m^2

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la tabla 3.24 se muestra la relación de partidas consideradas para realizar el análisis económico del sistema aporticado.

3.7.1 Planilla de Metrados

La planilla de metrados de las partidas mostradas en la tabla 3.24.1 y 3.25 se presentan en el anexo 6 de la presente investigación.

Tabla 3.25 Relación de partidas sistema M.D.L.

DESCRIPCIÓN	UND
OBRAS DE CONCRETO ARMADO	
MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	
M.D.L: CONCRETO $f'_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	m^3
M.D.L: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m^2
M.D.L: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg
LOSAS MACIZAS	
LOSA MACIZA: CONCRETO $f'_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	m^3
LOSA MACIZA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m^2
LOSA MACIZA: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg
MUROS Y TABIQUES	
TABIQUE DE DRYWALL GYPLAC 12.7 mm	m^2

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



Nota: En la tabla 3.25 se muestra la relación de partidas consideradas para realizar el análisis económico del sistema de muros de ductilidad limitada.

3.7.2 Análisis de Precios Unitarios

Para realizar el análisis económico de ambos sistemas estructurales se formuló el análisis de precios unitarios de las partidas concernientes a cada sistema estructural. Estas se muestran en el anexo 5 de la presente investigación.

3.7.3 Presupuesto

Obteniéndose los metrados y formulando los precios unitarios de cada partida se calculó el presupuesto final del sistema aporticado y muros de ductilidad limitada los cuales se muestran en la tabla 4.17 y 4.18.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

En este capítulo se muestran parámetros importantes para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación los cuales son:

- ✓ Derivas máximas de entrepiso.
- ✓ Desplazamientos máximos por nivel.
- ✓ Fuerza cortante.
- ✓ Análisis económico.

4.1.1 Desplazamientos y Derivas Máximas de Entrepiso

Para cumplir con el objetivo número 1 de determinar la influencia de los muros de ductilidad limitada y aporticado en la mejora de la deriva de entresijos del edificio en investigación, es necesario calcular el desplazamiento y deriva inelásticas de cada sistema estructural mediante el análisis sísmico estático y dinámico, estos resultados se muestran en las tablas 4.1 a la 4.8 y en las figuras 4.1 a la 4.8.

Para realizar el diseño de los elementos estructurales las derivas elásticas no deben exceder los valores de 0.007 y 0.005 para el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada respectivamente.

Tabla 4.1 Desplazamiento y derivas en X-sistema aporticado.

Piso	Patrón de carga	Desplazamiento máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	Sismo X	11.007	0.000446	0.002676
Piso 4	Sismo X	9.850	0.000768	0.004608
Piso 3	Sismo X	7.855	0.001040	0.006240
Piso 2	Sismo X	5.153	0.001163	0.006978
Piso 1	Sismo X	2.132	0.000820	0.004920

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.1 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo estático en la dirección X del sistema aporticado.

Tabla 4.2 Desplazamiento y derivas en Y-sistema aporticado.

Piso	Patrón de carga	Desplazamiento máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	Sismo Y	13.490	0.000543	0.003139
Piso 4	Sismo Y	12.081	0.000947	0.005474
Piso 3	Sismo Y	9.622	0.001291	0.007462
Piso 2	Sismo Y	6.271	0.001435	0.008294
Piso 1	Sismo Y	2.548	0.000980	0.005664

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.2 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo estático en la dirección Y del sistema aporticado.

Tabla 4.3 Desplazamiento y derivas en X-sistema aporticado.

Piso	Patrón de carga	Desplazamiento máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	EQ-XX	10.409	0.000398	0.002388
Piso 4	EQ-XX	9.409	0.000714	0.004284
Piso 3	EQ-XX	7.586	0.000991	0.005946
Piso 2	EQ-XX	5.034	0.001131	0.006786
Piso 1	EQ-XX	2.109	0.000811	0.004866

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.3 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo dinámico en la dirección X del sistema aporticado.

Tabla 4.4 Desplazamiento y derivas de en Y-sistema aporticado.

Piso	Patrón de carga	Desplazamiento máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	EQ-YY	11.151	0.000442	0.002555
Piso 4	EQ-YY	10.035	0.000779	0.004503
Piso 3	EQ-YY	8.041	0.001075	0.006214
Piso 2	EQ-YY	5.265	0.001205	0.006965
Piso 1	EQ-YY	2.143	0.000824	0.004763

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.4 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo dinámico en la dirección Y del sistema aporticado.

Tabla 4.5 Desplazamientos y derivas en X-sistema M.D.L.

Piso	Patrón de carga	Desplazamiento máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	Sismo X	8.709	0.000821	0.002463
Piso 4	Sismo X	6.576	0.000837	0.002511
Piso 3	Sismo X	4.400	0.000781	0.002343
Piso 2	Sismo X	2.370	0.000615	0.001845
Piso 1	Sismo X	0.771	0.000297	0.000891

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.5 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo estático en la dirección X del sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.6 Desplazamientos y derivas en Y-sistema M.D.L.

Piso	Patrón de Carga	Desplazamiento Máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	Sismo Y	9.372	0.000877	0.002535
Piso 4	Sismo Y	7.092	0.000898	0.002595
Piso 3	Sismo Y	4.758	0.000844	0.002439
Piso 2	Sismo Y	2.564	0.000667	0.001928
Piso 1	Sismo Y	0.829	0.000319	0.000922

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

Nota: En la tabla 4.6 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo estático en la dirección Y del sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.7 Desplazamiento y derivas en X-sistema M.D.L.

Piso	Patrón de Carga	Desplazamiento Máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	EQ-XX	6.338	0.000612	0.001836
Piso 4	EQ-XX	4.750	0.000618	0.001854
Piso 3	EQ-XX	3.147	0.000568	0.001704
Piso 2	EQ-XX	1.673	0.000438	0.001314
Piso 1	EQ-XX	0.535	0.000206	0.000618

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.7 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo dinámico en la dirección X del sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.8 Desplazamiento y derivas en Y-sistema M.D.L.

Piso	Patrón de Carga	Desplazamiento Máximo (mm)	Deriva reducida	Deriva elástica
Piso 5	EQ-YY	6.405	0.000589	0.001702
Piso 4	EQ-YY	4.901	0.000610	0.001763
Piso 3	EQ-YY	3.324	0.000584	0.001688
Piso 2	EQ-YY	1.813	0.000470	0.001358
Piso 1	EQ-YY	0.595	0.000229	0.000662

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.8 se muestra los desplazamientos y derivas máximas de entrepiso para el sismo dinámico en la dirección Y del sistema de muros de ductilidad limitada.

Las derivas promedio del sistema de ductilidad limitada tanto por el análisis sísmico estático y dinámico están en el rango del 40.94 % y 29% del permisible por la norma, esto debido a que, si se trata de optimizar el sistema reduciendo longitudes de muros tanto en la dirección X e Y, la fuerza sísmica induce a que se incorporen elementos de borde en algunos muros; esto no es perimido en este sistema estructural y aumentaría el costo de este sistema.

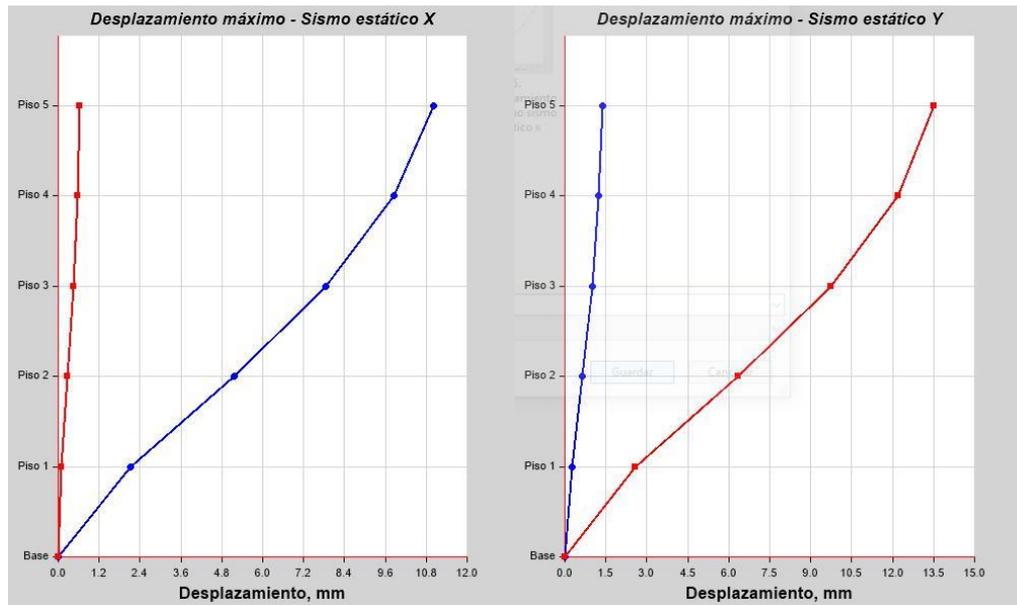


Figura 4.1 Desplazamiento máximo-sistema aporticado.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la figura 4.1 se muestra el desplazamiento máximo por piso del análisis sísmico estático en los ejes X e Y respectivamente para el sistema aporticado.

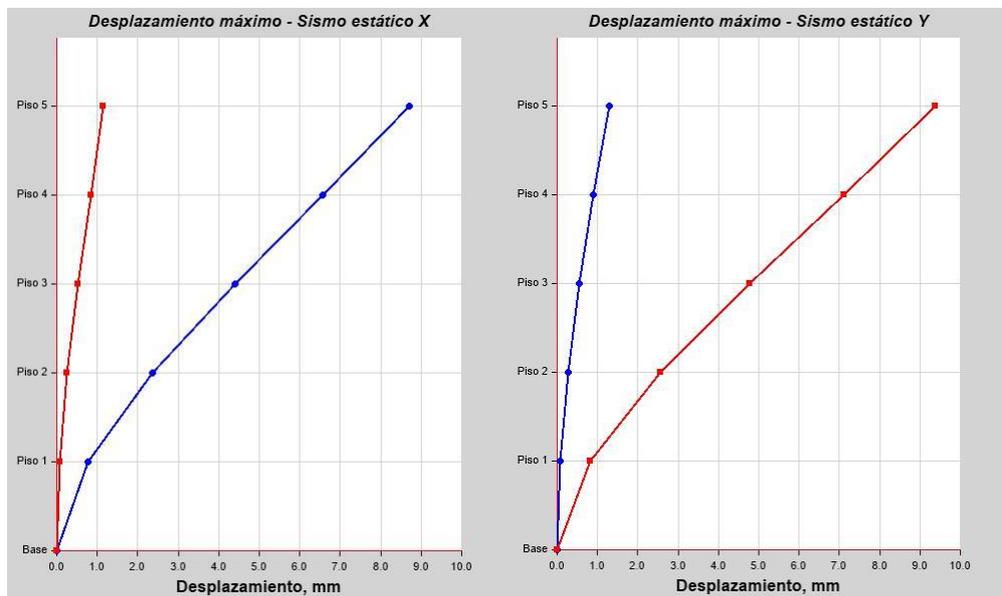


Figura 4.2 Desplazamiento máximo-sistema M.D.L.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

Nota: En la figura 4.2 se muestra el desplazamiento máximo por piso del análisis sísmico estático en los ejes X e Y respectivamente para el sistema de muros de ductilidad limitada.

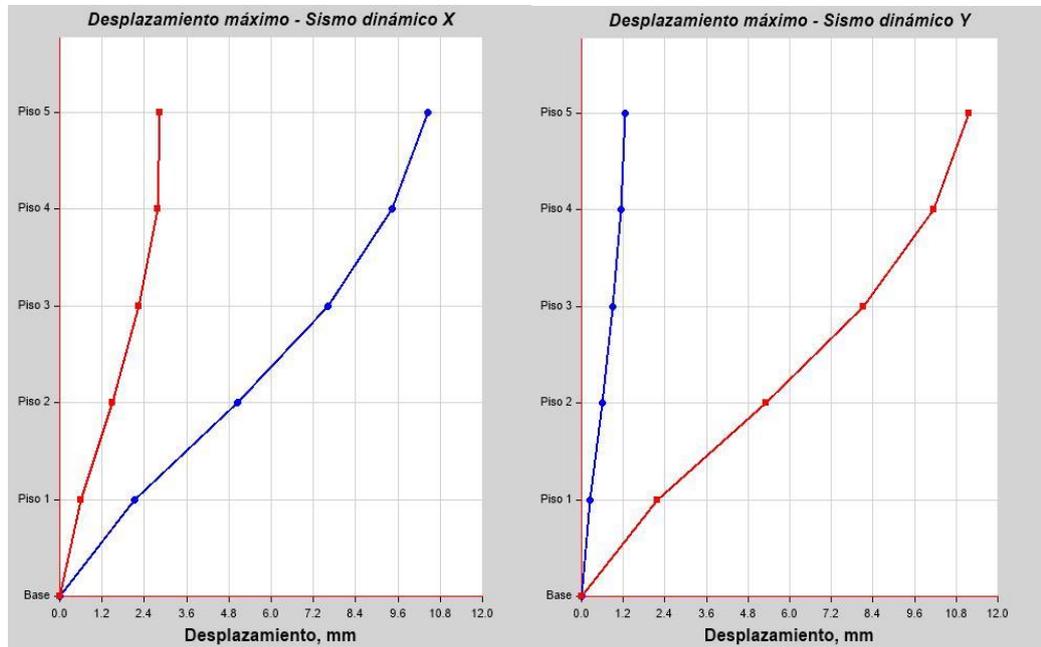


Figura 4.3 Desplazamiento máximo-sistema aporticado.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

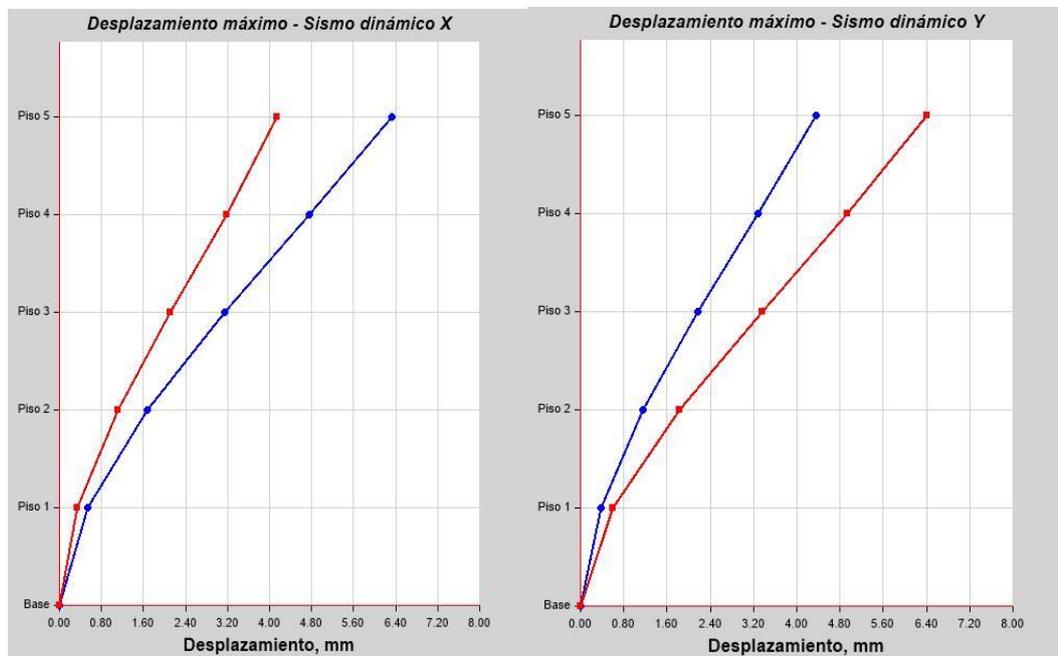


Figura 4.4 Desplazamiento máximo-sistema M.D.L.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

Nota: En la figura 4.3 se muestra el desplazamiento máximo por piso del análisis sísmico dinámico en los ejes X e Y respectivamente para el sistema aporticado.

Nota: En la figura 4.4 se muestra el desplazamiento máximo por piso del análisis sísmico dinámico en los ejes X e Y respectivamente para el sistema de muros de ductilidad limitada.

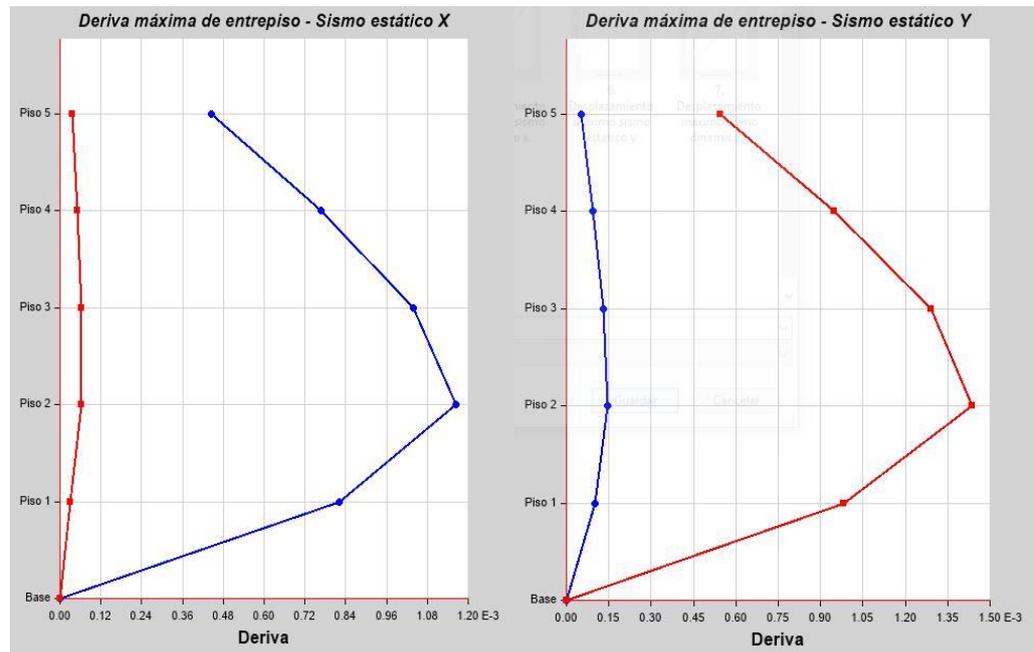


Figura 4.5 Derivas máximas-sistema aporticado.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la figura 4.5 se muestra las derivas máximas por piso del análisis sísmico estático en los ejes X e Y respectivamente para el sistema aporticado.

Nota: En la figura 4.6 se muestra las derivas máximas por piso del análisis sísmico estático en los ejes X e Y respectivamente para el sistema de muros de ductilidad limitada.

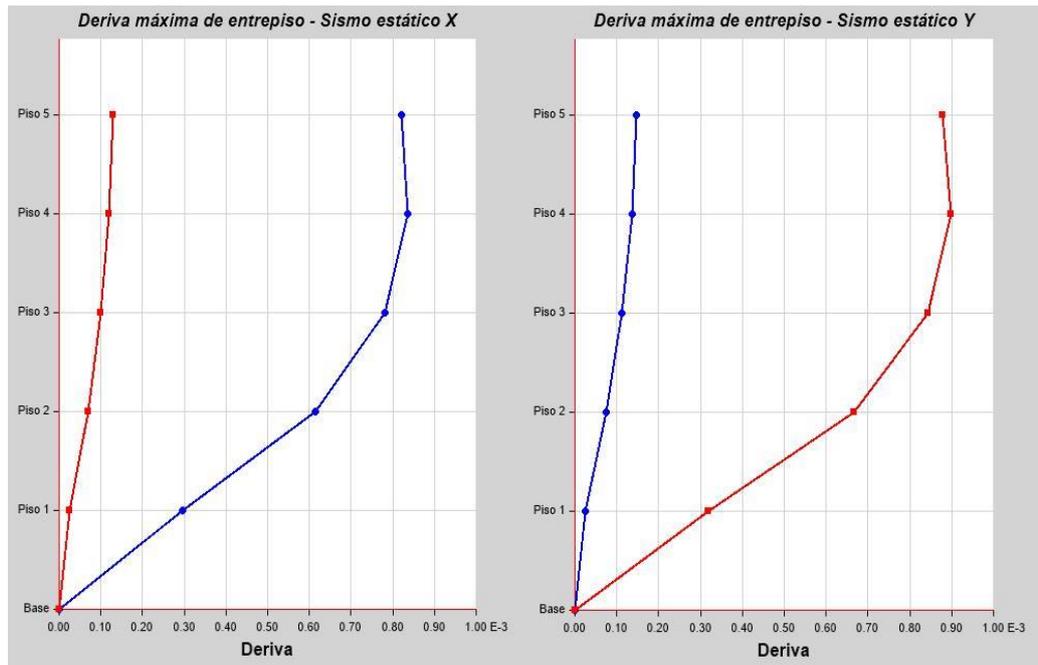


Figura 4.6 Derivas máximas-sistema M.D.L.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

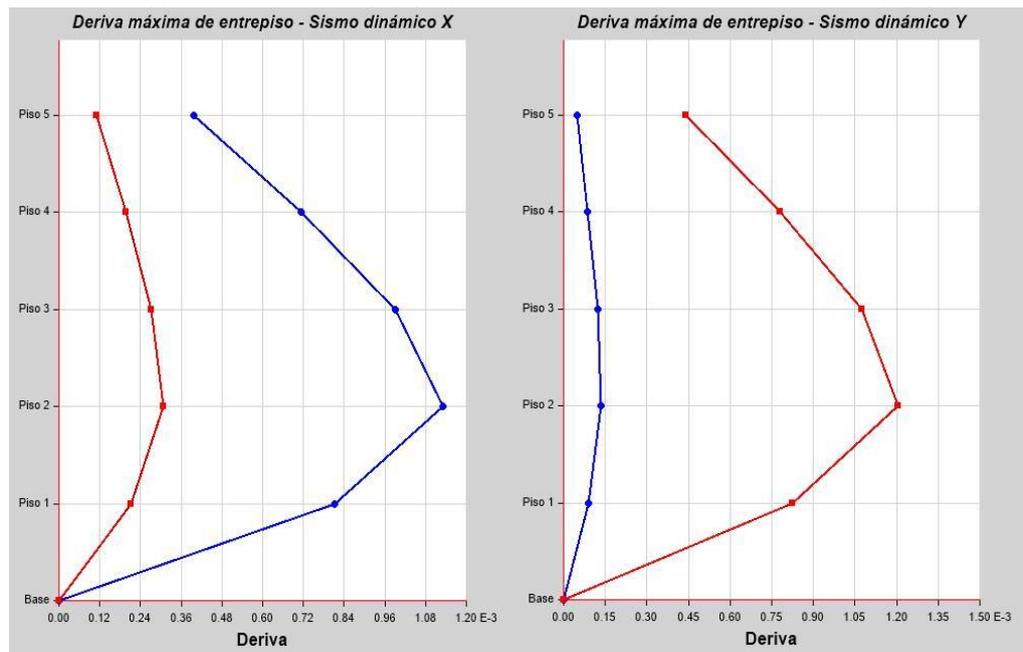


Figura 4.7 Derivas máximas-sistema aporticado.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la figura 4.7 se muestra las derivas máximas por piso del análisis sísmico dinámico en los ejes X e Y respectivamente para el sistema aporticado.

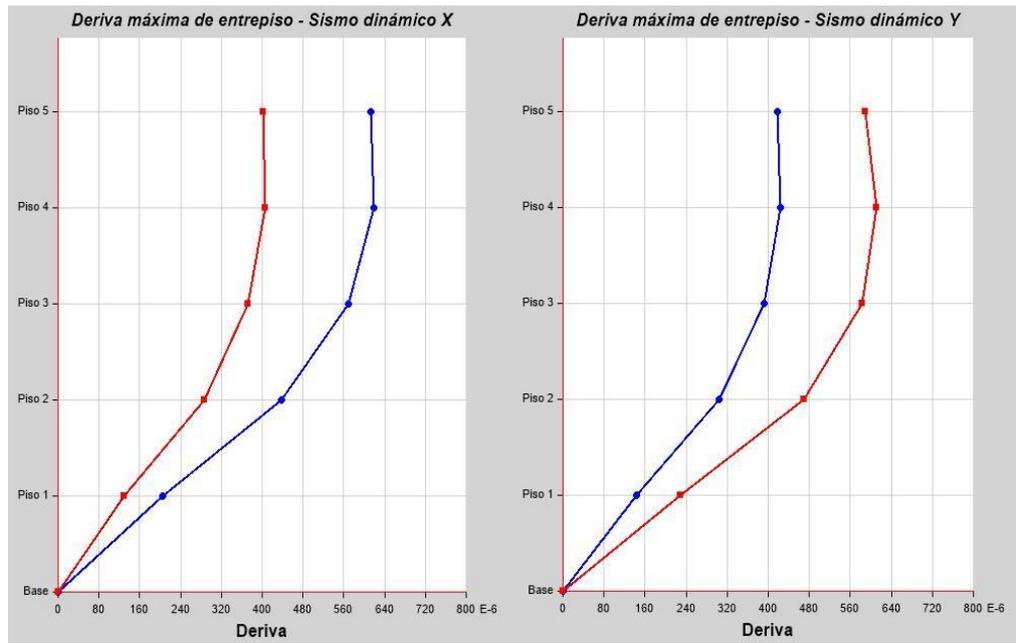


Figura 4.8 Derivas máximas-sistema M.D.L.
Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

Nota: En la figura 4.8 se muestra las derivas máximas por piso del análisis sísmico dinámico en los ejes X e Y respectivamente para el sistema de muros de ductilidad limitada.

De las tablas y figuras presentadas, estos desplazamientos y derivas corresponden a valores reducidos por el factor de reducción de fuerza sísmica, por lo cual según la norma E.030 será necesario multiplicarlas por $0.75R$ y $0.85R$ según corresponda.

4.1.2 Fuerza Cortante

Para cumplir con el objetivo número 2 de determinar la influencia de muros de ductilidad limitada y aporticado en la mejora de la fuerza cortante del edificio en investigación, es necesario calcular esta fuerza tanto por el análisis sísmico estático y dinámico para cada sistema estructural ya que esta servirá para el escalamiento de las fuerzas sísmicas de diseño.

Tabla 4.9 Fuerza cortante en X-sistema aporticado.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo X	54.073
Piso 4	Sismo X	116.935
Piso 3	Sismo X	164.081
Piso 2	Sismo X	195.512
Piso 1	Sismo X	210.834

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.9 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico estático en la dirección X del sistema aporticado.

Tabla 4.10 Fuerza cortante en Y-sistema aporticado.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo Y	63.616
Piso 4	Sismo Y	137.570
Piso 3	Sismo Y	193.036
Piso 2	Sismo Y	230.014
Piso 1	Sismo Y	248.040

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.10 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico estático en la dirección Y del sistema aporticado.

Tabla 4.11 Fuerza cortante en X-sistema aporticado.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo X	42.648
Piso 4	Sismo X	93.727
Piso 3	Sismo X	133.923
Piso 2	Sismo X	161.578
Piso 1	Sismo X	174.131

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.11 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico dinámico en la dirección X del sistema aporticado.



Tabla 4.12 Fuerza cortante en Y-sistema aporticado.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo Y	51.655
Piso 4	Sismo Y	112.763
Piso 3	Sismo Y	160.707
Piso 2	Sismo Y	193.357
Piso 1	Sismo Y	207.855

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.12 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico dinámico en la dirección Y del sistema aporticado.

Tabla 4.13 Fuerza cortante en X-sistema M.D.L.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo X	82.37
Piso 4	Sismo X	160.07
Piso 3	Sismo X	218.33
Piso 2	Sismo X	257.18
Piso 1	Sismo X	276.60

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.13 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico estático en la dirección X del sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.14 Fuerza cortante en Y-sistema M.D.L.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo Y	96.76
Piso 4	Sismo Y	188.01
Piso 3	Sismo Y	256.46
Piso 2	Sismo Y	302.08
Piso 1	Sismo Y	324.90

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.14 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico estático en la dirección Y del sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.15 Fuerza cortante en X-sistema M.D.L.

Piso	Caso de carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo X	62.07
Piso 4	Sismo X	114.4
Piso 3	Sismo X	147.83
Piso 2	Sismo X	169.48
Piso 1	Sismo X	179.64

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016.

Nota: En la tabla 4.15 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico dinámico en la dirección X del sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.16 Fuerza cortante en Y-sistema M.D.L.

Piso	Caso de Carga	Fuerza cortante (tonf)
Piso 5	Sismo Y	77.11
Piso 4	Sismo Y	136.49
Piso 3	Sismo Y	176.81
Piso 2	Sismo Y	202.61
Piso 1	Sismo Y	214.67

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

Nota: En la tabla 4.16 se muestra la fuerza cortante por piso para el análisis sísmico dinámico en la dirección Y del sistema de muros de ductilidad limitada.

4.1.3 Análisis Económico

Para cumplir con el objetivo número 3 de determinar la influencia de muros de ductilidad limitada y aporticado en la mejora del análisis económico del

edificio en investigación, es necesario realizar el presupuesto de cada sistema estructural para así hacer notar cuál de estos dos sistemas es el más económico, para ello se realizó el metrado y análisis de precios unitarios los cuales se puede ver a más detalle en el anexo 5 y 6.

Tabla 4.17 Presupuesto final sistema aporticado.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	CONCRETO ARMADO				409,279.61
01.01	COLUMNAS RECTAS				97,345.67
01.01.01	COLUMNAS RECTAS: CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ²	m ³	80.21	368.01	29,518.08
01.01.02	COLUMNAS RECTAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	635.71	35.54	22,593.13
01.01.03	COLUMNAS RECTAS: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200$ kg/cm ²	kg	10,899.87	4.15	45,234.46
01.02	VIGAS HORIZONTALES				158,397.33
01.02.01	VIGAS HORIZONTALES: CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ²	m ³	155.15	346.24	53,719.14
01.02.02	VIGAS HORIZONTALES: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	952.35	49.24	46,893.71
01.02.03	VIGAS HORIZONTALES: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200$ kg/cm ²	kg	13,923.97	4.15	57,784.48
01.03	LOSAS ALIGERADAS				153,536.61
01.03.01	LOSA ALIGERADA: CONCRETO $f_c =210$ kg/cm ²	m ³	108.81	304.67	33,151.14
01.03.02	LOSA ALIGERADA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	1,243.49	52.90	65,780.62
01.03.03	LOSA ALIGERADA: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200$ kg/cm ²	kg	1,752.30	4.15	7,272.05
01.03.04	LOSA ALIGERADA: LADRILLO DE TECHO DE 15x30X30 cm	und	10,380.00	4.56	47,332.80
02	MUROS Y TABIQUES				98,085.31
02.01	MURO DE LADRILLO KING KONG MECANNIZADO (SOGA) J=2cm	m ²	1,454.84	67.42	98,085.31
COSTO DIRECTO					507,364.92

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la tabla 4.17 se muestra el presupuesto final del sistema aporticado conformado por columnas rectas, vigas horizontales, losas aligeradas, muros y tabiques.

Tabla 4.18 Presupuesto final sistema muros de ductilidad limitada.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				465,588.95
01.01	MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA				195,730.59
01.01.01	M.D.L: CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	m ³	140.63	368.01	51,753.25
01.01.02	M.D.L: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	2,749.74	35.54	97,725.76
01.01.03	M.D.L: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	11,144.96	4.15	46,251.58
01.02	LOSAS MACIZAS				269,858.36
01.02.01	LOSA MACIZA: CONCRETO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	m ³	198.65	297.94	59,185.78
01.02.02	LOSA MACIZA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	1,710.38	52.01	88,956.86
01.02.03	LOSA MACIZA: ACERO GRADO 60 $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	29,329.09	4.15	121,715.72
02	MUROS Y TABIQUES				30,408.77
02.01	TABIQUE DE DRYWALL GYPLAC 12.7 mm	m ²	773.76	39.30	30,408.77
COSTO DIRECTO					495,997.72

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la tabla 4.18 se muestra el presupuesto final del sistema de muros de ductilidad limitada conformado por muros de ductilidad limitada, losas macizas, muros y tabiques.

4.2 DISCUSIONES Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

4.2.1 Del análisis estático y dinámico.

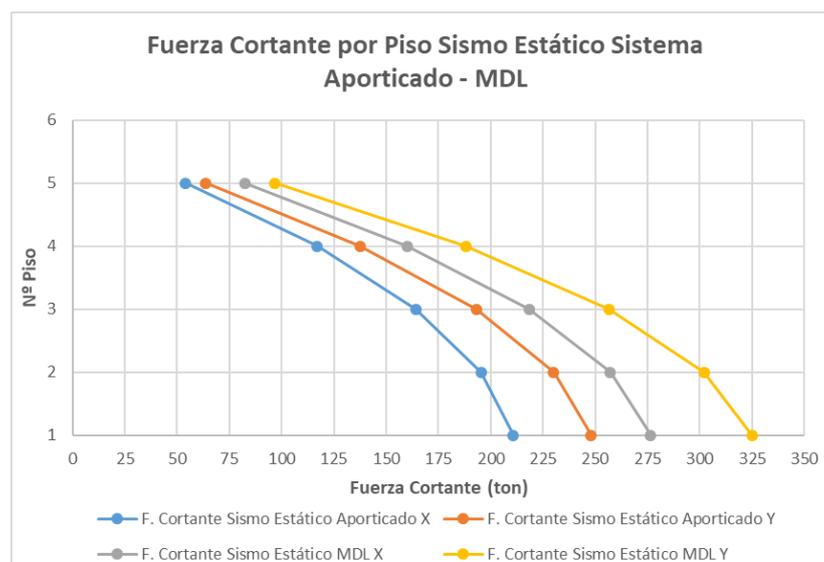


Figura 4.9 Fuerza cortante en X e Y-sismo estático.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la figura 4.9 se muestra las fuerzas cortantes por piso en X e Y para el caso de sismo estático en el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada.

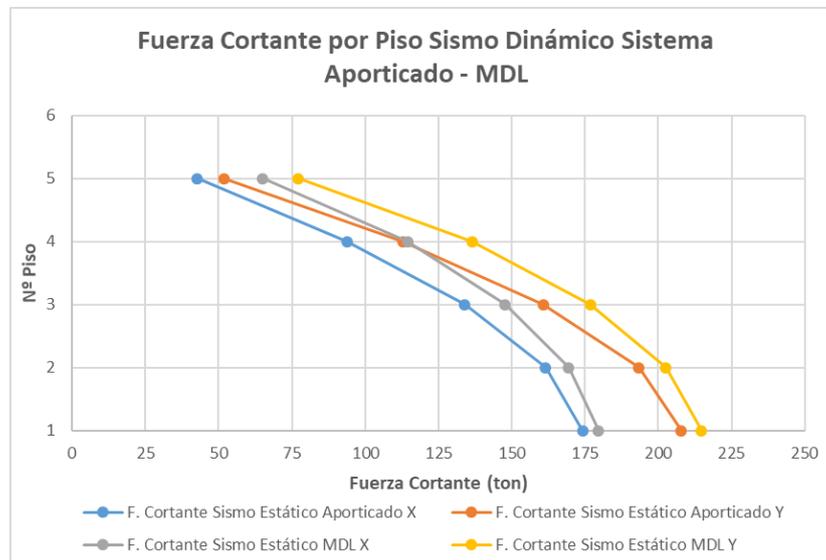


Figura 4.10 Fuerza cortante e X e Y-sismo dinámico.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la figura 4.10 se muestra las fuerzas cortantes por piso en X e Y para el caso de sismo dinámico en el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada.

Para el análisis sísmico estático la fuerza cortante promedio del sistema aporticado representa el 75% del cortante de muros de ductilidad limitada. Para el análisis sísmico dinámico la fuerza cortante promedio del sistema aporticado representa el 90% del cortante de muros de ductilidad limitada. Esto puede ser debido a que el sistema aporticado presenta menor masa sísmica. Estos resultados confirman una de las conclusiones de la investigación “Análisis comparativo de los sistemas estructurales: aporticado y muros portantes, Edificio de 10 Pisos en Quito” (Campana, 2015)

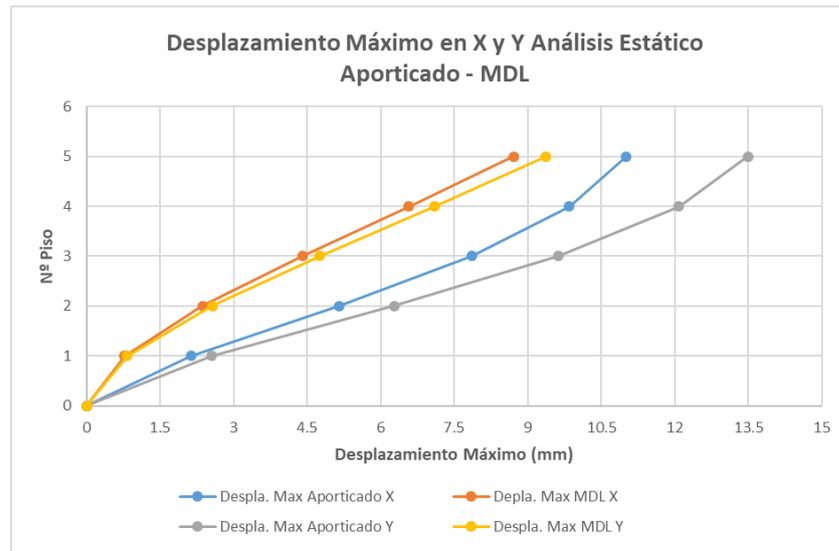


Figura 4.11 Desplazamiento máximo-sismo estático.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la figura 4.11 se muestra los desplazamientos máximos por piso en X e Y para el caso de sismo estático en el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada.

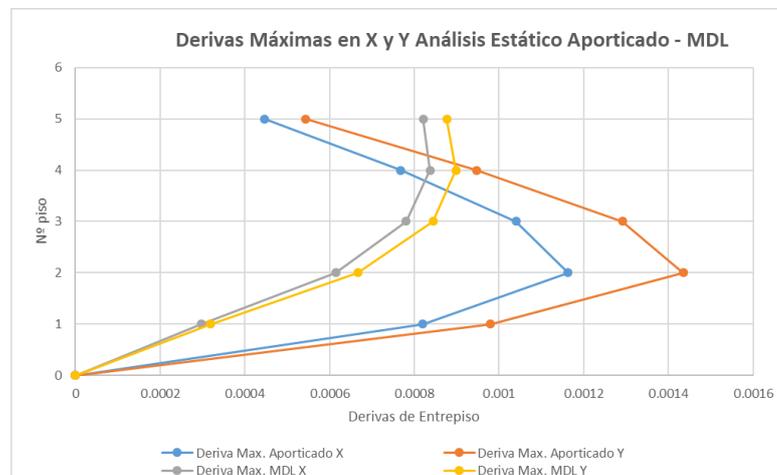


Figura 4.12 Derivas máximas-análisis sísmico estático.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la figura 4.12 se muestra las derivas máximas por piso en X e Y para el caso de sismo estático en el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada.

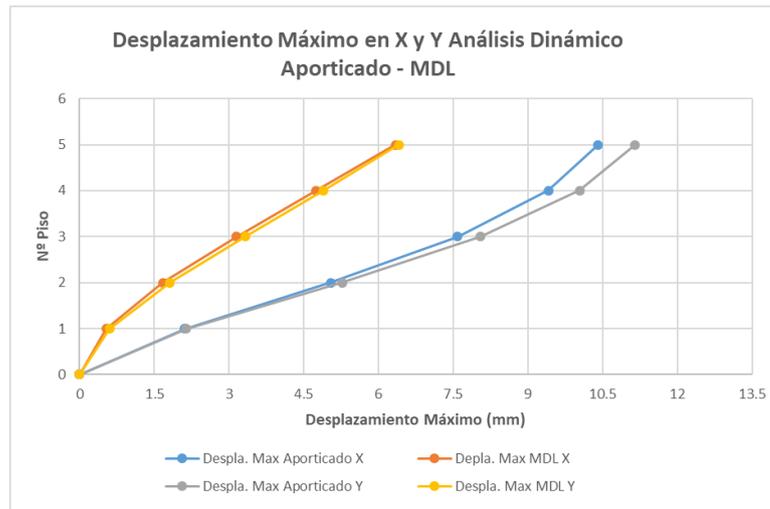


Figura 4.13 Desplazamiento máximo-sísmico dinámico
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la figura 4.13 se muestra los desplazamientos máximos por piso en X e Y para el caso de sismo dinámico en el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada.

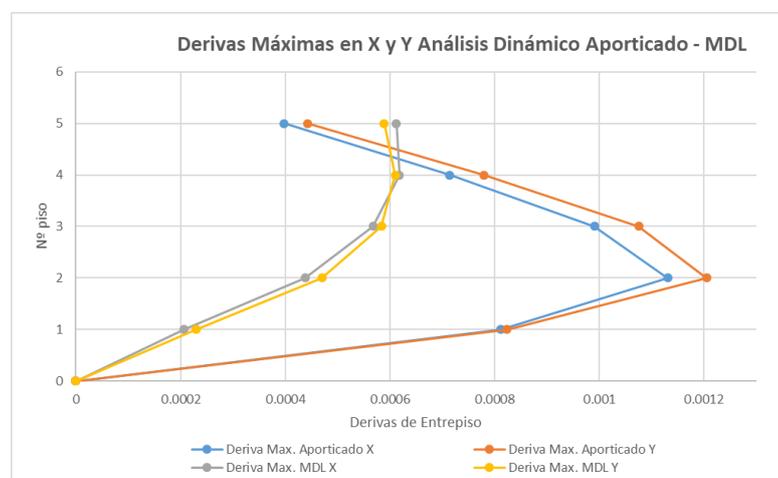


Figura 4.14 Derivas Máximas-sísmico dinámico.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Nota: En la figura 4.14 se muestra las derivas máximas por piso en X e Y para el caso de sismo dinámico en el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada.



Para los desplazamientos y derivas del análisis sísmico estático y dinámico el sistema de Muros de Ductilidad Limitada presenta un desplazamiento promedio que es aproximadamente el 50% del desplazamiento del sistema aporticado. Esto es debido a la gran rigidez que aportan los muros de ductilidad limitada al sistema. Con los resultados obtenidos también se llega a confirmar una de las conclusiones presentadas en la investigación “Análisis comparativo económico – estructural entre un sistema aporticado, un sistema aporticado con muros estructurales y un sistema de paredes portantes, en un edificio de 10 pisos” (Barros, 2015)

4.2.2 Del análisis económico.

En la tabla 4.17 y 4.18 se presentan el presupuesto para el sistema aporticado y muros de ductilidad limitada. El sistema de muros de ductilidad limitada resulto ser más económico en S/ 11,367.20 que el sistema aporticado lo cual representa el 2.24% y 2.29% del costo del aporticado y muros de ductilidad limitada respectivamente. Esto confirma una de las conclusiones presentadas en la investigación “Análisis comparativo de un sistema aporticado y un sistema de muros de ductilidad limitada y su incidencia en el costo beneficio” (Chasi, 2016)

4.2.3 Escalamiento de fuerzas para diseño.

Para desarrollar el diseño de los elementos estructurales se realizará con el análisis sísmico dinámico, para lo cual se debe considerar la fuerza cortante mínima indicada en la Norma E.030-2018.

Tabla 4.19 Coeficientes de escalamiento-sistema aporticado.

Patrón de Carga	Cortante Estático (tonf)	Cortante Dinámico (tonf)	Cortante Mínimo (tonf)	Porcentaje	Coefficiente de Escalamiento
Sismo X	210.834	174.131	168.667	82.59%	0.969
Sismo Y	248.040	207.855	223.236	83.80%	1.074

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

En la tabla 4.19 se observa que será necesario escalar solo en la dirección Y ya que no se llega al mínimo del 90% referido en la norma E.030

4.2.4 Escalamiento de fuerzas para diseño y control de deriva sistema mdl.

Tabla 4.20 Coeficientes de escalamiento-sistema M.D.L.

Patrón de Carga	Cortante Estático (tonf)	Cortante Dinámico (tonf)	Cortante Mínimo (tonf)	Porcentaje	Coefficiente de Escalamiento
Sismo X	276.603	179.635	221.282	64.94%	1.231
Sismo Y	324.899	214.666	292.409	66.07%	1.362

Fuente: Del análisis con el ETABS 2016

En la tabla 4.20 se observa que será necesario escalar en ambas direcciones X e Y ya que no se llega al mínimo del 80% y 90% referido en la norma E.030.

4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Según Rustom (2012, p. 114) la prueba de hipótesis corresponde a un conjunto de metodologías cuyo objetivo es verificar si un determinado parámetro toma uno o varios valores posibles de interés. Una hipótesis estadística es una proposición acerca de una característica poblacional, como puede ser su distribución o el valor o valores de sus parámetros, y que necesita ser probado. Una prueba de hipótesis estadística consta de dos hipótesis, una denominada hipótesis nula H_0 y la otra hipótesis alternativa H_1 . El grado de confianza utilizado es el 95%, una vez fijado este se puede calcular el valor crítico.

4.3.1 Coeficiente o Índice de Correlación

Según Córdova Zamora (2000, p. 90) el coeficiente de correlación lineal de Pearson de “n” pares de valores $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ de una variable bidimensional (X, Y) se puede calcular por:

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \quad \dots 4.1$$

Donde:

S_{XY} : Es la covarianza de X e Y.

S_X : Es la desviación estándar de X.

S_Y : Es la desviación estándar de Y.

El coeficiente de correlación r es un número comprendido entre -1 y +1 cuya interpretación es:

Si $r = 1$, se dice que hay correlación perfecta positiva.

Si $r = -1$, se dice que hay correlación perfecta negativa.

Si $r = 0$, se dice que no hay correlación entre las dos variables.

Para el estadístico de prueba generalmente se utiliza una distribución t-student con n-2 grados de libertad.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad \dots 4.2$$

Donde:

r : Coeficiente de correlación de Pearson.

N : Número de datos.

Si $|t| >$ Valor crítico, se rechaza la hipótesis nula.

Si $|t| \leq$ Valor crítico, no se rechaza la hipótesis nula.

4.3.2 Prueba de Hipótesis Específica Número 1

Se verifica la hipótesis específica número 1, la cual indica que el sistema de muros de ductilidad limitada presenta una menor deriva de entrepiso que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de 5 niveles en la ciudad de Puno.

H0 : Hipótesis nula, las derivas del sistema aporticado son mayores que el de muros de ductilidad limitada.

H1 : Hipótesis alternativa, las derivas de ambos sistemas son iguales.

Tabla 4.21 Prueba de hipótesis específica número 1.

Deriva		
Nivel	Sistema aporticado	Sistema M.D.L
Nivel 5	0.00042	0.00060
Nivel 4	0.00075	0.00061
Nivel 3	0.00103	0.00058
Nivel 2	0.00117	0.00045
Nivel 1	0.00082	0.00022
r =	-0.25	
n =	5.00	
α =	0.05	
$ t $ =	0.44	
gl(n-2) =	3.00	
$t_{critico}$ =	3.18	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Como $|t| < t_{critico}$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa

4.3.3 Prueba de Hipótesis Específica Número 2

Se verifica la hipótesis específica número 2, la cual indica que el sistema de muros de ductilidad limitada presenta menor fuerza cortante que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de 5 niveles en la ciudad de Puno.

H0 : Hipótesis nula, las fuerzas cortantes del sistema aporticado son mayores al sistema de muros de ductilidad limitada.

H1 : Hipótesis alternativa, las fuerzas cortantes del sistema aporticado son menores al sistema de muros de ductilidad limitada.

Tabla 4.22 Prueba de hipótesis específica número 2.

Fuerza cortante		
Nivel	Sistema aporticado	Sistema M.D.L
Nivel 5	47.152	69.590
Nivel 4	103.245	125.445
Nivel 3	147.315	162.320
Nivel 2	177.468	186.045
Nivel 1	190.993	197.155
r =	0.99	
n =	5.00	
α =	0.05	
t =	33.26	
gl(n-2) =	3.00	
$t_{critico}$ =	3.18	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Como $|t| > t_{critico}$ se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

4.3.4 Prueba de Hipótesis Específica Número 3

Se verifica la hipótesis específica número 3, la cual indica que el sistema de muros de ductilidad limitada presenta una mejor alternativa económica que el sistema aporticado en un edificio multifamiliar de 5 niveles en la ciudad de Puno. En la tabla 3.39 y 3.40 se muestra que el sistema de muros



de ductilidad limita es más barato que el sistema aporticado validando
nuestra hipótesis alternativa mostrada.

V. CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIÓN GENERAL

Al realizar el análisis sísmico y diseño de ambos sistemas estructurales, tanto en el sistema de muros de ductilidad limitada y aporticado presentan una adecuada respuesta estructural en cumplimiento con los requisitos de diseño sismorresistente E.030 y diseño en concreto armado E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú. Siendo el sistema de muros de ductilidad limitada el óptimo ya que presenta una menor deriva y es más económico que el sistema aporticado.

5.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

5.2.1 Conclusión 1

Para las derivas de entrepiso del edificio en investigación se concluye que, en el análisis sísmico estático el sistema aporticado presenta una deriva máxima de 0.0083 que representa el 118.49% del permisible por la norma y en el sismo dinámico una deriva máxima de 0.00696 que representa 99.5% del permisible por la norma. Mientras en el análisis sísmico estático del sistema de muros de ductilidad limitada presenta una deriva máxima de 0.00259 que representa el 51.9% del permisible por la norma y para el sismo dinámico una deriva máxima de 0.00185 que representa 37.08% del permisible por la norma.

5.2.2 Conclusión 2

Para la fuerza cortante del sistema aporticado se concluye que en el análisis sísmico estático se presenta una fuerza cortante en la base de 248.040tonf y en el sismo dinámico 207.855tonf. Mientras que en el sistema de muros de



ductilidad limitada una fuerza cortante promedio 324.90tonf y 214.67tonf para el análisis estático y dinámico respectivamente.

5.2.3 Conclusión 3

Respecto al análisis económico el sistema aporticado resultó tener un costo de S/ 507,364.92 y el sistema de muros de ductilidad limitada S/ 495,997.72, existiendo una diferencia de S/ 11,367.20 lo cual representa el 2.24% y 2.29% del costo del aporticado y muros de ductilidad limitada respectivamente. Así también el sistema estructural de muros de ductilidad limitada se adapta de mejor forma en la arquitectura de la edificación.



VI. RECOMENDACIONES

- Para el sistema de muros de ductilidad limitada se recomienda estructurar con una adecuada densidad de muros en las dos direcciones para evitar problemas de torsión en la estructura.
- En la utilización del sistema estructural aporticado se recomienda la adición de muros de corte para edificaciones irregulares, esto para evitar columnas demasiado rígidas.
- Se recomienda realizar en futuras investigaciones la comparación estructural entre ambos sistemas en el rango no lineal con análisis pushover y tiempo historia, con lo cual se analizará el verdadero comportamiento estructural y el desempeño de ambos sistemas.
- Se recomienda la utilización del sistema de muros de ductilidad limitada en edificaciones de uso residencial, ya que estas presentan configuración arquitectónica en planta con una adecuada densidad de muros en dos direcciones. Y a su vez presenta una estructura más económica.



VII. REFERENCIAS

- Barros Bastidas, L. M. (2015). *Análisis Comparativo Económico- Estructural entre un Sistema Aporticado, un Sistema Aporticado con Muros Estructurales y un Sistema de Paredes Portante, en un Edificio de 10 Pisos. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil Mención Estru.* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito, Ecuador.
- Bazán, E., & Meli, R. (2004). *Diseño Sísmico de Edificios* (Limusa. Mexico (ed.); Primera Ed).
- Belizario Quispe, G. (2015). *Análisis y Diseño Estructural* (P. Puno (ed.); Primera Ed).
- Blanco Blasco, A. (1999). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado* (P. Colegio de Ingenieros del Perú. Lima (ed.); Primera Ed).
- Caceres Caceres, A. E., & Enriquez Ranilla, L. A. (2017). *Analisis de Costos, Diseño Sismorresistente-Estructural Comparativo entre los Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada y Albañilería Estructural de un Edificio Multifamiliar, Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil.* Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Arequipa, Perú.
- Cáceres Gaibor, C. A. (2018). *Análisis Comparativo Técnico-Económico de un Sistema Tradicional Aporticado y un Sistema Estructural Liviano para las Construcción de Viviendas. Disertación Previa a la obtención del título de Ingeniero Civil.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería Civil, Quito.
- Campaña Guarderas, J. A. (2015). *Análisis Comparativo de los Sistemas Estructurales: Aporticado y Muros Portantes, Edificio de 10 Pisos en Quito, Trabajo de graduación previo la obtención del Título de Ingeniero Civil.* Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas, Carrera de Ingeniería Civil, Quito-Ecuador.
- Chasi Benavides, L. J. (2016). *Análisis Comparativo de un Sistema Aporticado y un Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y su Incidencia en el Costo Beneficio, Trabajo Experimental Previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil.* Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera Ingeniería Civil, Ambato-Ecuador.
- Chavez Aguirre, J. P. (2017). *Diseño Sismorresistente de Edificios con Disipadores de Fluido Viscoso* (L.-P. Primera Edición (ed.); Primera Ed).
- Córdova Zamora, M. (2000). *ESTADISTICA DESCRIPTIVA E INFERENCIAL* (L.-P. Moshera (ed.); Quinta edi).
- Cutipa Quispe, S. E. (2018). *Análisis Comparativo de la Respuesta Sísmica de un Edificio de Concreto Armado Aplicando las Normas de Diseño Sismorresistente de Perú, Chile, Estados Unidos y Japón. Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.* Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Puno-Perú.
- Delgado Ehni, R. J., & Rodríguez Larraín, C. P. (2006). *Edificios Peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada, Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil.*



- Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima-Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E.060 Concreto Armado, (2009).
- Esteba Apaza, A. E. (2017). *Análisis Estático y Dinámico no Lineal en el Desempeño de un Edificio de Concreto Armado Diseñado Bajo la Norma E-030 en Puno. Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Puno-Perú.
- Godiño Poma, F., López Yarango, J. S., & Rupay Vargas, M. (2018). *Estructuración y Diseño Sísmico de Edificaciones* (H.-P. S.R.L., Impresos, Primera Edición (ed.)).
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (M. Hill, McGraw, Tercera Edición (ed.)).
- Lingán Guzmán, S. E. (2018). *Análisis Y Diseño Estructural Comparativo entre los Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada y Albañilería Confinada para una Vivienda Multifamiliar, Tesis para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil*. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo-Perú.
- Rustom, A. (2012). *ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, PROBABILIDAD E INFERENCIA* (S. de C. Universidad de Chile, Primera Edición (ed.); Primera ed).
- Santana Tapia, R. (2013). *Ingeniería Antisísmica Principios Basicos y Aplicación* (H.-P. International Star Student, Primera Edición (ed.)).
- Santana Tapia, R. (2014). *Concreto Armado Tratado Practico* (Primera ed).
- Sulla Vilca, L. A., & Condori Mayta, C. C. (2018). *Estudio Comparativo de Costos, Programacion, Diseño Sismorresistente, entre el Sistema Dual y Muros de Ductilidad Limitada de un Edificio Multifamiliar de 7 Pisos Ubicado en Cerro Colorado - Arequipa, Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Ci*. Universidad Nacional San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Arequipa-Perú.
- Villareal Castro, G. (2015). *Muros de ductilidad limitada*. <https://www.edificacionesdecalidad.com/muros-ductilidad-peru>
- Zavaleta Chumbiauca, L. A. (2009). *Análisis Y Diseño Estructural Comparativo entre el Sistema de Muros de Ductilidad Limitada Y Albañilería Confinada de una Vivienda Multifamiliar en la Ciudad de Trujillo. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesionalde Ingeniería Civil, Trujillo -Perú.



ANEXOS