



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



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MODELAMIENTO Y DISEÑO
ESTRUCTURAL EN CONCRETO ARMADO UTILIZANDO LOS
SOFTWARES SAP2000, ETABS, CYPECAD Y REVIT
ESTRUCTURE, PARA LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA
SORAPA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ELISBAN FERNANDO MONTÚFAR CHATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mis padres Juan A. y Clorinda, por todo el apoyo y la comprensión durante mis estudios y mi vida.

A mi hermano Adriano, por los consejos y apoyo durante la elaboración de mi tesis.

A Nélida Ch., por todo el apoyo moral y emocional durante la elaboración de mi tesis.

Fernando M.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por brindarme salud, guiarme y cuidarme a lo largo de mi vida.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, a la escuela profesional de Ingeniería Civil, por haberme formado académicamente y que hoy en día puedo servir a mi país y la sociedad.

Agradezco a mi asesor y jurados, por guiarme en la ejecución de mi tesis.

Finalmente agradezco a todos mis familiares que siempre me alentaron a continuar y culminar mis estudios.

Fernando M.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 21

ABSTRACT..... 22

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 23

1.1.1. Descripción de la realidad problemática 23

1.1.2. Formulación del problema 25

1.1.2.1. Pregunta general 25

1.1.2.2. Preguntas específicas..... 25

1.1.3. Objetivos de la investigación 26

1.1.3.1. Objetivo general 26

1.1.3.2. Objetivos específicos..... 26

1.1.4. Justificación e importancia..... 27

1.1.5. Delimitación 28

1.1.6. Impacto potencial de la investigación 28



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	29
2.2.	BASES TEÓRICAS	32
2.2.1.	Conceptos de la Ingeniería Estructural.....	32
2.2.2.	Normas técnicas de Edificaciones	32
2.2.3.	Softwares Estructurales	33
2.2.3.1.	Software Etabs (v. 2020)	33
2.2.3.2.	Software Sap2000 (v. 20).....	34
2.2.3.3.	Software Cypecad (v. 18).....	36
2.2.3.4.	Software Revit Estructure (v. 2022).....	37
2.2.4.	Elementos del diseño estructural.....	39
2.2.5.	Estructuración.....	39
2.2.5.1.	Estructuración de Losas	40
2.2.5.2.	Estructuración de Vigas	40
2.2.5.3.	Estructuración de columnas	41
2.2.5.4.	Estructuración de Placas.....	41
2.2.6.	Predimensionamiento	42
2.2.6.1.	Predimensionamiento Losa aligeradas	42
2.2.6.2.	Predimensionamiento de losas macizas	43
2.2.6.3.	Predimensionamiento Vigas.....	44
2.2.6.4.	Predimensionamiento de Columnas	45



2.2.6.5.	Predimensionamiento Placas.....	46
2.2.7.	Cargas, Fuerzas y Combinaciones de Cargas.....	46
2.2.7.1.	Cargas y Fuerzas	47
2.2.7.2.	Carga Muerta.....	47
2.2.7.3.	Carga Viva.....	47
2.2.7.4.	Carga de Sismo.....	49
2.2.7.5.	Combinaciones de Cargas	50
2.2.7.6.	Vulnerabilidad Sísmica	50
2.2.8.	Diseño Estructural	55
2.2.8.1.	Conceptos básicos	56
2.2.8.2.	Diseño Losas aligeradas	57
2.2.8.3.	Espaciamiento de estribos en vigas	57
2.2.8.4.	Diseño de Columnas.....	58

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	DISEÑO	60
3.1.1.	Tipo de Investigación	60
3.1.2.	Nivel de Investigación.....	60
3.1.3.	Diseño de Investigación	60
3.2.	CASO APLICATIVO	61
3.2.1.	Población.....	61
3.2.2.	Muestra.....	61



3.2.3.	Descripción del caso aplicado	61
A.	Ubicación y Acceso.....	61
B.	Altura.....	63
C.	Cartografía.....	63
D.	Características geométricas del terreno	63
E.	Descripción de la topografía del terreno	63
F.	Descripción del estudio de mecánica de suelos	64
G.	Descripción arquitectónica del proyecto	64
H.	Planteamiento arquitectónico	66
3.3.	INSTRUMENTOS	75
3.3.1.	Técnica	75
3.3.2.	Instrumentos para la recolección.....	75
3.3.3.	Instrumentos de Procesamiento.....	76
3.4.	PROCEDIMIENTO	76
3.4.1.	Plan de trabajo y aspectos éticos	76
3.4.2.	Desarrollo de la investigación	76
3.4.3.	Comparación y discusión de resultados	77
3.5.	VARIABLES	78
3.5.1.	Variables independientes.....	78
3.5.2.	Variable Dependiente	78
3.5.3.	Operacionalización de variables.....	79
3.6.	DESARROLLO Y APLICACIÓN	79



3.6.1.	Consideraciones generales	79
3.6.1.1.	Modelo Estructural propuesto	80
3.7.	Predimensionamiento	82
3.7.1.	Predimensionamiento de losas:	82
3.7.2.	Predimensionamiento De Vigas	83
3.7.3.	Predimensionamiento De Columnas:	83
3.8.	Condiciones de cargas aplicadas	85
3.8.1.	Carga Muerta (D)	85
3.8.2.	Carga Viva (L)	86
3.8.3.	Carga de Sismo (Sx, Sy)	86
3.9.	Materiales y sus parámetros	87
3.10.	Recubrimientos.....	87
3.11.	Condiciones para el Análisis Sísmico	88
3.11.1.	Factor de Zona.....	88
3.11.2.	Factor de Suelo.....	88
3.11.3.	Periodos “Tp” y “TL”	88
3.11.4.	Factor de amplificación sísmica.....	88
3.11.5.	Categoría de la edificación y factor de uso	89
3.12.	Modelamiento y Diseño en los Softwares.....	90
3.12.1.	Diseño con el software Etabs (Versión 20).....	90
3.12.1.1.	Estructuración y predimensionamiento.....	90
3.12.1.2.	Modelamiento de Edificio.....	91



3.12.1.3. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño	100
3.12.1.4. Asignación y distribución de Cargas.....	105
3.12.1.5. Verificación de derivas máximas en la edificación.....	107
3.12.1.6. Desplazamiento relativo de entrepiso en el centro de masa.....	108
3.12.1.7. Diseño de los elementos estructurales.....	108
3.12.2. Diseño con el software Cypecad (Versión 18).....	109
3.12.2.1. Estructuración y predimensionamiento	110
3.12.2.2. Modelamiento de Edificio	110
3.12.2.3. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño	120
3.12.2.4. Asignación y distribución de Cargas.....	121
3.12.2.5. Verificación de derivas máximas en la edificación.....	122
3.12.2.6. Diseño de los elementos estructurales.....	122
3.12.3. Diseño con el software Sap2000 (Versión 20).....	124
3.12.3.1. Estructuración y predimensionamiento	124
3.12.3.2. Modelamiento de Edificio	124
3.12.3.3. Determinación De Diafragmas Rígidos	126
3.12.3.4. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño	126
3.12.3.5. Asignación y distribución de Cargas.....	129
3.12.3.6. Verificación de derivas máximas en la edificación.....	130
3.12.3.7. Diseño de los elementos estructurales.....	130
3.12.4. Diseño con el software Revit Estructural (Versión 2022).....	133
3.12.4.1. Estructuración y predimensionamiento	133



3.12.4.2. Modelamiento de Edificio	134
3.12.4.3. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño	140
3.12.4.4. Asignación y distribución de Cargas.....	143
3.12.4.5. Verificaciones normativas.....	145
3.12.4.6. Diseño de los elementos estructurales.....	146

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados	150
4.1.1. Resultados del Modelamiento	150
4.1.1.1. Modelo Estructural Optimizado	152
4.1.1.2. Análisis del modelamiento	154
4.1.1.3. Verificaciones y comprobaciones	155
4.1.2. Análisis y comparación de los resultados del diseño estructural	156
4.1.3. Resultados del diseño y metrado de acero	168
4.1.3.1. Resultados del diseño en concreto armado.	168
4.1.3.2. Presupuesto aproximado de ejecución	170
4.2. Discusión de resultados	172
4.3. Discusión Antecedentes	173
4.4. Determinación de la Eficiencia	175
V. CONCLUSIONES.....	179
5.1. Conclusiones	179



VI. RECOMENDACIONES	182
6.1. Recomendaciones.....	182
VII. REFERENCIAS.....	183
ANEXOS.....	183
1. Diagrama de flujo de procedimiento de modelado	
2. Espectro de diseño utilizado	
3. Memoria de cálculo verificaciones para cada software	
4. Memoria de cálculo de diseño en concreto armado	
5. Planos arquitectónicos	
6. Planos de estructuras	
7. Metrados de acero	
8. Estudio de mecánica de suelos	
9. Captura de imagen de autorización de uso de licencia de prueba	

TEMA: Simulación y diseño estructural de edificios

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Análisis y Diseño Estructural.

ÁREA: Estructuras

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de septiembre del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Histograma de Softwares estructurales más usados	23
Figura 2 Detalle de modelamiento en el programa Etabs	34
Figura 3 Modelo Estructural de ejemplo programa Sap2000	35
Figura 4 Modelo Estructural de ejemplo programa Sap2000	36
Figura 5 Interfaz de inicio del programa Cypecad	37
Figura 6 Interfaz del programa Revit Estructure	38
Figura 7 Mapa de Zonas Sísmicas	51
Figura 8 Detalle de losa	57
Figura 9 Diagrama de Interacción	59
Figura 10 Localización de la IES Sorapa	62
Figura 11 Plano de elevación lateral del pabellón 01	68
Figura 12 Plano de elevación frontal del pabellón 01-bloque A	69
Figura 13 Plano arquitectónico del nivel 1 del pabellón 01-bloque A	70
Figura 14 Plano arquitectónico del nivel 2 del pabellón 01-bloque A	71
Figura 15 Plano de elevación frontal del pabellón 01-bloque B	72
Figura 16 Plano del nivel 1 del pabellón 01-bloque B	73
Figura 17 Plano del nivel 2 del pabellón 01-bloque B	74
Figura 18 Plano modelo estructural segundo nivel.....	80
Figura 19 Plano modelo estructural del nivel cubierta inicio	81
Figura 20 Plano modelo estructural del nivel cubierta final	81
Figura 21 Plano de niveles para el modelo estructural	82
Figura 22 Detalle predimensionamiento de losa	82
Figura 23 Detalle predimensionamiento de losa	83
Figura 24 Detalle del área tributaria	84
Figura 25 Dimensiones columna C1.....	85
Figura 26 Dimensiones columna C2.....	85
Figura 27 Dimensiones columna C3.....	85
Figura 28 Ventana de configuración normativa Etabs	91
Figura 29 Ventana de ingreso de grillas Etabs	91
Figura 30 Ventana de Ingreso de Niveles Etabs	92
Figura 31 Ventana de grillas creadas en Etabs	92



Figura 32 Ventana de Propiedades del concreto en Etabs	93
Figura 33 Ventana de Propiedades del acero en Etabs	94
Figura 34 Ventana del uso de aceros en Etabs	94
Figura 35 Elementos Definidos en Etabs, Vigas y Columnas	95
Figura 36 Detalle de sección columna C3 en Etabs	96
Figura 37 Propiedades definidas de las columnas C1 en Etabs	96
Figura 38 Dibujo de columna C1 en Etabs	97
Figura 39 Propiedades del aligerado en Etabs	97
Figura 40 Dibujo de elementos estructurales en Etabs	98
Figura 41 Dibujo de losa aligerada en Etabs	99
Figura 42 Modelo 3D del modelo estructural	99
Figura 43 Creación de diafragmas en Etabs	100
Figura 44 Definición de cargas y fuerzas en Etabs	100
Figura 45 Hoja de cálculo del Espectro a usar en el modelamiento	101
Figura 46 Espectro de aceleración sísmica	102
Figura 47 Espectro de aceleración sísmica cargado al Etabs	102
Figura 48 Casos de carga en Etabs	103
Figura 49 Combinación de carga según normativa E.030 en Etabs	103
Figura 50 Creación de la Envolvente en Etabs	104
Figura 51 Creación parámetro de cálculo peso total de la estructura en Etabs	105
Figura 52 Restricciones en Etabs	105
Figura 53 Asignación de Sobrecarga en Etabs	106
Figura 54 Ventana de cargas aplicadas a los elementos en Etabs	106
Figura 55 Cargas aplicadas en Losa inclinada	107
Figura 56 Distribución de acero en Vigas principales Etabs	108
Figura 57 Distribución de acero en columnas	109
Figura 58 Configuración normativa en Cypecad	110
Figura 59 Integración de Norma E.060 en Cypecad	111
Figura 60 Recubrimientos en Cypecad	111
Figura 61 Ingreso de datos en Cypecad según E.030	112
Figura 62 Periodo Fundamental en Cypecad	112
Figura 63 Zonificación sísmica en Cypecad	113
Figura 64 Categoría del edificio en Cypecad	113
Figura 65 Dibujo de grillas en Cypecad	114



Figura 66	Generación de niveles en Cypecad.....	114
Figura 67	Propiedades de materiales en Cypecad	115
Figura 68	Diámetros Utilizados en Cypecad	116
Figura 69	Detalle de distribución de estribos Cypecad	116
Figura 70	Generación de columnas en Cypecad.....	117
Figura 71	Elección de Vigas en Cypecad	117
Figura 72	Planta modelo estructural en Cypecad	118
Figura 73	Creación de losa aligerada en Cypecad.....	118
Figura 74	Creación de aligerado nivel 1 Cypecad.....	119
Figura 75	Creación losa inclinada Cypecad	119
Figura 76	Modelo 3D final en Cypecad	120
Figura 77	Sobrecargas aplicadas en Cypecad.....	120
Figura 78	Carga aplicada en Nivel 2 Cypecad	121
Figura 79	Sobrecargas aplicadas en Cypecad Modelo estructural	121
Figura 80	Distribución de acero en vigas principales Cypecad.....	123
Figura 81	Distribución de aceros en columnas Cypecad.....	124
Figura 82	Modelo 3D realizado en Sap2000	125
Figura 83	Detalle de elementos estructurales en Sap2000	125
Figura 84	Determinación de rigideces en Sap2000	126
Figura 85	Load patterns en sap2000.....	126
Figura 86	Espectro Integrado al Sap2000.....	127
Figura 87	Casos de carga en Sap2000	128
Figura 88	Combinaciones de cargas en Sap2000	128
Figura 89	Restricciones consideradas en Sap2000	129
Figura 90	Captura de Verificaciones de derivas en X en anexos	130
Figura 91	Captura de Verificaciones de derivas en Y en anexos	130
Figura 92	Diseño de acero en Sap2000	131
Figura 93	Destrucción de acero en vigas principales Sap2000	132
Figura 94	Distribución de acero en columnas Sap2000	133
Figura 95	Ventana de configuración normativa Revit Estructural	134
Figura 96	Ventana de ingreso de grillas Revit Estructural	135
Figura 97	Ventana de grillas creadas en Revit Estructural	135
Figura 98	Ventana de Propiedades del concreto en Revit Estructural.....	136
Figura 99	Ventana de Propiedades del acero en Revit Estructural.....	136



Figura 100	Elementos Definidos en Revit Estructural, Vigas y Columnas.....	137
Figura 101	Detalle de sección columna C3 en Revit Estructural	137
Figura 102	Propiedades del aligerado en Revit Estructural.....	138
Figura 103	Dibujo de elementos estructurales en Revit Estructural.....	139
Figura 104	Modelo 3D del modelo estructural Revit Estructural.....	139
Figura 105	Creación de diafragmas en Revit Estructural	140
Figura 106	Definición de cargas en Revit Estructural.....	140
Figura 107	Definición de excentricidad de masas en Revit Estructural	141
Figura 108	Espectro de aceleración sísmica cargado al Revit Estructural	141
Figura 109	Casos de carga en Revit Estructural	142
Figura 110	Combinación de carga según normativa E.030 en Revit Estructural	142
Figura 111	Creación de la Envolvente en Revit Estructural.....	143
Figura 112	Restricciones en Revit Estructural	144
Figura 113	Ventana de cargas aplicadas tabiquería en Revit Estructural.....	144
Figura 114	Cargas aplicadas en Losa inclinada en Revit Estructural.....	145
Figura 115	Captura de resultados Revit estructural.....	145
Figura 116	Captura de cálculo de derivas en X en Revit Estructural.....	146
Figura 117	Captura de cálculo de derivas en Y en Revit Estructural	146
Figura 118	Generación de acero de refuerzo en Revit Estructural	147
Figura 119	Distribución de acero en vigas principales Revit Estructural	147
Figura 120	Diagramas de iteración para la C1 en Revit Estructural	148
Figura 121	Acero de refuerzo para la C1 en Revit Estructural.....	149
Figura 122	Distribución de acero en columnas Revit Estructural	149
Figura 123	Modelo Estructural Optimizado en Sap2000	150
Figura 124	Modelo Estructural Optimizado En Cypecad.....	151
Figura 125	Modelo Estructural Optimizado En Etabs.....	151
Figura 126	Modelo Estructural Optimizado en Revit Estructure	152
Figura 127	Plano Modelo Estructural Optimizado Primer Nivel	153
Figura 128	Plano Modelo Estructural Optimizado Segundo Nivel	154
Figura 129	Masa de la Estructura Considerada por cada Programa	156
Figura 130	Diagrama Esfuerzo Deformación Concreto Asumido por Cypecad	157
Figura 131	Cortante Basal Estático	161
Figura 132	Masa Asumida Para Cálculos para Sap2000.....	162
Figura 133	Masa Asumida para los Cálculos por Etabs, Cypecad y Revit	162



Figura 134 Cortante Dinámico en la Base	164
Figura 135 Desplazamientos máximos por niveles en X.....	165
Figura 136 Desplazamientos Máximos en Y por pisos	166
Figura 137 Máximas Derivas en X.....	167
Figura 138 Máximas Derivas en Y	168
Figura 139 Metrado Total de acero para la obra.....	171
Figura 140 Costo Total de la obra por cada Programa	172



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterios de estructuración de vigas.....	41
Tabla 2 Predimensionamiento en columnas	41
Tabla 3 Dimensiones losas en una dirección	42
Tabla 4 Dimensiones losas aligeradas	43
Tabla 5 Dimensiones losas Macizas	44
Tabla 6 Pesos unitarios en materiales	47
Tabla 7 Cargas vivas mínimas repartidas	48
Tabla 8 Combinaciones propuestas de diseño	50
Tabla 9 Factor de Zona	51
Tabla 10 Casos de Cimentación para Perfil Tipo S1	53
Tabla 11 Casos de Cimentación para Perfil Tipo S2	53
Tabla 12 Casos de Cimentación para Perfil Tipo S3	54
Tabla 13 Factor del Suelo	55
Tabla 14 Periodos de Perfil de suelo.....	55
Tabla 15 Factor de Amplificación Sísmica.....	55
Tabla 16 Factores de reducción de resistencia.....	56
Tabla 17 Secciones de Varillas de Acero	57
Tabla 18 Diámetro de varillas para estribos de Viga.....	58
Tabla 19 Acceso al lugar del proyecto.....	62
Tabla 20 Metas de infraestructura de la IES de Sorapa.	65
Tabla 21 Variables Independientes	78
Tabla 22 Variables Dependientes	79
Tabla 23 Operación de Variables.....	79
Tabla 24 Periodos de Perfil de suelo considerados en el Proyecto.....	88
Tabla 25 Factor de Amplificación Sísmica.....	89
Tabla 26 Sistema Estructural del Proyecto	90
Tabla 27 Desplazamientos dirección X	107
Tabla 28 Desplazamientos dirección Y	108
Tabla 29 Resultados del análisis en Cypecad	122
Tabla 30 Masa Considerada por cada Programa para el Análisis Estático.....	156
Tabla 31 Resultados Análisis Modal Revit Estructural	158



Tabla 32 Resultados del análisis modal del programa Cypecad.....	158
Tabla 33 Resultados del análisis modal del programa Etabs.....	159
Tabla 34 Resultados del análisis modal del programa Sap2000.....	160
Tabla 35 Cortante Estático en la Base	160
Tabla 36 Cortante Dinámico en la base	164
Tabla 37 Máximos desplazamientos en X	165
Tabla 38 Máximos desplazamientos en Y	165
Tabla 39 Máximas Derivas en X	167
Tabla 40 Máximas Derivas en Y	167
Tabla 41 Acero requerido para la Columna T eje 1- eje C	169
Tabla 42 Acero requerido para la Viga V30x60 eje C primer nivel.....	169
Tabla 43 Metrado Total de Acero	170
Tabla 44 Metrados Calculados para la Obra.....	171
Tabla 45 Costos Unitarios Referenciales para la Obra	171
Tabla 46 Presupuesto total de la Obra por cada programa	172



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Ec:	Módulo de elasticidad del concreto
Wc:	Peso unitario del concreto
G:	Módulo de rigidez al esfuerzo cortante del concreto
f _y :	Esfuerzo de fluencia para el acero
ld:	Alambre corrugado en tensión
n:	Es el número de barras
Cb:	Es la menor distancia entre centro de una barra
ldc:	Alambre a compresión
h:	Peralte de la viga
L:	Longitud más crítica (entre ejes de columna)
b:	Base de la viga
V _u :	Fuerza cortante última
φV _c :	Fuerza cortante nominal
φ:	Factor de reducción de resistencia (φ corte = 0.85)
f'c:	Resistencia del concreto a la compresión (210 Kg/cm ²)
b y d:	Ancho y peralte efectivo de la sección
P:	Peso
h:	Altura sobre el terreno en metros
α:	Factor para las combinaciones
ΦR _n :	Resistencias de diseño nominal
R _u :	Resistencia requerida última
CM:	Carga muerta
CV:	Carga viva
CV _i :	Carga de viento
CS:	Carga de sismo
CE:	Peso y empuje lateral
Z:	Factor de Zona
U:	Factor de uso e importancia
So:	Roca dura
S1:	Roca o Suelos Muy Rígidos



- S2: Suelos Intermedios
- S3: Suelos blandos
- Tp y TL: Periodos de suelo
- C: Factor de Amplificación Sísmica
- V: Cortante en la base
- Mti: Momento torsor accidental
- Ei: Excentricidad accidental en cada nivel
- S α : Aceleración espectral
- G: Aceleración de la gravedad
- r : Máxima elástica esperada (r)
- ri: Vibración empleados
- BIM: Modelado de información para la construcción
- IFC: (Industry Foundation Classes), formato de datos admitido por softwares BIM
- DXF: (Drawing Exchange Format), formato de archivo de datos CAD
- DWG: Formato de archivo propio de Autocad
- CAD: Diseño asistido por computadora



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar y comparar los resultados del modelamiento, diseño estructural y diseño en concreto armado utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, para la infraestructura de la institución educativa de Sorapa de la provincia de Chucuito Juli, departamento de Puno, Perú. El tipo de investigación de esta tesis, tiene un enfoque aplicativo, además de un nivel de investigación descriptivo y explicativo, el diseño que se aplicó en este estudio es no experimental y un análisis comparativo de resultados. Inicialmente realice la estructuración y predimensionamiento a partir de los planos arquitectónicos, realice la definición de materiales, cargas aplicadas y combinaciones para el diseño en concreto armado según los requerimientos del reglamento nacional de edificaciones, el modelo estructural se optimizo utilizando un sistema mixto de pórticos y albañilería confinada. El modelo optimizado se modelo en cada software, realice el análisis sísmico estático y dinámico modal espectral además realice las verificaciones de los resultados obtenidos de cada software. Analice y compare los resultados del modelamiento, diseño estructural y diseño en concreto armado utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, obteniendo mejores resultados en Etabs en cuanto al acero calculado para toda la estructura, cuyas variaciones son -4% frente a Sap2000, -3% frente a Revit estructure y -5% frente a Cypecad, cuya principal razón de esta variación es que Etabs es un programa especializado en análisis de este tipo de edificaciones, además de la metodología empleada de cada software.

Palabras clave: Software, Diseño estructural, Modelamiento, Concreto armado, metodología.



ABSTRACT

The objective of this research is to analyze and compare the results of modeling, structural design and reinforced concrete design using Sap2000, Etabs, Cypecad and Revit Estructure software for the infrastructure of the educational institution of Sorapa in the province of Chucuito Juli, department from Puno, Peru. The type of research of this thesis has an applicative approach, in addition to a descriptive and explanatory level of research, the design that was applied in this study is non-experimental and a comparative analysis of results. Initially carry out the structuring and pre-dimensioning from the architectural plans, define the materials, applied loads and combinations for the reinforced concrete design according to the requirements of the national building regulations, the structural model was optimized using a mixed system of frames and confined masonry. The optimized model is modeled in each software, perform the static and dynamic spectral modal seismic analysis, as well as verify the results obtained from each software. Analyze and compare the results of modeling, structural design and reinforced concrete design using Sap2000, Etabs, Cypecad and Revit Estructure software, obtaining better results in Etabs in terms of steel calculated for the entire structure, whose variations are -4% compared to Sap2000, -3% compared to Revit Estructure and -5% compared to Cypecad, whose main reason for this variation is that Etabs is a program specialized in the analysis of this type of buildings, in addition to the methodology used by each software.

Keywords: Software, Structural design, Modeling, Reinforced concrete, methodology.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Descripción de la realidad problemática

Global A. (2020), Describe en su artículo: Debido al gran avance de la construcción en el mundo, se están realizando proyectos estructurales más complejos, y junto a estos, la tecnología ha evolucionado softwares de análisis y de diseño estructural, llegando a una variedad de programas de diseño en el mercado; Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure se encuentran entre los más reconocidos por su efectividad.

Structuralia (2021), El software estructural ha aumentado y mejorado totalmente estos años, nosotros tenemos una gran variedad de softwares para diferentes tipos de proyectos civiles a realizar. Entre los más conocidos y usados tenemos Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure (Robot Structural considerado en su paquete), que son los programas más comerciales para diseñar y analizar edificios”

Figura 1

Histograma de Softwares estructurales más usados



Fuente: 5 Software más usados en Estructuras, (2021), Structuralia.



Además, en la búsqueda de la afinación profesional del egresado de la carrera profesional de ingeniería civil genera demasiadas incógnitas referente al uso de un determinado software estructural ya que en el mercado existe una gran variedad de estos, los cuales difieren en si desde la interfaz, herramientas de entrada de datos, idiomas, soporte a nuestras normas peruanas, diferencias en los resultados y su aplicación a los proyectos en nuestro territorio; y su optimización en cuanto a la generación de resultados, reducción de costos y tiempo en la elaboración de proyectos; no obstante el problema es que los ingenieros civiles al egresar de la carrera profesional de ingeniería civil no cuentan con información desde un punto de vista del usuario de los diferentes softwares que existen en el mercado para poder continuar su preparación y capacitación en cuanto al uso de estos.

INEI (2017), Según INEI el Perú está ubicado en una zona sísmica muy activa, por lo que es necesario evaluar el comportamiento de las edificaciones de gran importancia y de mayor riesgo, como son las instituciones del estado (Centros educativos, hospitales, municipalidades entre otros), con los resultados buscamos plantear soluciones de refuerzo para aumentar la resistencia de las edificaciones mencionadas con ayuda de los softwares que existen en el mercado.

CAPECO (2017), En un estudio hecho por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) en el año 2017, donde se informó: "El 65% de las instituciones educativas construidas en el sector rural no cumplen con lo requerido por nuestras normas técnicas de edificaciones", además el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigaciones de Desastres (CISMID) refiere: "Las edificaciones del estado en las zonas rurales puede alcanzar un 70% de informalidad", la cual ante un eventual movimiento sísmico de gran magnitud, un gran porcentaje de estas corren el riesgo de colapso.



Invirte.pe (2019), En la Institución educativa de Sorapa, un 85.0% de la infraestructura están deteriorados y/o acondicionados y son inadecuados, también poseen ambientes inadecuados que han sido construidos para otros fines por lo que se ha propuesto la Sustitución y construcción de Infraestructura Educativa considerando todos los criterios normativos solicitados por el reglamento nacional de edificaciones.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Pregunta general

¿Cuáles son las diferencias de los resultados del modelamiento, diseño estructural y diseño en concreto armado utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, aplicado en la infraestructura Educativa de Sorapa, y determinar el más eficiente?

1.1.2.2. Preguntas específicas

¿Qué diferencias tenemos en el modelamiento de la infraestructura educativa de Sorapa utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, y como intervienen en los resultados del análisis y diseño estructural?

¿Cuál es la diferencia de los resultados del diseño sismorresistente de acuerdo a la norma técnica E. 030 (Diseño sismorresistente) de la infraestructura educativa de Sorapa, utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure?

¿Cuál es la diferencia de los resultados del diseño en concreto armado según norma técnica E. 060 (Concreto armado) de la infraestructura educativa de Sorapa, utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure?

¿Qué software es el más eficiente para la elaboración de proyectos estructurales?



¿Qué diferencia se tiene en el presupuesto obtenido a partir de los metrados generados por modelamiento de la infraestructura educativa de Sorapa con los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure?

1.1.3. Objetivos de la investigación

1.1.3.1. Objetivo general

Analizar y Comparar los resultados del modelamiento, diseño estructural y diseño en concreto armado utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, aplicado en la infraestructura Educativa de Sorapa, para determinar el más eficiente.

1.1.3.2. Objetivos específicos

Realizar y analizar el modelamiento de la infraestructura educativa de Sorapa en los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure.

Realizar y comparar los resultados del diseño estructural de la infraestructura educativa de Sorapa, utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure.

Realizar el diseño en concreto armado de la infraestructura educativa de Sorapa, de acuerdo a la norma E 0.60 y el código ACI318-14 utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure.

Determinar el software más eficiente para la elaboración de proyectos estructurales.

Comparar y evaluar el presupuesto obtenido a partir de los metrados generados por modelamiento de la infraestructura educativa de Sorapa utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure.



1.1.4. Justificación e importancia

A nivel nacional e internacional hay una gran variedad de softwares en el mercado que realizan proyectos estructurales de todo tipo, sin embargo, las diferencias principales entre ellos son: el interfaz, metodología de análisis y soporte a normas de diseño. Este trabajo de tesis se debe ante la necesidad de saber porque hay diferencias en los resultados del modelamiento, diseño sismorresistente y diseño en concreto armado, entre los cuatro softwares más utilizados a nivel nacional, siendo los más utilizados los programas: Sap2000, Etabs, Cypecad Y Revit Estructure; La metodología que emplean en su mayoría es de rigideces y elementos finitos para los pórticos, además una metodología muy similar en cuanto a la introducción de datos y configuraciones del soporte normativo, las cuales generan mínimas diferencias. Por ende, teniendo como objetivo de dar un aporte a esta problemática, se realizará una comparación entre los resultados del modelamiento, diseño sismorresistente y diseño en concreto armado, entre los softwares más utilizados a nivel nacional mencionados.

Además, un buen diseño y dimensionamiento de la estructura repercutirá en el costo del proyecto, dado que si el diseño está sobredimensionado se requerirá más materiales y por ende incrementaran los costos de obra de infraestructura.

Por lo que se propone en el siguiente proyecto de investigación realizar el análisis comparativo de los resultados del análisis y diseño estructural de los cuatro softwares más utilizados en el Perú, siendo estos Cypecad, Sap2000, Etabs Y Revit Estructure. En este análisis se obtendrá las ventajas y desventajas, manejabilidad, tiempos de diseño, incidencia en los planos, soporte a nuestras normas peruanas, incidencia en el presupuesto de cada uno de los programas ya mencionados para la infraestructura educativa de Sorapa.



Un objetivo del presente trabajo es proporcionar una mejor idea de lo que se tiene en el mercado en cuanto a eficiencia de los programas más utilizados en el análisis y diseño estructural y su incidencia en la elaboración del presupuesto de la infraestructura educativa de Sorapa. A su vez con esta investigación, se beneficiarán aquellos ingenieros que estén desarrollando proyectos o deseen formar sus propias empresas, al igual que estudiantes afines al tema en el rubro de la construcción.

1.1.5. Delimitación

Se considera como muestra de esta investigación el proyecto estructural para la infraestructura educativa de IETA de Sorapa, aplicando los criterios y normativas peruanas en el modelado.

1.1.6. Impacto potencial de la investigación

Esta investigación permite verificar las diferencias en cuanto al modelamiento estructural usando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, también pretende ampliar el conocimiento estructural proporcionando formas metodológicas en el análisis estructural, adaptando y generando más comprensibles los conceptos teóricos existentes.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Huaraca, A. (2018). Identifica la necesidad de dar a conocer una nueva herramienta de cálculo estructural que optimicen tiempos y costos. Por lo cual realizó el análisis comparativo utilizando el programa Robot Structural Analysis y el programa Etabs para determinar el comportamiento de las estructuras de las viviendas autoconstruidas. Realiza el modelado de las viviendas en ambos softwares para poder analizar los resultados. Observo que análisis estático no cumple con las directivas de la norma E.030 según los resultados obtenidos, en cuanto al análisis comparativo del corte estático del software Robot Structural superior de 2.45% en comparación con el software Etabs. Concluyendo que el comportamiento estructural de las viviendas autoconstruidas no se comporta correctamente según la evaluación realizada con los programas Structural Analysis y Etabs, los cuales no cumplen con los requisitos mínimos de las normas peruanas.

Mamani, E. (2017). Identifica la necesidad de realizar diseños adecuados para evitar los efectos que trae consigo los sismos y la importancia del uso del software en ello. Elaboro el diseño y análisis estructural del proyecto hotelero de nueve pisos y semisótano, ubicado en Juliaca, para lo cual se realizó la estructuración, el predimensionamiento y asignación de cargas, siguiendo la teoría aprendida en pregrado y utilizando las normas peruanas E.030, E.020 y E.060, logrando controlar adecuadamente las deflexiones y desplazamientos estructurales obtenidas. A su vez, para optimizar el diseño estructural, se utilizó Etabs v15.2 y Safe.14.1, que contribuye a la minimización del costo y tiempo, y los resultados se basan en el modelo estructural, que



hace que el comportamiento estructural sea lo más real posible. Además, se ha observado que los desplazamientos máximos respetan los parámetros tolerables para la construcción de edificios. Esta es la razón por la cual el edificio planificado cumple con los requisitos para terremotos.

Briones, P., & Alvarez Chiriboga, J. (2018). Identifica que es necesario realizar el proyecto estructural en el tiempo más corto posible porque esto interviene en el costo de la elaboración del proyecto causando ahorro y dando una mayor satisfacción al cliente. Identifica y publica las diferencias que existen entre los softwares estructurales Etabs y Software Robot Estructural en modelado de edificios, en diseño de concreto armado y en el análisis sísmico de cinco pisos destinados a uso académico, ubicados en la comunidad de Villa Chullunquiani - Arequipa. En su investigación realiza el modelado y diseño en ambos softwares utilizando los mismos datos para ello. Además, ha podido comprobar que existen diferencias en el análisis dinámico y estático, teniendo como principal la medición el metrado de carga, que incide en el análisis estático y dinámico. Concluyendo que los resultados de ambos softwares estructurales son similares, el software Robot Structural es, sin embargo, más comprensible más rápido porque ofrece herramientas de modelado dinámico en comparación con el software Etabs.

Freire y Alarcón (2001). Identifica que la influencia de la etapa de diseño en los resultados tanto económicos como técnicos es extremadamente importante. El artículo habla sobre las mejoras del programa BIM sobre los programas tradicionales SAP2000 y ETABS en términos de análisis estructural, trabajo separado del diseño arquitectónico y otras especialidades. Este artículo propone una metodología para mejorar el proceso de gestión basada en los conceptos y principios de la gestión "BIM" aplicada al campo del diseño. Luego de una breve descripción de las bases teóricas de la metodología, se describe en detalle cada uno de sus pasos, destacando los aspectos más importantes. Es



precisamente en esta etapa que las ideas y especulaciones del cliente se conceptualizan en un modelo físico definiendo sus necesidades y requerimientos a través de planos y especificaciones técnicas. Sin embargo, la ingeniería y la gestión del diseño se han revisado e ilustrado de forma deficiente. Posteriormente, se presentan los resultados de la aplicación en una empresa de diseño, destacando las posibles mejoras con esta nueva gestión de procesos de diseño BIM frente a los softwares tradicionales Etabs y Sap2000.

Ramírez, J. (2019). Identifica la necesidad de realizar un adecuado análisis y diseño de la edificación de 8 niveles, utilizando el software Etabs. Realiza un análisis y diseño estructural de un edificio de concreto armado de ocho pisos ubicado en el distrito de Surquillo - Lima. El proyecto está ubicado en un terreno tipo S1 y la estructura sísmica se basa en muros de concreto armado, para lo cual se utilizaron los conceptos estructurales de la E.030, luego se diseñó la estructura tridimensional realizado con el software Etabs. Analizo que la estructuración y el predimensionamiento han sufrido modificaciones con respecto al proyecto en los planos arquitectónicos, resulta que el tamaño de las columnas de los primeros niveles tuvo que ser aumentada, de manera que la verificación con pandeo pueda cumplir lo requerido por nuestras normas. Además, se obtuvieron resultados similares para las cargas de gravedad, entre la medición realizada a mano y los obtenidos por el software Etabs, para los elementos de columna y placas, los resultados ligeramente diferentes se debieron a hiperestática, que no se tiene en cuenta en la medición.

Cárdenas, O. (2019). La necesidad de diseñar un edificio de cinco niveles y su optimización con el uso de software en este caso utilizo el Etabs y Safe. Elabora el diseño y análisis de los elementos estructurales del edificio de cinco plantas ubicado en el distrito de San Isidro, el cual cuenta con suelo regular, para realizar la modelación del diseño estructural, se han realizado con el software Etabs y Safe para el diseño de las



cimentaciones, además se siguió los criterios que se indica en las normas peruanas E.020, E.030 y E.060 con el fin de cumplir con todos los requisitos legales, además, el entregable final será otorgar los planos estructurales del proyecto, los resultados obtenidos en a partir de las cargas realizadas manualmente y con el software Etabs son las requeridas por nuestras normas. A su vez, el diseño estructural fue el deseado, a los lineamientos establecidos en la norma. Concluir que la estructura se adapta a los parámetros establecidos de acuerdo con la normativa E.030.

2.2. Bases teóricas

Mencionaremos los conceptos más importantes para la investigación.

2.2.1. Conceptos de la Ingeniería Estructural

Nilson (1999), comenta: “La principal labor de un ingeniero estructural es el realizar el diseño de estructuras eficientemente, donde el diseño denota que se estableció las dimensiones, especificaciones y forma general de un elemento estructural en particular, lo cual este debe cumplir los requerimientos por lo cual fue creado, a su vez debe resistir de una forma óptima y segura las cargas o efectos que actuaran sobre ella, además de otros agentes como los asentamientos de los cimientos, la temperatura y agentes corrosivos”. (Pág. 19)

2.2.2. Normas técnicas de Edificaciones

Norma técnica E.020: Cargas (2006)

Estos deben actuar de acuerdo a las combinaciones descritas en las cuales no deben causar deformaciones o esfuerzos a lo indicado en este caso se utilizarán referidos a instituciones educativas.



Norma técnica E.030: Diseño Sismorresistente (2018)

Se considera todos los criterios que debe tener la infraestructura desde la importancia de los mismos frente a sollicitaciones sísmicas.

Norma técnica E.060: Concreto Armado (2009)

Especifica las disposiciones y los requisitos mínimos de especificaciones técnicas que debe tener cada elemento estructural de cada proyecto que utilice concreto armado, así como el marco para la realización de los planos, diseño, ejecución y control de calidad de todos los proyectos.

Norma técnica E.070: Albañilería (2006)

Proporciona los requisitos y condiciones mínimas para obras de ingeniería civil realizadas sobre la base de un buen análisis, diseño y construcción de mampostería. Además, establece la inspección y control de calidad de las edificaciones, que pueden ser construcciones de muros confinados y muros estructurales o incluso muros portantes.

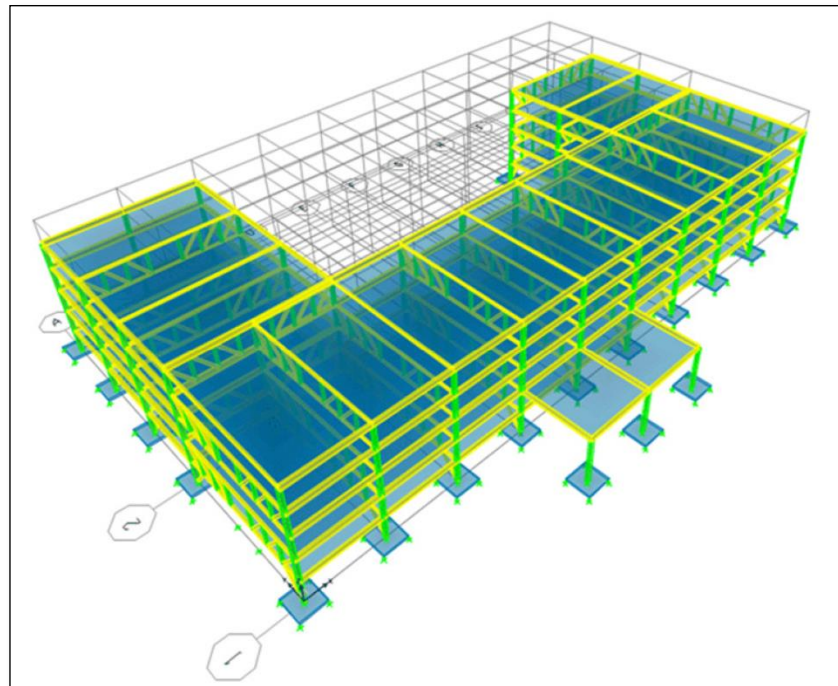
2.2.3. Softwares Estructurales

2.2.3.1. Software Etabs (v. 2020)

Del Manual Etabs. Etabs (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems). “Es un programa de análisis y diseño de sistemas de Edificaciones que desde hace más de 30 años ha estado en continuo desarrollo, para brindarle al ingeniero una herramienta confiable, sofisticada y fácil de usar”. Etabs versión 20 tiene una poderosa e intuitiva interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño sin igual, todos integrados usando una base de datos común. Aunque fácil y sencillo para estructuras simples, Etabs también puede manejar los más grandes y complejos modelos de edificios, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales, haciéndolo la herramienta predilecta para ingenieros estructurales en la industria de la construcción.

Figura 2

Detalle de modelamiento en el programa Etabs



Fuente: Manual del usuario Etabs 2020

Las convenciones de entrada y de salida usadas corresponden a la terminología común de edificaciones. Con Etabs, los modelos se definen de forma lógica: piso por piso, viga por viga, columna por columna, tramo por tramo, muro por muro y no como corrientes de puntos y elementos no descritos como lo hacen la mayoría de los programas para fines generales. Así la definición estructural es simple, ordenada y significativa.

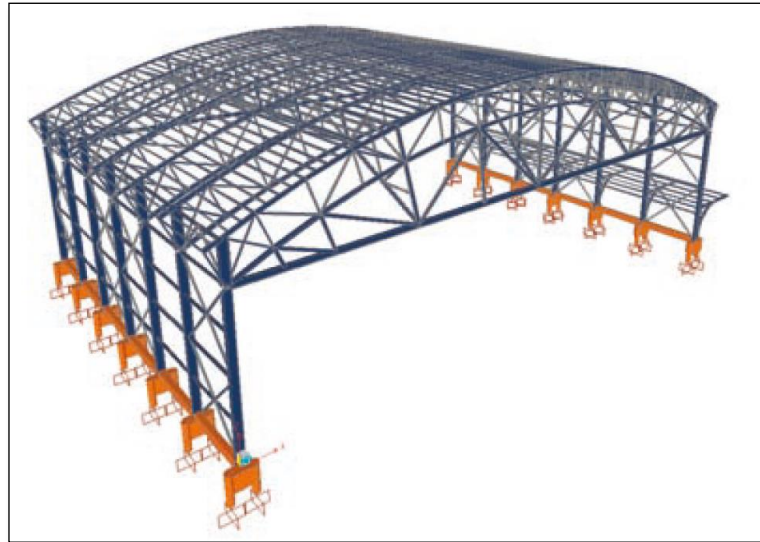
2.2.3.2. Software Sap2000 (v. 20)

Del manual Sap2000. Sap2000 (Software Integrated for Structural Analysis & Design). “Es un programa desarrollado por la empresa CSI, Computer and Structures, Inc. En Berkeley, California, EEUU. Se presenta en varias versiones (Standard, Plus y Advanced). Desde hace más de 30 años ha estado en continuo desarrollo, para brindarle al ingeniero una herramienta confiable, sofisticada y fácil de usar sobre la base de una

poderosa e intuitiva interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño estructural a la vanguardia a nivel mundial.”

Figura 3

Modelo Estructural de ejemplo programa Sap2000



Fuente: Manual del usuario SAP2000.

Este programa posee un poderoso diseño en acero, concreto y aluminio completamente integrado, todos disponibles desde la misma interfaz usada para modelar y analizar el modelo.

Figura 4

Modelo Estructural de ejemplo programa Sap2000



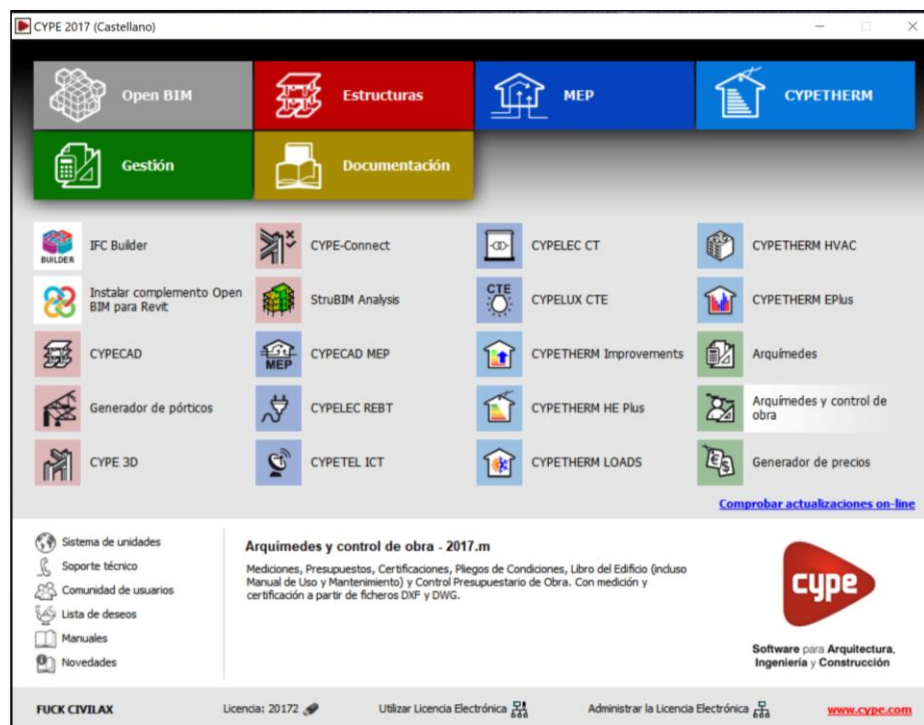
Fuente: Manual del usuario SAP2000

2.2.3.3. Software CYPECAD (v. 18)

Del manual Cypecad. Es el software para el proyecto de edificios de concreto armado y metálicos que permite el análisis espacial, el dimensionado de todos los elementos estructurales, la edición de las armaduras y secciones y la obtención de los planos de construcción de la estructura. Realiza el cálculo de estructuras tridimensionales formadas por soportes y forjados, incluida la cimentación, y el dimensionado automático de los elementos de concreto armado y metálicos. Con Cypecad, el proyectista tiene en su mano una herramienta precisa y eficaz para resolver todos los aspectos relativos al cálculo de su estructura de concreto de cualquier tipo. Está adaptado a las últimas normativas españolas y de numerosos países.

Figura 5

Interfaz de inicio del programa Cypecad



Fuente: Manual del usuario Cypecad

El software Cypecad es una herramienta de primera generación en el mundo de los diseños de ingeniería estructural, por eso es un lenguaje de ingeniería común y un sistema y datos muy simple, además nos da la enorme función para visualizar la estructura y errores más fácil de detectar, el rápido examen de la estructura en geometría así como en los elementos de soporte, permite evaluar iteraciones y obtener varios diseños entre los cuales podemos encontrar el más adecuado y económico para nuestro proyecto.

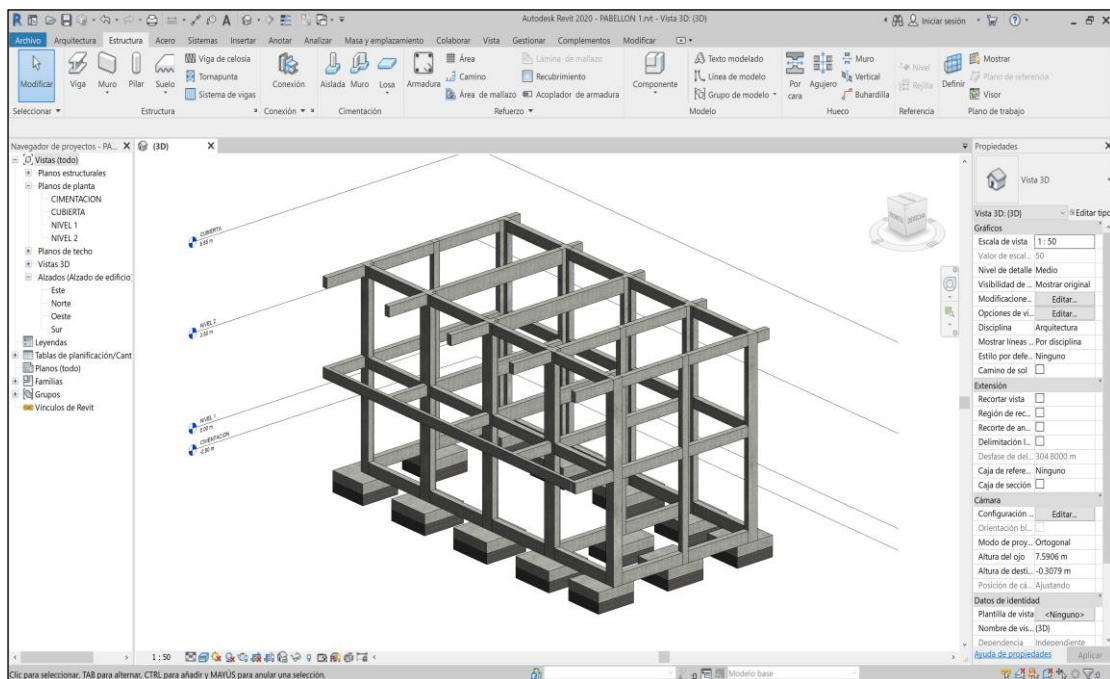
2.2.3.4. Software Revit Estructure (v. 2022)

Revit S. (2020). “Es un sistema de software de modelado y dibujo estructural multimaterial que proporciona modelos físicos y analíticos simultáneos para el diseño, la coordinación y la documentación. La vinculación bidireccional con aplicaciones de análisis líderes en la industria también es otra capacidad importante de Revit Estructure.”

El software Revit Estructura integra un modelo físico, para el diseño, la coordinación y la documentación, con un modelo analítico editable independientemente para análisis múltiples. Puede modelar desde cero o sobre archivos CAD 2D del arquitecto. O bien, para una coordinación aún más poderosa, puede vincular directamente modelos arquitectónicos 3D inteligentes de los productos de software AutoCAD Architecture o Revit Architecture. La vinculación bidireccional con el software de análisis líder de la industria significa que los resultados del análisis actualizan su modelo de Revit Estructura, mientras que la tecnología de gestión del cambio paramétrica comprobada coordina esas actualizaciones en todas partes en su diseño y documentación. El resultado final: el modelado integrado aumenta la eficiencia, mejora la precisión y agiliza la coordinación con su designado.

Figura 6

Interfaz del programa Revit Estructura





2.2.4. Elementos del diseño estructural

Se consideran los siguientes elementos para el diseño estructural del presente trabajo:

Estructuración: Depende siempre del tipo de proyecto a elaborar, las necesidades del mismo y cumpliendo las normativas vigentes, cada ingeniero estructuralista tendrá su propio criterio, donde se proponen medidas de las secciones a asumir en la etapa de análisis estructural, para posteriormente verificar y cumplir los requerimientos normativos.

Análisis: El análisis estructural de los edificios se realiza mediante programas estructurales, siendo los más conocidos en el mercado el Etabs, Sap2000, Cypecad, Robot estructural, Tekla entre otros, los cuales en su mayoría utilizan metodología de rigideces, además generan los desplazamientos y comportamientos de cada elemento estructural.

Memoria de Cálculo: realizado el análisis y diseño estructural, se elabora la memoria de cálculo y descripción de los resultados, indicando y especificando las cargas vivas y muertas que han sido asumidas, así también los resultados del análisis estático y dinámico obtenidos, para la posterior optimización del diseño en concreto armado.

2.2.5. Estructuración

Delgado (2011) afirma, “El diseño estructural de una edificación implica a diversos elementos estructurales las cuales cumplen con una función determinada, dichos elementos son:

- Columnas: Estructurales y columnetas.
- Vigas: Principales y secundarias.
- Losas: Aligerados, macizas y nervadas.



- Muros no portantes y muros estructurales.
- Cimentaciones corridas para muros no portantes.
- Zapatas: Aisladas y combinadas.

Los primeros elementos estructurales (vigas y columnas) conforman el pórtico estructural, el cual tienen la función de soportar el peso de las cargas muertas y vivas del edificio provocando una mejor distribución de dichas cargas, el cual conlleva a un mejor comportamiento estructural” (Pag.38).

2.2.5.1. Estructuración de Losas

Delgado (2011) suscribe:

“El espesor que debe tener una losa aligerada depende del distanciamiento que existe entre los apoyos. Si la losa es aligerada, las viguetas se deben posicionar en la dirección de la separación menor entre los apoyos. Además, se recomienda que el espesor de la losa aligerada sea $L/25$, donde: L es la luz libre entre los ejes, esto según lo establecido en el Reglamento Peruano de Concreto Armado E.060.” (Pag.43)

Entonces se considera la fórmula:

$$h \geq \frac{L}{25}$$

Dónde: h = Peralte de la losa

L = Longitud más crítica (entre ejes de columna)

2.2.5.2. Estructuración de Vigas

Para la estructuración en vigas se toman criterios prácticos que toman en cuenta la combinación de cargas verticales y sísmicas, los cuales cumplen los criterios siguientes:

Tabla 1*Criterios de estructuración de vigas*

Casos	
Simplemente apoyadas	$h=L / 12 @ L / 10$
Extremos continuos	$h=L / 12 @ L / 14$
Criterio Práctico frente a sismos	$h=L / 10$
Base (b) = 0.30 @ 0.50 de h	

Fuente: Delgado 2011

2.2.5.3. Estructuración de columnas

Para las columnas utilizaremos el criterio de dimensionamiento de carga vertical debido a que en la edificación se utilizó el sistema mixto (pórticos y muros de corte), lo que reduce considerablemente los momentos provocados por los sismos. Se recomienda considerar:

Tabla 2

Predimensionamiento en columnas

Criterios de predimensionamiento	
Forma parte del pórtico sísmico	$A_g = \text{Carga Total en Servicio} / 0.35 * f'c$
No forma parte del pórtico sísmico	$A_g = \text{Carga Total en Servicio} / 0.45 * f'c$
Carga Total = área Tributaria Total * 1 ton/m ²	

Fuente: Delgado 2011

2.2.5.4. Estructuración de Placas

Blanco (1994) sostiene: “Cuando nos referimos a placas, se trata de muros de carga de concreto armado que, en una dimensión mayor en una de sus direcciones, mayor que su ancho, imparten mayor rigidez y resistencia en esta dirección. Varios autores mencionan que las placas son como las columnas de sección muy ancha, considerando que una columna recibe las mismas cargas y esfuerzos que una placa, ya que los dos elementos estructurales verticales que cargan planos levantados vigas, además de vigas livianas. losas o sólidos, momentos en ellos. Al tener una longitud notablemente mayor, provocan que las placas tengan un comportamiento interno diferente, convirtiéndose en

placas de gran rigidez lateral y resistencia a lo largo de su longitud. La gran rigidez lateral que generan los muros o placas estructurales es mucho mayor que la que proporciona el entramado reforzado, por lo que hoy en día, con mayor conciencia, las placas pueden ser utilizadas para un mejor diseño sísmico, especialmente en edificios de magnitud o tamaño.” (Pag.32)

En resumen, se recomienda:

$$\Sigma \text{Longitudes placas de 20 cm} \geq \text{Área total del edificio}/120$$

$$\text{Área Total del edificio} = \text{Área por piso} * \# \text{ de Pisos}$$

2.2.6. Predimensionamiento

El predimensionado consiste en estimar una dimensión provisional de acuerdo a los criterios y recomendaciones establecidas, sobre la base de la práctica del ingeniero "Antonio Blanco Blasco" y de las que se estipulan en el “Norma técnica de concreto armado E.060”

2.2.6.1. Predimensionamiento Losa aligeradas

Blanco (1994) sostiene, “Se puede usar el peralte de losa aligerada, tomando en cuenta los parámetros de la tabla:

Tabla 3

Dimensiones losas en una dirección

Dimensiones según criterios	
Luz libre “menor a 4.00 m.”	h = 17 cm.
Luz libre “entre 4.00 a 5.50 m.”	h = 20 cm.
Luz libre “entre 5.00 a 6.50 m.”	h = 25 cm.
Luz libre “entre 6.00 a 7.50 m.”	h = 30 cm.

Fuente: Delgado 2011

Se considerar que h es la altura total de la losa aligerada, donde se incluye los 5 cm de losa” (p.36)



Según la Norma E.060 para los aligeradas tendremos:

Tabla 4

Dimensiones losas aligeradas

Losas Aligeradas en una dirección	Losas Aligeradas en dos direcciones
Simplemente apoyada: $h = L/22$	$h = \text{perímetro} / 180$
Ambos apoyados: $h = L/25$	
En voladizo: $h = L/10$	

Fuente: Delgado 2011

Asumiremos para nuestro caso:

$$h \geq \frac{L}{25}$$

Dónde: $h =$ Peralte de la losa

$L =$ Longitud más crítica (entre ejes de columna)

2.2.6.2. Predimensionamiento de losas macizas

Blanco (1994) sugiere, “se puede dimensionar las losas macizas teniendo en cuenta el espesor de la losa aligerada, el cual se debe restar 5 cm para obtener el espesor de la losa maciza” sugieres los siguientes espesores:

Tabla 5*Dimensiones losas Macizas*

Dimensiones según criterios	
Luces \leq 4.00 m.	h = 12 o 13 cm.
Luces \leq 5.50 m.	h = 15 cm.
Luces \leq 6.50 m.	h = 20 cm.
Luces \leq 7.50 m.	h = 25 cm.

Fuente: Delgado 2011

Las dimensiones mencionadas pueden reducirse si se tienen en cuenta las losas en ambas direcciones. Las losas macizas actúan y se comportan como en dos direcciones, a menos que las aristas formadas por vigas o muros no lo estén en una. Si la losa tiene los cuatro bordes formados por vigas o muros, su comportamiento será natural en 2 direcciones” (Pág. 38)

De la norma de concreto armado E.060, en losas macizas continuas con s/c menores a 300 kg/m² y luces menores de 7,5 m, podrá dejar de verificarse las deflexiones. Se usará la siguiente formula:

$$h = \frac{Ln}{40}$$

$$h = \frac{Perimetro}{180}$$

Dónde: Ln = Longitud más crítica de cualquier lado de la losa.

2.2.6.3. Predimensionamiento Vigas

De la norma de concreto armado E.060, recomienda:

$$h = \frac{L}{10} \geq 0.25 \text{ m}$$

$$h = \frac{L}{12} \geq 0.25 \text{ m}$$



$$b = 0.3h @ 0.5h \geq 0.25m$$

Dónde: b = Base de la viga

h = Peralte de la viga

L = Longitud más crítica (entre ejes de columna)

Blanco (1994), las dimensiones más usuales en vigas son:

- “Luces ≤ 5.50 m” \rightarrow 25 x 50, 30 x 50
- “Luces ≤ 6.50 m” \rightarrow 25 x 60, 30 x 60, 40 x 60
- “Luces ≤ 7.50 m” \rightarrow 25 x 70, 30 x 70, 40 x 70, 50 x 70
- “Luces ≤ 8.50 m” \rightarrow 30 x 75, 40 x 75, 30 x 80, 40 x 80
- “Luces ≤ 9.50 m” \rightarrow 30 x 85, 30 x 90, 40 x 85, 40 x 90

2.2.6.4. Predimensionamiento de Columnas

Blanco (1994), recomienda:

“Las columnas deben tener un tamaño teniendo en cuenta tanto el momento de flexión como la carga axial, ya que están sujetos a ella. De igual manera, evaluamos cuál de los dos es influyente en el dimensionamiento. Cuando analizamos un edificio con un número grande de niveles podemos mencionar que la carga axial jugará un papel importante en la estructura, contrario al momento en que se dimensiona buscando una sección total con el objetivo la carga axial en servicio ejerce un esfuerzo de 0.45 f’c. Por el contrario, si analizamos un edificio con luces pequeñas, pero de gran importancia, podemos mencionar que los momentos pueden generar excentricidades muy importantes, es decir buscamos tener una sección con un peralte significativo, que la dirección debe con referencia al momento más crítico”. (Pag.41)



Según la norma E.060, tenemos:

- En columnas centrales

$$\text{Area de columna} = \frac{P(\text{Servicio})}{0.45 * frc}$$

$$P(\text{servicio}) = AT * P * n$$

Donde, AT es la Área Tributaria; n es el número de pisos.

- En columnas exteriores

$$\text{Area de columna} = \frac{P(\text{Servicio})}{0.35 * frc}$$

2.2.6.5. Predimensionamiento Placas

Blanco (1994), afirma:

“El espesor de las placas puede ser considerado desde 10 cm. como mínimo, pero en muchos casos como los de pocos niveles, prefieren establecer 15 cm. de espesor en las placas. Estos valores varían en según aumenta o disminuye el número de pisos (20, 25 o 30 cm.). Se han proyectado un gran número de edificios que pueden alcanzar hasta 30 pisos, pero si nos referimos a edificios con placas, nos referimos a 20 pisos considerando un espesor de 25 cm aproximadamente y de longitudes considerables para estos. Por otro lado, si hay un pequeño número de placas en una dirección, es probable que se necesiten espesores grandes como 40, 50 o 60 cm de espesor”. (pág. 63)

2.2.7. Cargas, Fuerzas y Combinaciones de Cargas

De acuerdo con la norma peruana de concreto armado, los edificios deben considerar las respectivas cargas que deben tenerse en cuenta al analizar estructuralmente un edificio, porque al analizar un edificio se deben tener en cuenta las fuerzas y las cargas (cargas vivas y cargas muertas).

2.2.7.1. Cargas y Fuerzas

Toda edificación, en este caso un modelo de sistema estructural estará sometido a cargas y fuerzas producidas por peso propio, cargas vivas, fuerzas de sismo entre otras las cuales producirán efectos ambientales en la estructura, asentamientos diferenciales, cambios en las secciones que restringen a la estructura a analizar.

2.2.7.2. Carga Muerta

Consideramos que las cargas muertas son el peso del edificio. Esta carga es también llamada carga permanente y en muchos casos en los programas se le llama "Dead" simbolizado como "D". Consideramos las cargas muertas como los acabados y tabiquería del edificio. En algunos casos, existen cargas adicionales que pueden ser consideradas como cargas permanentes, por ejemplo: áreas de vegetación, bancas de concreto, etc.

Tabla 6

Pesos unitarios en materiales

Materiales Albañilería de:	Peso KN/m³ (Kgf/m³)
Unidades de arcilla cocida sólidas	18.0 [1800]
Unidades de arcilla cocida huecas	13.0 [1350]
Concreto Simple de:	
Cascote de ladrillo	18.0 [1800]
Grava	23.0 [2300]
Concreto Armado	Añadir 1.0 [100] al peso del concreto simple
Acero	78.5 [7850]

Fuente: Norma de Cargas E.020

2.2.7.3. Carga Viva

Según la norma E.020, nos dice: "Se utilizan como valores mínimos los que se mencionan en la tabla 3.1.1 del tercer capítulo de la norma, según los diferentes tipos de uso. En caso de que el uso u ocupación del edificio no esté en dicha tabla, el ingeniero



responsable determinará el valor de la carga viva proporcionando soporte detallado del peso utilizado

En cada plano del proyecto, se deberá indicar claramente el valor de lo considerado en dicho edificio”. Además, indica los pesos unitarios de los materiales en el anexo 1, algunos de los cuales mencionamos a continuación:

Tabla 7

Cargas vivas mínimas repartidas

Ocupación o Uso	Cargas Repartidas kPa (kgf/m ²)
Almacenamiento	5.0 [500] Ver 3.1.4
Centros de Educación	
Aulas	2.5 [250]
Talleres	3.5 [350] Ver 3.1.4
Laboratorios	3.0 [300] Ver 3.1.4
Pasillos y escaleras	4.0 [400]
Garajes	
Estacionamientos para vehículos con altura menor de 2.40 m	2,5 [250]
Hospitales	
Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio	3.0 [300]
Cuartos	2.0 [200]
Pasillos y escaleras	4.0 [400]
Hoteles	
Cuartos	2,0 [200]
Almacenaje y servicios	5.0 [500]
Viviendas	
Pasillos y escaleras	2,0 [200]

Fuente: Adaptado de la Norma de Cargas E.020

La carga viva de cada piso del edificio se aplica la reducción de Carga Viva, propuesto en el capítulo 3, artículo 3.5 de la Norma Peruana de Carga E.020. Según la siguiente formula:

$$L_r = L_o \left(0.25 + \frac{4.60}{\sqrt{A_i}} \right)$$

Dónde: L_r = Intensidad de la carga vida [reducida]



Lo = Intensidad de carga viva [sin reducir]

Ai = Área de influencia en m^2

$Ai = K \times At$

K = Factor de Carga viva, según el tipo de elemento estructural

At = Área Tributaria”

Para aplicar la reducción debemos cumplir los siguientes criterios:

- El área de influencia debe ser superior los $40 m^2$.
- El Lr no debe superar $0.5*Lo$.
- Para las columnas o muros estructurales que soporten más de un piso debemos sumar las áreas de influencia de los niveles contiguos.
- Para los estacionamientos vehiculares no podemos reducir la carga viva, excepto para columnas y muros estructurales de más de 2 niveles, como máximo 20%.
- En losas de una dirección, el área tributaria que se usara para calcular el área de influencia no debe superar al producto de la luz libre por el ancho de 1.5 veces de la luz libre.

2.2.7.4. Carga de Sismo

Las vibraciones superficiales o movimientos sísmicos generan cargas que debe soportar la edificación, transmitidas por interacción con el suelo, haciendo que la estructura responda.



2.2.7.5. Combinaciones de Cargas

Según nuestra norma E.060 se debe considerar las situaciones más desfavorables para nuestro diseño, para concreto armado las combinaciones propuestas son:

Tabla 8

Combinaciones propuestas de diseño

Combinaciones de Diseño	
COMBO 1	1.4 D
COMBO 2	1.4 D + 1.7 L
COMBO 3	1.25 (D + L) + SX
COMBO 4	1.25 (D + L) – SX
COMBO 5	1.25 (D + L) + SY
COMBO 6	1.25 (D + L) – SY
COMBO 7	0.9 D + SX
COMBO 8	0.9 D – SX
COMBO 9	0.9 D + SY
COMBO 10	0.9 D – SY

Cargas muertas (D), vivas (L) y sismo (Sx, Sy).

Fuente: Delgado 2011

2.2.7.6. Vulnerabilidad Sísmica

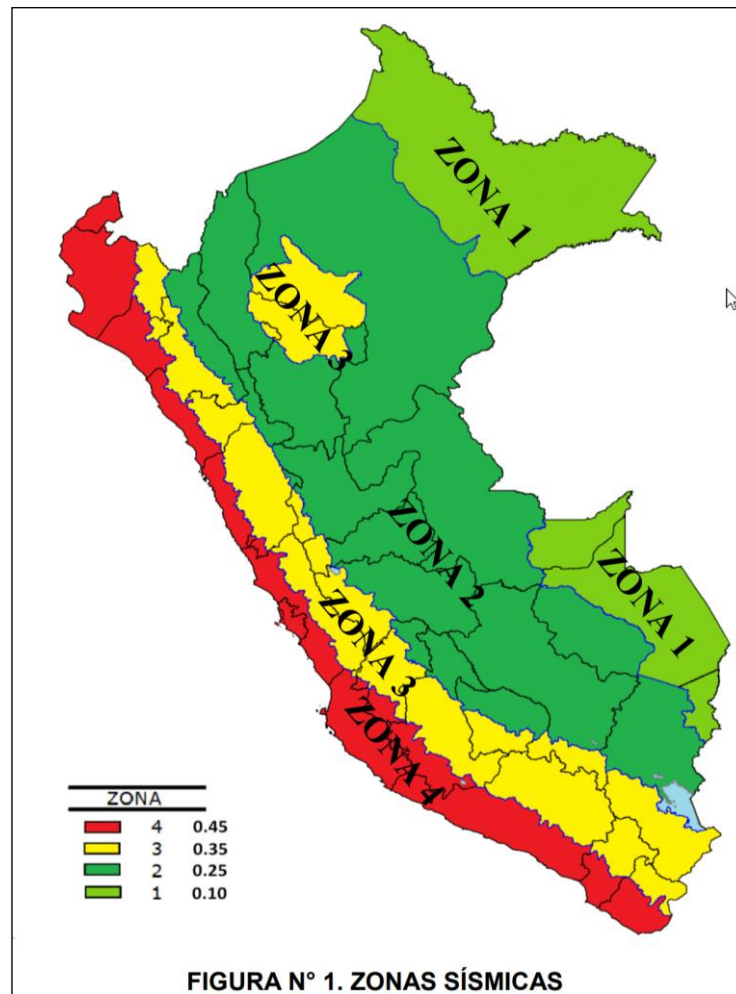
Según la norma Sismorresistente E.030, debemos tener en cuenta lo siguiente:

a) Zonificación

Perú está segmentado en 4 zonas sísmicas, su zonificación se basa en características de desplazamientos sísmicos, la distribución espacial de la sismicidad generada, su relación a la distancia epicentral e información geotectónica.

Figura 7

Mapa de Zonas Sísmicas



Fuente: Norma Sismorresistente E.030

Se establece un factor para cada zona, el cual se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 9

Factor de Zona

Factor de Zona "Z"	
Zona	Factor
Z=4	0.45
Z=3	0.35
Z=2	0.25
Z=1	0.1

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

b) Estudios de sitio



Se tiene en cuenta cuando se limita y proporciona información sobre cualquier cambio debido a eventos u otros fenómenos naturales en el sitio de estudio.

c) Condiciones Geotécnicas

De la norma E.060, “los estratos de suelo se clasifican teniendo en cuenta la velocidad promedio de propagación de ondas de corte (\bar{V}_s), en el caso de suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} , el cual es obtenido por medio de una prueba de penetración estándar (SPT). Por el contrario, para suelos cohesivos, la resistencia al corte promedio ponderado debe realizarse en un suelo sin drenaje (\bar{S}_u)”. Tenemos cinco tipos de perfiles de suelo, que son los siguientes:

Tipo S0: Roca Dura

De la norma E.060, “Estas son rocas sólidas cuya velocidad propagación de la onda de corte V_s es mayor que 1,500 m/s. Es por esto que las mediciones deben realizarse en el lugar donde se ubica el proyecto o en todo caso, se considera las mismas características que la roca, es decir que tiene la misma formación con mayor o igual fractura. Después de saber si la roca dura es continua bajo una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de la onda de corte en la superficie se pueden usar para inferir el valor de V_s .”

Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos

De la norma E.060, “Para rocas de diferentes grados de fracturamiento, es decir macizos homogéneos y suelos con alta rigidez, cuyas velocidades de propagación de ondas de corte V_s entre 500 m/s y 1.500 m/s.” A su vez, también debe incluir los casos sobre los que se realizan las cimentaciones en la tabla siguiente:

Tabla 10

Casos de Cimentación para Perfil Tipo S1

Casos de Cimentación

Para las Rocas fracturadas que tienen una resistencia a la compresión, no confinada que sean mayores o igual a 500 kPa (5.00 kg/cm²). En caso de la arena o grava que son muy densas con N60 que supera los 50 kPa.

Las arcillas muy compactadas que cuentan con un espesor menor a 20 m, con una resistencia al corte en condición no drenada mayor 100 kPa (1.00 kg/cm²) y con un aumento gradual de sus propiedades mecánicas respecto a la profundidad.

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

Tipo S2: Suelos Intermedios

Son los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de ondas de corte (V_s), que van entre 180 m/s y 500 m/s. También se debe incluir según la siguiente tabla:

Tabla 11

Casos de Cimentación para Perfil Tipo S2

Casos de Cimentación

Para la arena densa o grava arenosa parcialmente densa,

Las cuales cuentan con valores SPT N60, entre 15 - 50.

En el caso de los suelos cohesivos compactados con una resistencia al corte en condiciones no drenadas, que va entre 50 kPa (0.50 kg/cm²) y 100 kPa (1.00 kg/cm²), con un aumento gradual de sus propiedades mecánicas respecto a la profundidad.

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

Tipo S3: Suelos Blandos

Se considera a los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s , menores o igual a 180 m/s, debiéndose incluir los siguientes casos en la cimentación:

Tabla 12

Casos de Cimentación para Perfil Tipo S3

Casos de Cimentación
<p>Para arena media/fina o gravas que son arenosas, que tienen un valor de SPT N60 menores a 15.</p> <p>En caso de suelos blancos cohesivos, que consideren una resistencia al corte en condición no drenada, que está entre 25 kPa (0.25 kg/cm²) Y QUE 50 kPa (0.50kg/cm²), con un aumento gradual de sus propiedades mecánicas respecto a la profundidad.</p> <p>Los suelos que no pertenezcan al tipo S4 y además que cuente con 3 m., a más de suelo con el índice de plasticidad superior a 20, el contenido de humedad debe ser superior al 40% y resistencia al corte menor al 25.00 kPa en condición no drenada</p>

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

Tipo S4: Condiciones Excepcionales

Estos son los suelos que rara vez se muestran flexibles y en lugares de condiciones geológicas y topográficas desfavorables. En el caso en que el Estudio Mecánico de Suelos (EMS) indique que es necesario tener en cuenta un suelo de S4, se tomara en cuenta:

a) Parámetros de sitio

Se debe considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones y características del sitio de estudio, usando valores en función del factor de suelo S y los periodos TP y TL.

Tabla 13*Factor del Suelo*

Factor de Suelo (S)				
Zona	Suelo = So	Suelo = S1	Suelo =S2	Suelo = S3
Z=4			1.05	1.10
Z=3	0.8	1.00	1.15	1.20
Z=2			1.20	1.40
Z=1			1.60	2.00

Fuente: Norma Sismorresistente E.030**Tabla 14***Periodos de Perfil de suelo*

Periodos "Tp" - "TL"				
Periodos	Perfil =So	Perfil =S1	Perfil =S2	Perfil =S3
Tp (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
TL (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma Sismorresistente E.030**b) Factor de amplificación sísmica (C)**

Dependiendo de las características del área de estudio, la amplificación sísmica (C) se calculará de la forma siguiente:

Tabla 15*Factor de Amplificación Sísmica*

Factor de Ampliación Sísmica	
$T < T_p$	$C = 2.5$
$T_p < T < T_L$	$C = 2.5 \times (T_p / T)$
$T > T_L$	$C = 2.5 \times (T_p \times T_L) / T^2$

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

De donde T es el Período y el C es Coeficiente.

2.2.8. Diseño Estructural

Para el diseño estructural se tomarán en cuenta los siguientes conceptos.

2.2.8.1. Conceptos básicos

La resistencia de diseño también se denomina resistencia nominal de cada elemento, la cual se modifica por factor de resistencia en según la demanda, en cuanto tenemos tres diseños de resistencia, que son:

- Flexión : $\phi M_n \geq M_u$
- Cortante : $\phi V_n \geq V_u$
- Axial : $\phi P_n \geq P_u$

Los factores de reducción mencionados anteriormente se describen en la norma E.060, dependiendo de la sollicitud estructural.

Tabla 16

Factores de reducción de resistencia

Solicitaciones	Factores de Reducción ϕ
Flexión sin carga Axial	0.90
Carga Axial de tracción con o sin flexión	0.90
Elementos con refuerzo en espiral	0.75
Cortante y torsión	0.85
Flexocompresión puede aumentar linealmente	0.90
Aplastamiento en el concreto	0.70
Zonas de anclaje postensado	0.85

Fuente: Norma de Concreto Armado E.060

Al mismo tiempo tenemos que tener en cuenta que el acero es uno de los materiales importantes para tener una estructura adecuada, lo que ayuda a dar resistencia y seguridad a la estructura. Es por ello que para cada elemento estructural se debe colocar la cantidad de acero requerida (cuantía), para ello se debe tener en cuenta los diámetros y las secciones (cm²) que existen de las diferentes varillas de acero corrugadas.

Tabla 17

Secciones de Varillas de Acero

Ø de Varilla	As(cm²)
Ø 1/4"	0.32
8mm	0.50
Ø 3/8"	0.71
Ø 1/2"	1.29
Ø 5/8"	2.00
Ø 3/4"	2.84
Ø 1"	5.10
1 1/8"	6.45

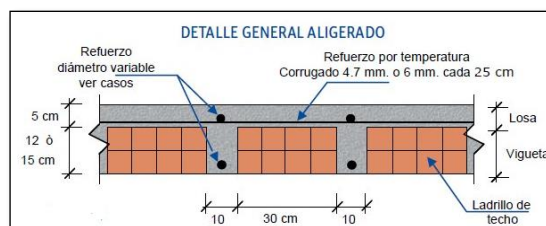
Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.2. Diseño Losas aligeradas

Losas aligeradas, que se componen de viguetas, que generalmente tienen un espesor de 5 cm, con ladrillo huecos y armaduras.

Figura 8

Detalle de losa



Fuente: Elaboración propia

2.2.8.3. Espaciamiento de estribos en vigas

En la norma de E.060 capítulo 21, Nos indican lineamientos para el diseño sísmico de cortante y confinamiento de vigas. Por eso indica el diámetro mínimo utilizado para los estribos según las varillas longitudinales.

Tabla 18

Diámetro de varillas para estribos de Viga

Escribo (\emptyset)	Varilla Longitudinal (\emptyset)
8 mm	5/8"
3/8"	1"
1/2"	Mayores de 1"

Fuente: Norma de Concreto Armado E.060

Además, se recomienda el espaciamiento máximo que deben tener los estribos de la viga sísmica, los cuales deben cumplir los criterios:

E.060 (2016), Para ambos extremos de la viga, se deben colocar estribos de contención o confinamiento. Donde el primer estribo de contención debe estar alejado de la cara del miembro de soporte por no más de 10 cm.

Además, los estribos no deben tener su espaciamiento superior a:

- $d/4$, no hace falta que el espaciamiento sea menor a 15 cm
- 10 veces el \emptyset de la varilla de acero longitudinal confinada con menor \emptyset .
- 24 veces el \emptyset de la varilla de acero del estribo de confinamiento
- 30 cm.

En el caso de los estribos que no estén en el confinamiento, no deberán estar espaciados a más de $0.5d$ a lo largo de la viga.

2.2.8.4. Diseño de Columnas

Tendremos en cuenta lo siguiente:

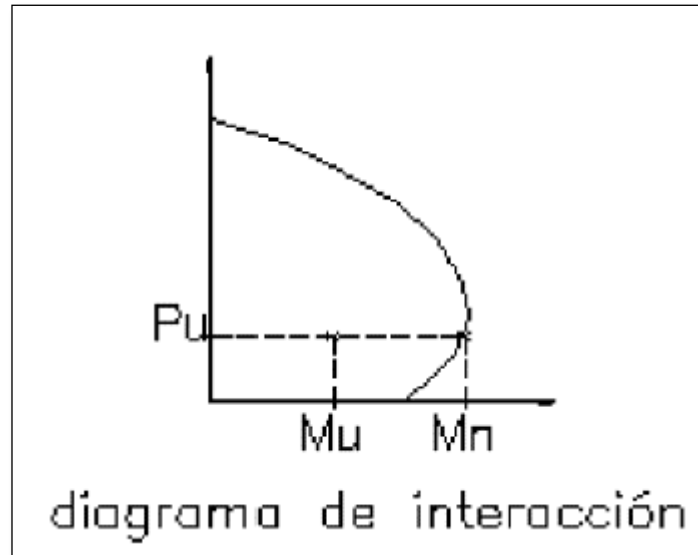
Diseño por Flexocompresión Uniaxial

E.060 (2016), "Las columnas se ven afectadas por cargas axiales y considerables esfuerzos de compresión afectan su comportamiento frente a demandas de momento. Esta ocurrencia simultánea de cargas axiales y momentos de flexión se denomina compresión

por flexión. La curva que conecta simultáneamente la resistencia a la compresión y la resistencia a la compresión de una columna se llama diagrama de interacción.”

Figura 9

Diagrama de Interacción



Fuente: Norma de Concreto Armado E.060

E.060 (2016), “En el artículo 10.9.1 del capítulo 10, se mencionan los límites de la cantidad de acero longitudinal que debe tener una columna, por lo que se indica que el mínimo de cuantía es de 0.01 a afrontar los efectos del flujo plástico en el concreto y la cantidad máxima de 0.06 para evitar la congestión del acero en los elementos.”

$$P_{min} = 1\%$$

$$P_{min} = 6\%$$



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño

3.1.1. Tipo de Investigación

De acuerdo a los objetivos de la investigación, tiene un enfoque Aplicada, ya que los conocimientos teóricos adquiridos en las asignaturas de estructuras de la escuela profesional de ingeniería civil fueron para realizar el diseño estructural de la edificación con cada propuesta, y pudiendo así realizar el dimensionamiento de estructuras que realizaremos mediante los softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es Descriptivo y Explicativo, ya que describimos los procesos estructurales propuestos, analizamos el comportamiento estructural y compararemos los resultados obtenidos de los softwares que presenta, la investigación revelará las diferencias entre todas las concepciones.

3.1.3. Diseño de Investigación

El diseño que se aplicó en este estudio es No Experimental, ya que no controlaremos ni manipularemos variables, por lo que observaremos y analizaremos los diseños propuestos para la infraestructura educativa en estudio. Además, tiene un diseño Transversal, ya que obtuvimos datos y especificaciones para cada comportamiento individual de una sola vez para cada diseño estructural. A su vez, tendrá un enfoque Cuantitativo porque obtendremos información concreta procesable, esta información se estructurará para llegar a una conclusión más efectiva basada en datos estadísticos.



Además, el estudio corresponde al análisis Comparativo, porque se realiza la comparación de las variables: Sap2000, Etabs, Cypecad Y Revit Estructure. Se tiene el siguiente diagrama:

$$O \rightarrow C$$

$$O_1 \rightarrow C_1$$

$$O_2 \rightarrow C_2$$

$$O_3 \rightarrow C_3$$

$$O_4 \rightarrow C_4$$

De donde:

O: “Objetivo general”

C: “Conclusión general”

O_n : “Objetivo específico”

C_n : “Conclusión específica”

3.2. Caso aplicativo

3.2.1. Población

El universo poblacional está constituido por el proyecto: Infraestructura para la institución educativa de Sorapa de la provincia de Chucuito Juli – Puno – Perú.

3.2.2. Muestra

La muestra probabilística es: Proyecto estructural de la infraestructura para la institución educativa de Sorapa.

3.2.3. Descripción del caso aplicado

A. Ubicación y Acceso

La institución educativa secundaria técnico agropecuario se ubica en el departamento de Puno, provincia de Chucuito, distrito de Juli y en el centro poblado de

Sorapa en una zona rural, en el cuadro se detalla tipo de vía, distancia y tiempo de viaje tomando en referencia la plaza de armas de Juli hasta IESTA Sorapa.

Tabla 19

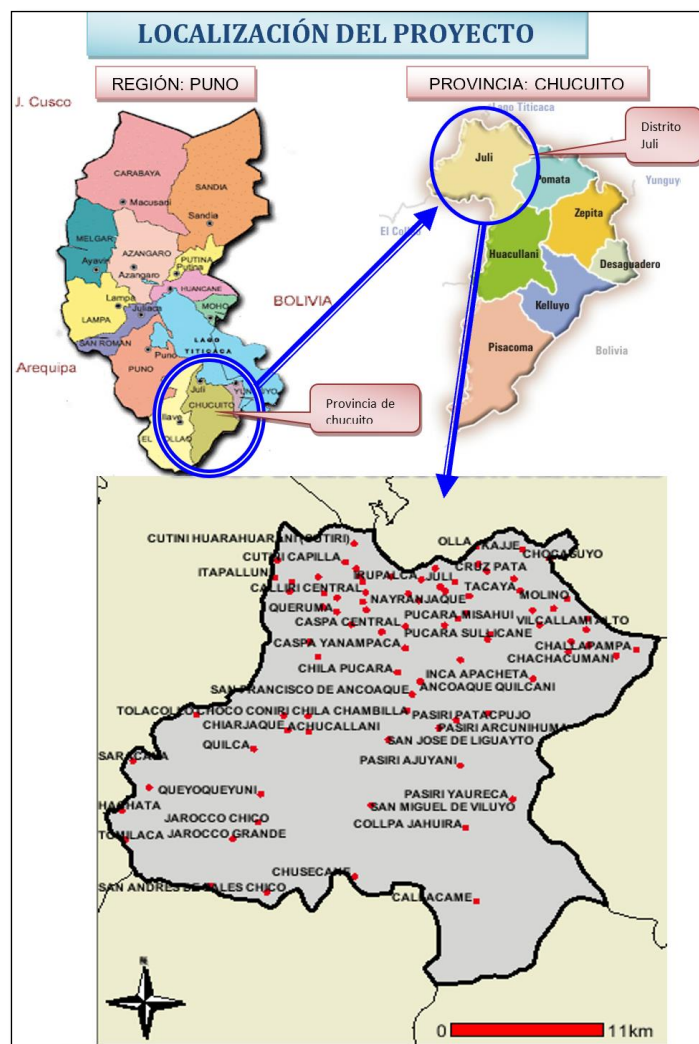
Acceso al lugar del proyecto.

Tipo de vía	Distancia	Tiempo	Distancia total	Tiempo total
Vía asfaltada	2.1 km	5 min	37.3 km	90 min aprox.
Trocha carrozable	35.2 km	85 min		
Otros	-	-		

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Figura 10

Localización de la IES Sorapa



Fuente: Proyecto Invierte Código único 2538535



B. Altura

El Terreno de la Institución Educativa se ubica en una altura de 3924.07 m.s.n.m., siendo la superficie llana y semibordeada por cadenas cerros.

C. Cartografía

Las coordenadas UTM WGS 84, son las siguientes:

- Este: X: 429870.62
- Norte: Y: 8190994.38
- Cota: Z: 3924.07

D. Características geométricas del terreno

El área total del terreno de la Institución Educativa Secundaria Técnico agropecuaria de Sorapa es de 6,550.74 m², el perímetro es de 332.37 ml, el área construida es aproximadamente de 1,886.89 m² y el área libre es de 4,663.85 m², la orientación del terreno de la Institución Educativa es de Nor-Este a Sur-Oeste tomando en cuenta la puerta principal del ambiente.

E. Descripción de la topografía del terreno

El terreno donde se desarrolló el presente estudio; tiene una topografía casi plana con una inclinación no mayor a 1.1 %; el predio de la Institución Educativa presenta cierta inclinación en dirección al Este - Oeste, En su mayoría el resto de los predios son casi planos.

A la fecha de realización de los trabajos de campo, no se registró accidente topográfico alguno de consideración. Además, se verificó in situ y se descarta la Inexistencia de Restos Arqueológicos.



F. Descripción del estudio de mecánica de suelos

El estudio de mecánica de suelos se obtuvo del perfil de proyecto subido a la base de datos de Invierte.pe con código único de inversiones “2538535” y que para la presente investigación nos servirá para determinar los parámetros sísmicos asumidos en el modelamiento, mas no para el diseño de la cimentación, puesto que no todos los softwares en el análisis comparativo realizan el diseño de cimentaciones.

El estudio de suelos nos permitió dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el tipo de cimentación más acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar, es así que en el terreno de la institución educativa se realizó 03 calicatas.

Según el estudio de mecánica de suelos, se realizó la exploración de suelo mediante calicatas correspondientes, para realizar luego los ensayos con el penetrometro de bolsillo. La capacidad de carga admisible del suelo encontradas para cada calicata es de 0.71 kg/cm², 0.80 kg/cm² y 0.90 kg/cm².

La zona de estudio se extiende sobre un depósito cuaternario holocena y pleistocena en todo el proyecto que corresponde a estratos sueltos o suelos Intermedios. La información del Estudios de mecánica de suelos se considera en el Anexo Estudio de Mecánica de Suelos.

G. Descripción arquitectónica del proyecto

El proyecto contempla la Construcción de pabellones educativos, la cual comprende la construcción de ambientes educativos y accesos.

El Proyecto Arquitectónico de la Institución Educativa Secundaria Técnico Agropecuaria de Sorapa, consiste en la dotación de una edificación destinada a la

enseñanza y aprendizaje de diferentes temas, impartidas a personas de toda edad o grado de instrucción y está compuesto por aulas educacionales de diferentes capacidades, Laboratorios, Aulas especiales para investigación, todas dotadas con equipamiento de primera calidad, también se tiene otros bloques de servicios que complementan al funcionamiento del edificio académico, como por ejemplo la biblioteca, centros de cómputo, cajas de escaleras.

Se tiene como meta la Construcción de pabellones educativos y equipamiento de acuerdo a los planos arquitectónicos correspondientes y el presupuesto del presente proyecto, los espacios requeridos se encuentran en la tabla siguiente.

Tabla 20

Metas de infraestructura de la IES de Sorapa.

ZONAS	AMBIENTES	CANTIDAD	Área(M2)	
ZONA PEDAGÓGICA	Aula funcional de desarrollo personal	2	49.1112	
	Aula funcional para estudios sociales y ciudadanía	2	49.1113	
	Aula funcional de comunicación	2	49.1113	
	Aula funcional de idioma	2	49.1113	
	Aula funcional de matemáticas	2	49.1113	
	Aula funcional de arte incluye deposito	1	74.4713	
	Aula funcional de ciencia y tecnología	2	74.5094	
	Deposito	1	17.9787	
	Depósito de gas	1	5.1063	
	Aula funcional educación para el trabajo (Taller de operaciones de computadoras /diseño gráfico)	1	74.4789	
	Módulo de educación física y deportes	Aula funcional	1	49.1113
		Deposito	1	7.5775
		Vestidores y SS HH varones	1	16.605
		Vestidores y SS HH mujeres	1	16.605
		Losa deportiva y graderías	1	600
	Módulo de acompañamiento y consejería	Tópico psicopedagógico	1	24.1122
		Oficina de coordinación de tutoría	1	12.2175
		Módulos para tutoría individualiza y atención a padres de familia	1	3.19
		Centro de recursos tecnológicos (*)	1	74.4789
		Sala de usos múltiples	1	84.8843
	Patios	1	502.075	
SS HH Y VE STI	SS HH para estudiantes	1	21.6405	



	SS HH para discapacitados		1	5.8326	
	SS HH para docentes		1	2.925	
SERVICIOS GENERALES	Maestranza y limpieza		1	7.92	
	cocina		1	9.6066	
	despensa		1	6.72	
	cafetería		1	35.7534	
	Dirección y Sub dirección		1	18.9988	
ADMINISTRACIÓN	Sala de normas educativas		1	15.7425	
	Archivo (*)		1	4.1725	
	depósito de material educativo		1	9.8462	
	SS HH Administrativos		1	3.1875	
	Módulo de coordinación pedagógica	Sala de profesores		1	49.1113
		Oficina de coordinación pedagógica 1		1	11.7
	Oficina de coordinación pedagógica 2		1	11.7	

FUENTE: Invierte.pe condigo único de inversiones 2538535.

H. Planteamiento arquitectónico

Realice los planos arquitectónicos para mi tesis, teniendo en cuenta las condiciones planteadas en la Norma Técnica Peruana: “Criterios Generales de Diseño para Infraestructura Educativa” dadas por el ministerio de educación además teniendo en cuenta las necesidades indicadas en el proyecto de inversión con código único de inversiones 2538535 y como una respuesta a las necesidades de infraestructura indicadas en la tabla 21.

El diseño arquitectónico contempla la construcción de una infraestructura, en material concreto armado siendo en planta de forma rectangular y que se convierte en un vínculo entre el interior y el exterior que le dará cierta pasividad al flujo peatonal que se tendrá con dicho local por la cantidad de estudiantes que fluirán sobre todo en horas punta, Se han tomado en cuenta los requerimientos básicos de espacio, función educativa, iluminación óptima, asoleamiento todo de modo natural y controlado, y adecuada ventilación.



El proyecto cuenta con los siguientes ambientes:

Pabellón 01

1er Nivel

- Cafetería
- Deposito
- Cocina
- Deposito
- Deposito
- Sala de usos múltiples
- Vestidor y SSHH damas
- Vestidor y SSHH varones
- Aula funcional de educación física

2do Nivel

- Aula funcional de desarrollo personal
- Aula funcional de comunicación
- Aula funcional de comunicación
- Aula funcional de estudios sociales y ciudadanía
- Aula funcional de estudios sociales y ciudadanía

Figura 11

Plano de elevación lateral del pabellón 01

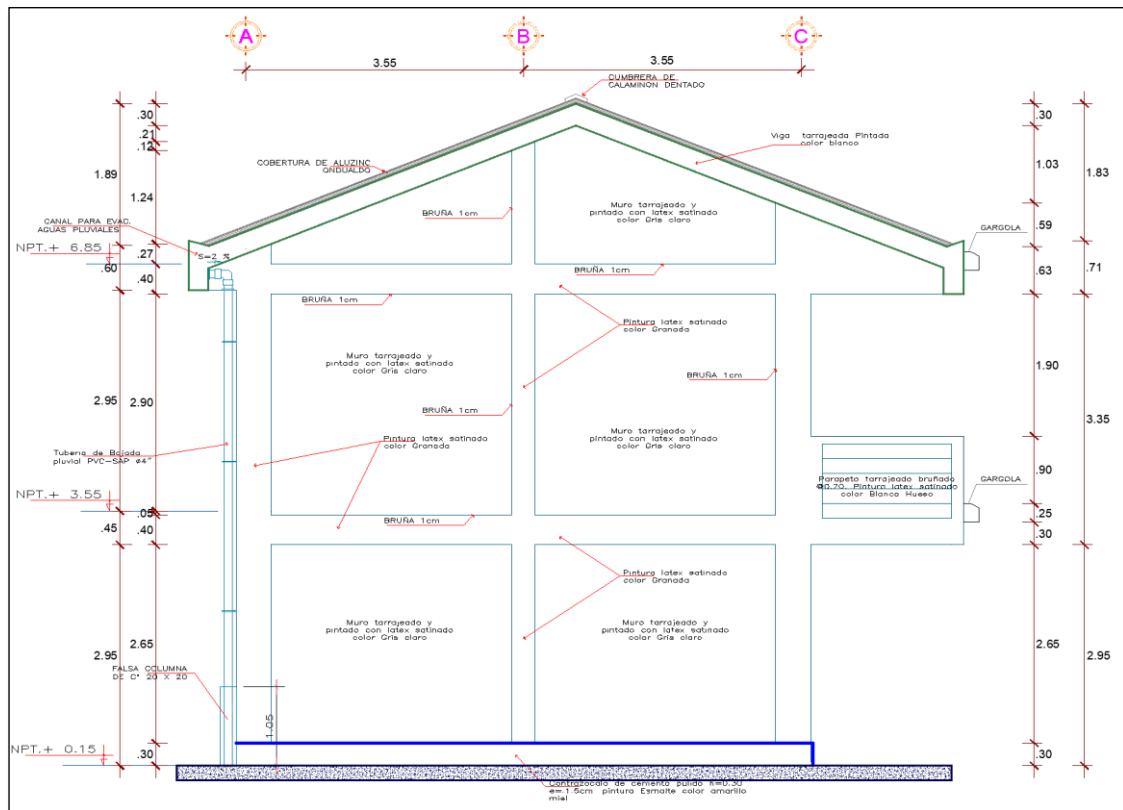


Figura 12

Plano de elevación frontal del pabellón 01-bloque A

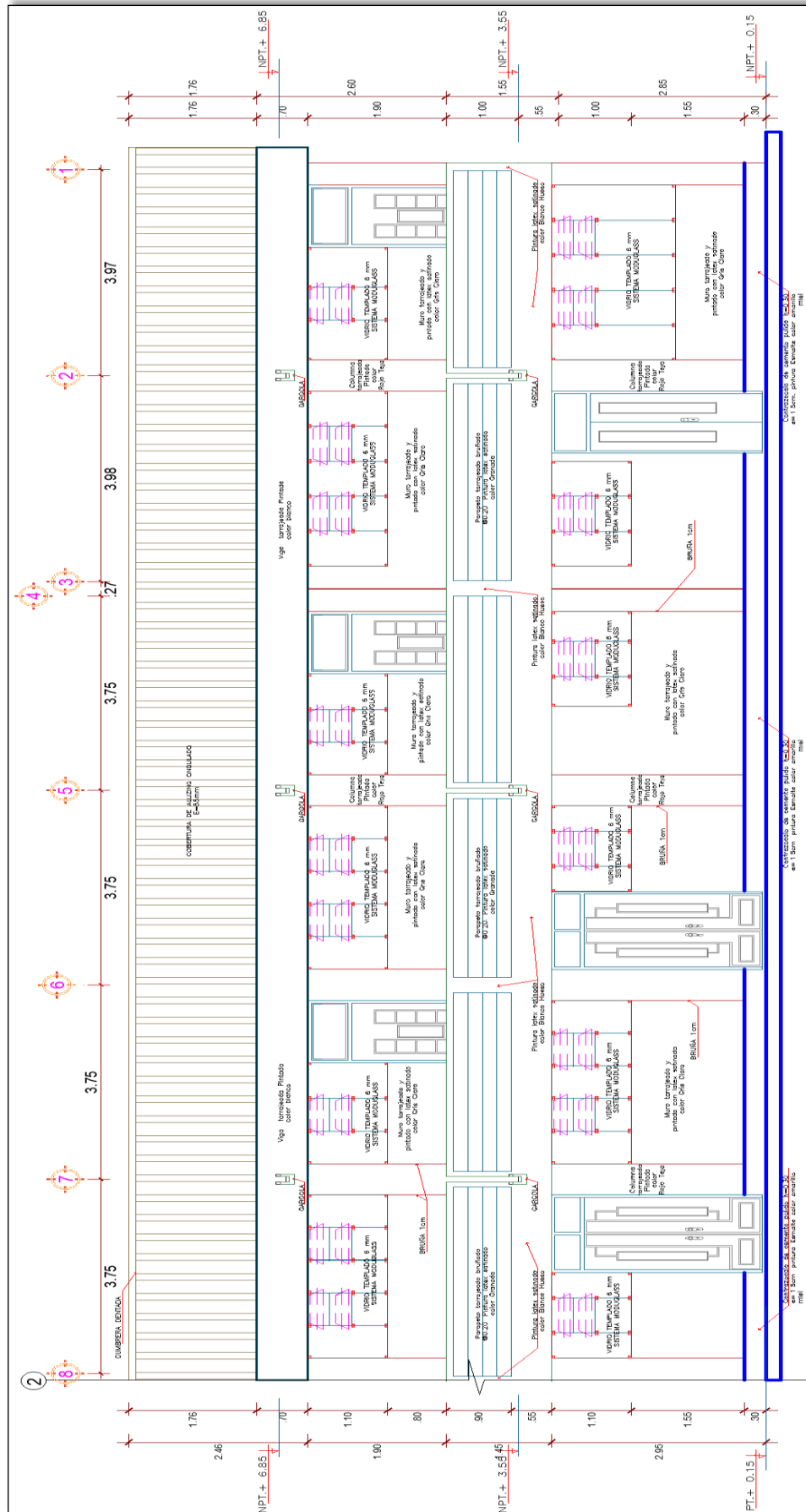


Figura 13

Plano arquitectónico del nivel 1 del pabellón 01-bloque A

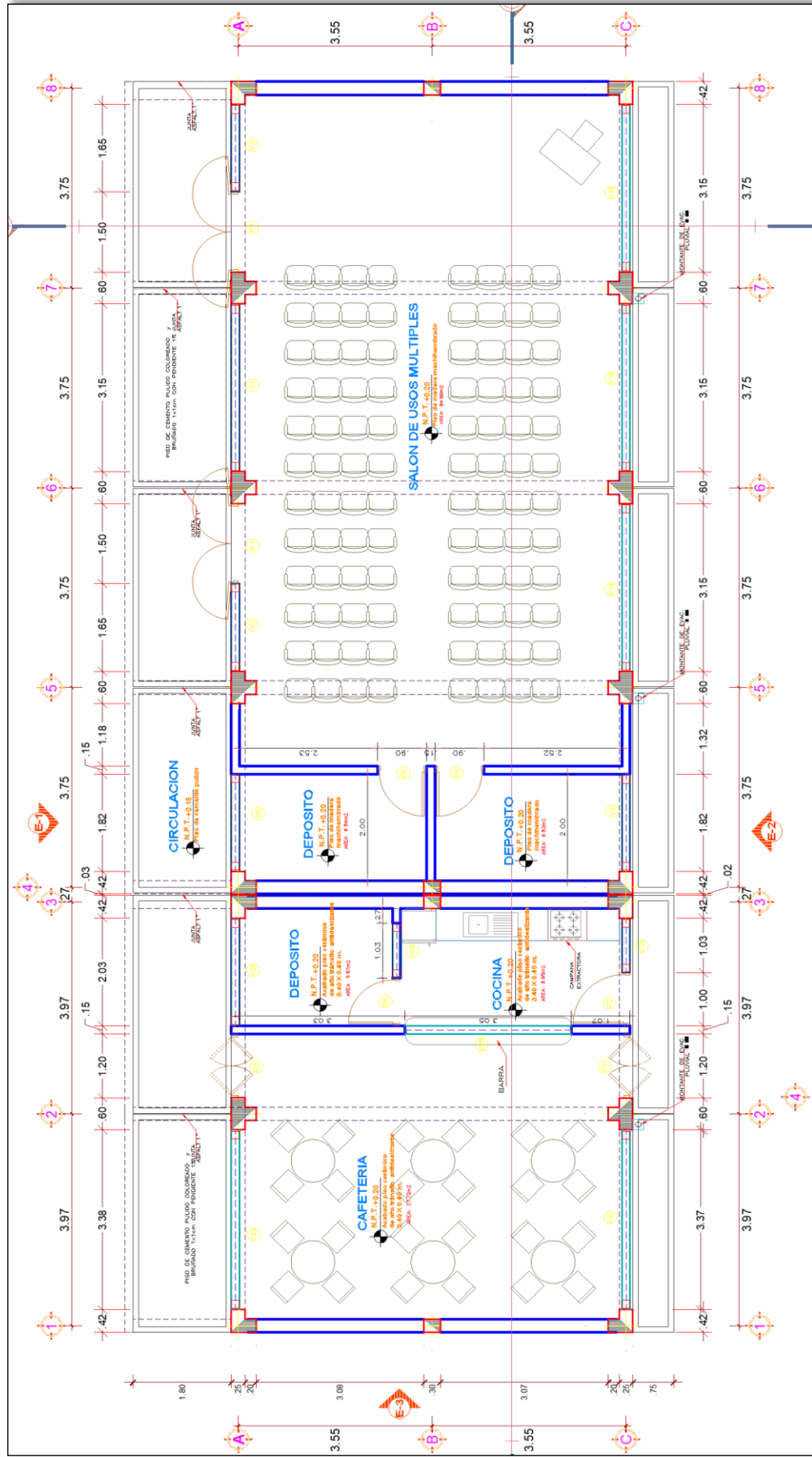


Figura 14

Plano arquitectónico del nivel 2 del pabellón 01-bloque A

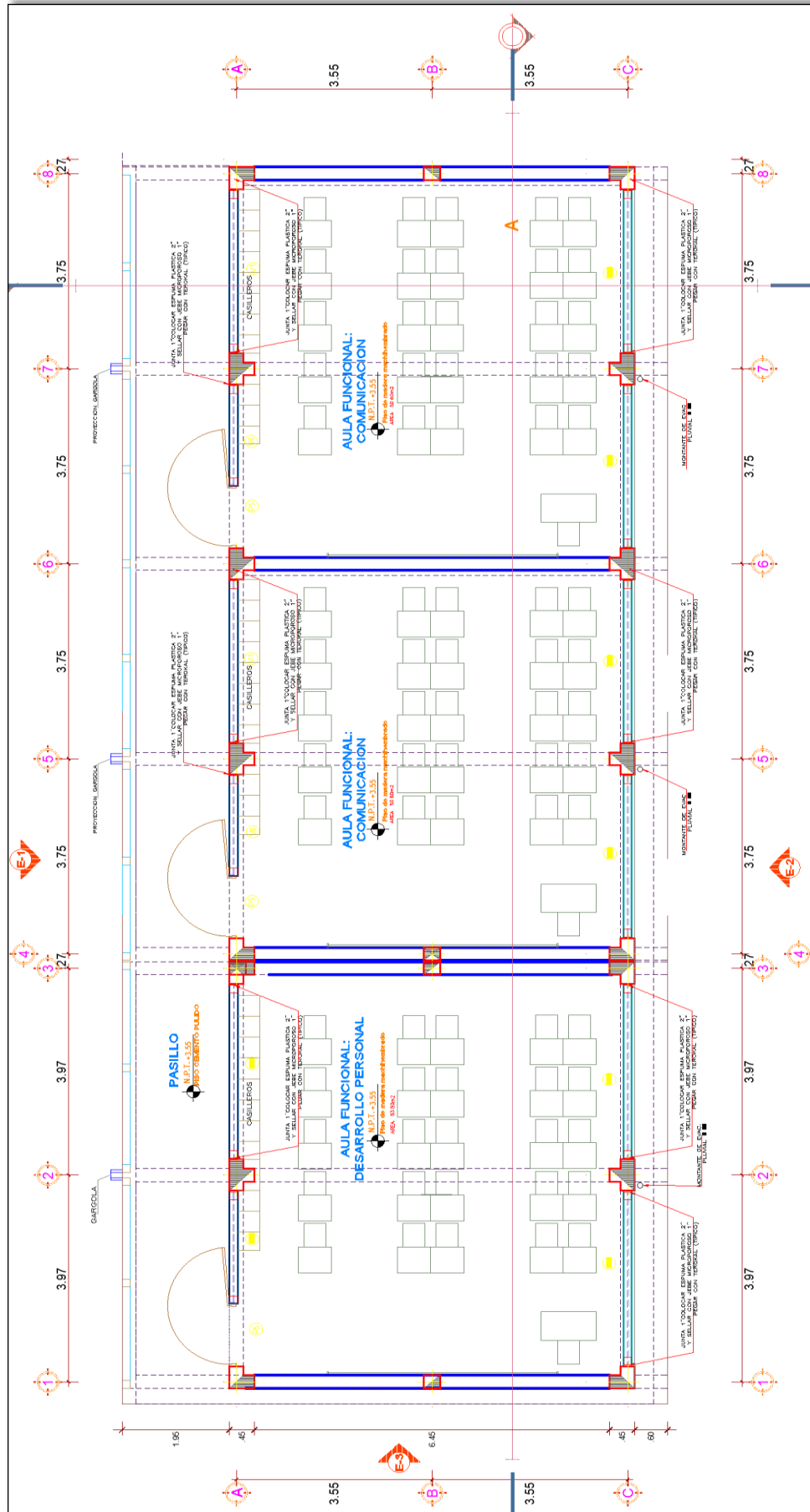


Figura 15

Plano de elevación frontal del pabellón 01-bloque B

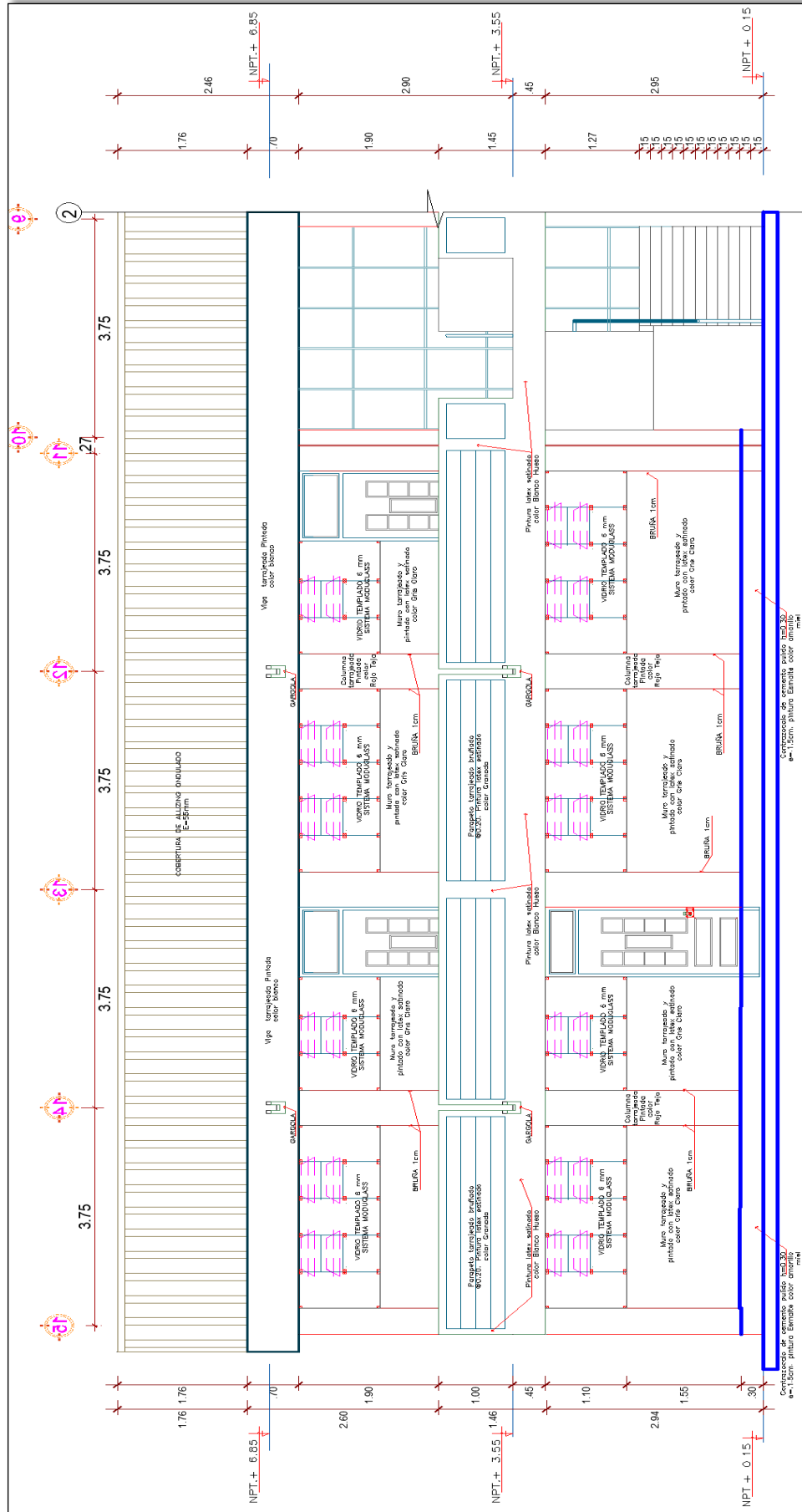


Figura 16

Plano del nivel 1 del pabellón 01-bloque B

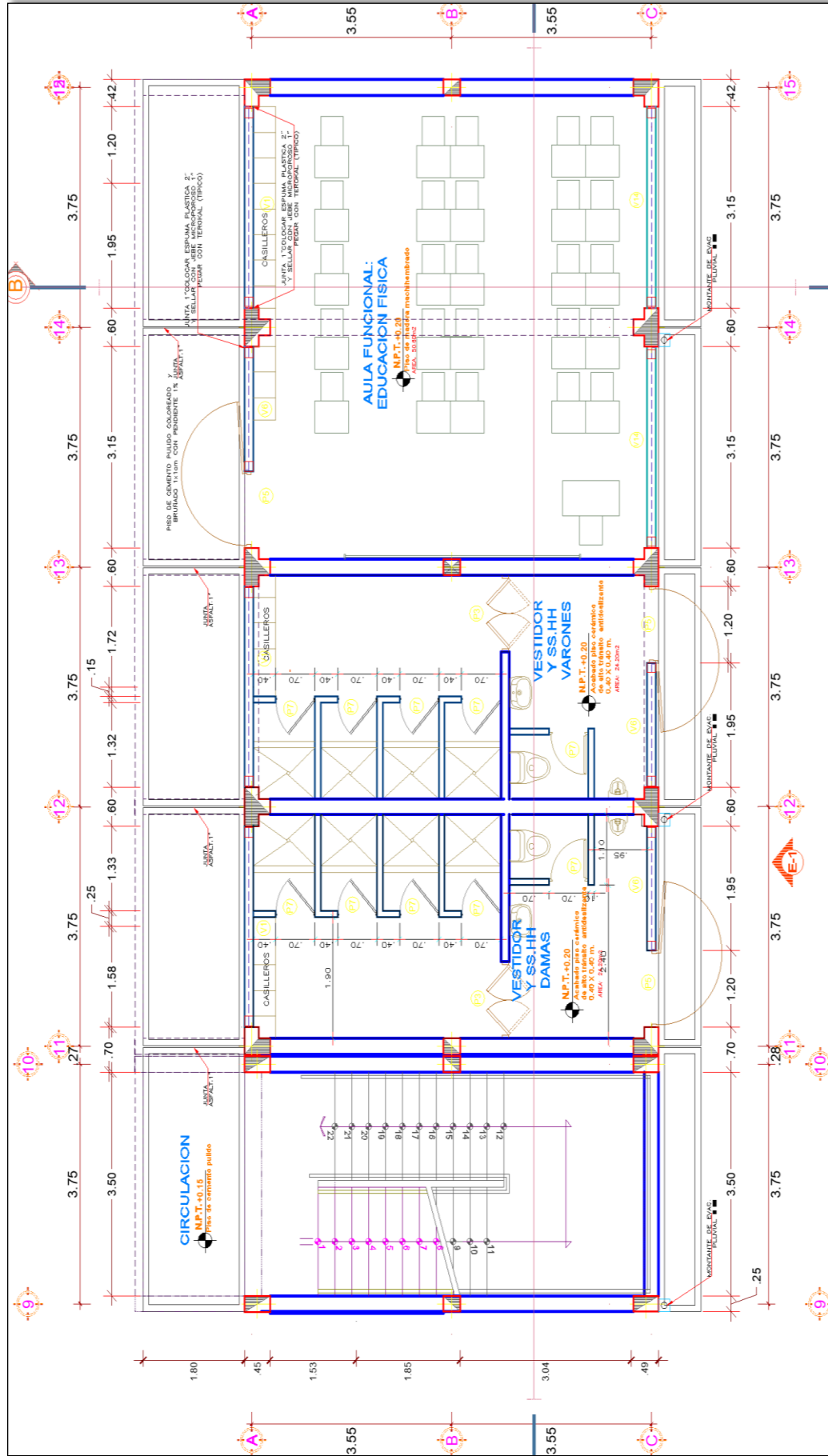
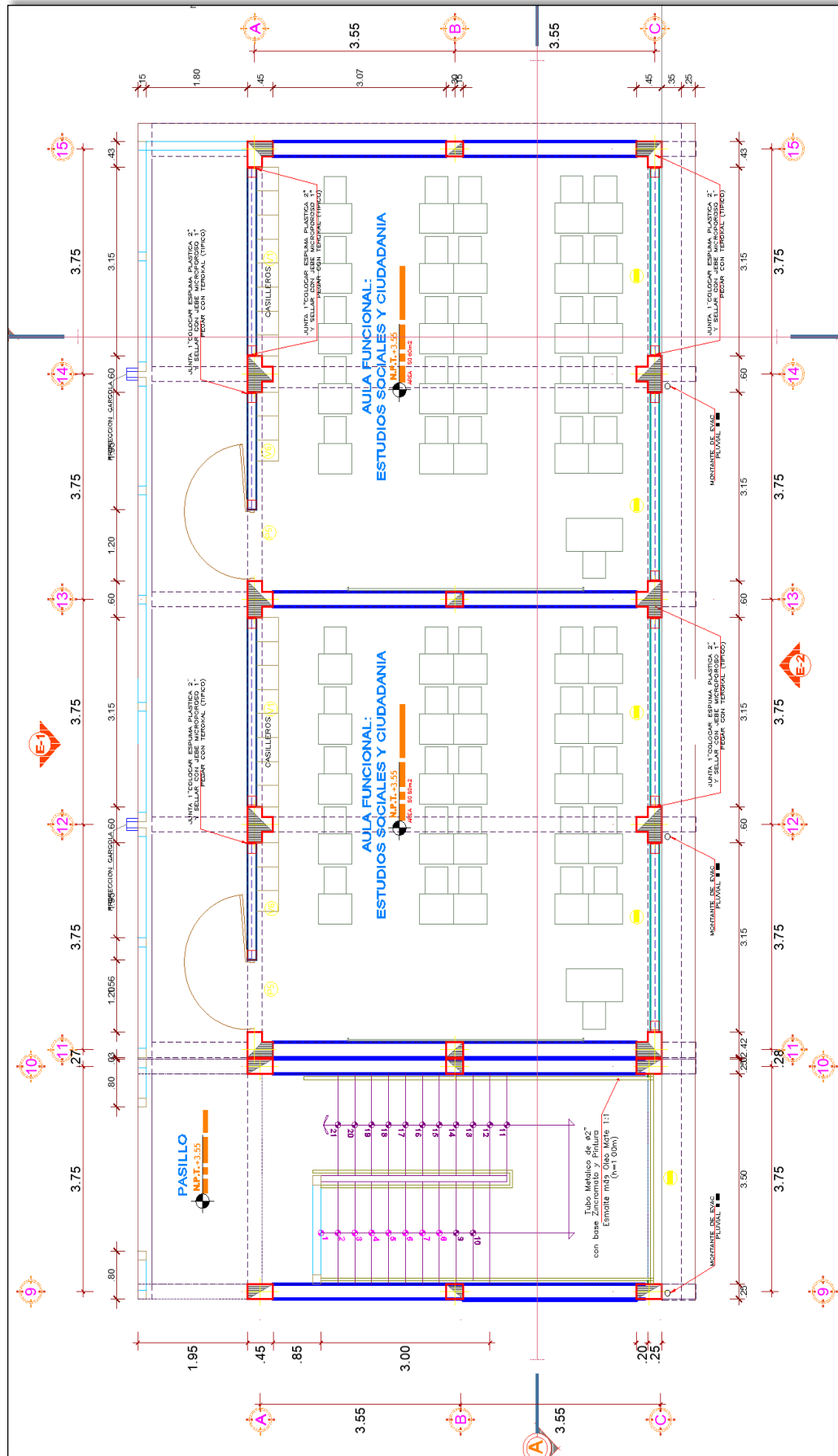


Figura 17

Plano del nivel 2 del pabellón 01-bloque B





3.3. Instrumentos

3.3.1. Técnica

Se utilizó la técnica de trabajo en gabinete puesto que se realizará el modelamiento, diseño estructural y diseño en concreto armado utilizando programas y un ordenador.

3.3.2. Instrumentos para la recolección

Para empezar el trabajo de tesis, recopilamos información a través de:

Material bibliográfico

Se han realizado compilaciones y revisión de trabajos estructurales, artículos de investigación, repositorios académicos, blogs de Internet o relacionados sobre tema de investigación. Así como tutoriales de los softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure.

Softwares Utilizados

Los softwares Utilizados para la presente investigación son (en su versión libre de prueba):

- Etabs en su versión 2020.
- Sap2000 en su versión 2020.
- Revit Estructure en su versión 2022.
- Cypecad en su versión 2018.

Normas técnicas de edificaciones

Se usaron:

- Reglamento Nacional de Edificaciones
- Norma Técnica de Edificaciones **E-020**: Cargas (2006)
- Norma Técnica de Edificaciones **E-030**: Diseño Sismo resistente (2018)
- Norma Técnica de Edificaciones **E-050**: Suelos y Cimentaciones (2018)



- Norma Técnica de Edificaciones **E-060**: Concreto armado (2009)
- Norma Técnica de Edificaciones **E-070**: Albañilería (2006)
- Norma **ACI 318 – 14** : Norma Internacional (2014)

3.3.3. Instrumentos de Procesamiento

Utilizamos los softwares estructurales Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure para el diseño experimental y para analizar y comparar el comportamiento sísmico producida por los máximos desplazamientos y esfuerzos en las estructuras, además usaremos hojas Excel para las verificaciones y comparaciones de los resultados.

3.4. Procedimiento

3.4.1. Plan de trabajo y aspectos éticos

Se ha establecido una metodología para conducir a una discusión de los resultados. Para ello, combinamos teorías estructurales tanto aprendidas como establecidas con herramientas informáticas como los softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure y el programa Microsoft Excel.

3.4.2. Desarrollo de la investigación

Este trabajo fue realizado en cuatro partes, las cuales son el diseño de la infraestructura educativa utilizando los conceptos estructurales y mediante el uso de los softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure, para lo cual en los diseños se han llevado a cabo los siguientes pasos: la elaboración de los planos arquitectónicos de la Infraestructura Educativa, para luego definir los materiales a usarse en los diseños luego realizar el predimensionamiento de las losas, vigas, columnas y demás elementos estructurales y cargarlos estos en los programas mencionados para realizar el modelado de la estructura y obtener el modelo en 3D.



El proceso de diseño será de la misma manera en todos los softwares para esto realizamos la estructuración del edificio tanto en el sistema en el sentido XX en la dirección YY, para comenzar con el predimensionamiento de losas, vigas, columnas y otros elementos estructurales partiendo de los planos arquitectónicos. Luego se realizó la medición de la carga de cada elemento estructural de la infraestructura, con el fin de determinar las fuerzas y las cargas aplicadas a la estructura, teniendo en cuenta los pesos específicos y propios de los materiales y elementos indicados en las normas peruanas mencionadas en el presente trabajo.

Posteriormente se realizó el análisis dinámico y estático para todos los softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure. Finalmente, respetando todos los parámetros, se realizó un análisis comparativo el cual se enfocó en las respuestas sísmicas de los cuatro diseños y en las cantidades de acero y concreto, por lo tanto, gracias a una dosificación de acero, determinamos la diferencia entre los métodos y cuál de los cuatro nos ayudará a optimizar el material.

3.4.3. Comparación y discusión de resultados

Al tener los diseños estructurales realizados en los cuatro softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure, se prosiguió a compararlo y analizar, para así poder determinar las semejanzas en el análisis dinámico, análisis sísmico y análisis estático, con el fin de obtener el diseño estructural más óptimo, además de parámetros de comparación en cuanto a costo y tiempo de diseño y su influencia en el costo del proyecto estructural. Además, se observará cual es la influencia en la estructuración, predimensionamiento y metrado de las cargas de los diseños estructurales estudiados, y se determinara el grado de confiabilidad que cuenta cada uno de los softwares.

3.5. Variables

En este trabajo de tesis se dividió en variables independientes y variables dependientes, que son las características que medimos y cuantificamos.

3.5.1. Variables independientes

En este trabajo las variables independientes serán el modelamiento en los softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure, y así obtener diversos resultados que podamos medir y comparar.

Tabla 21

Variables Independientes

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR
Diseño en Software Etabs	➤ Estructuración
	➤ Predimensionamiento
	➤ Metrado de cargas
	➤ Análisis Estático y Dinámico
Diseño en Software Sap2000	➤ Estructuración
	➤ Predimensionamiento
	➤ Metrado de cargas
	➤ Análisis Estático y Dinámico
Diseño en Software Cypecad	➤ Estructuración
	➤ Predimensionamiento
	➤ Metrado de cargas
	➤ Análisis Estático y Dinámico
Diseño en Software Revit Estructure	➤ Estructuración
	➤ Predimensionamiento
	➤ Metrado de cargas
	➤ Análisis Estático y Dinámico

3.5.2. Variable Dependiente

Las variables dependientes serán los diseños estructurales obtenidos en cada programa y según los resultados se determina la diferencia entre cada uno de ellos.

Tabla 22

Variables Dependientes

VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR
Diseño estructural	- Respuestas Sísmicas
	- Verificaciones.
	- Deformaciones elásticas
	- Cuantías de acero

3.5.3. Operacionalización de variables

Tabla 23

Operación de Variables

VARIABLES	INDICADORES	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Softwares Etabs, Sap2000, Cypcad y Revit Estructure	Estructuración	Adimensional	Mediante las normas Técnicas Peruanas, conceptos estructurales y planos arquitectónicos
	Predimensionamiento	Adimensional	Mediante las normas Técnicas Peruanas y conceptos estructurales
	Metrado de cargas	TN/m ²	Norma E. 020
	Análisis Estático y Dinámico	Adimensional	Solicitaciones sísmicas y modo espectral
	Respuestas Sísmicas	Adimensional	Variaciones del análisis estático y dinámico
Diseño Estructural	Deformaciones elásticas	Adimensional	Procesos del diseño estructural
	Cuantías de acero	KG.	Metrado de las partidas de acero del diseño estructural

3.6. Desarrollo y Aplicación

3.6.1. Consideraciones generales

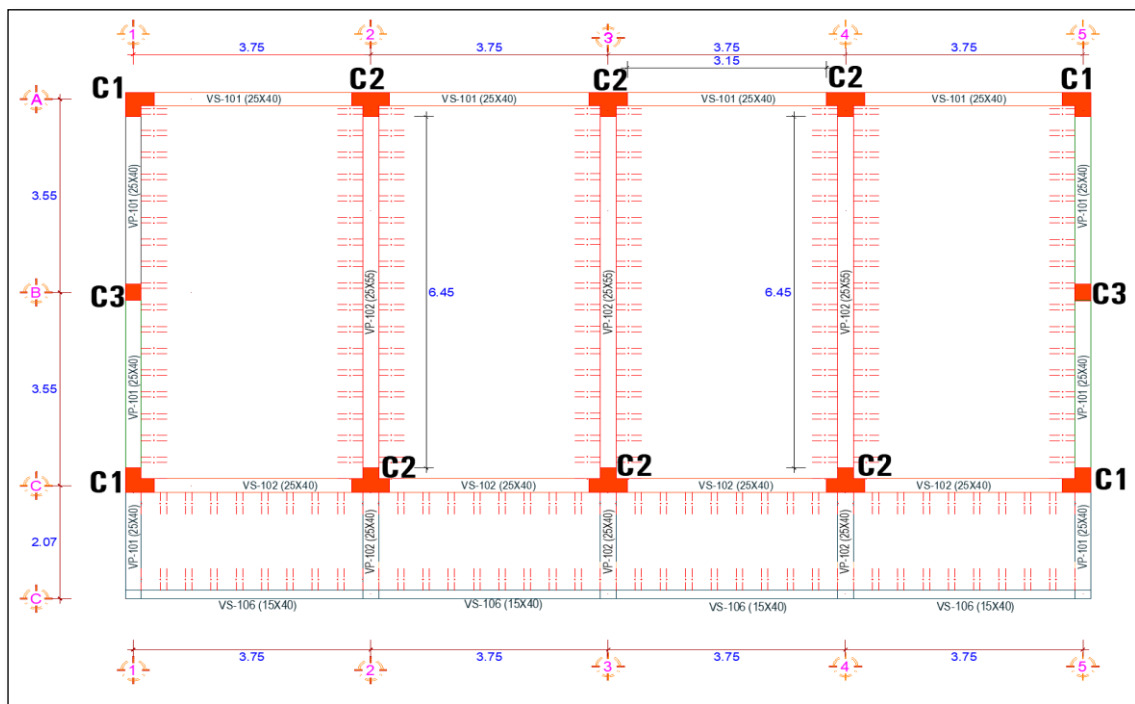
Teniendo en cuenta los planos arquitectónicos descritos en el Capítulo II del presente trabajo de tesis y también los planos arquitectónicos adjuntos en anexos, se ha planteado analizar un modelo estructural debido a que se repiten en los diferentes planos de la infraestructura, además de ser el más crítico. El cual indicaremos a continuación:

3.6.1.1. Modelo Estructural propuesto

Corresponde al pabellón 1, los cuales detallamos a continuación mediante planos ya calculados en cuanto a su predimensionamiento propuesto en el capítulo 3.7 del presente trabajo de investigación. Y que en adelante no referiremos como modelo estructural.

Figura 18

Plano modelo estructural segundo nivel



En la Figura se detalla el Tipo de columna planteado, dimensiones de vigas planteadas, dimensiones de luces libre y críticas, proyección de losa aligerada, que serán utilizadas para el modelamiento en los diferentes programas.

Figura 19

Plano modelo estructural del nivel cubierta inicio

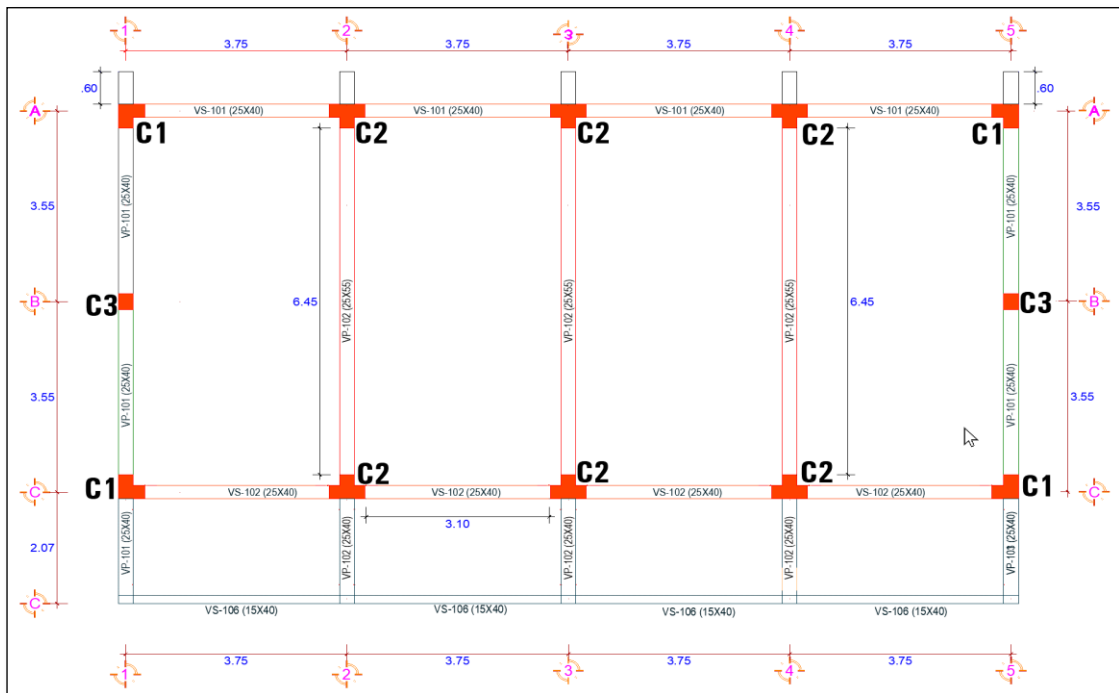


Figura 20

Plano modelo estructural del nivel cubierta final

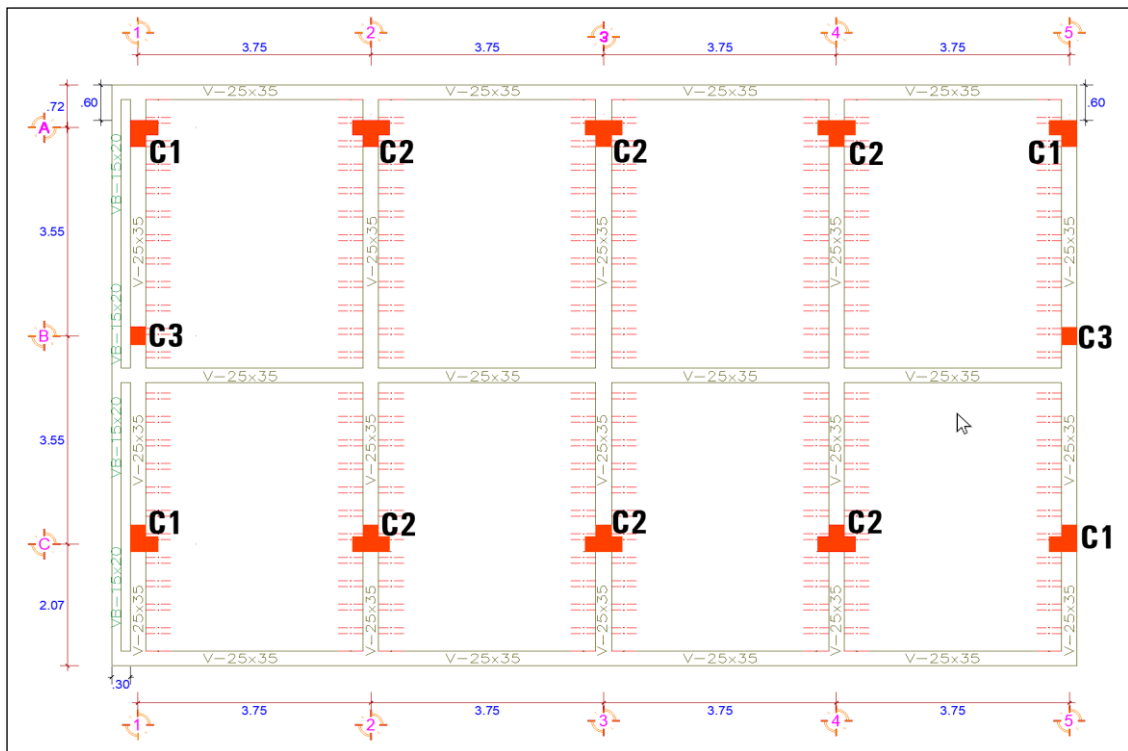
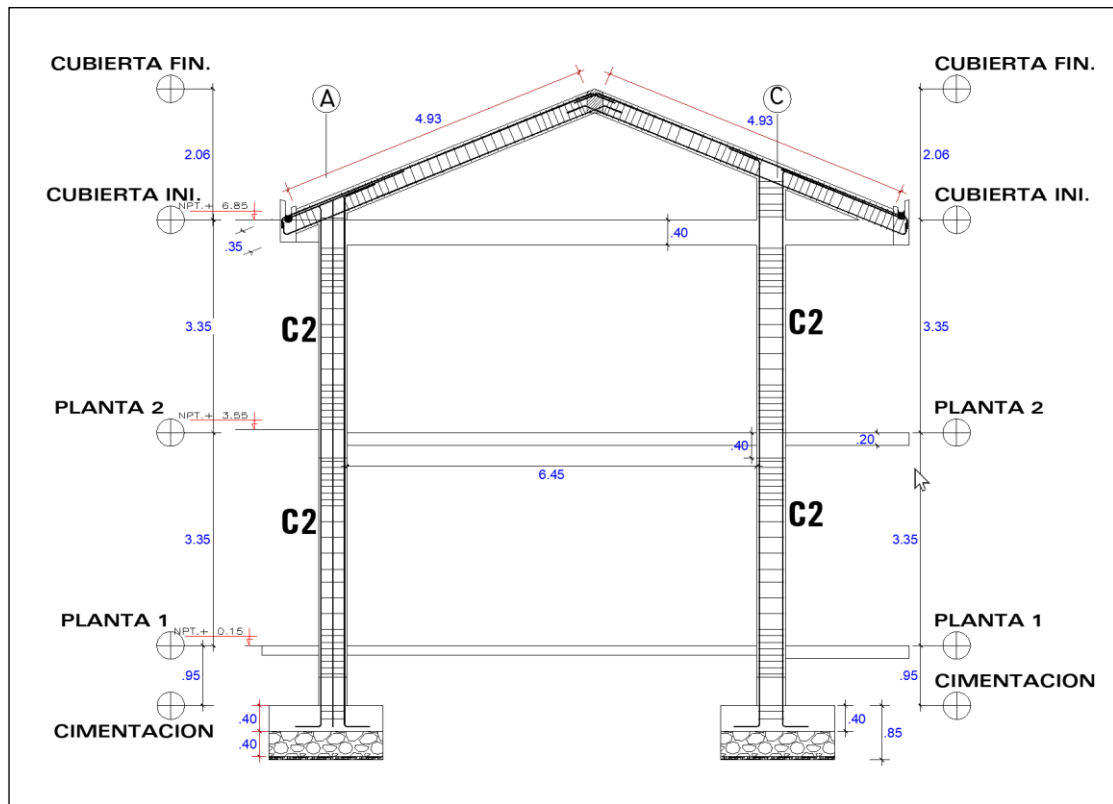


Figura 21

Plano de niveles para el modelo estructural



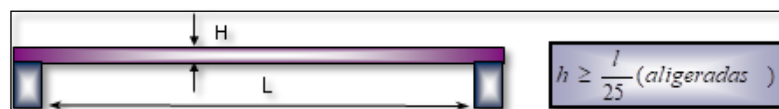
3.7. Predimensionamiento

3.7.1. Predimensionamiento de losas:

Para el predimensionamiento de losas aligeradas usaremos, lo estipulado en nuestra norma de concreto armado E.060 y prescrito en el capítulo II de la presente investigación siendo:

Figura 22

Detalle predimensionamiento de losa

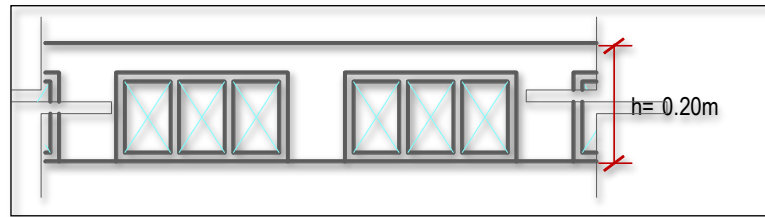


Para el Modelo estructural (Según planos en Anexos), será:

$$h = \frac{L}{25} = \frac{3.15}{25} = 0.13; \text{ Asumiremos } h = 0.20\text{m}$$

Figura 23

Detalle predimensionamiento de losa



3.7.2. Predimensionamiento De Vigas

Para el predimensionamiento de vigas usaremos, lo estipulado en nuestra norma de concreto armado E.060 y lo prescrito en el capítulo II del presente trabajo de investigación siendo:

Modelo Estructural

Viga principal VP-102

$$h = \frac{L}{12} = \frac{6.45}{12} = 0.54; \text{ Asumiremos } h=0.55 \text{ y } b=0.25$$

Viga principal VP-101

$$h = \frac{L}{10} = \frac{3.55}{10} = 0.36; \text{ Asumiremos } h=0.40 \text{ y } b=0.25$$

Viga Secundaria VS-101 y VS-102

$$h = \frac{L}{10} = \frac{3.75}{10} = 0.38; \text{ Asumiremos } h=0.40 \text{ y } b=0.25$$

3.7.3. Predimensionamiento De Columnas:

Para el predimensionamiento de columnas usaremos, lo estipulado en nuestra norma de concreto armado E.060 y lo prescrito en el capítulo II del presente trabajo de investigación siendo:

Para columnas centrales.

$$A_c = \frac{P_{(SERVICIO)}}{0.45 f'_c}$$

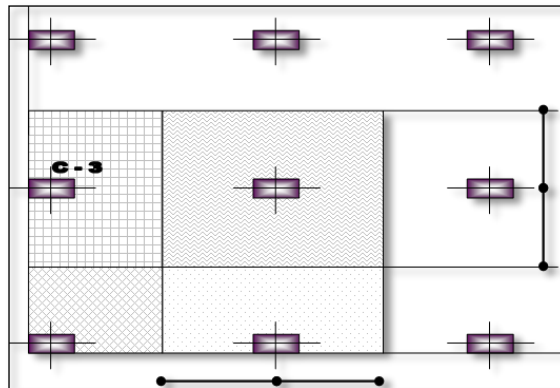
Para columnas exteriores o esquineras:

$$A_c = \frac{P_{(SERVICIO)}}{0.35 f'_c}$$

Por otro lado, el criterio para pre dimensionar es el del área tributaria, en realidad inicialmente se usó este método para el pre dimensionamiento preliminar de la estructura.

Figura 24

Detalle del área tributaria



- Dónde:
- C-1; Columna central (mayor área tributaria)
 - C-2; de pórtico principal.
 - C-3; de pórtico secundario.
 - C-4; columna ubicada en la esquina (menor área tributaria)

Para pre dimensionar el área de las columnas utilizamos la fórmula:

$$A_c = K * A$$

- Dónde:
- A_c = Área de la sección transversal de la columna.
 - K = Coeficiente
 - A = Área tributaria acumulada del piso considerado.

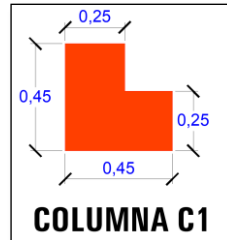
Dimensiones Propuestas:

Se han determinado mediante el cálculo por áreas tributarias indicado en la hoja de cálculo adjunto en anexos de los cuales asumiremos los siguientes tipos de columnas y sus secciones respectivas:

Columna C1 (Tipo L)

Figura 25

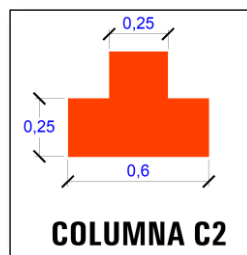
Dimensiones columna C1



Columna C2 (Tipo T)

Figura 26

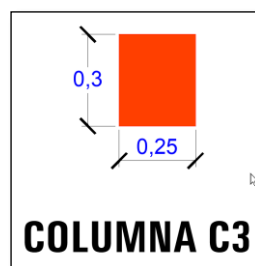
Dimensiones columna C2



Columna C3 (Tipo Rectangular)

Figura 27

Dimensiones columna C3



3.8. Condiciones de cargas aplicadas

3.8.1. Carga Muerta (D)

Para nuestro proyecto se asumirá según la norma E.020:

- Acabados de pisos = 100 kg/m²



- Tabiquería = 180 kg/m²
- Calaminón de losa inclinada = 150 kg/m²

Para determinar la carga muerta de tabiquería se calculará de la siguiente manera:

- Longitud x Alto x Ancho = Volumen (m³)
- El Peso específico = 1800 kg/m³ (de la norma E.060)
- Peso Tabiquería (tn) = Volumen x Peso específico

3.8.2. Carga Viva (L)

Para ello consideramos el peso generado por habitantes en este caso alumnos y maestros, muebles, equipos y demás elementos movibles este grupo recibe el nombre de sobrecarga.

Para Centros de Educación, se asumirá según la norma E.020

- Aulas: 250 Kg/m²
- Corredores y Escaleras: 400 Kg/m²

3.8.3. Carga de Sismo (S_x, S_y)

Para nuestro trabajo de tesis asumiremos las siguientes combinaciones indicadas en la norma E-060:

- **COMB1** = 1.4 D
- **COMB2** = 1.4 D + 1.7 L
- **COMB3** = 1.25 (D + L) + S_X
- **COMB4** = 1.25 (D + L) – S_X
- **COMB5** = 1.25 (D + L) + S_Y
- **COMB6** = 1.25 (D + L) – S_Y
- **COMB7** = 0.9 D + S_X
- **COMB8** = 0.9 D – S_X
- **COMB9** = 0.9 D + S_Y



- $COMB10 = 0.9 D - SY$

Dónde: Cargas muertas (D)

Cargas vivas (L)

Cargas de sismo (S_x, S_y).

3.9. Materiales y sus parámetros

Para los diseños se usarán los mismos datos en los diferentes softwares, siendo para cada material usado las siguientes características:

Concreto:

- Resistencia a la compresión $f'_c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico $\gamma_c = 2,400.00 \text{ kgf/m}^3$
- Módulo de elasticidad $E_c = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson $C = 0.2$

Acero:

- Esfuerzo de Fluencia: $f_y = 4,200.00 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación Unitaria Máxima: $\epsilon_s = 0.0021$
- Módulo de Elasticidad: $E_s = 2'000,000.00 \text{ kg/cm}^2$

Albañilería:

- Resistencia a la compresión $f'_m = 65.00 \text{ kg/cm}^2$.
- Resistencia admisible por carga $f'_m = 145.00 \text{ kg/cm}^2$.

3.10. Recubrimientos

Según la norma de concreto armado E.060 tendremos para nuestros elementos:

- | | |
|--------------------------------------------------|---------|
| - Columnas, Vigas, Muros | 4.00 cm |
| - Losas Aligeradas, Vigas chatas, Vigas de borde | 2.50 cm |
| - Losas macizas, Escaleras | 2.50 cm |

3.11. Condiciones para el Análisis Sísmico

3.11.1. Factor de Zona

Este factor se entiende como la aceleración horizontal máxima para los suelos rígidos, una probabilidad de superarla en 10% para 50 años.

$$Z = 0.35$$

3.11.2. Factor de Suelo

Revisando el Estudio de mecánica de suelos (ver anexos) tendremos un suelo intermedio, asumiéremos:

Para un Zona $Z=3$ y un suelo S2

$$S_1 = 1.15$$

3.11.3. Periodos “Tp” y “TL”

Obtenemos luego de identificar el tipo de suelo como se indica en el siguiente.

Tabla 24

Periodos de Perfil de suelo considerados en el Proyecto

PERIODOS “TP” “Y” “TL”				
Periodo	Suelo = So	Suelo = S1	Suelo = S2	Suelo = S3
TP (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
TL (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

De la tabla tendremos:

$$T_p=0.60 \quad \text{y} \quad T_L=2.0$$

3.11.4. Factor de amplificación sísmica

En consecuencia, de la ubicación descrita del presente proyecto tendremos el factor de amplificación sísmica en la siguiente tabla:

Tabla 25

Factor de Amplificación Sísmica

Factor de Ampliación Sísmica	
$T < T_p$	$C = 2.5$
$T_p < T < T_L$	$C = 2.5 \times (T_p/T)$
$T > T_L$	$C = 2.5 \times (T_p \times T_L) / T^2$

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

De donde “T” es el Período fundamental.

Por cuanto, según la norma E.030, Período de Vibración Natural de la edificación, para cada dirección, determinado de la siguiente manera:

Entonces tendremos los periodos fundamentales de vibración:

$$T = \frac{8.80}{35} = 0.25$$

De esto:

$$C = 2.5 * (T_p/T), \text{ entonces reemplazando valores: } C = 2.5 * (0.6/0.25) = 6;$$

entonces de la tabla asumimos $C = 2.5$ tanto para C_x y C_y ; Debido a que $T < T_p$.

3.11.5. Categoría de la edificación y factor de uso

De la norma nuestro proyecto será de categoría = A; y el Factor U será:

$$U = 1.50$$

El sistema estructural y el coeficiente básico de reducción sísmica se clasificarán según los materiales y el sistema estructural.

Tabla 26

Sistema Estructural del Proyecto

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R_o
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Amostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBP)	8
Concreto	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma Sismorresistente E.030

De la tabla tendremos:

$$R=8$$

3.12. Modelamiento y Diseño en los Softwares

El modelamiento se realiza con los datos obtenidos en el capítulo 3.7 y para todos los softwares se han introducido de igual manera.

3.12.1. Diseño con el software Etabs (Versión 20)

Para iniciar con el modelado usaremos todos los datos mencionados a partir del título 4.1, y los valores calculados en base a nuestra norma técnica.

3.12.1.1. Estructuración y predimensionamiento

Este se realiza según los modelos estructurales propuestos en el capítulo 3.7 ya que han sido calculados previamente utilizando los criterios indicados en las normas técnicas peruanas E.020, E.030 y E.060.

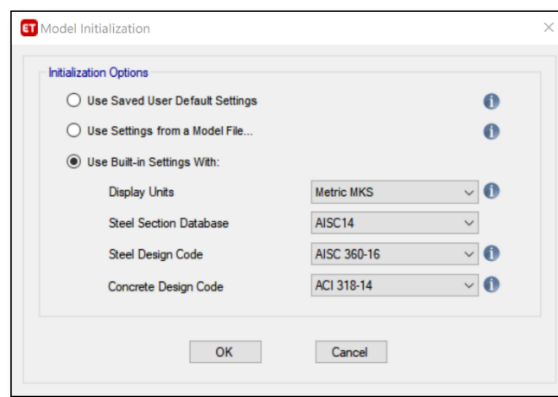
3.12.1.2. Modelamiento de Edificio

a) Configuraciones de normativas:

El programa para iniciar con el modelo nos pide ingresar las normativas que se usaran, de los cuales se indican en la imagen siguiente. Para el caso de concrete design code usaremos la ACI 318-14, por asemejarse más a nuestras normas.

Figura 28

Ventana de configuración normativa Etabs

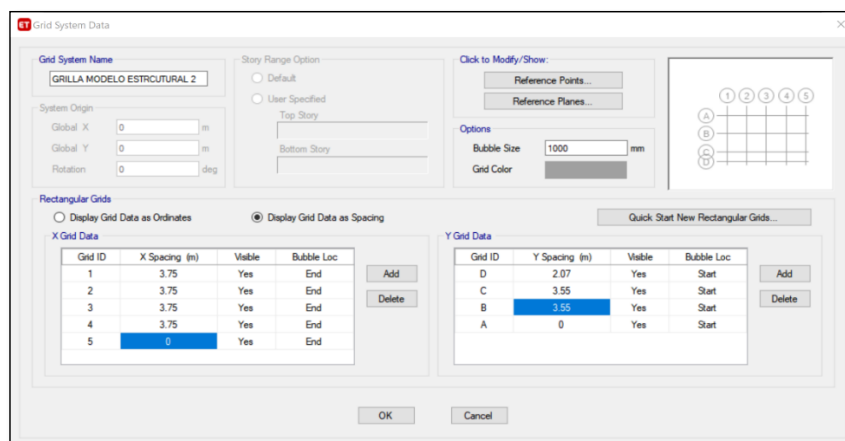


b) Creación de grillas en Etabs

En base a nuestros modelos estructurales creamos las grillas que nos servirán para poder dibujar nuestros elementos en el programa, como se muestra a continuación.

Figura 29

Ventana de ingreso de grillas Etabs



También definimos los niveles que tendrá nuestro modelo estructural, como se muestra a continuación.

Figura 30

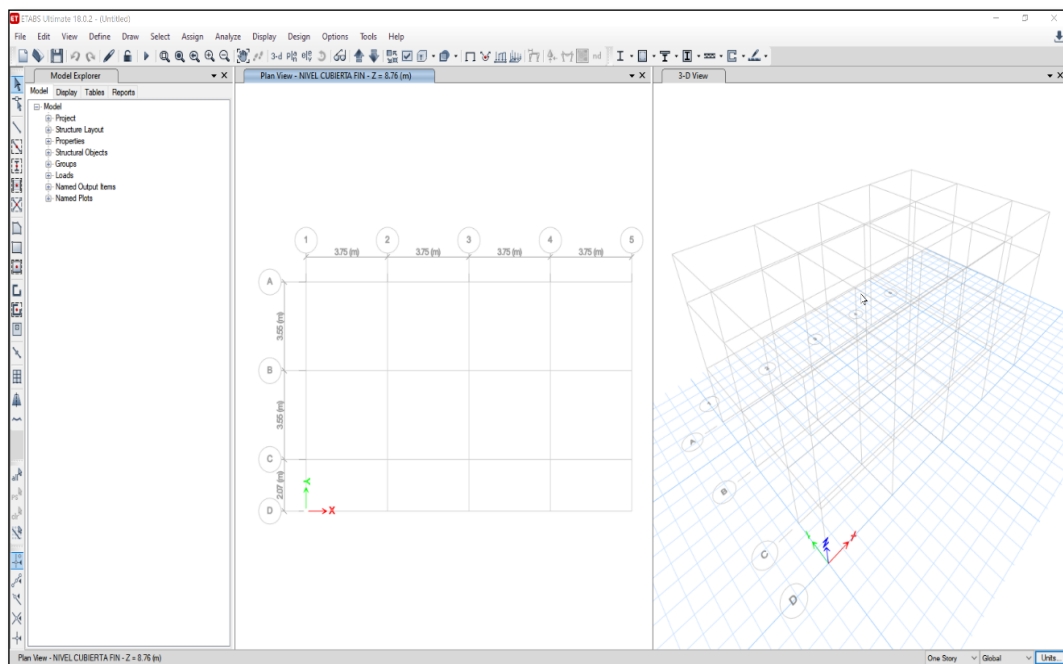
Ventana de Ingreso de Niveles Etabs

Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
NIVEL CUBIERTA FIN	2.06	8.76	Yes	None	No	0	Blue
NIVEL CUBIERTA INI	3.35	6.7	No	NIVEL CUBIERTA FIN	No	0	Cyan
NIVEL 1	3.35	3.35	No	NIVEL CUBIERTA FIN	No	0	Green
Base		0					Grey

Teniendo como resultado la siguiente ventana en donde realizaremos el dibujo de todos nuestros elementos.

Figura 31

Ventana de grillas creadas en Etabs



c) Definición de Materiales

Definición de material concreto

Con los datos descritos en el capítulo 3.9 definimos e introducimos nuestros datos al programa convirtiendo a kg a ton, como se muestra a continuación.

Figura 32

Ventana de Propiedades del concreto en Etabs

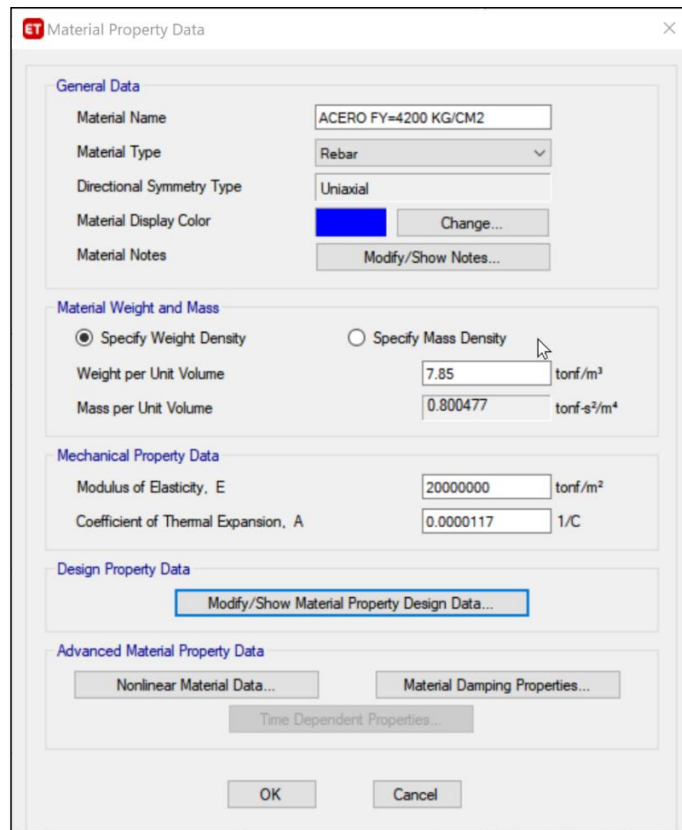
Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	CONCRETO FC=210 KG/CM2	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color		
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
	Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
	Weight per Unit Volume	2.400	tonf/m³
	Mass per Unit Volume	0.244732	tonf-s²/m⁴
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	2173706.5	tonf/m²
	Poisson's Ratio, U	0.20	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.000099	1/C
	Shear Modulus, G	905711.04	tonf/m²
Design Property Data	Modify/Show Material Property Design Data...		
Advanced Material Property Data	Nonlinear Material Data...		
	Material Damping Properties...		
	Time Dependent Properties...		

Definición de material acero

De igual forma, con los datos descritos en el capítulo 3.9 definimos e introducimos nuestros datos al programa convirtiendo a kg a ton, como se muestra a continuación.

Figura 33

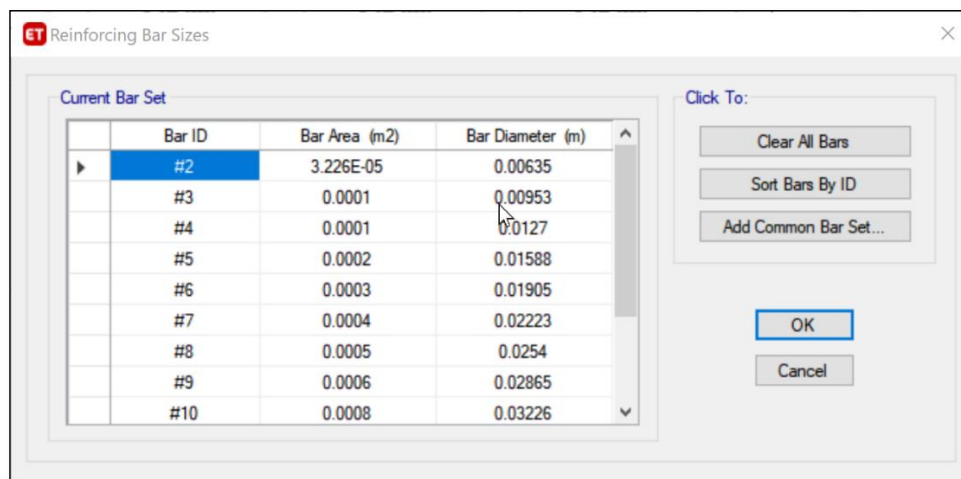
Ventana de Propiedades del acero en Etabs



También realizamos la configuración de los aceros que utilizaremos en nuestro diseño. Como se muestra a continuación.

Figura 34

Ventana del uso de aceros en Etabs

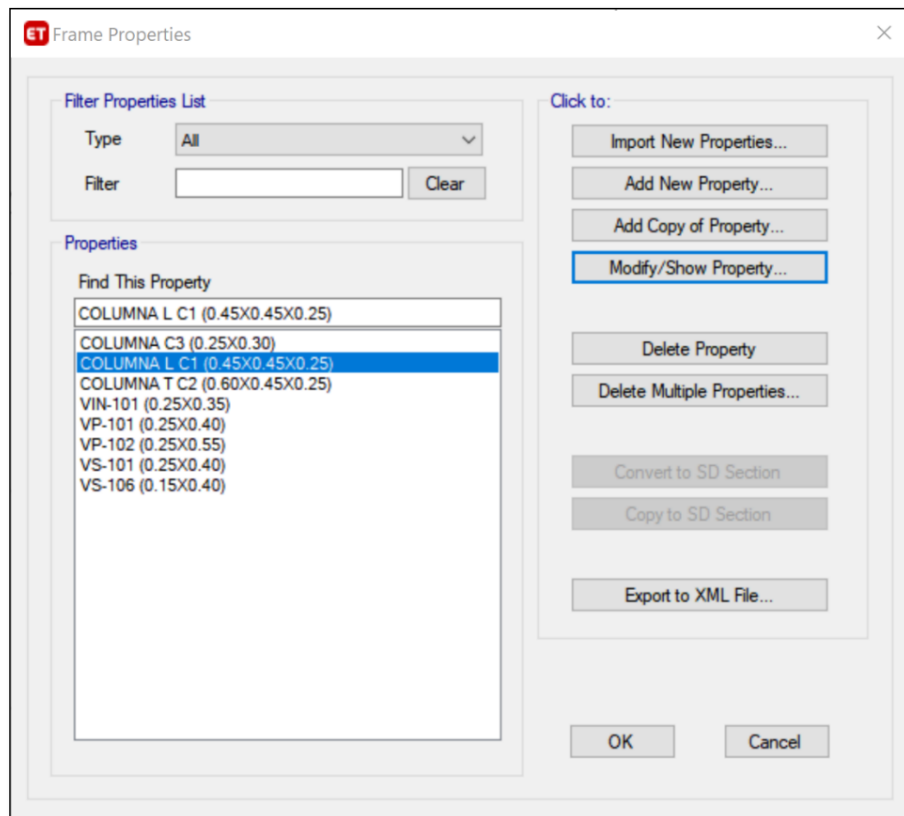


Definir Secciones de elementos estructurales

Según lo indicado en los datos de modelo estructural capítulo 3.8 creamos nuestros elementos y sus secciones para columnas, vigas y losas como se muestra a continuación.

Figura 35

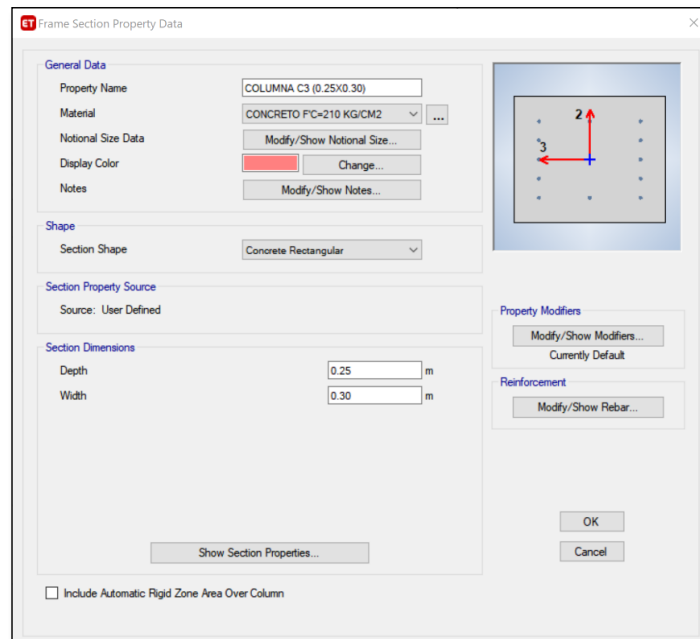
Elementos Definidos en Etabs, Vigas y Columnas



Como ejemplo mostraremos los datos ingresados, para nuestra columna C1 tipo L, como se muestra a continuación.

Figura 36

Detalle de sección columna C3 en Etabs



También las consideraciones de diseño definidos en el programa para esta columna, recubrimiento y tipo de elemento, como se muestra a continuación.

Figura 37

Propiedades definidas de las columnas C1 en Etabs

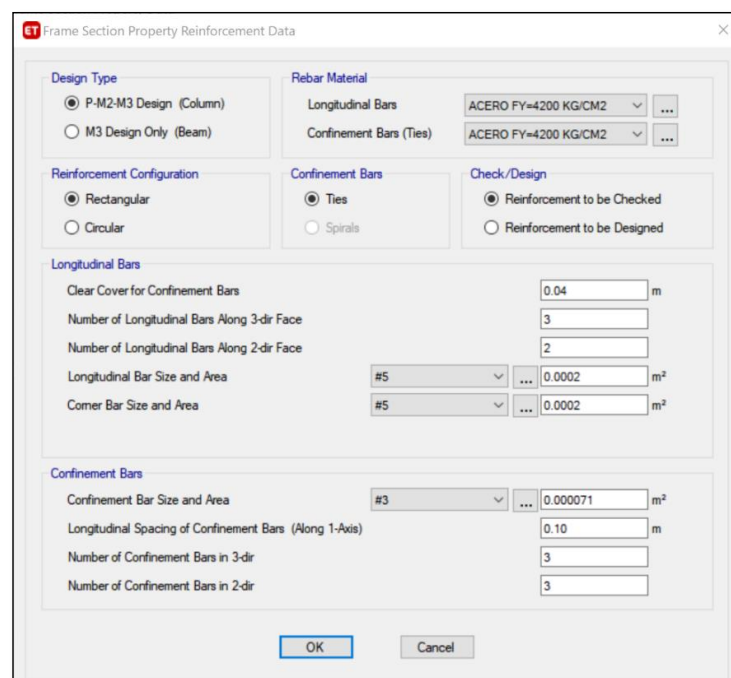
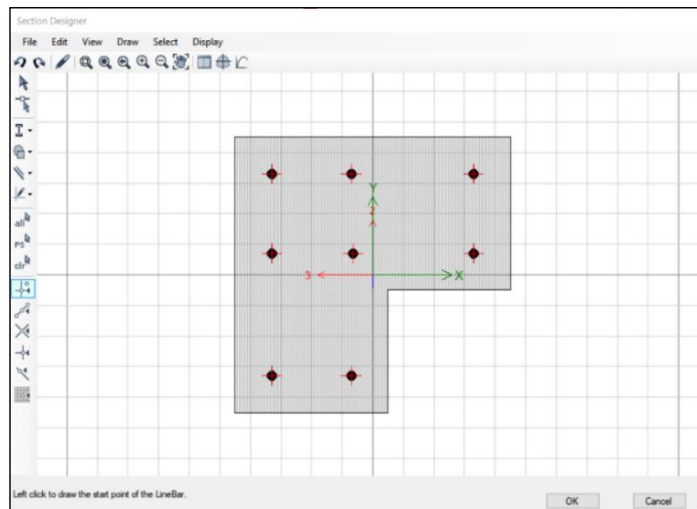


Figura 38

Dibujo de columna C1 en Etabs



También definimos nuestra losa como un elemento deck sell filet, también indicamos un espesor de 0.05m para el concreto y 0.015m para el ladrillo, con las siguientes propiedades.

Figura 39

Propiedades del aligerado en Etabs

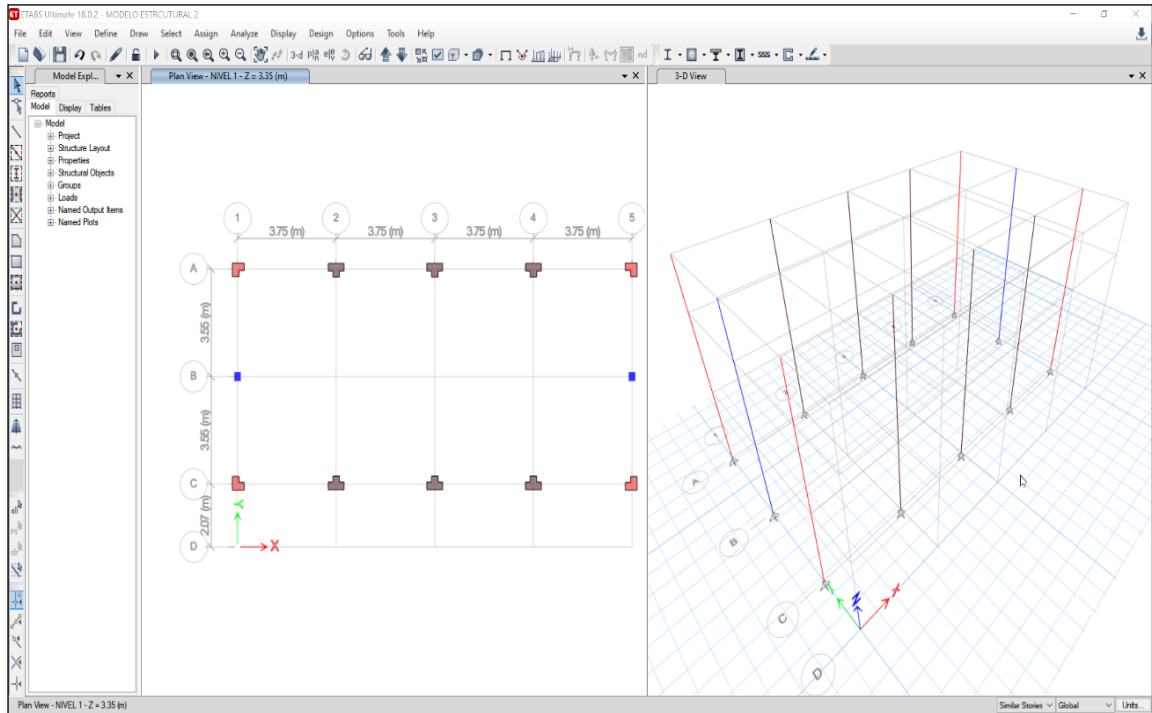


Dibujo de elementos estructurales

Iniciamos el proceso de dibujo de elementos estructurales según lo propuesto en el capítulo 3.7 modelos estructurales. Respetando las dimensiones indicadas.

Figura 40

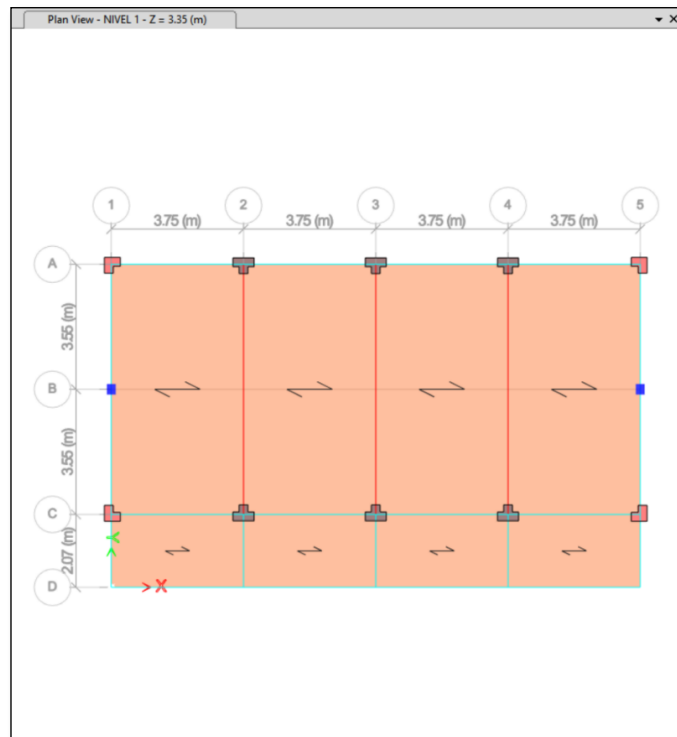
Dibujo de elementos estructurales en Etabs



También dibujamos las losas de primer nivel y techo inclinado como se muestra a continuación.

Figura 41

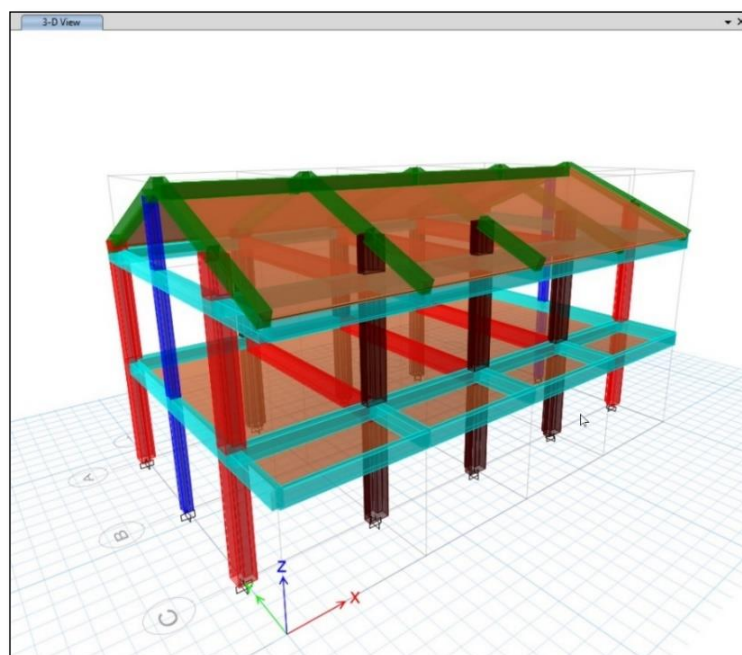
Dibujo de losa aligerada en Etabs



Llegando al modelo extruido 3D, como se muestra a continuación.

Figura 42

Modelo 3D del modelo estructural

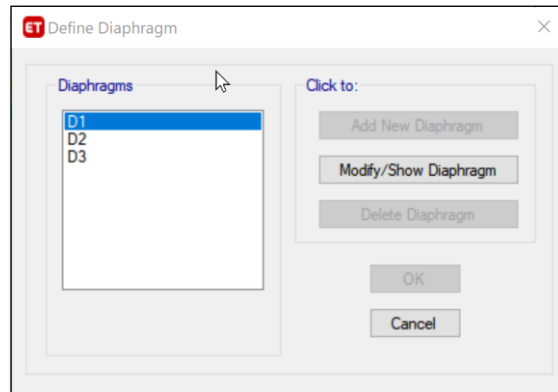


Diafragma

Para tener una mejor distribución de las fuerzas de sismo en nuestros elementos, y poder formar un solo conjunto.

Figura 43

Creación de diafragmas en Etabs



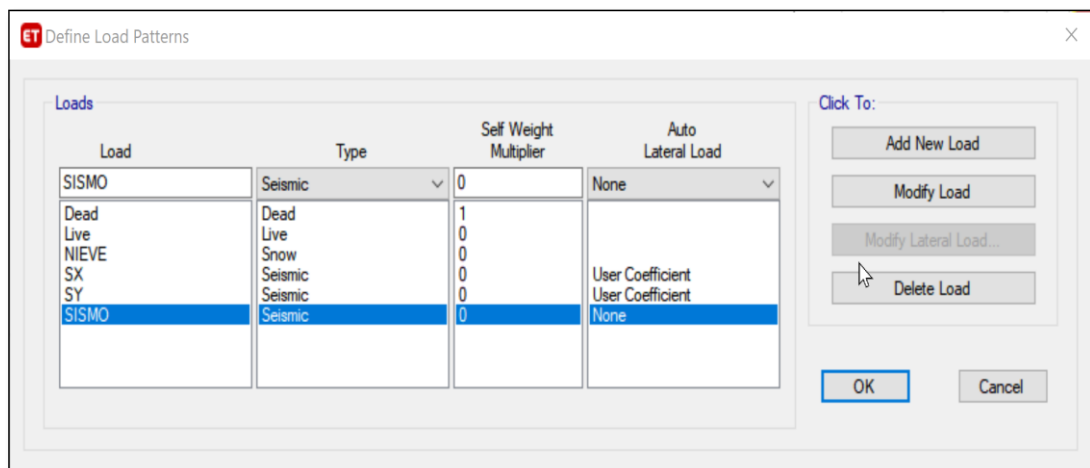
3.12.1.3. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño

a) Load Patterns

Definiremos las cargas que utilizaremos, para el análisis sísmico y dinámico de la estructura

Figura 44

Definición de cargas y fuerzas en Etabs



b) Response Spectrum

Así mismo introduciremos el espectro calculado mediante una hoja Excel para todos los programas con todos los datos mencionados en el capítulo 3.11 como se muestra a continuación.

Figura 45

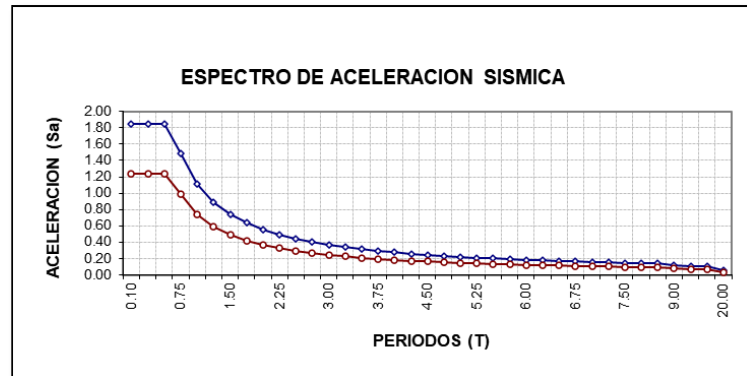
Hoja de cálculo del Espectro a usar en el modelamiento

T	C	Sa (x,y)	Sa (z)
0.10	2.50	1.85	1.23
0.25	2.50	1.85	1.23
0.50	2.50	1.85	1.23
0.75	2.00	1.48	0.99
1.00	1.50	1.11	0.74
1.25	1.20	0.89	0.59
1.50	1.00	0.74	0.49
1.75	0.86	0.63	0.42
2.00	0.75	0.56	0.37
2.25	0.67	0.49	0.33
2.50	0.60	0.44	0.30
2.75	0.55	0.40	0.27
3.00	0.50	0.37	0.25
3.25	0.46	0.34	0.23
3.50	0.43	0.32	0.21
3.75	0.40	0.30	0.20
4.00	0.38	0.28	0.19
4.25	0.35	0.26	0.17
4.50	0.33	0.25	0.16
4.75	0.32	0.23	0.16
5.00	0.30	0.22	0.15
5.25	0.29	0.21	0.14
5.50	0.27	0.20	0.13
5.75	0.26	0.19	0.13
6.00	0.25	0.19	0.12
6.25	0.24	0.18	0.12
6.50	0.23	0.17	0.11
6.75	0.22	0.16	0.11
7.00	0.21	0.16	0.11
7.25	0.21	0.15	0.10
7.50	0.20	0.15	0.10
7.75	0.19	0.14	0.10
8.00	0.19	0.14	0.09
9.00	0.17	0.12	0.08
10.00	0.15	0.11	0.07
11.00	0.14	0.10	0.07
20.00	0.08	0.06	0.04

Respuesta Sismica

Figura 46

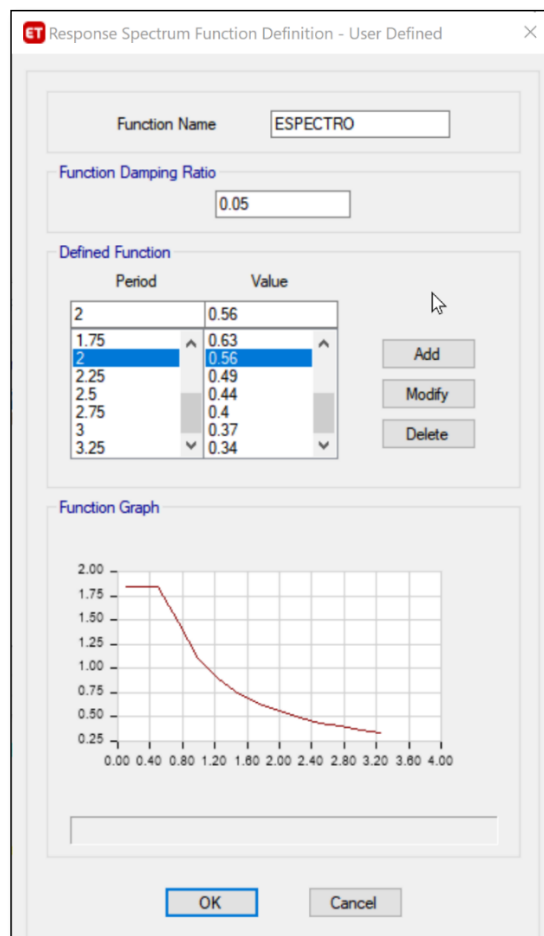
Espectro de aceleración sísmica



Creamos el espectro en el programa introduciendo los datos calculados en el anterior gráfico, resultando.

Figura 47

Espectro de aceleración sísmica cargado al Etabs

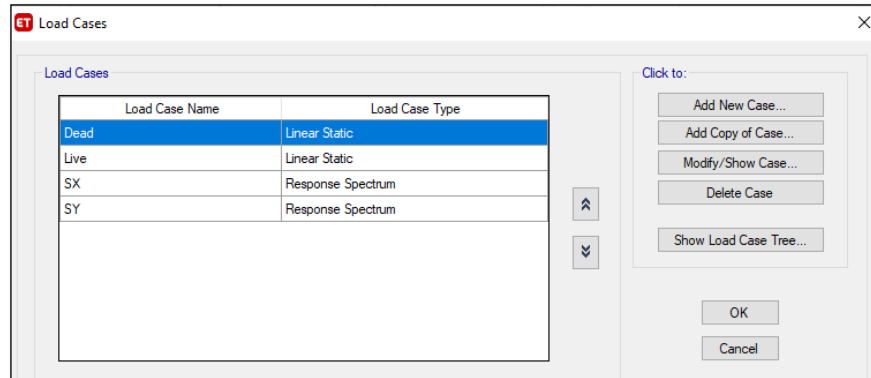


c) Load Cases

Se aplicará a nuestro modelo los siguientes casos de carga. Definidos en load Patterns, como se muestra.

Figura 48

Casos de carga en Etabs

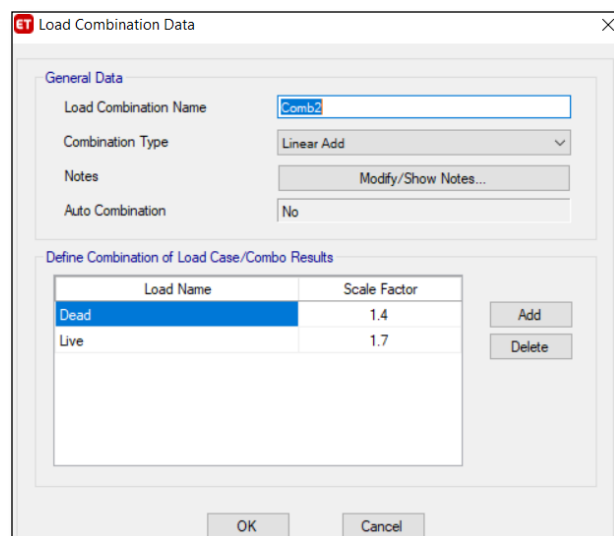


d) Load Combination Data

Son las combinaciones de carga que el programa aplicara a nuestra estructura, descritas en el capítulo 3.8 como por ejemplo tendríamos para el combo 2 como se muestra en la imagen.

Figura 49

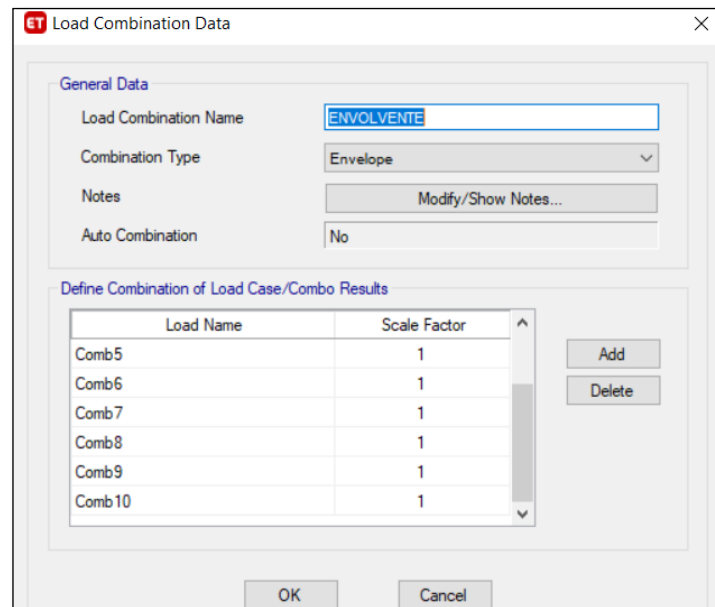
Combinación de carga según normativa E.030 en Etabs



Se añadió una combinación de carga adicional la que llamamos Envolvente la cual contiene el 9 de cargas para poder dimensionar las vigas de la estructura. “Es importante que al crearlo se modifique el análisis del programa porque es envolvente y por defecto siempre es lineal.”

Figura 50

Creación de la Envolvente en Etabs

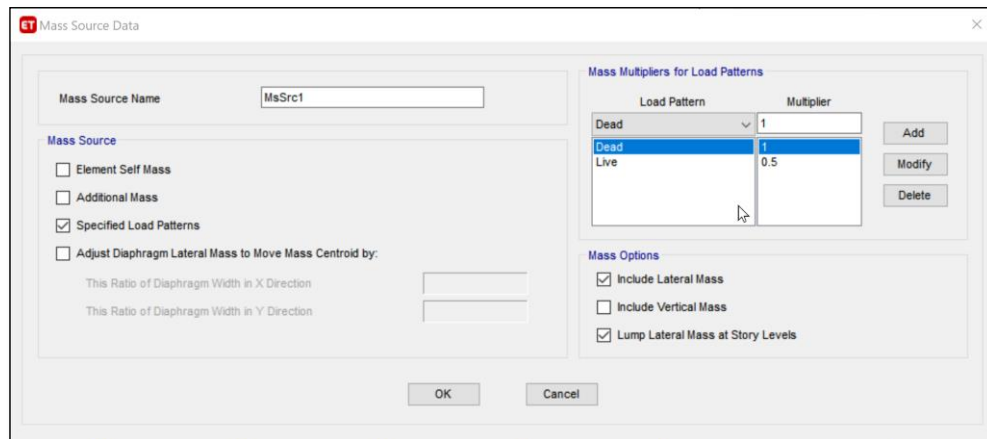


e) Mass Source Data

Para calcular el peso total de la estructura, teniendo en cuenta la norma E.030, según la categoría de edificación en este caso A calculado en el capítulo 3.8 consideramos un 50% de la carga viva, el cual configuramos en nuestro programa como se muestra a continuación.

Figura 51

Creación parámetro de cálculo peso total de la estructura en Etabs



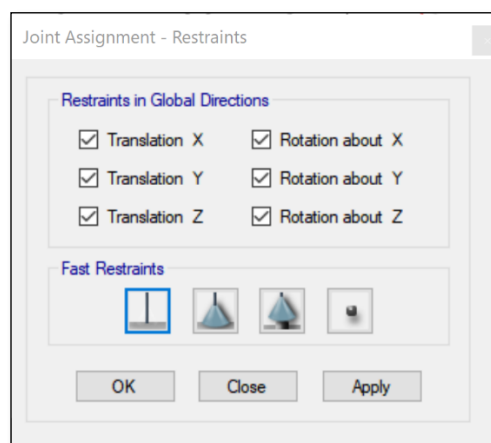
3.12.1.4. Asignación y distribución de Cargas

a) Restricciones en la estructura

Generamos las restricciones en nuestro modelo para que tenga un comportamiento único.

Figura 52

Restricciones en Etabs



b) signación de cargas

Finalmente asignamos todas las cargas, tanto cargas vivas como muertas las cuales se calcularon en el capítulo 3.8 como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 53

Asignación de Sobrecarga en Etabs

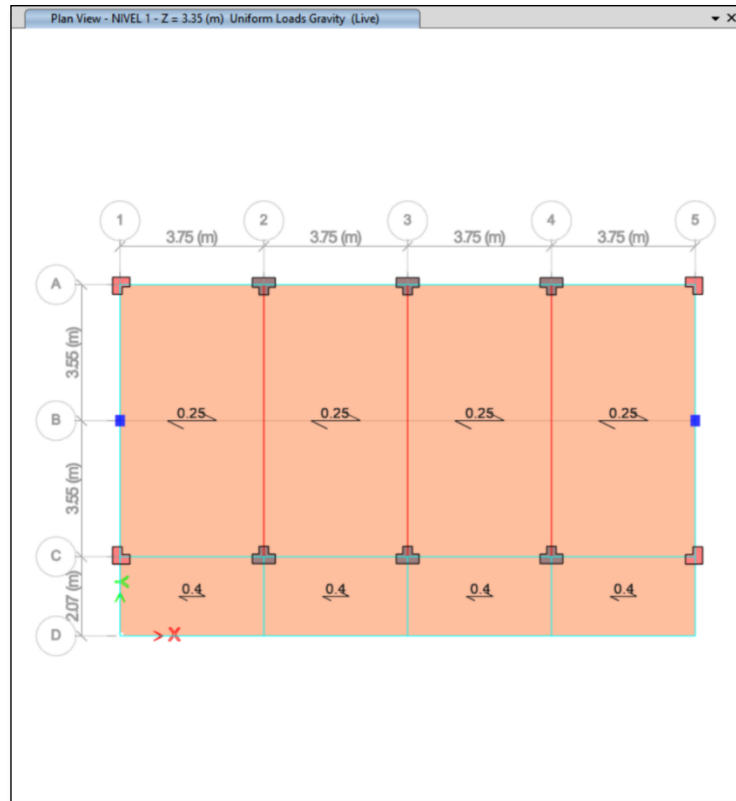


Figura 54

Ventana de cargas aplicadas a los elementos en Etabs

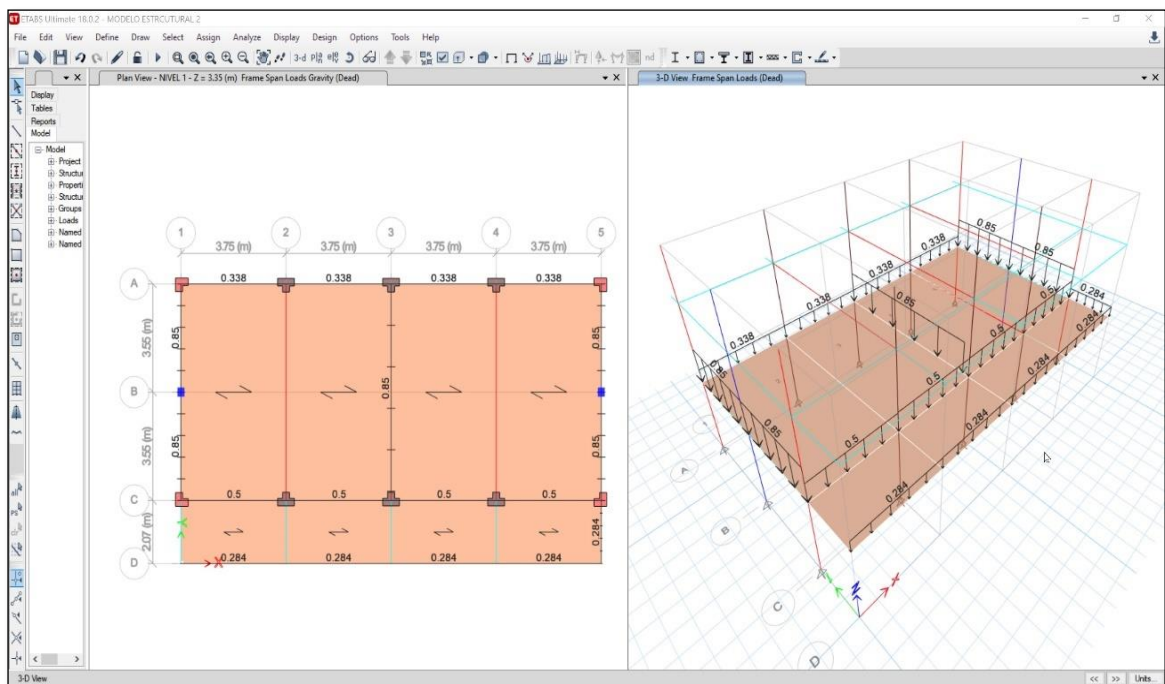
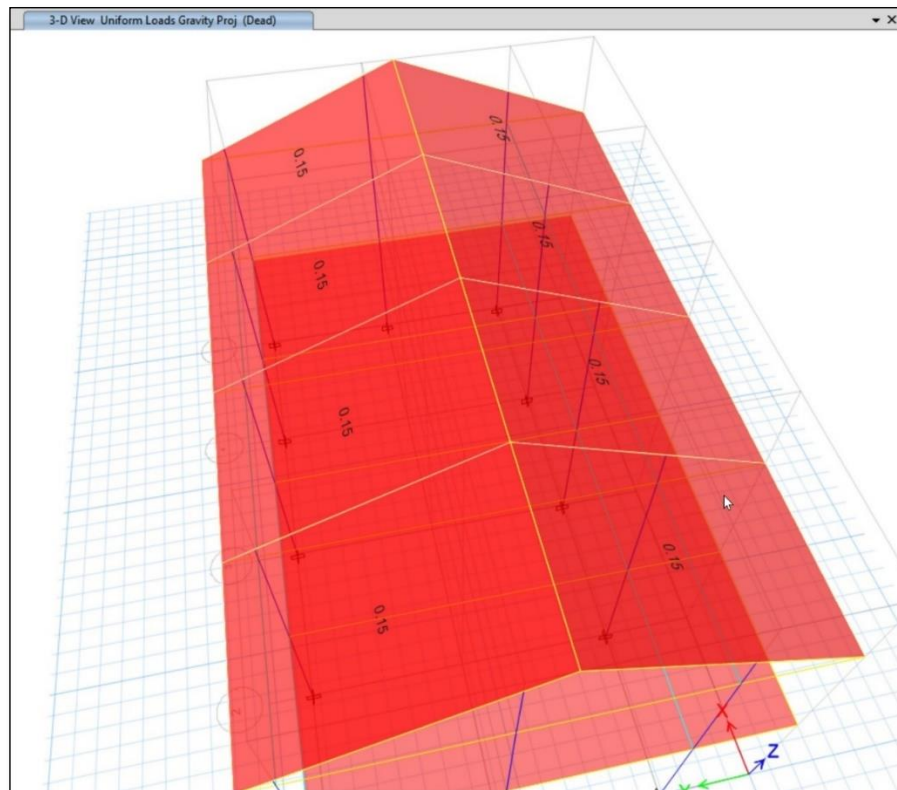


Figura 55

Cargas aplicadas en Losa inclinada



3.12.1.5. Verificación de derivas máximas en la edificación

Una vez procesado los datos, procedemos a verificar los desplazamientos tanto en X como en Y, como indica nuestra norma técnica en los cuadros siguientes. La verificación se realizó en hojas de cálculo adjuntadas en anexos verificaciones.

Tabla 27

Desplazamientos dirección X

Desplazamientos dirección X						
Nivel	D elástico	D inelástico	D relativo	Altura	deriva	Verificación
3	0.00683	0.04095	0.000312	2.2	0.00014182	Cumple
2	0.00677	0.04064	0.019206	3.3	0.00582	Cumple
1	0.00357	0.02143	0.021432	3.55	0.00603718	Cumple

Tabla 28

Desplazamientos dirección Y

Desplazamientos dirección Y						
Nivel	D elástico	D inelástico	D relativo	Altura	deriva	Verificación
3	0.00485	0.01312	0.002316	2.2	0.00105273	Cumple
2	0.00447	0.0128	0.012246	3.3	0.00371091	Cumple
1	0.00243	0.00456	0.014556	3.55	0.00410028	Cumple

3.12.1.6. Desplazamiento relativo de entrepiso en el centro de masa

. De acuerdo a la Norma NTE. E030, para el control de los desplazamientos laterales, los resultados deberán ser multiplicados por el valor de 0.75R para calcular los máximos desplazamientos laterales de la estructura. Se tomaron los desplazamientos del centro de masa y del eje más alejado

3.12.1.7. Diseño de los elementos estructurales

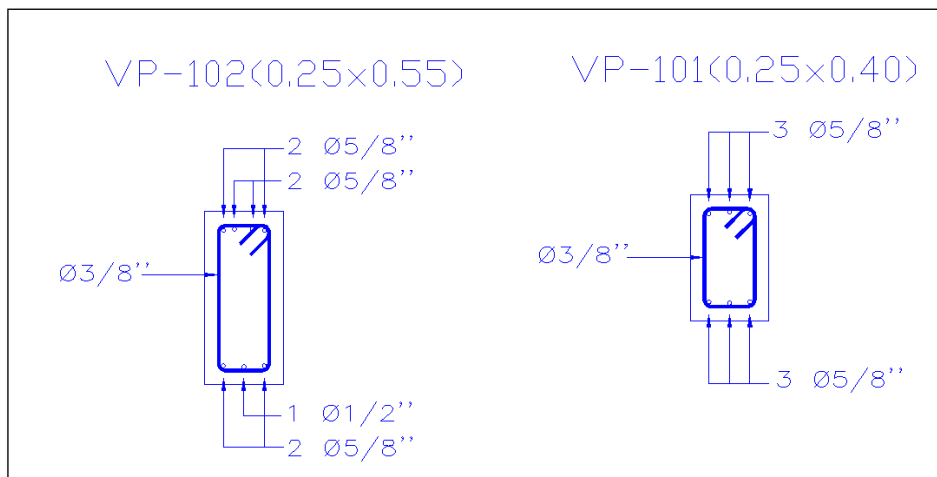
Se ha diseñado los elementos de concreto armado de forma semiautomatizada es decir programa y hojas de cálculo adjuntados en anexo diseño de elementos estructurales.

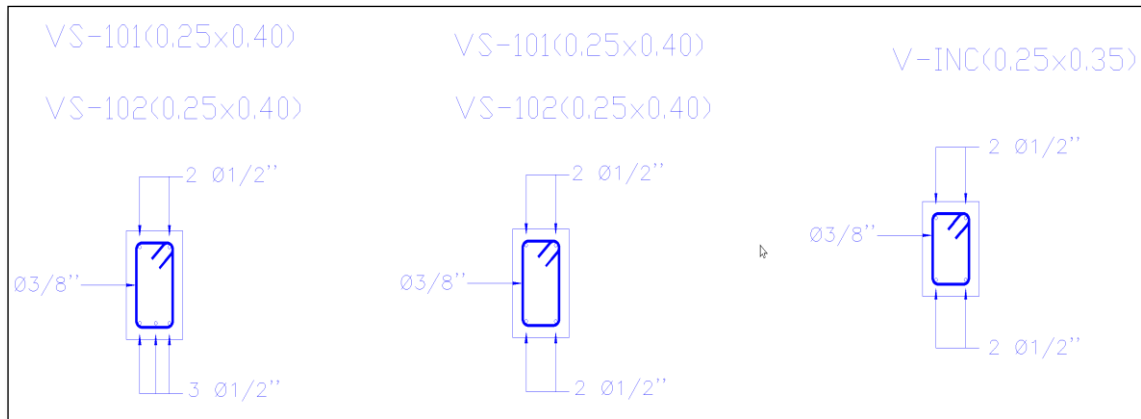
Entonces tendremos como resultado:

Modelo Estructural

Figura 56

Distribución de acero en Vigas principales Etabs



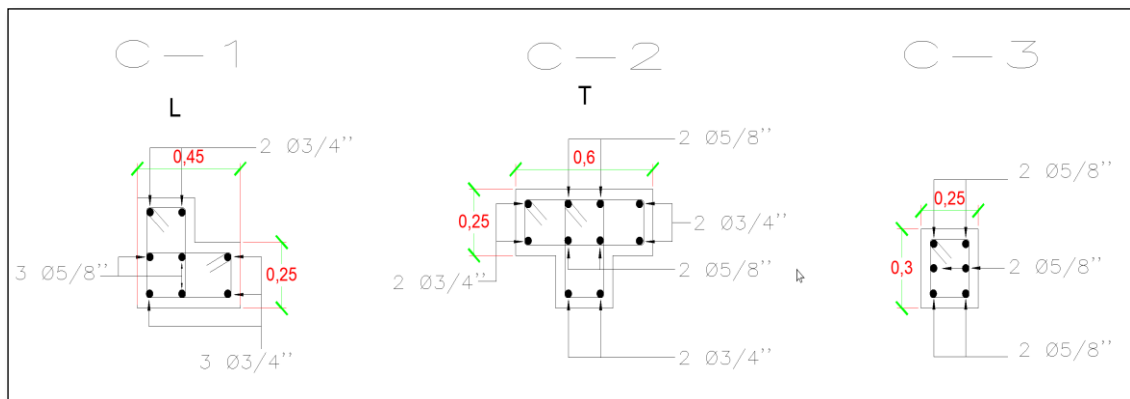


a) Diseño de Columnas

Para el diseño de columnas se calculó mediante el % de cuantía, de igual se realizó en hojas de cálculo adjuntadas al final de la presente investigación cuyos resultados son:

Figura 57

Distribución de acero en columnas



3.12.2. Diseño con el software Cypecad (Versión 18)

Para iniciar con el modelado usaremos todos los datos mencionados a partir del título 3.7 y los valores calculados en base a nuestra norma técnica. Cabe precisar que el modelamiento para ambos modelos estructurales es el mismo.

3.12.2.1. Estructuración y predimensionamiento

Este se realiza según los modelos estructurales propuestos en el capítulo 3.7 ya que han sido calculados previamente utilizando los criterios indicados en las normas técnico peruanas E.020, E.030 y E.060.

3.12.2.2. Modelamiento de Edificio

a) Configuraciones de normativas:

El programa para iniciar con el modelo nos pide ingresar las normativas que se usaran, de los cuales se indican en la imagen siguiente. Para el caso utilizaremos la norma E.060, por asemejarse más a nuestras normas.

Figura 58

Configuración normativa en Cypecad

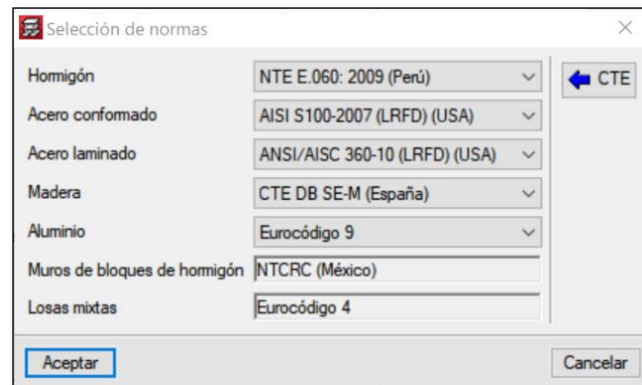
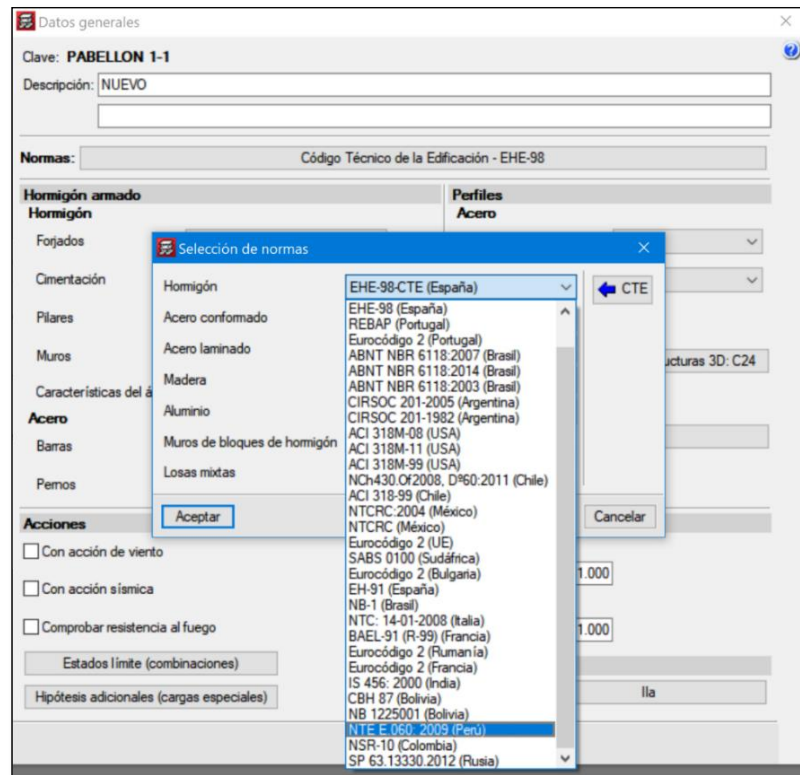


Figura 59

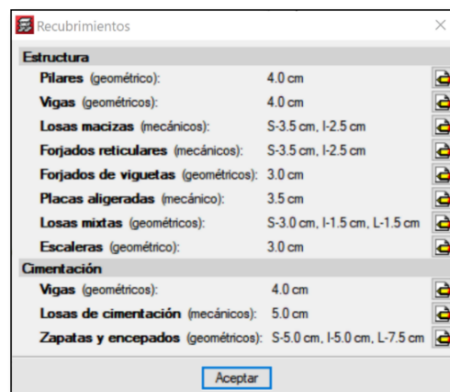
Integración de Norma E.060 en Cypecad



A diferencia de los demás softwares el Cypecad nos pide ingresar todos los parámetros y configuraciones en un inicio, para poder determinar todos los controles y requisitos que nos pide nuestra norma peruana, las configuraciones que se hicieron son las siguientes:

Figura 60

Recubrimientos en Cypecad



Además, también realizamos las configuraciones sísmicas según los datos precisados en el capítulo 3.8 los cuales introducimos en el software.

Figura 61

Ingreso de datos en Cypecad según E.030

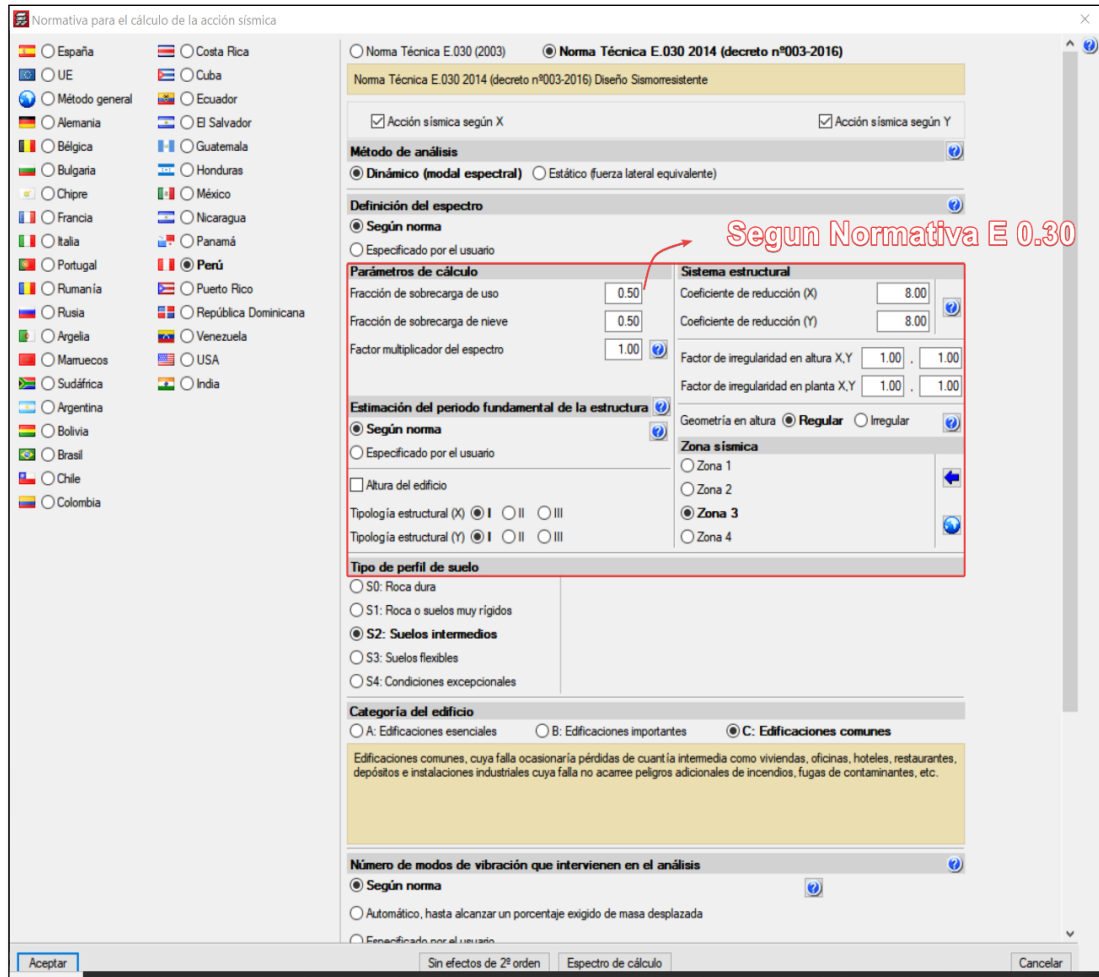


Figura 62

Periodo Fundamental en Cypecad

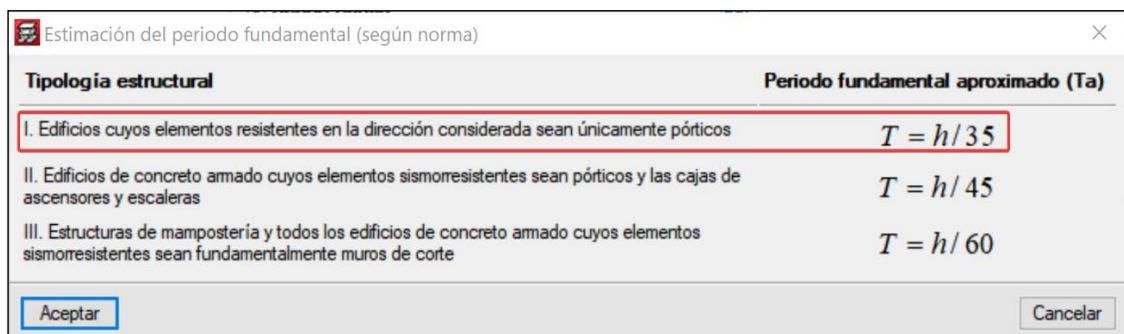


Figura 63

Zonificación sísmica en Cypecad

Importar valores usuales de proyecto

Departamento: Puno

Provincia (Distrito) - Zona sísmica

- SANDÍA (Alto Inambari, San Juan del Oro, Yanahuaya) - Zona 1
- SANDÍA (Cuyocuyo, Limbari, Patambuco, Phara, Quiaca, San Pedro de Putina Puncu, Sandia) - Zona 2
- SAN ANTONIO DE PUTINA (Todos los distritos) - Zona 2
- CARABAYA (Todos los distritos) - Zona 2
- HUANCANE (Todos los distritos) - Zona 2
- MOHO (Todos los distritos) - Zona 2
- PUNO (Costa, Capachica, Amantani) - Zona 2
- PUNO (Acora, Atuncolla, Chucuito, Huata, Mañazo, Paucarcolla, Pichacani, Platería, Puno, San Antonio, Tiquilaca, Vique) - Zona 3
- AZANGARO (Todos los distritos) - Zona 2
- CHUCUITO (Todos los distritos) - Zona 3
- EL COLLAO (Todos los distritos) - Zona 2
- LAMPA (Calapuja, Nicasio, Pucará) - Zona 2
- LAMPA (Cabanilla, Lampa, Ocuivi, Palca, Paratia, Santa Lucía, Viaviva) - Zona 3
- MELGAR (Todos los distritos) - Zona 2
- SAN ROMÁN (Todos los distritos) - Zona 3
- YUNGUYO (Todos los distritos) - Zona 3

Aceptar Cancelar

Figura 64

Categoría del edificio en Cypecad

Categoría del edificio

A: Edificaciones esenciales B: Edificaciones importantes C: Edificaciones comunes

Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes centros, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis

Según norma Automático, hasta alcanzar un porcentaje exigido de masa desplazada Especificado por el usuario

Grados de libertad que intervienen en el análisis

Considerar las plantas bajo rasante en el modelo dinámico

Si la obra actual tiene estructuras 3D integradas y desea que alguna de éstas no se incluya en el modelo dinámico, puede hacerlo con la opción 'Estructuras 3D integradas - Lista de estructuras 3D integradas'.

Verificación de la condición de cortante basal

No realizar la corrección de cortante basal estático Según norma Especificar el porcentaje de cortante basal estático Especificar los factores de modificación

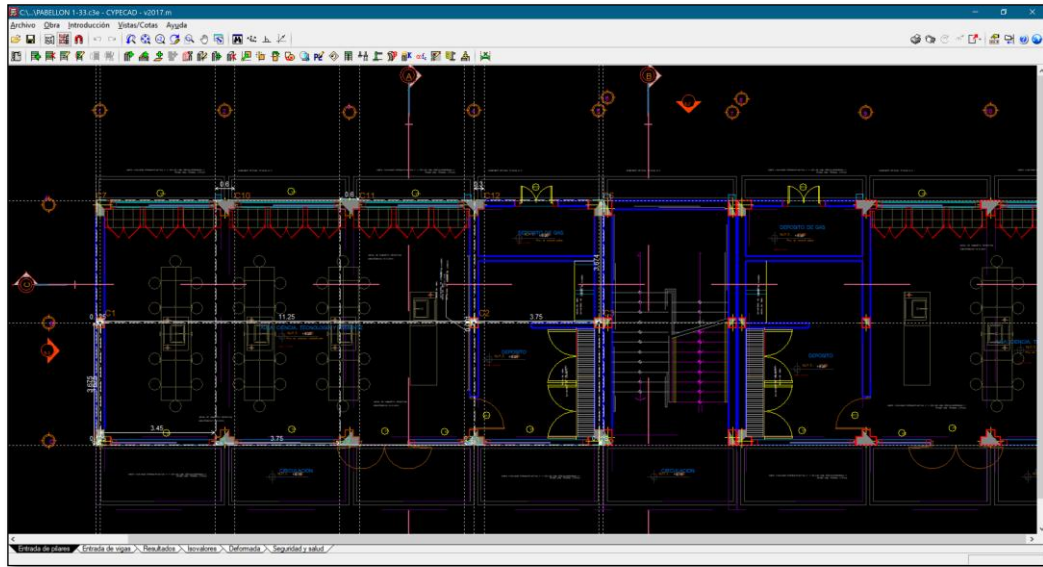
La verificación normativa exige que el cortante basal resultante del análisis dinámico supere un determinado porcentaje del valor del cortante estático definido en la norma. Cuando el valor del cortante dinámico es menor que el mínimo normativo prescrito, el programa realiza el ajuste de los resultados amplificando por el factor de modificación correspondiente.

b) Creación de grillas

A diferencia de los demás softwares el Cypecad nos permite usar archivos con extensión (.cad), para poder generar nuestras grillas en el programa.

Figura 65

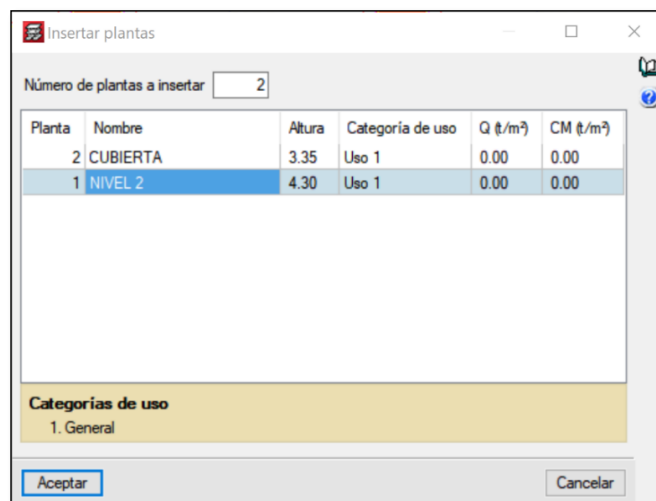
Dibujo de grillas en Cypecad



También definimos los niveles que tendrá nuestro modelo estructural, como se muestra a continuación.

Figura 66

Generación de niveles en Cypecad



c) Definición de Materiales

Definición de material concreto

El programa al tener soporte a nuestra norma ya cuenta con los materiales y parámetros definidos.

Figura 67

Propiedades de materiales en Cypecad

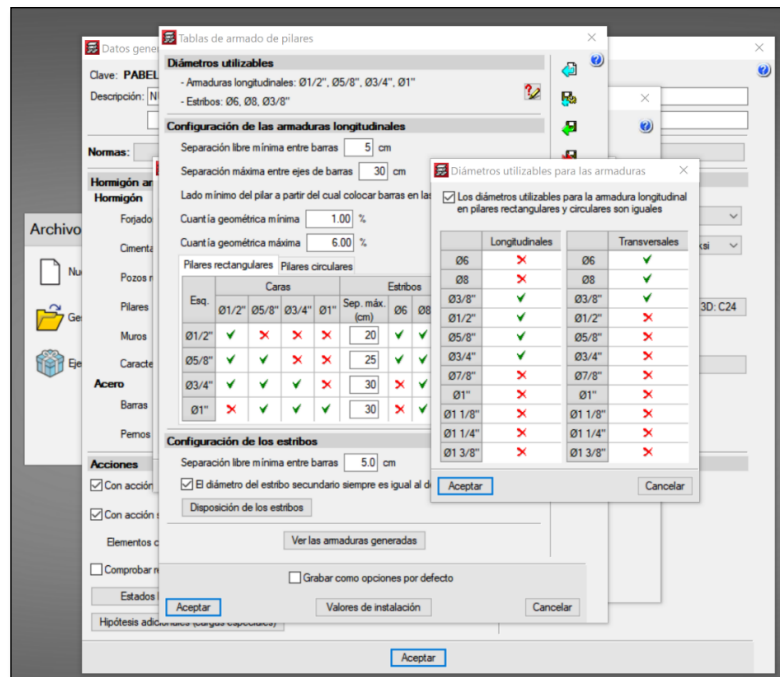
The screenshot shows the 'Datos generales' (General Data) dialog box in Cypecad. The window title is 'Datos generales'. The 'Clave' (Key) is 'PROYECTO ESTRUCTURAL 1' and the 'Descripción' (Description) is 'PROYECTO ESTRUCTURAL 1'. The 'Normas' (Standards) field lists 'NTE E.060: 2009, AISI S100-2007 (LRFD), ANSI/AISC 360-10 (LRFD), CTE DB SE-M y Eurocódigo 9'. The dialog is divided into several sections: 'Hormigón armado' (Reinforced Concrete) with sub-sections for 'Hormigón' (Concrete) and 'Acero' (Steel); 'Perfiles' (Profiles) with sub-sections for 'Acero' (Steel), 'Madera' (Wood), and 'Aluminio extruido' (Extruded Aluminum); and 'Acciones' (Actions) and 'Coeficientes de pandeo' (Buckling Coefficients). In the 'Hormigón' section, 'Fojados', 'Cimentación', 'Pozos romanos', 'Pilares', and 'Muros' are all set to 'F_c=250'. 'Características del árido' is set to '15 mm'. In the 'Acero' section, 'Barras' is set to 'Grado 60' and 'Pernos' is set to 'A-307'. In the 'Perfiles' section, 'Laminados y amados' is set to 'A36' and 'Conformados' is set to 'ASTM A 36 36 ksi'. In the 'Acciones' section, 'Con acción de viento', 'Con acción sísmica', and 'Comprobar resistencia al fuego' are unchecked. In the 'Coeficientes de pandeo' section, 'Pilares de hormigón y mixtos' and 'Pilares de acero' both have 'f_x' and 'f_y' set to '1.000'. An 'Aceptar' (Accept) button is at the bottom.

Definición de material acero

De igual forma, en el acero el programa ya tiene definido lo que es las propiedades del acero los cuales mostramos a continuación.

Figura 68

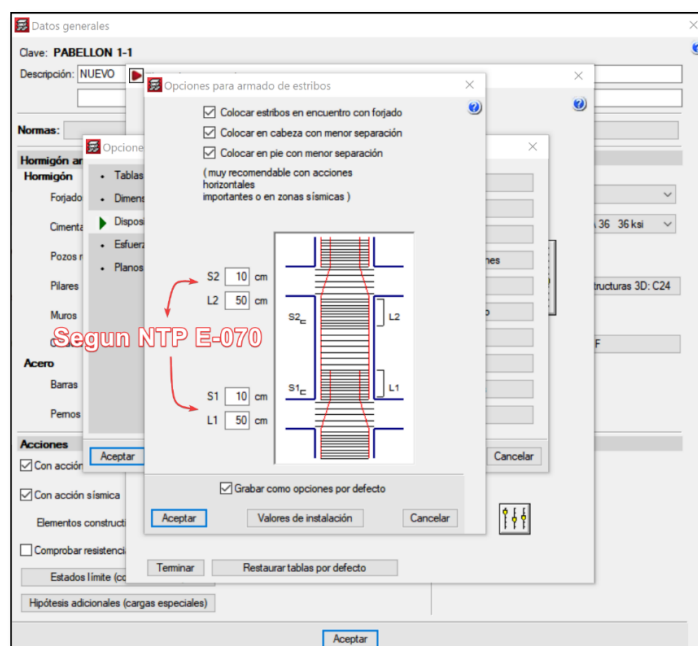
Diámetros Utilizados en Cypecad



También realizamos la configuración de los aceros que utilizaremos en nuestro diseño. Como se muestra a continuación.

Figura 69

Detalle de distribución de estribos Cypecad



Definir Secciones de elementos estructurales

El programa ya cuenta secciones de columnas listas para ingresar, el cual solo debemos dimensionar dependiendo nuestro modelo estructural, Tanto en vigas y columnas.

Figura 70

Generación de columnas en Cypecad

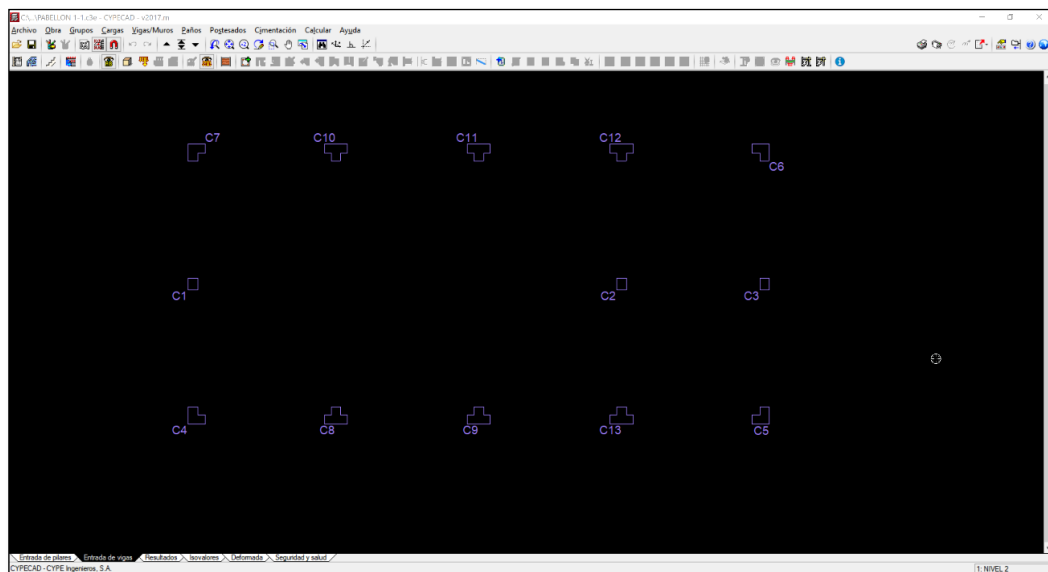
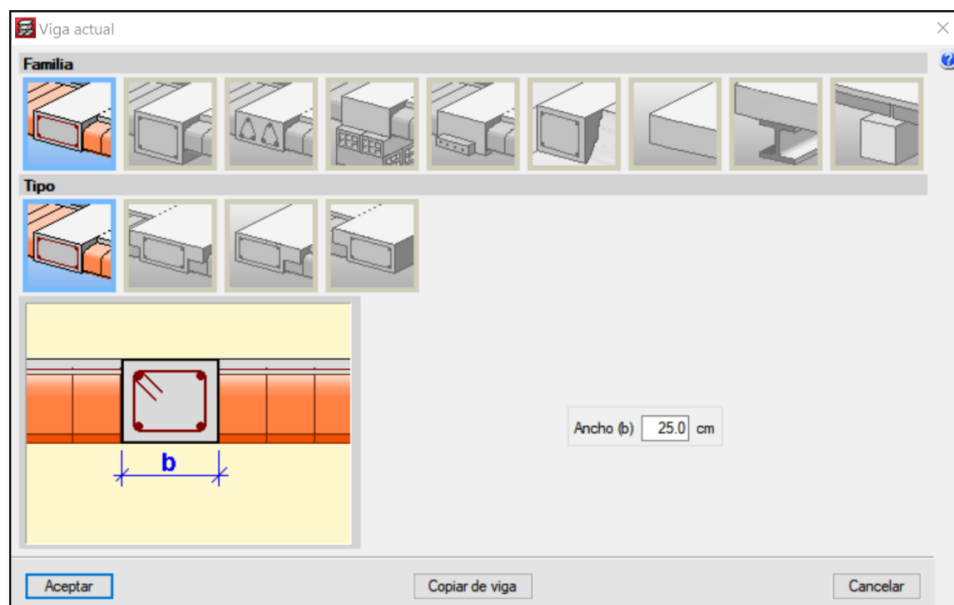


Figura 71

Elección de Vigas en Cypecad

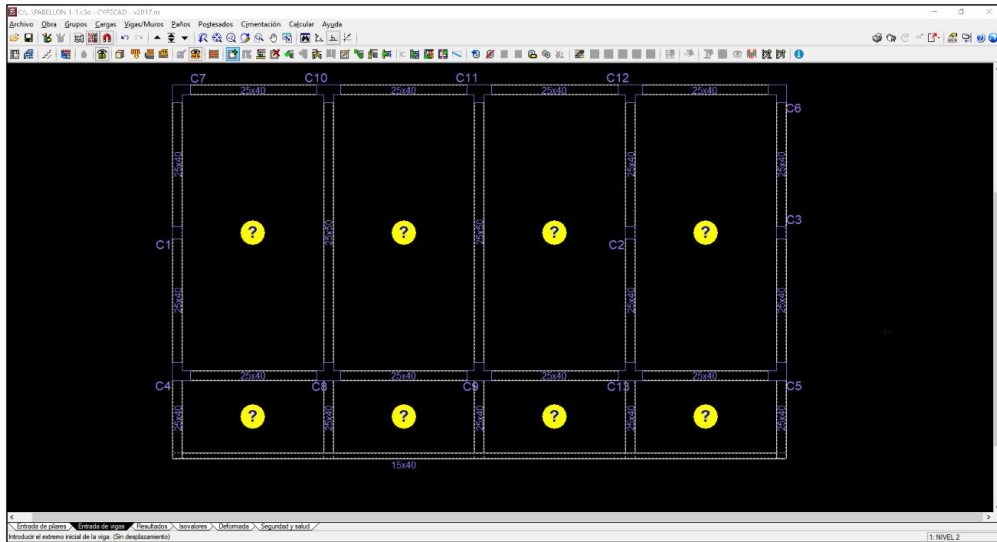


Dibujo de elementos estructurales

Iniciamos el proceso de dibujo de elementos estructurales según lo propuesto en el capítulo 3.7 modelos estructurales. Respetando las dimensiones indicadas.

Figura 72

Planta modelo estructural en Cypacad



También dibujamos las losas de primer nivel y techo inclinado como se muestra a continuación.

Figura 73

Creación de losa aligerada en Cypacad

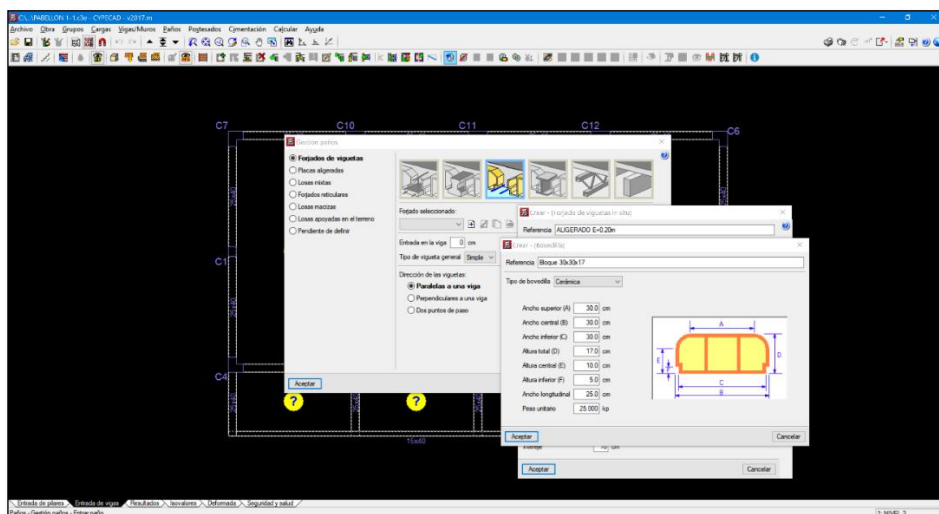


Figura 74

Creación de aligerado nivel 1 Cypecad

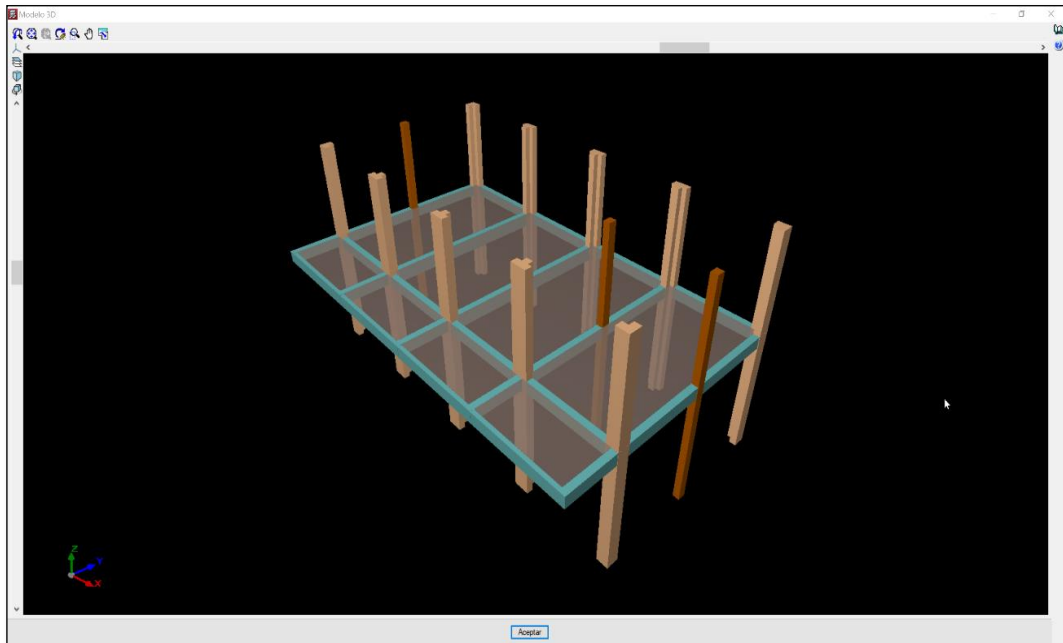
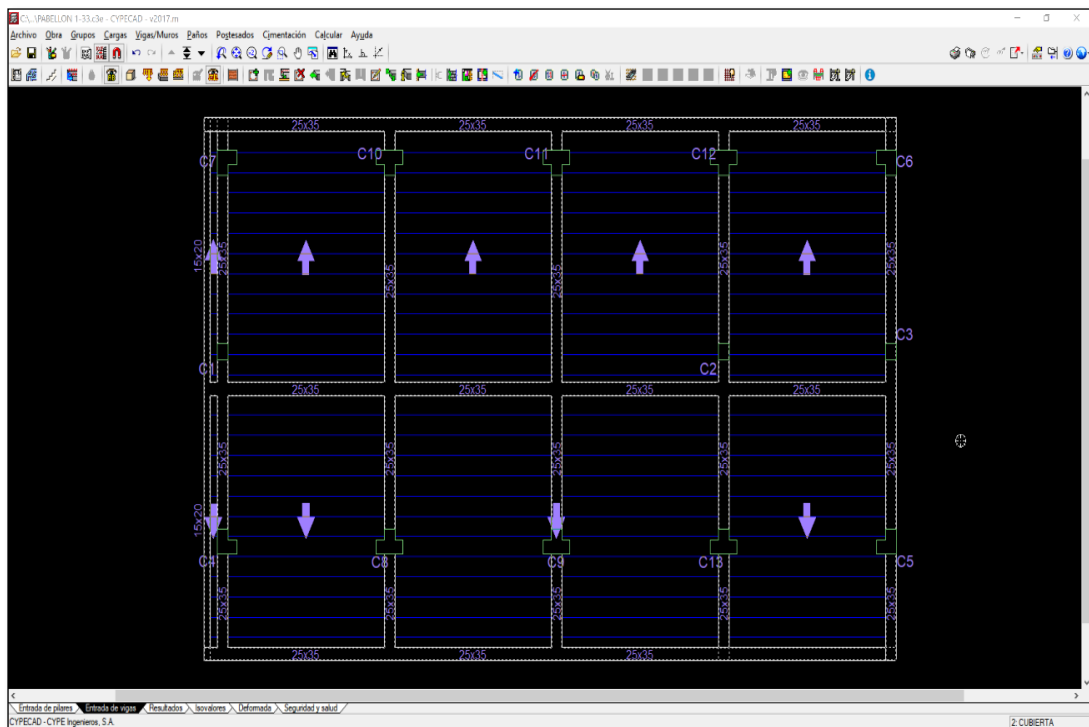


Figura 75

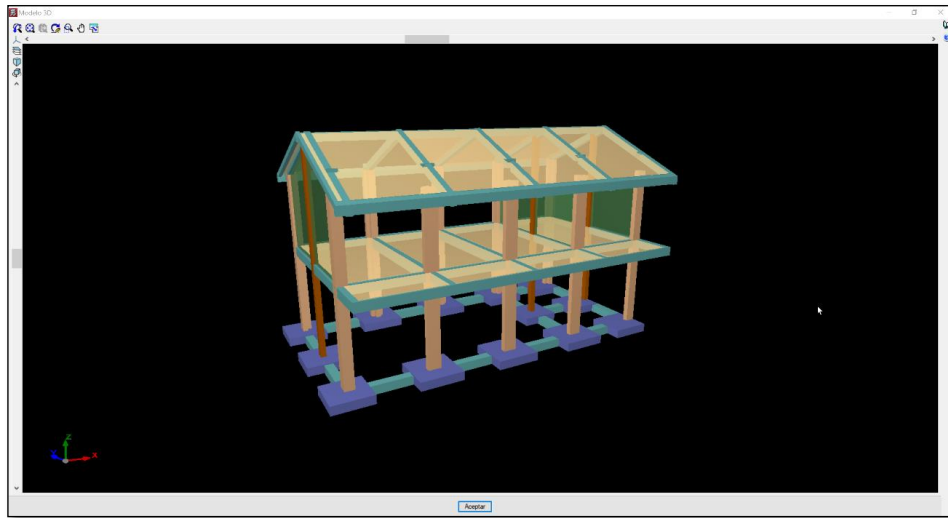
Creación losa inclinada Cypecad



Llegando al modelo extruido 3D, como se muestra a continuación.

Figura 76

Modelo 3D final en Cypecad



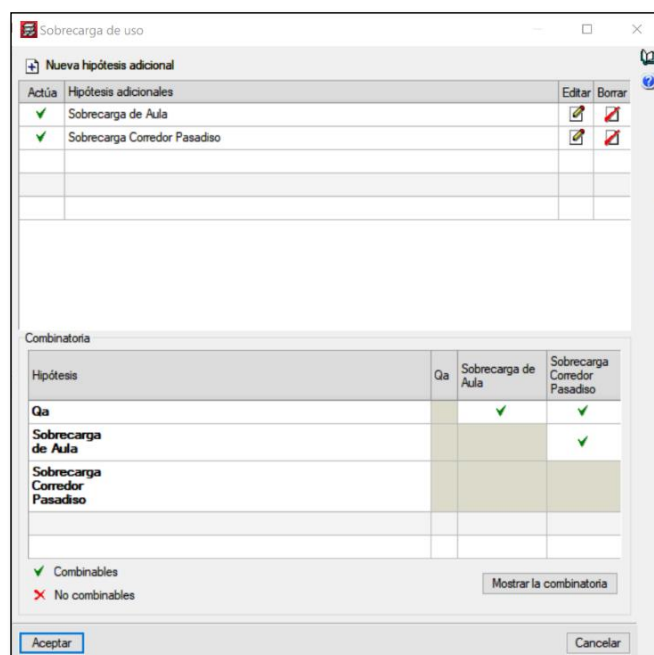
3.12.2.3. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño

a) Sobrecargas aplicadas

Se aplicará a nuestro modelo los siguientes casos de carga. Definidos en la configuración inicial, como se muestra.

Figura 77

Sobrecargas aplicadas en Cypecad



3.12.2.4. Asignación y distribución de Cargas

a) Asignación de cargas

Finalmente asignamos todas las cargas, tanto cargas vivas como muertas las cuales se calcularon en el capítulo 3.8 como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 78

Carga aplicada en Nivel 2 Cypecad

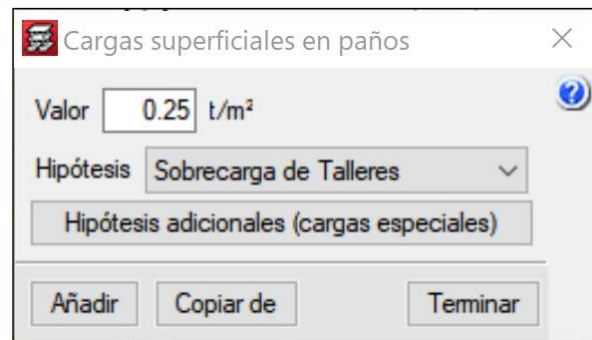
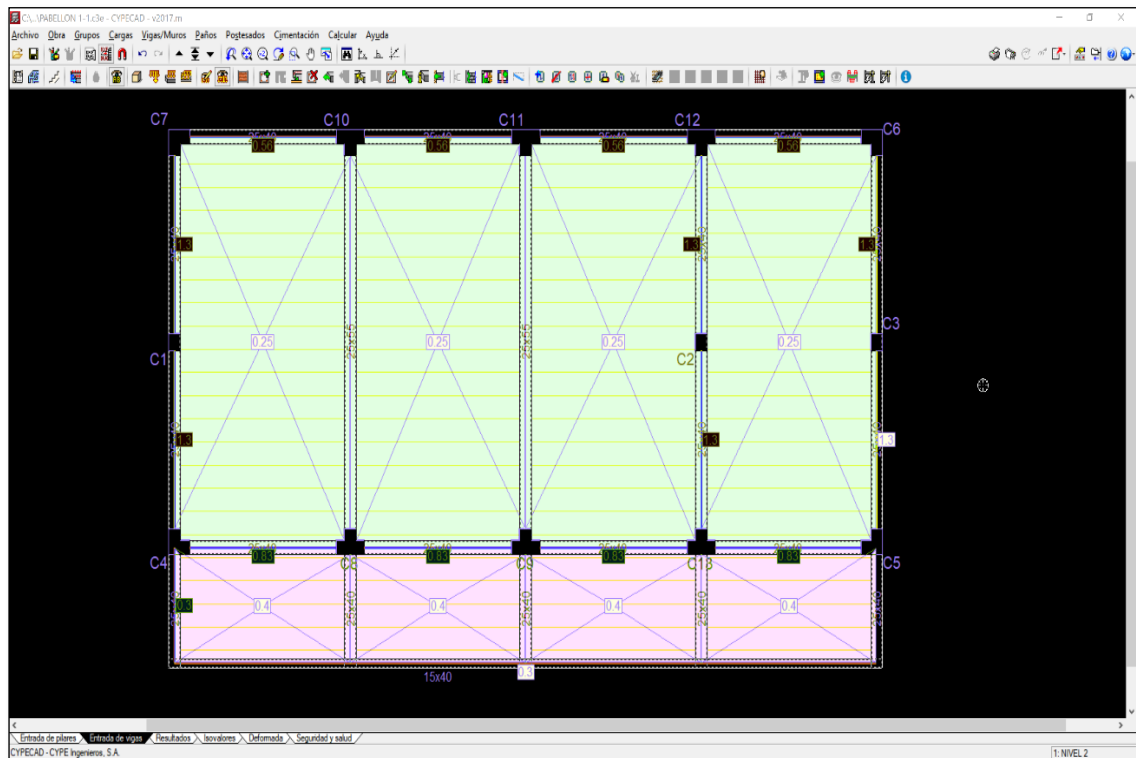


Figura 79

Sobrecargas aplicadas en Cypecad Modelo estructural



3.12.2.5. Verificación de derivas máximas en la edificación

Una vez procesado los datos, el programa nos hace la verificación y nos avisa si no estamos cumpliendo con los requisitos ingresados mediante tablas, como indica nuestra norma técnica en cuadros y textos bien ingresados. De los cuales se pueden verificar en anexos verificaciones. Cuyos resultados mostramos a continuación.

Tabla 29

Resultados del análisis en Cypecad

Modo	T	L _x	L _y	L _{gz}	M _x	M _y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.438	0.0007	0.9961	0.0881	0%	93.15%	R = 8 A = 1.851 m/s ² D = 9.0118 mm	R = 3 A = 4.936 m/s ² D = 24.0315 mm
Modo 2	0.41	0.012	0.0168	0.9999	0.74%	0.02%	R = 8 A = 1.851 m/s ² D = 7.88929 mm	R = 3 A = 4.936 m/s ² D = 21.0381 mm
Modo 3	0.332	0.4673	0.0006	0.8841	92.76%	0%	R = 8 A = 1.851 m/s ² D = 5.15416 mm	R = 3 A = 4.936 m/s ² D = 13.7444 mm
Total						93.50%	93.17%	
. UX (%)		93.50%	>90%	CUMPLE				
. UY (%)		93.17%	>90%	CUMPLE				

3.12.2.6. Diseño de los elementos estructurales

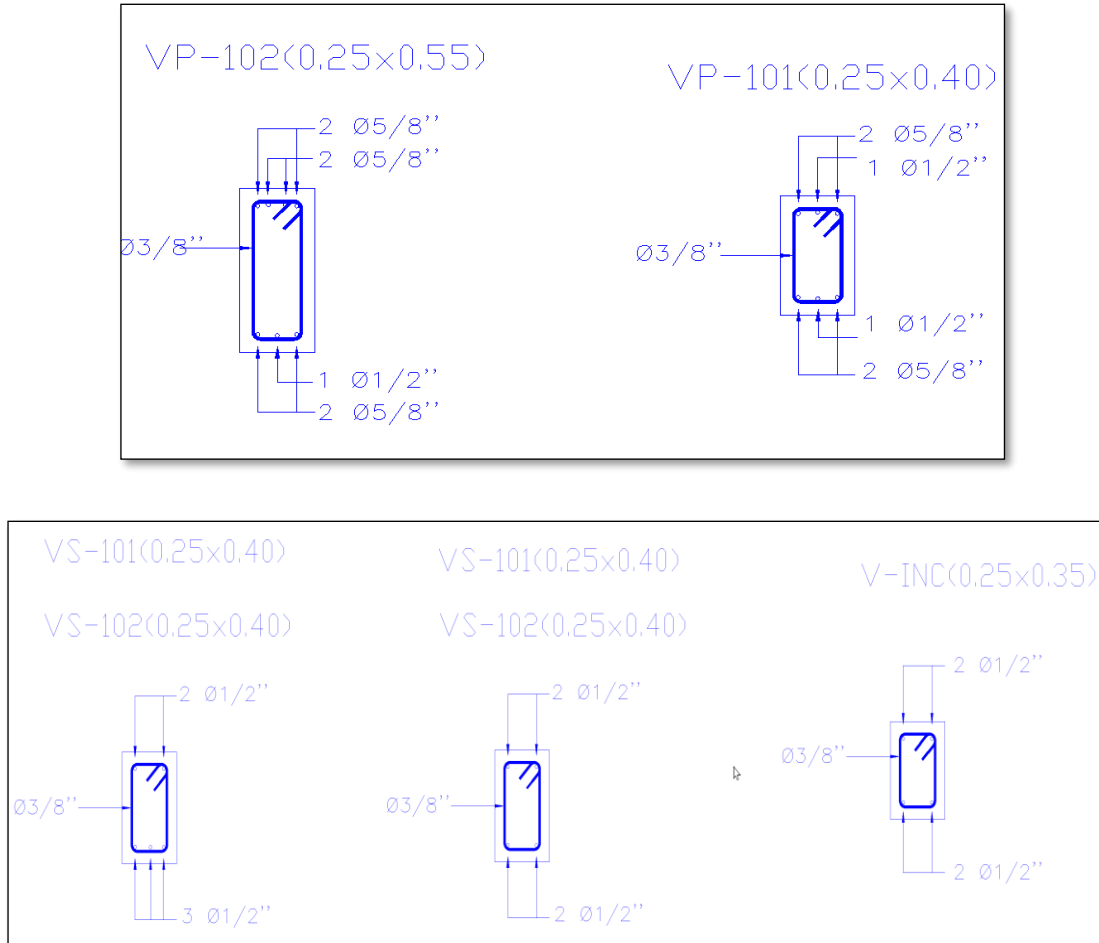
a) Diseño de Vigas

De igual manera se adjunta la memoria de cálculo para los elementos estructurales en anexos diseño estructural de cuyos resultados detallamos a continuación:

Modelo Estructural

Figura 80

Distribución de acero en vigas principales Cypecad

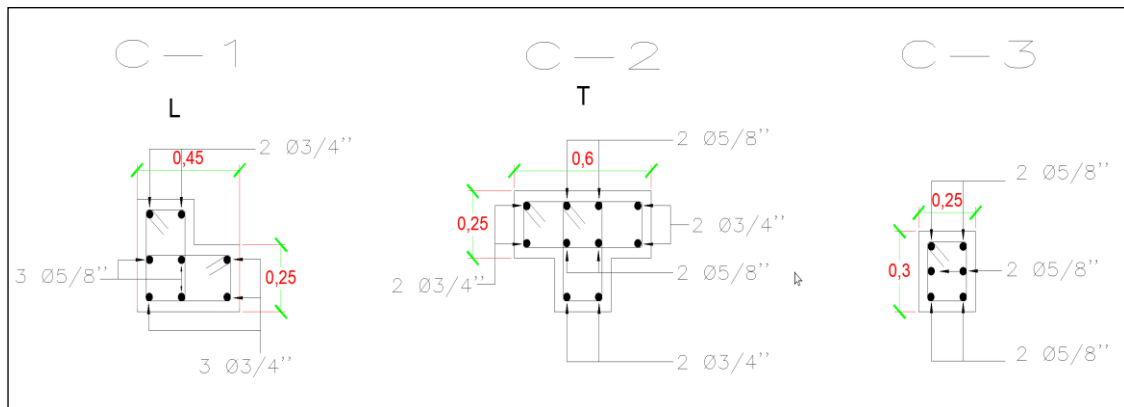


b) Diseño de Columnas

El programa también nos recomienda la distribución de acero las cuales por el caso de estudio tomaremos valores parecidos a los resultados obtenidos en el Etabs. Entonces para ambos modelos estructurales tendremos la siguiente configuración de acero:

Figura 81

Distribución de aceros en columnas Cypecad



c) Diseño de Losa

Para el diseño de losa, se realizó el diseño como si fuera una viga simplemente apoyada y con los datos de momentos de sismo que nos brinda el programa calculamos el acero. De los gráficos mostrados calculamos el acero para la losa aligerada siendo a partir de ello pudimos definir el acero que incluimos para este paño el cual fue 1 varilla longitudinal de 3/8" y de refuerzo para el acero positivo es de 1 varilla de 1/2".

3.12.3. Diseño con el software Sap2000 (Versión 20)

Para iniciar con el modelado usaremos todos los datos mencionados a partir del título 4.1, y los valores calculados en base a nuestra norma técnica.

3.12.3.1. Estructuración y predimensionamiento

Este se realiza según los modelos estructurales propuestos en el capítulo 3.7 ya que han sido calculados previamente utilizando los criterios indicados en las normas técnicas peruanas E.020, E.030 y E.060.

3.12.3.2. Modelamiento de Edificio

Tratándose un software creado por el mismo fabricante del software Etabs, los pasos iniciales vienen a ser el mismo mostrado en el modelamiento estructural del

programa Etabs, para no ser redundantes en el tema obviaremos los pasos hasta el modelamiento y generación de modelo estructural en 3D.

Llegando al modelo extruido 3D, como se muestra a continuación.

Figura 82

Modelo 3D realizado en Sap2000

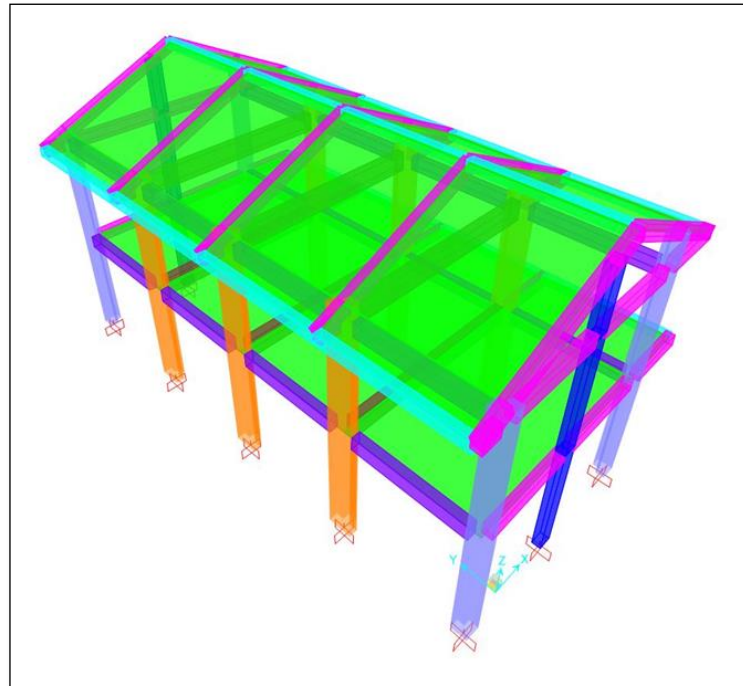
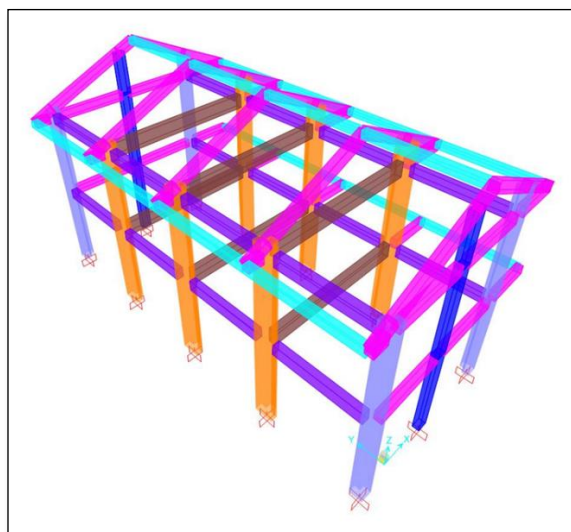


Figura 83

Detalle de elementos estructurales en Sap2000

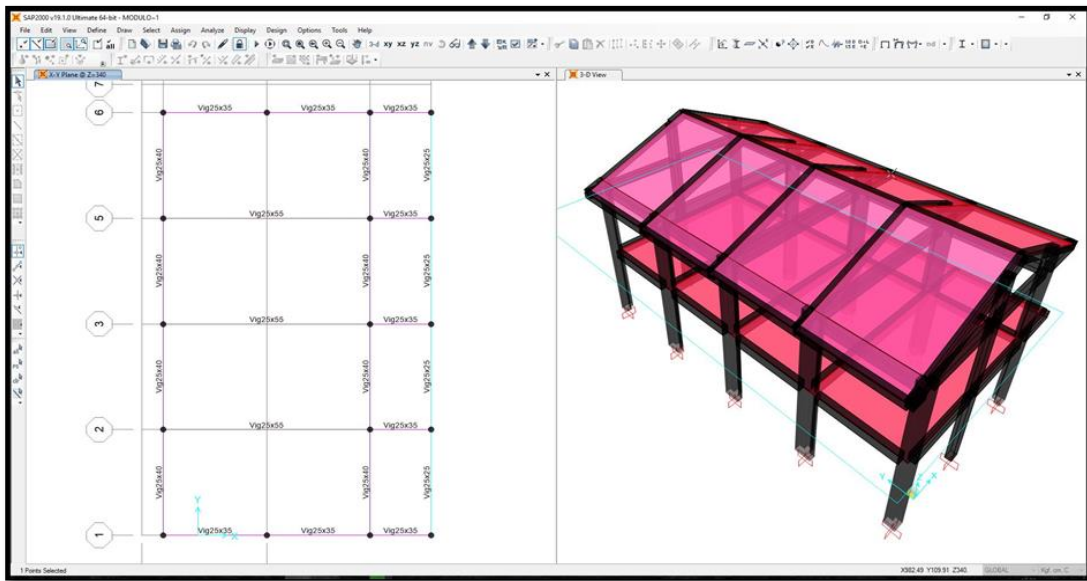


3.12.3.3. Determinación De Diafragmas Rígidos

Generamos los diafragmas rígidos, el programa nos puede genera diafragmas seleccionando elementos al contrario del Etabs que es por niveles como se muestra a continuación.

Figura 84

Determinación de rigideces en Sap2000



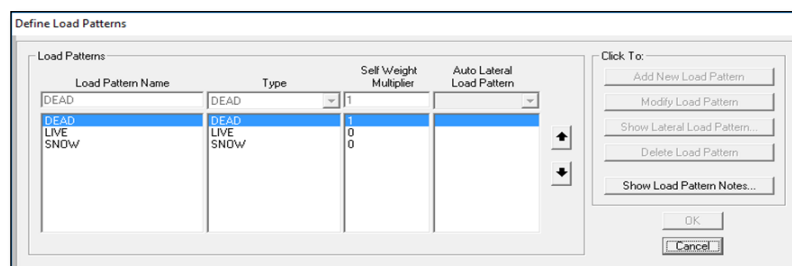
3.12.3.4. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño

a) Load Patterns

Definiremos las cargas que utilizaremos, para el análisis sísmico y dinámico de la estructura

Figura 85

Load patterns en sap2000



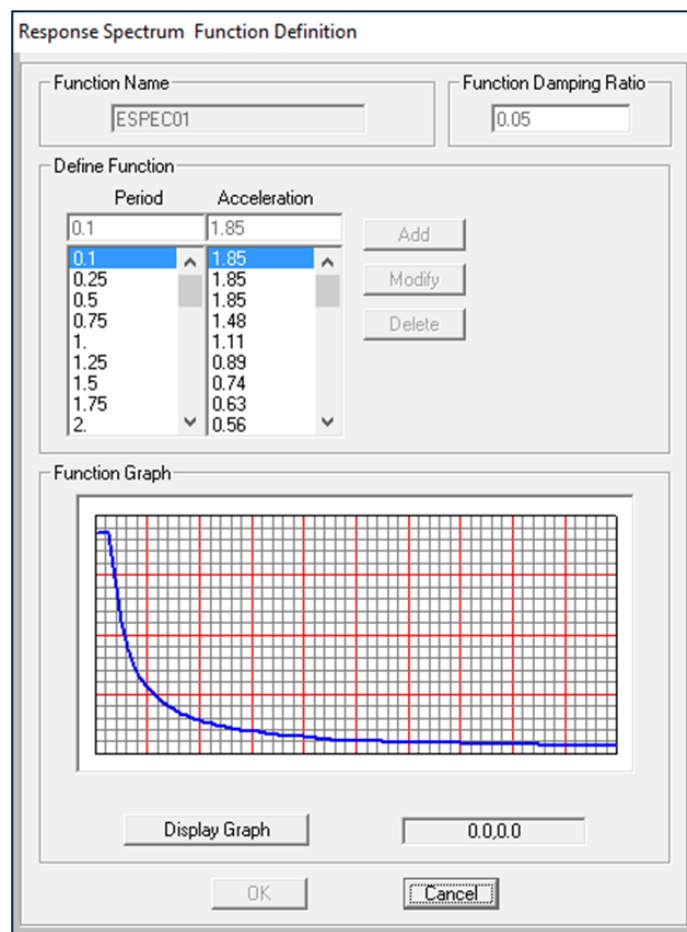
b) Response Spectrum

Así mismo introduciremos el espectro calculado mediante una hoja Excel para todos los programas con todos los datos mencionados en el capítulo 3.8 como se muestra a continuación.

Creamos el espectro en el programa introduciendo los datos calculados en el anterior gráfico, resultando.

Figura 86

Espectro Integrado al Sap2000

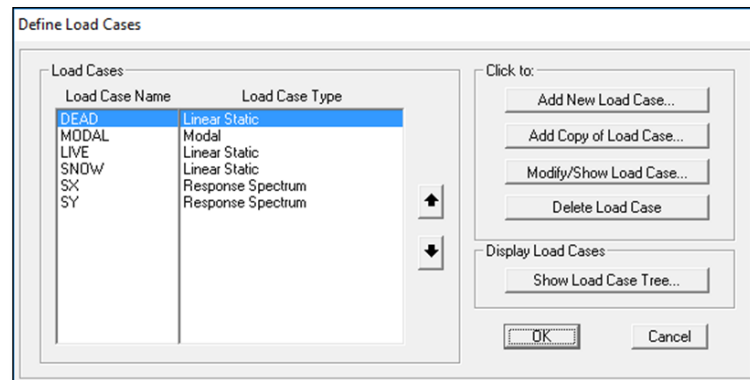


c) Load Cases

Se aplicará a nuestro modelo los siguientes casos de carga. Definidos en load Patterns, como se muestra.

Figura 87

Casos de carga en Sap2000



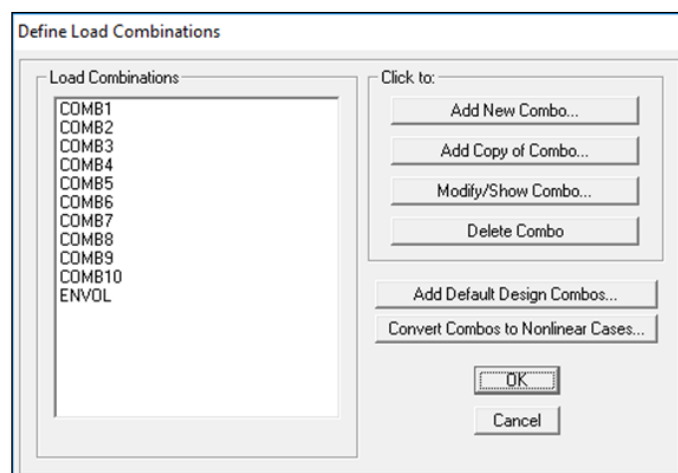
d) Load Combination Data

Son las combinaciones de carga que el programa aplicara a nuestra estructura, descritas en el capítulo 3.8 como por ejemplo tendríamos para el combo 2 como se muestra en la imagen.

Es añadió una combinación de carga adicional la que llamamos Envolverte la cual contiene el 9 de cargas para poder dimensionar la estructura. Es importante que al crearlo se modifique el análisis del programa porque es envolvente y por defecto siempre es lineal.

Figura 88

Combinaciones de cargas en Sap2000



e) Mass Source Data

Para calcular el peso total de la estructura, teniendo en cuenta la norma E.030, según la categoría de edificación en este caso A calculado en el capítulo 3.11 consideramos un 50% de la carga viva, el cual configuramos en nuestro programa.

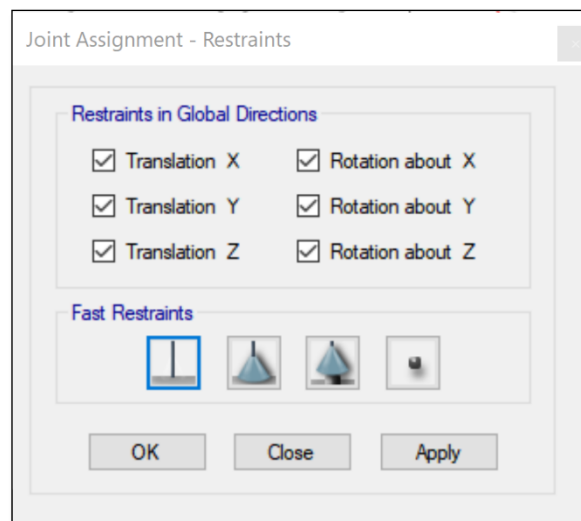
3.12.3.5. Asignación y distribución de Cargas

a) Restricciones en la estructura

Generamos las restricciones en nuestro modelo para que tenga un comportamiento único.

Figura 89

Restricciones consideradas en Sap2000



b) Asignación de cargas

Finalmente asignamos todas las cargas, tanto cargas vivas como muertas las cuales se calcularon en el capítulo 3.11 como se muestra en las siguientes imágenes. De igual manera que mostramos en el Etabs asignamos todas las cargas indicadas en el presente capítulo. Por lo que nos enfocaremos más al diseño en concreto armado el cual nos ayuda de mejor manera el programa.

3.12.3.6. Verificación de derivas máximas en la edificación

Una vez procesado los datos, procedemos a verificar los desplazamientos tanto en X como en Y, como indica nuestra norma técnica en los cuadros siguientes esta verificación se realizó en el anexo verificaciones en anexos de los cuales mostramos las capturas de imagen.

Figura 90

Captura de Verificaciones de derivas en X en anexos

DESPLAZAMIENTO X-X									
PISO	R			DESPLAZAMIENTO MÁXIMOS	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS (D)	HI	DERIVA	Desplazamiento relativo promedio	DESP SEGÚN RNE
		altura acumulado		m	m	m	m	m	C ° A m (D/Hi)
									0.007
3	8	9.05	0.01147	0.06022	0.00079	2.2	0.0003603	0.0003603	0.007 OK
2	8	6.85	0.011319	0.05942	0.02808	3.3	0.0066850	0.0066850	0.007 OK
1	8	3.55	0.005971	0.03135	0.03135	3.55	0.0069662	0.0069662	0.007 OK
				0	0			0.006685	0.0035 OK

Figura 91

Captura de Verificaciones de derivas en Y en anexos

DESPLAZAMIENTO Y-Y									
PISO	R			DESPLAZAMIENTO MÁXIMOS	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS (D)	HI	DERIVA	Desplazamiento relativo promedio	DESP SEGÚN RNE
		altura acumulado		m	m	m	m	m	C ° A m (D/Hi)
									0.005
3	3	9.05	0.005178	0.01165	0.00050	2.2	0.0002281	0.0002281	0.005 OK
2	3	6.85	0.004955	0.01115	0.00494	3.3	0.0014959	0.0014959	0.005 OK
1	3	3.55	0.002761	0.00621	0.00621	3.55	0.0017499	0.0017499	0.005 OK
				0	0			0.001496	0.0025 OK

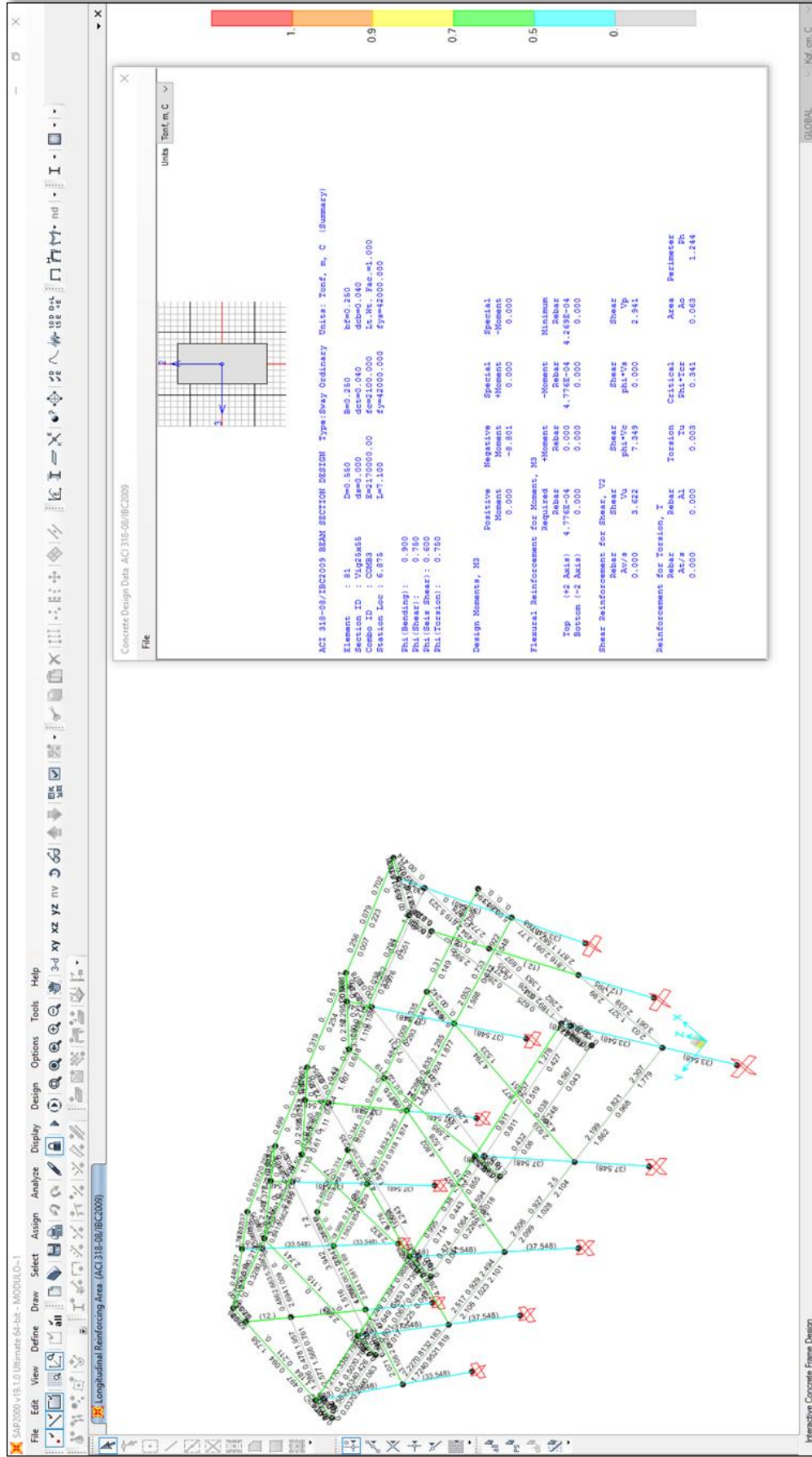
3.12.3.7. Diseño de los elementos estructurales

a) Diseño de Vigas

El programa para el diseño de vigas y columnas nos muestra una serie de gráficos donde nos indica el área de acero requerida, los valores de momento y cortante requeridos y un sumario de datos de dicho elemento, así como las cuantías calculadas, para que nosotros podamos elegir la mejor distribución de acero, cabe resaltar que la interpretación de estos son un tanto complicadas debido a que se muestra un sinnúmero de datos. Como mostramos a continuación.

Figura 92

Diseño de acero en Sap2000

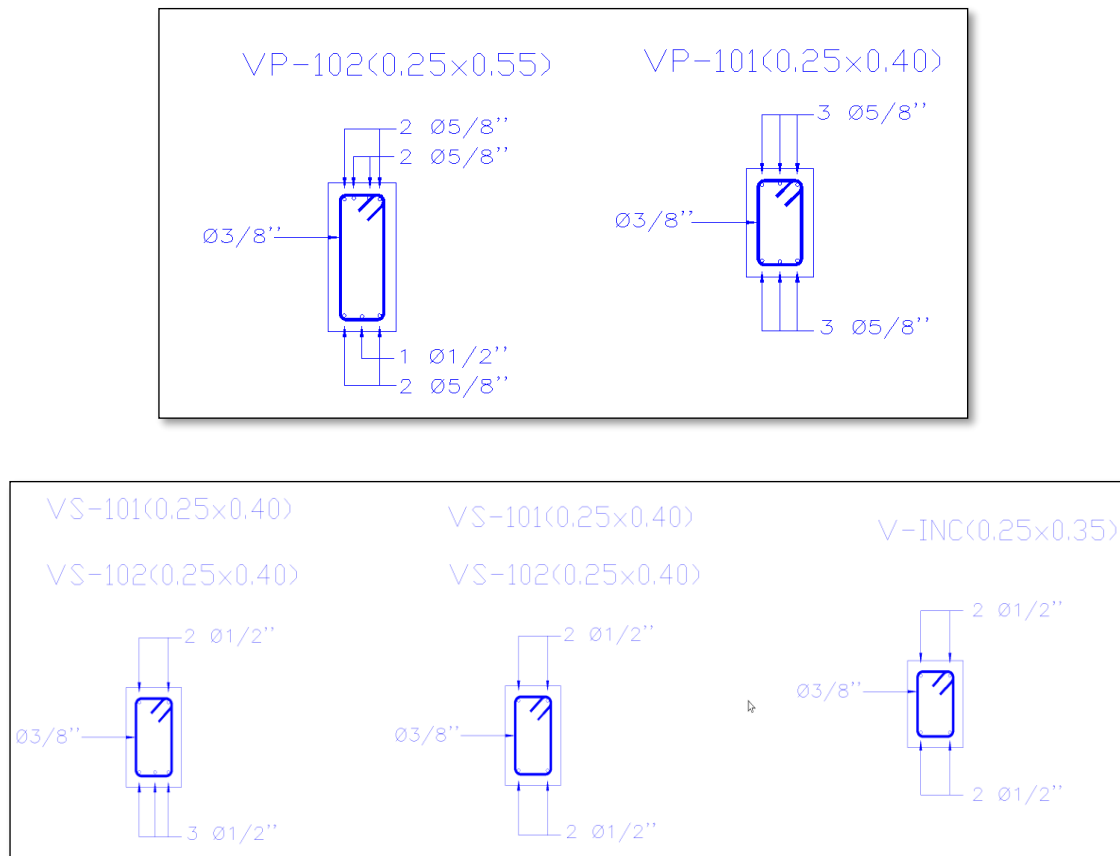


Entonces tendremos como resultado:

Modelo Estructural

Figura 93

Destrucción de acero en vigas principales Sap2000



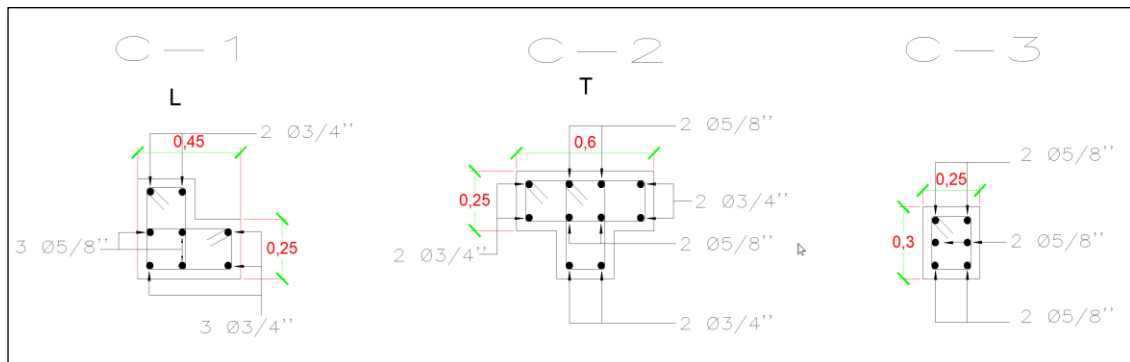
b) Diseño de Columnas

Utilizamos de igual manera los gráficos dados en el diseño de vigas ya que nos muestra para todos los elementos estructurales.

Entonces para ambos modelos estructurales tendremos la siguiente configuración de acero:

Figura 94

Distribución de acero en columnas Sap2000



c) Diseño de Losa

Para el diseño de losa, se realizó el diseño como si fuera una viga simplemente apoyada y con los datos de momentos de sismo que nos brinda el programa calculamos el acero.

De los gráficos mostrados calculamos el acero para la losa aligerada siendo a partir de ello pudimos definir el acero que incluimos para este paño el cual fue 1 varilla longitudinal de 3/8" y de refuerzo para el acero positivo es de 1 varilla de 1/2".

3.12.4. Diseño con el software Revit Estructural (Versión 2022)

Para iniciar con el modelado usaremos todos los datos mencionados a partir del título 3.7 y los valores calculados en base a nuestra norma técnica. Cabe precisar que el modelamiento para ambos modelos estructurales es el mismo. Además, para los cálculos estructurales se usó la herramienta del Robot estructural ya que trabaja en el mismo paquete.

3.12.4.1. Estructuración y predimensionamiento

Este se realiza según los modelos estructurales propuestos en el capítulo 3.7 ya que han sido calculados previamente utilizando los criterios indicados en las normas técnicas peruanas E.020, E.030 y E.060.

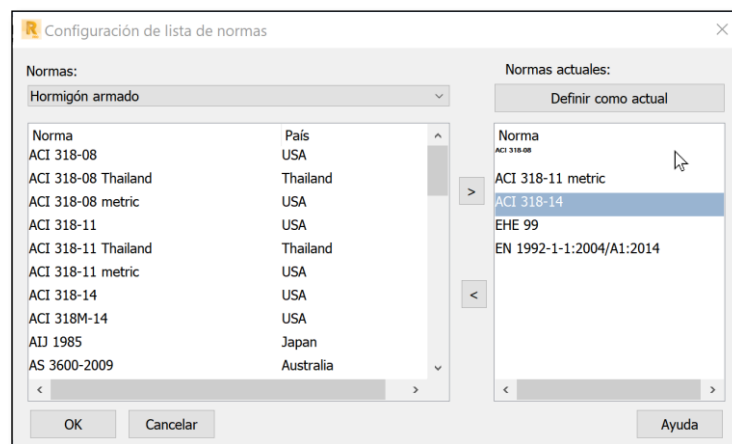
3.12.4.2. Modelamiento de Edificio

a) Configuraciones de normativas:

El programa para iniciar con el modelo nos pide ingresar las normativas que se usaran, de los cuales se indican en la imagen siguiente. Para el caso de concrete design code usaremos la ACI 318-14, por asemejarse más a nuestras normas.

Figura 95

Ventana de configuración normativa Revit Estructural

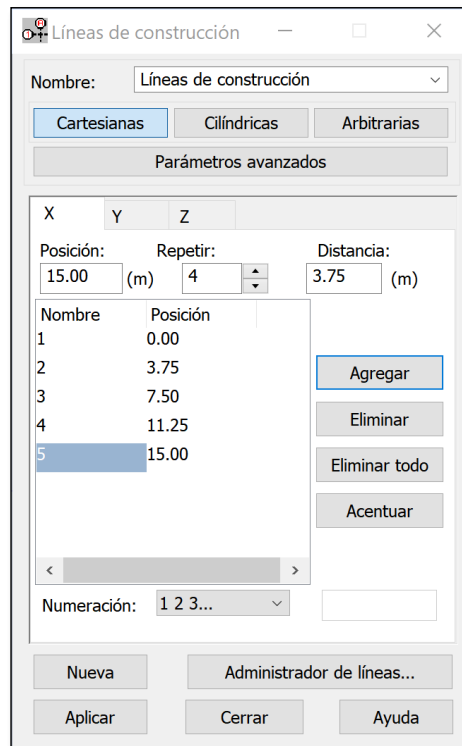


b) Creación de grillas

En base a nuestros modelos estructurales creamos las grillas que nos servirán para poder dibujar nuestros elementos en el programa, como se muestra a continuación.

Figura 96

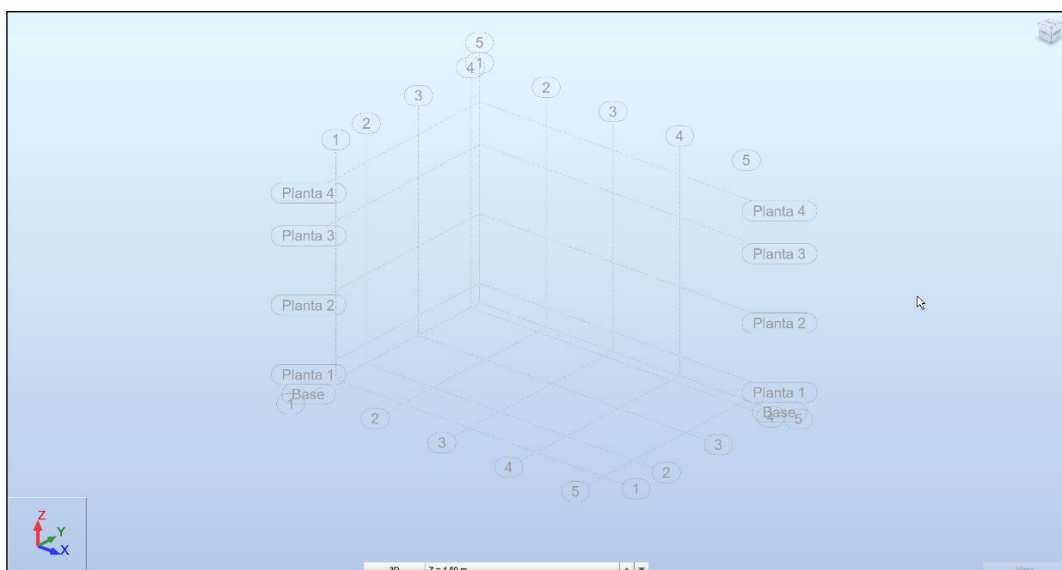
Ventana de ingreso de grillas Revit Estructural



Teniendo como resaltado la siguiente ventana en donde realizaremos el dibujo de todos nuestros elementos.

Figura 97

Ventana de grillas creadas en Revit Estructural



c) Definición de Materiales

Definición de material concreto

Con los datos descritos en el capítulo 3.9 definimos e introducimos nuestros datos al programa convirtiendo a kg a ton, como se muestra a continuación.

Figura 98

Ventana de Propiedades del concreto en Revit Estructural

Elasticidad		Resistencia	
módulo de Young, E:	2173706.5 (tf/m2)	Característico	2100.00 (tf/m2)
coeficiente de Poisson, v:	0.2	Muestra:	Cilíndrico
coeficiente de Kirchoff, G:	905711.04 (tf/m2)		

Definición de material acero

De igual forma, con los datos descritos en el capítulo 3.9 definimos e introducimos nuestros datos al programa convirtiendo a kg a ton, como se muestra a continuación.

Figura 99

Ventana de Propiedades del acero en Revit Estructural

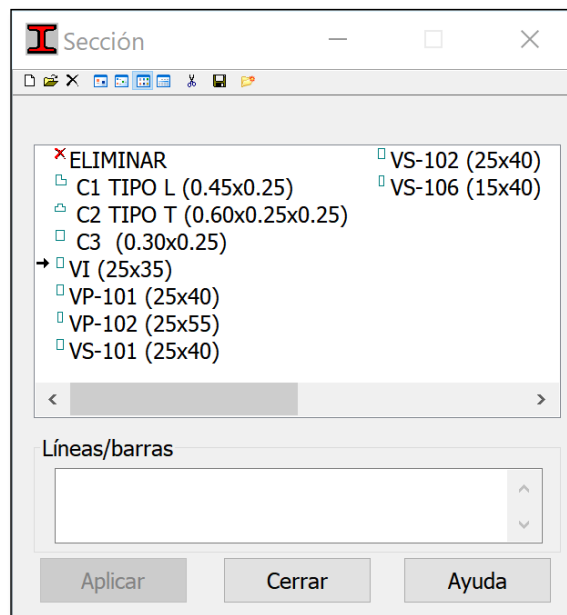
Elasticidad		Resistencia	
módulo de Young, E:	20000000.0 (tf/m2)	Característico	42000.00 (tf/m2)
coeficiente de Poisson, v:	0.2	reducción para el cortante:	1.54
coeficiente de Kirchoff, G:	88750000.0 (tf/m2)	límite de tracción:	36709.78 (tf/m2)

Definir Secciones de elementos estructurales

Según lo indicado en los datos de modelo estructural capítulo 3.7 creamos nuestros elementos y sus secciones para columnas, vigas y losas como se muestra a continuación.

Figura 100

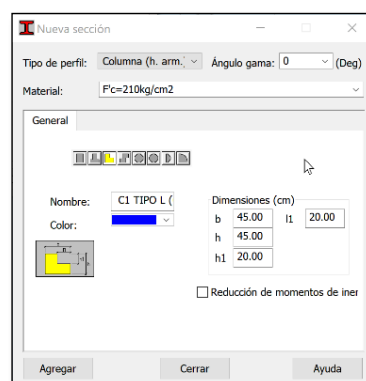
Elementos Definidos en Revit Estructural, Vigas y Columnas



Como ejemplo mostraremos los datos ingresados, para nuestra columna C1 tipo L, como se muestra a continuación.

Figura 101

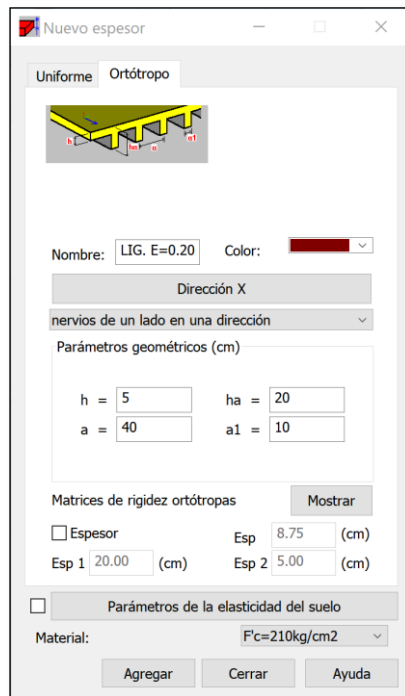
Detalle de sección columna C3 en Revit Estructural



También definimos nuestra losa como un elemento ortótropo, también indicamos un espesor de 0.05m para el concreto y 0.015m para el ladrillo, con las siguientes propiedades.

Figura 102

Propiedades del aligerado en Revit Estructural

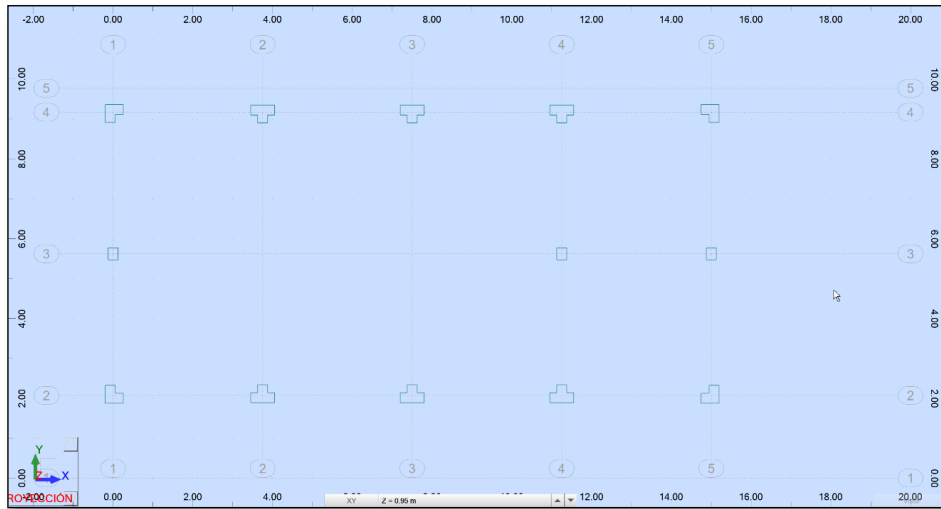


Dibujo de elementos estructurales

Iniciamos el proceso de dibujo de elementos estructurales según lo propuesto en el capítulo 3.7 modelos estructurales. Respetando las dimensiones indicadas.

Figura 103

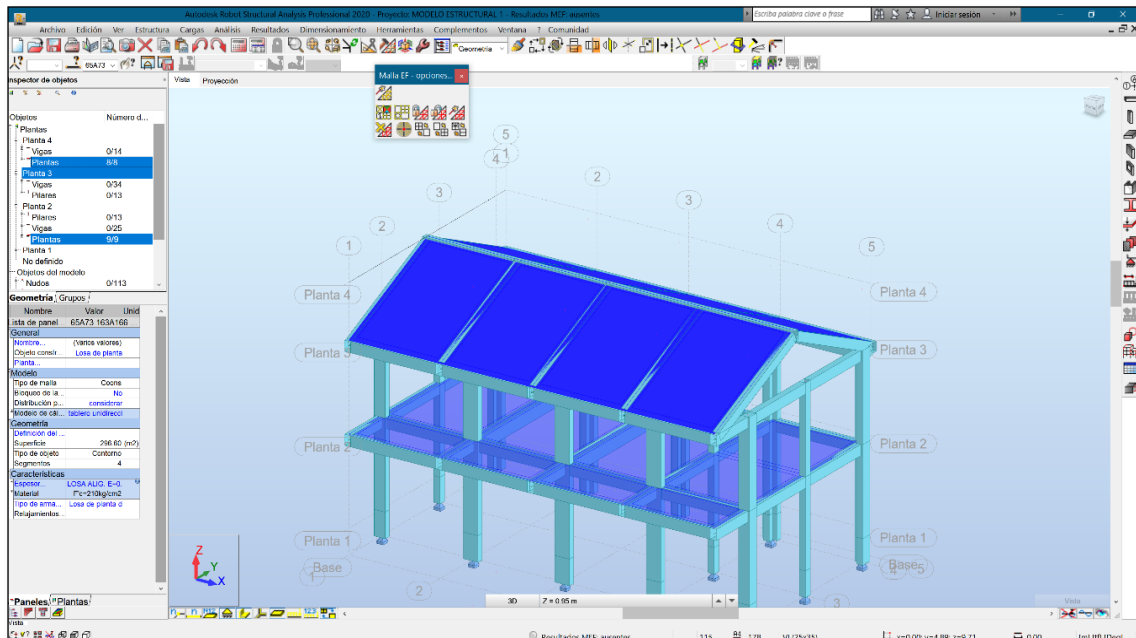
Dibujo de elementos estructurales en Revit Estructural



Llegando al modelo extruido 3D, como se muestra a continuación.

Figura 104

Modelo 3D del modelo estructural Revit Estructural

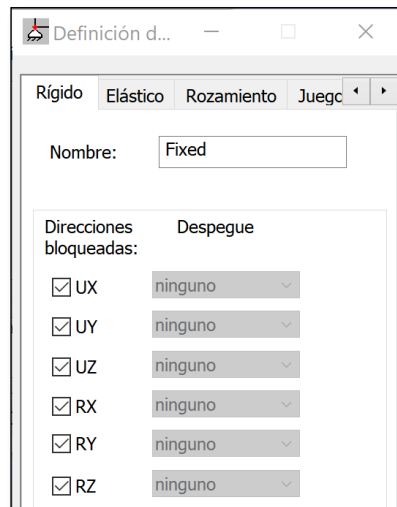


Diafragma

Para tener una mejor distribución de las fuerzas de sismo en nuestros elementos, y poder formar un solo conjunto.

Figura 105

Creación de diafragmas en Revit Estructural



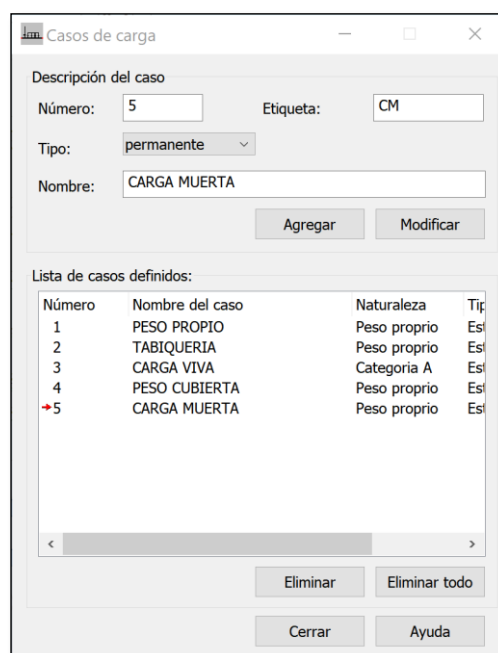
3.12.4.3. Casos de Cargas y Combinaciones de diseño

a) Casos de carga

Definiremos las cargas que utilizaremos, para el análisis sísmico y dinámico de la estructura.

Figura 106

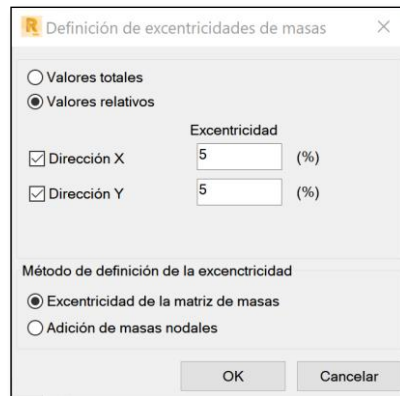
Definición de cargas en Revit Estructural



También definiremos las excentricidades de masas en el modelo estructural como sigue.

Figura 107

Definición de excentricidad de masas en Revit Estructural

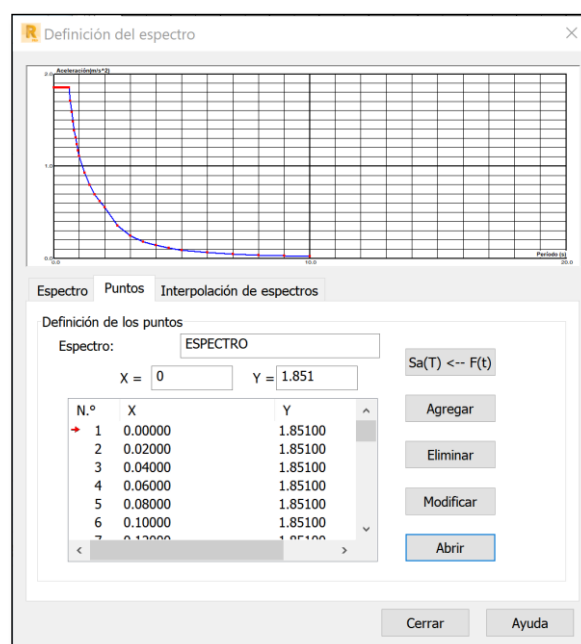


b) Espectro de respuesta

Creamos el espectro en el programa introduciendo los datos calculados en los anteriores capítulos, resultando.

Figura 108

Espectro de aceleración sísmica cargado al Revit Estructural

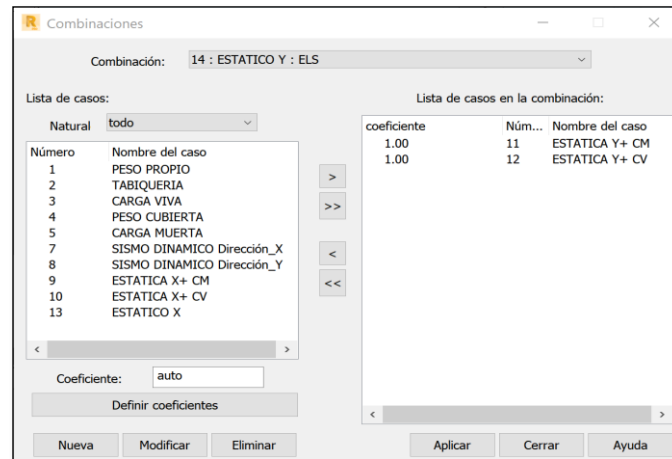


c) Generación de casos de cargas

Se aplicará a nuestro modelo los siguientes casos de carga. Definidos en casos de carga, como se muestra.

Figura 109

Casos de carga en Revit Estructural

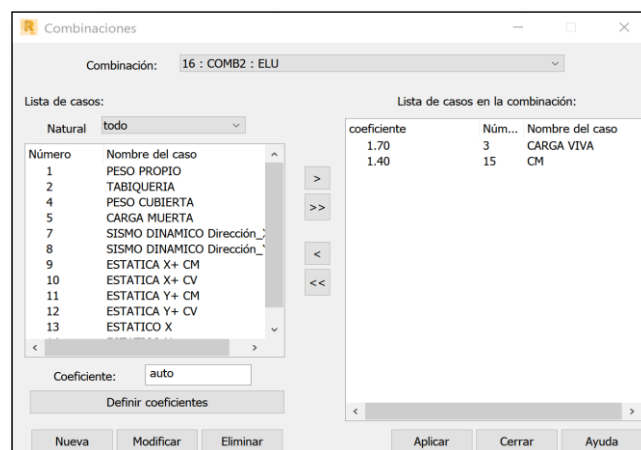


d) Combinaciones de carga

Son las combinaciones de carga que el programa aplicara a nuestra estructura, descritas en el capítulo 3.8 como por ejemplo tendríamos para el combo 2 como se muestra en la imagen.

Figura 110

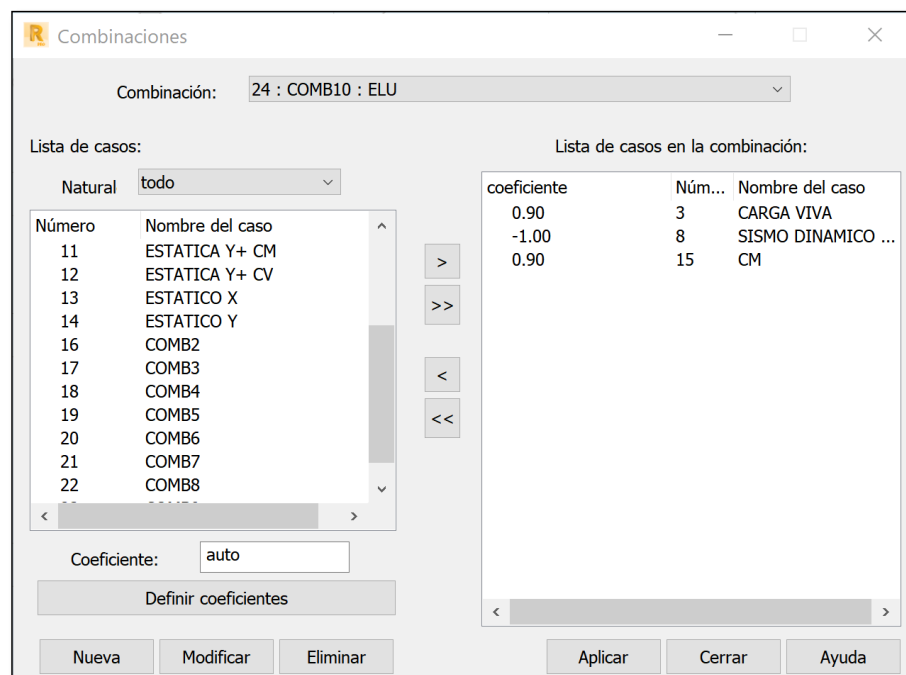
Combinación de carga según normativa E.030 en Revit Estructural



Es añadió una combinación de carga adicional la que llamamos Envolvente la cual contiene el 9 de cargas para poder dimensionar la estructura. Es importante que al crearlo se modifique el análisis del programa porque es envolvente y por defecto siempre es lineal.

Figura 111

Creación de la Envolvente en Revit Estructural



e) Consideración de la masa

Para calcular el peso total de la estructura, teniendo en cuenta la norma E.030, según la categoría de edificación en este caso A calculado en el capítulo 3.11 consideramos un 50% de la carga viva, el cual configuramos en nuestro programa como se muestra a continuación.

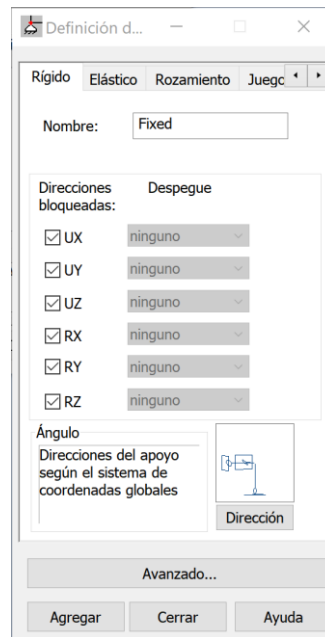
3.12.4.4. Asignación y distribución de Cargas

c) Restricciones en la estructura

Generamos las restricciones en nuestro modelo para que tenga un comportamiento único.

Figura 112

Restricciones en Revit Estructural



d) Asignación de cargas

Finalmente asignamos todas las cargas, tanto cargas vivas como muertas las cuales se calcularon en el capítulo 3.8 como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 113

Ventana de cargas aplicadas tabiquería en Revit Estructural

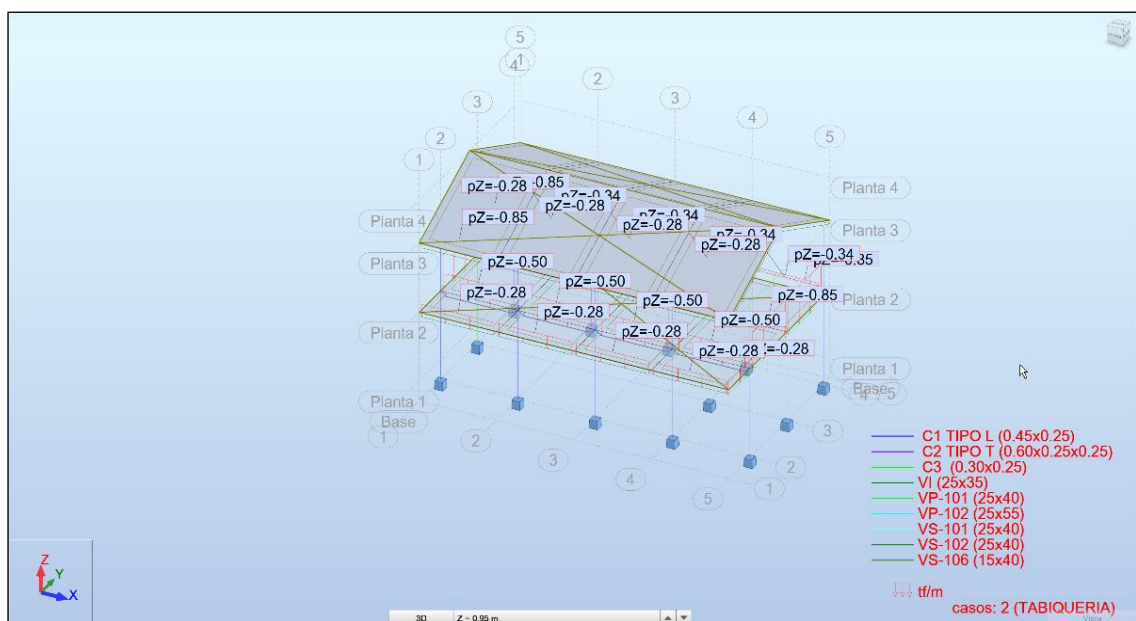
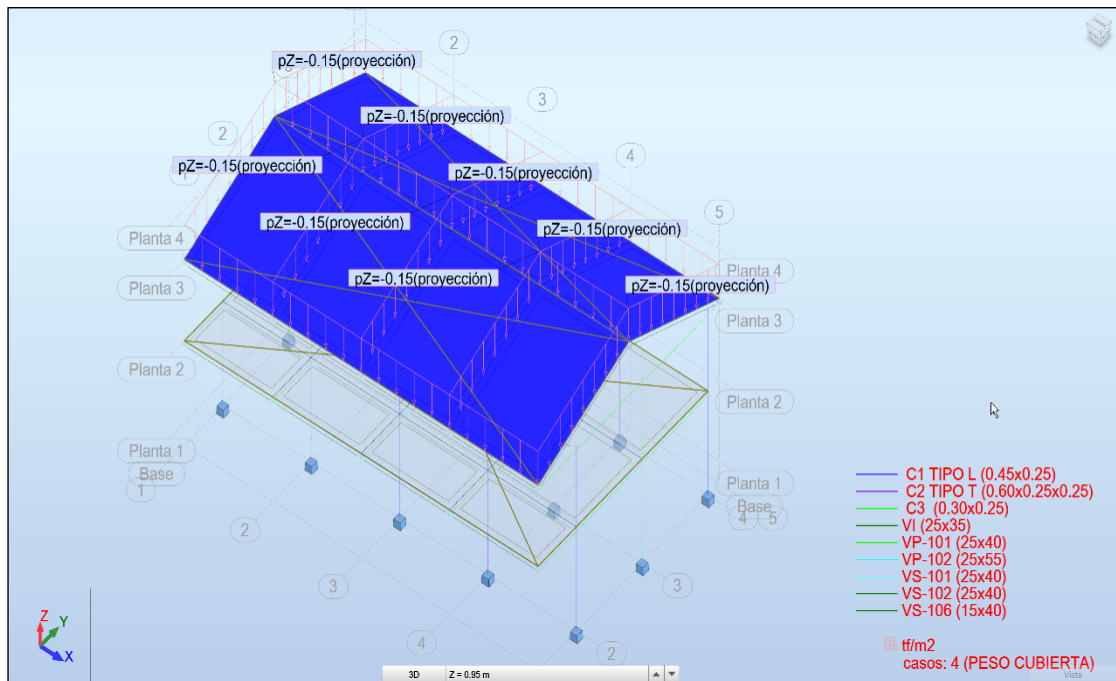


Figura 114

Cargas aplicadas en Losa inclinada en Revit Structural



3.12.4.5. Verificaciones normativas

Procedemos con las verificaciones especificadas en nuestra norma, con hojas de cálculos adjuntadas en el anexo Verificaciones, de los cuales en resumen tendremos.

Figura 115

Captura de resultados Revit estructural

MODO	Frecuencia (Hz)	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)
1	2.5393	0.3938	0	0	1.3524	0	0	1.3524
2	3.0222	0.3309	0.0028	0	1.3524	0.0028	0	0
3	3.0668	0.3261	83.5542	0	1.3526	83.5514	0	0.0002
4	4.1973	0.2382	83.5542	0	1.6122	0	0	0.2596
5	5.8694	0.1704	83.5542	82.9943	1.6573	0	82.9942	0.0451
6	6.1345	0.163	83.5542	83.039	1.6573	0	0.0447	0
7	7.109	0.1407	83.5584	83.0407	1.6584	0.0042	0.0017	0.0011
8	8.6116	0.1161	83.5584	83.0408	1.7487	0	0	0.0904
9	8.9775	0.1114	83.5665	83.0799	8.0665	0.0081	0.0392	6.3177
10	9.9186	0.1008	83.567	88.1931	11.2082	0.0005	0.0639	3.1417
11	10.5961	0.0944	83.5743	88.1932	11.2402	0.0073	0.0149	0.032
12	10.7315	0.0932	92.7953	92.3591	11.2408	9.2209	0.0013	0.0006
			. UX (%)	92.7953	>90%	CUMPLE		
			. UY (%)	92.3591	>90%	CUMPLE		

a) Verificando los desplazamientos

También se verifico los desplazamientos y calculo las derivas de forma semiautomatizada adjuntadas en anexos verificaciones de irregularidad, de los cuales mostrados las capturas.

Figura 116

Captura de cálculo de derivas en X en Revit Estructural

DESPLAZAMIENTO X-X										
PISO	R			DESPLAZAMIENTO MÁXIMOS	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS (D)	HI	DERIVA	Desplazamiento relativo promedio	DESP SEGÚN RNE	
		altura acumulado		m	m	m	m	m	C °A m (D/Hi)	
									0.007	
3	8	9.05	0.00619	0.03250	0.00184	2.2	0.0008352	0.0008352	0.007	OK
2	8	6.85	0.00584	0.03066	0.01423	3.3	0.0033875	0.0033875	0.007	OK
1	8	3.55	0.00313	0.01643	0.01643	3.55	0.0036517	0.0036517	0.007	OK
								0.003388	0.0035	OK

Figura 117

Captura de cálculo de derivas en Y en Revit Estructural

DESPLAZAMIENTO Y-Y										
PISO	R			DESPLAZAMIENTO MÁXIMOS	DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS (D)	HI	DERIVA	Desplazamiento relativo promedio	DESP SEGÚN RNE	
		altura acumulado		m	m	m	m	m	C °A m (D/Hi)	
									0.005	
3	3	9.05	0.00459	0.01033	0.00104	2.2	0.0004705	0.0004705	0.005	OK
2	3	6.85	0.00413	0.00929	0.00419	3.3	0.0012682	0.0012682	0.005	OK
1	3	3.55	0.00227	0.00511	0.00511	3.55	0.0014387	0.0014387	0.005	OK
								0.001268	0.0025	OK

3.12.4.6. Diseño de los elementos estructurales

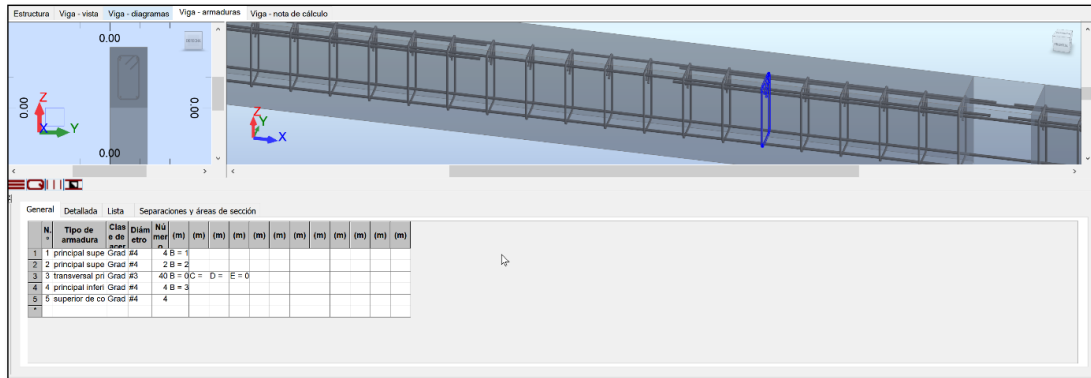
a) Diseño de Vigas

El programa nos ayuda en gran parte en este cálculo, debido a que cuenta con una herramienta que no sirve para generar el acero en nuestras secciones obtenidas. Debemos configurar según criterios técnicos, además muestra los diagramas de fuerzas y momentos, hojas de resultados y planos, realiza el chequeo de los mismos.

Tendremos como ejemplo la viga V30x60, como se muestra. Y también los cálculos se realizó en la memoria de cálculo en anexos.

Figura 118

Generación de acero de refuerzo en Revit Estructural

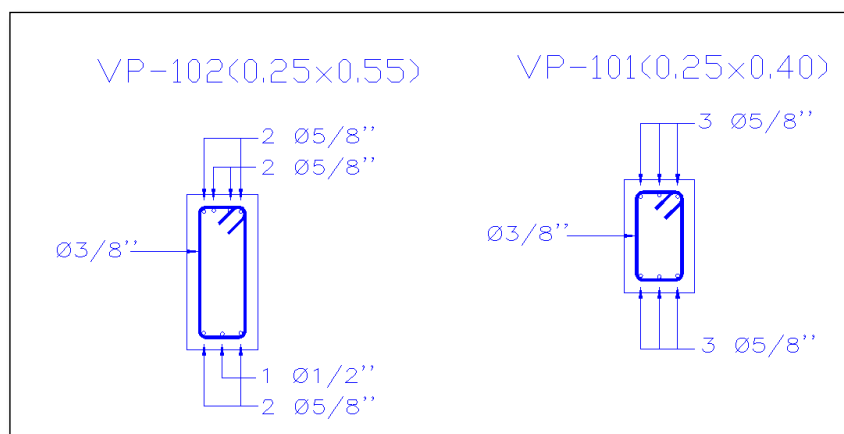


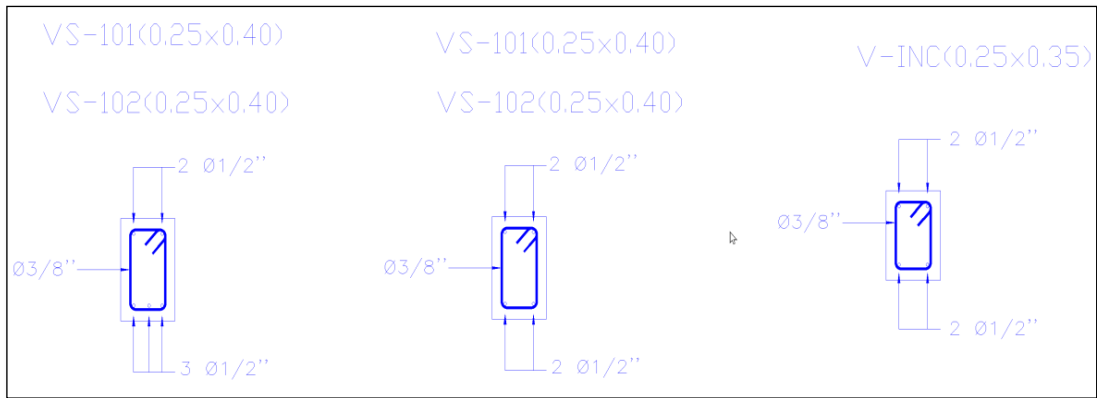
Entonces tendremos como resultado:

Modelo Estructural

Figura 119

Distribución de acero en vigas principales Revit Estructural





b) Diseño de Columnas

De igual manera el programa nos ayuda a generar el acero de refuerzo en las columnas las cuales nosotros podemos ir generando y encontrando el diseño más económico. Mostramos a continuación el diseño de la columna tipo L C1.

Figura 120

Diagramas de iteración para la C1 en Revit Estructural

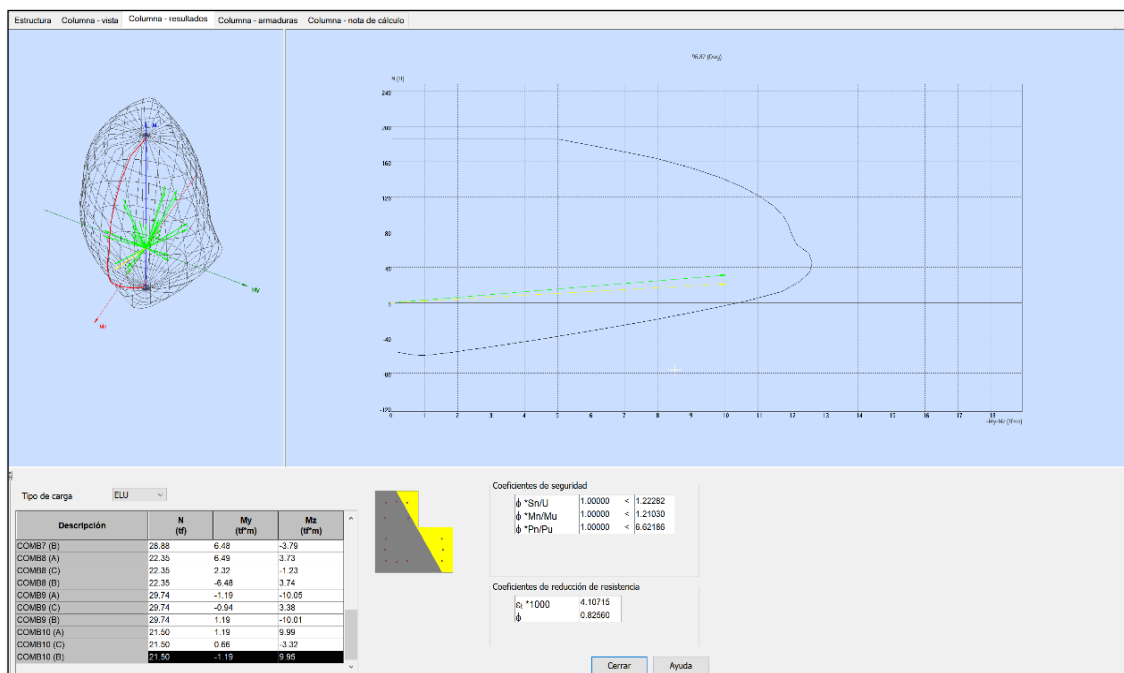
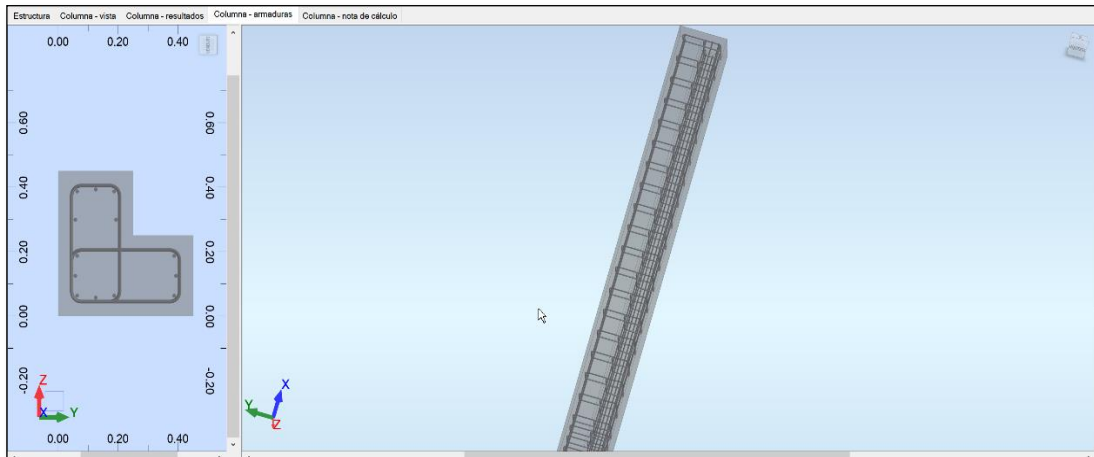


Figura 121

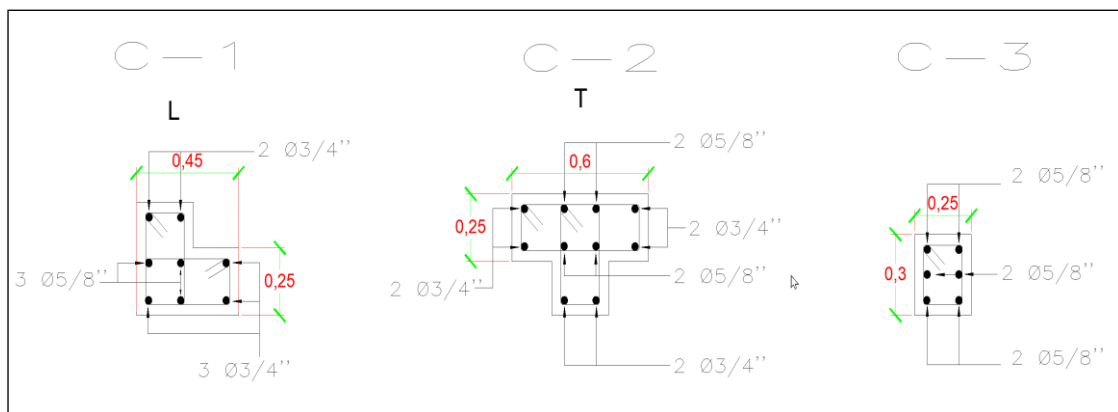
Acero de refuerzo para la C1 en Revit Estructural



Entonces para ambos modelos estructurales tendremos la siguiente configuración de acero:

Figura 122

Distribución de acero en columnas Revit Estructural



Todos los resultados y comprobaciones de este capítulo se adjuntan en anexos verificaciones y diseño de elementos estructurales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados del Modelamiento

Se ha realizado el modelamiento del modelo estructural propuesto en cada uno de los softwares, cabe indicar que se ha optimizado el modelo, utilizando un sistema mixto es decir pórticos en la dirección X y muros de albañilería en la dirección Y, además se ha incrementado la sección en la columna C2 tipo T, además se redujeron las vigas en la dirección Y e incrementado la sección de la viga VP-102, todo esto a raíz de las verificaciones semiautomatizadas que se han realizado y que se adjuntan en anexos comprobaciones y verificaciones con el programa Etabs. Los detalles del nuevo modelo estructural se mencionarán en el apartado optimización del modelo estructural; a continuación, mostraremos las capturas de los modelos finales en 3D en cada programa ya optimizados:

Figura 123

Modelo Estructural Optimizado en Sap2000

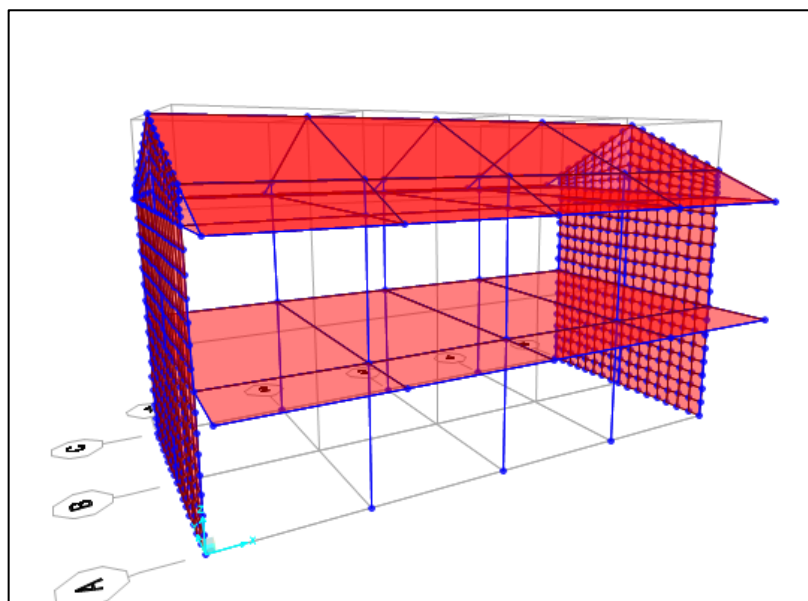


Figura 124

Modelo Estructural Optimizado En Cypecad

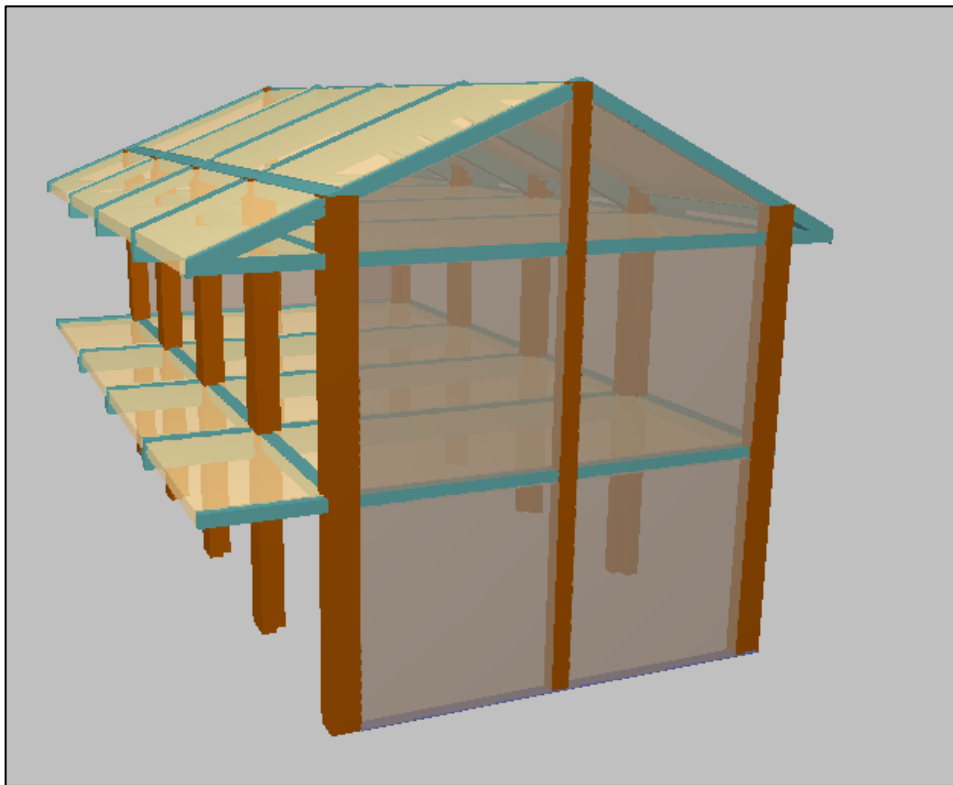


Figura 125

Modelo Estructural Optimizado En Etabs

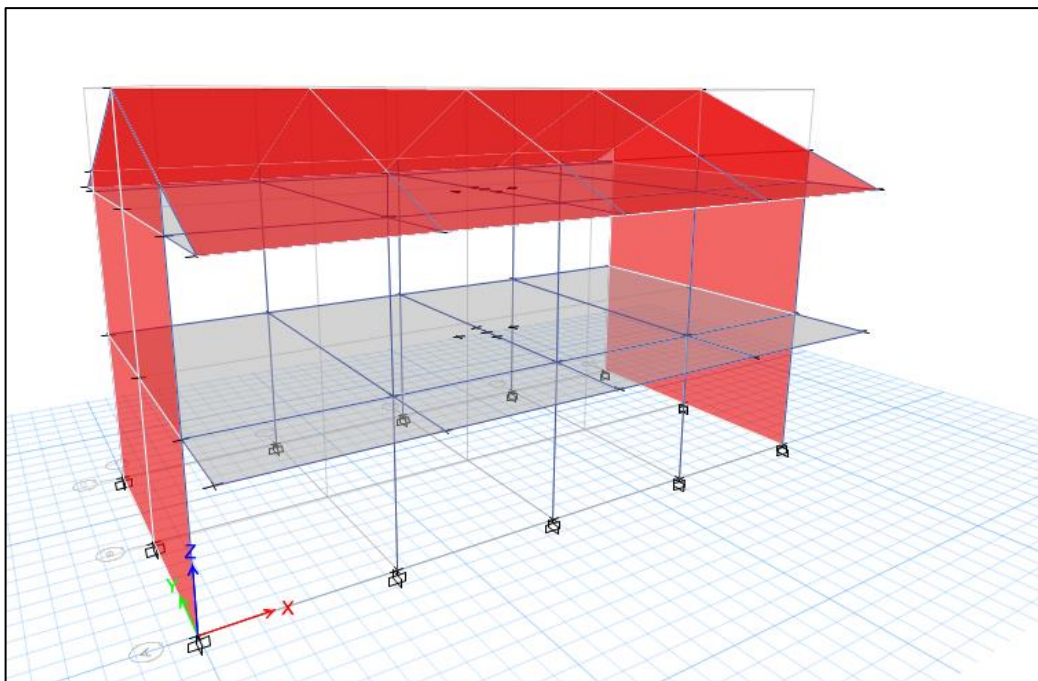
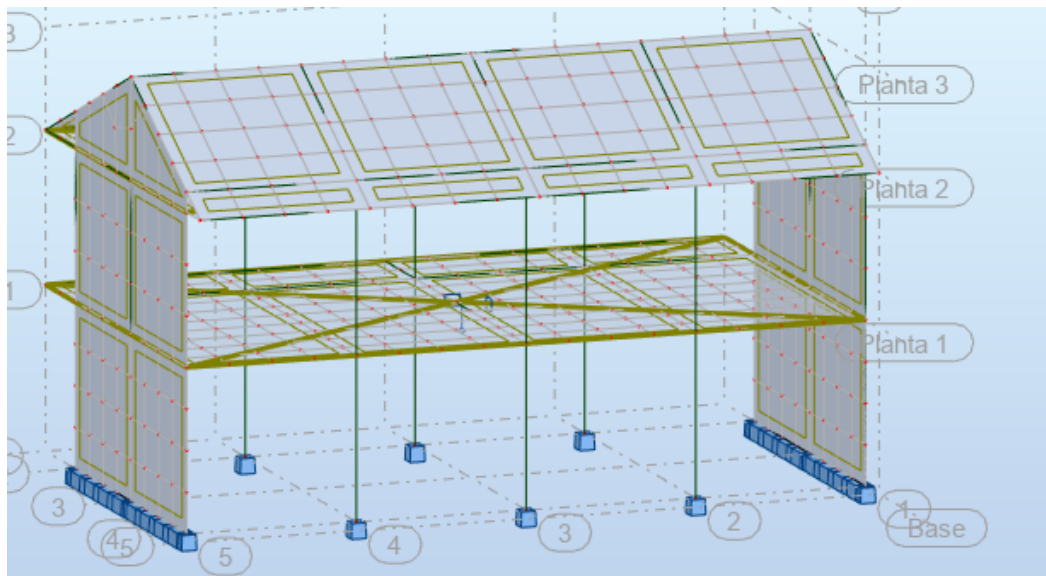


Figura 126

Modelo Estructural Optimizado en Revit Estructure



4.1.1.1. Modelo Estructural Optimizado

En referencia al capítulo 3.6 Modelo estructural propuesto, a continuación, mencionaremos las secciones que se han modificado debido a las verificaciones, comprobaciones y correcciones que se han realizado en hojas de cálculo y datos obtenidos del programa Etabs que se adjuntan en anexos verificaciones con el programa Etabs, de los cuales tendremos:

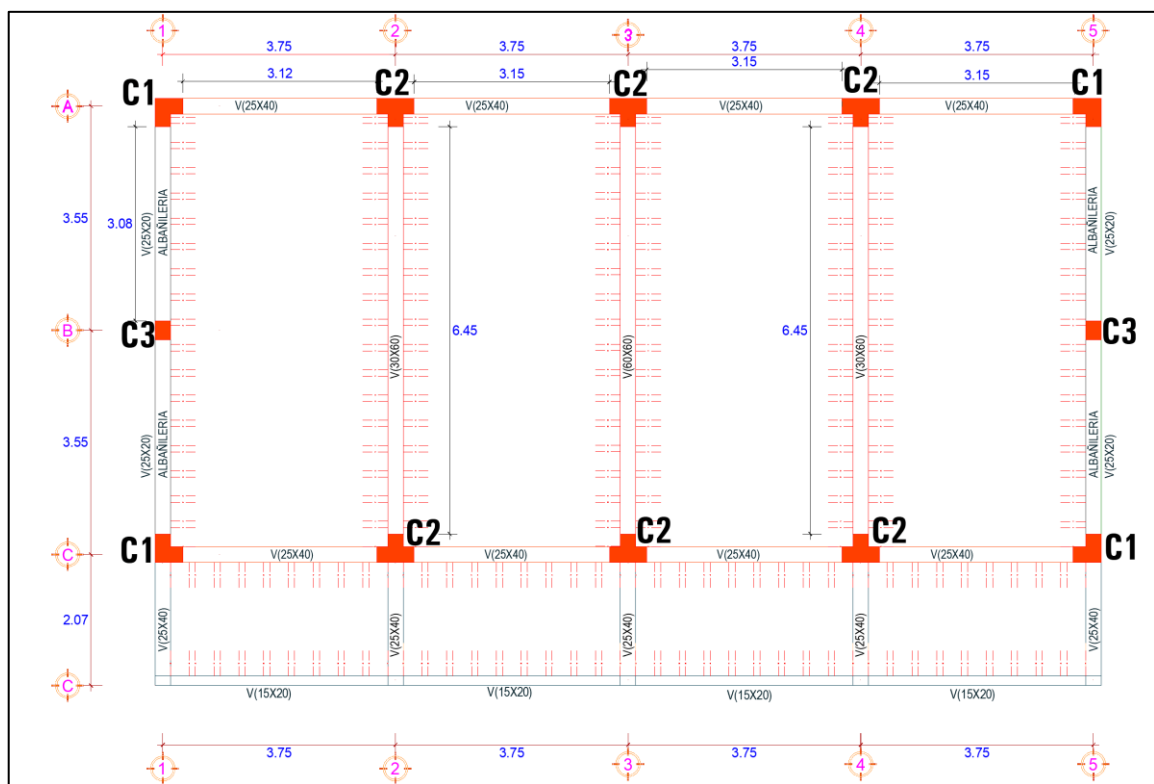
- Se asume para el modelo un sistema mixto es decir pórticos en la dirección X y albañilería en la dirección Y.
- Se redujeron las secciones de las vigas VP-101(25x40) a V (25x20) en los ejes que se considera albañilería.
- Se redujo la sección de la columna C1 (45x25) tipo L a C1 (40x25)
- Se aumentó la sección de la columna C2 (60x40x25) tipo T a C2 (65x45x25)
- Se ha incrementado la sección de la viga VP-101 (55x25) a V (60x30)

- Se han modificado las codificaciones de las secciones ya no existen vigas secundarias, se ha codificado como sección simplemente V para vigas, C para columnas y M para albañilería y seguidamente la sección entre paréntesis.

A continuación, mostramos los planos del nuevo modelo estructural propuesto.

Figura 127

Plano Modelo Estructural Optimizado Primer Nivel





b) Modelado

Los softwares Sap2000, Etabs y Revit Estructural son de acceso rápido paramétrico en cuando al dibujo, algunas características son de acotamiento rápido, creación de pisos típicos, ventanas múltiples para visualización y explorador en modelo 3D y utilizan un sistema de grillas para los dibujos; en cambio en Cypecad utiliza platillas de formato DWG, el cual si no se hace referencias de dibujo correctas podrían ocurrir errores en el dibujo del modelo.

En cuanto a configuraciones y base de datos el software Revit Estructural tiene mucha información es decir parámetros muy completos de definición de materiales, tipos de secciones, tipos de losa, simulaciones de viento y otros, te permite un control completo de configuraciones, en referencia a los demás programas que asumen valores ya incorporados en su base de datos. El soporte normativo en los cuatro programas es para gran cantidad de países sin embargo se debe mencionar que para la normativa peruana el programa Cypecad tiene actualizaciones incorporadas hasta el 2018.

4.1.1.3. Verificaciones y comprobaciones

Las verificaciones y comprobaciones se han realizado a partir del modelo optimizado para cada programa y utilizando hojas de cálculos se han verificado teniendo en cuenta los requisitos mínimos indicados en nuestra norma técnica de edificaciones, además para una correcta comparación de los resultados se han utilizado exactamente los mismos parámetros para cada modelo en cada programa. Las verificaciones, comprobaciones y correcciones se detallan en hojas de cálculo en anexos: Verificación para cada uno de los programas; cuyos resultados se analizarán y comparan en el capítulo siguiente.

4.1.2. Análisis y comparación de los resultados del diseño estructural

Se ha realizado el análisis estático y dinámico del modelo estructural optimizado, cuyos resultados se muestran en el anexo verificaciones y comprobaciones para cada software, las cuales compararemos en el presente capítulo. Todos los resultados aquí mencionados se han obtenido de los programas y que fueron verificados con hojas de cálculo en el anexo verificaciones y comprobaciones.

a) Masa de la edificación considerada para análisis estático:

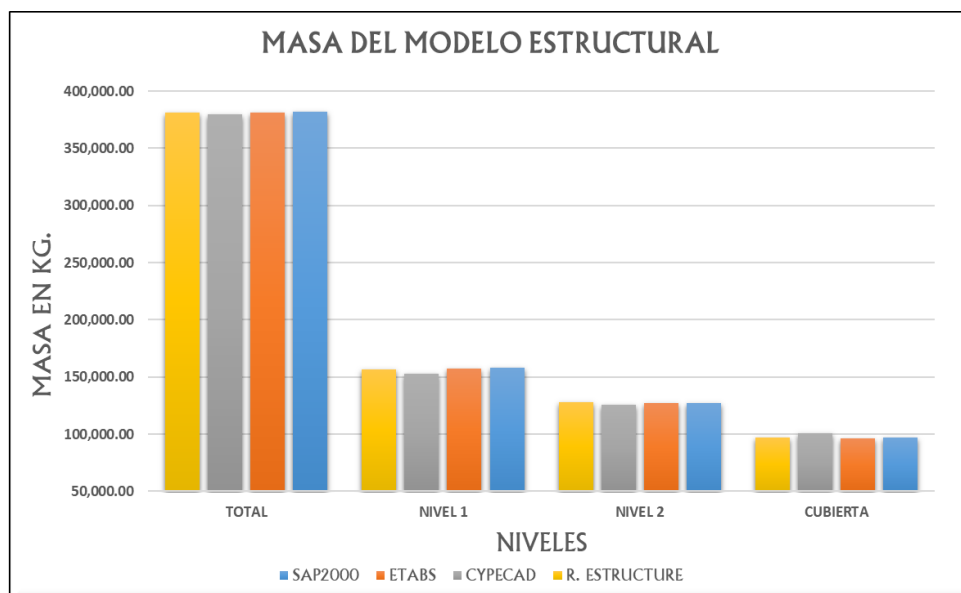
Tabla 30

Masa Considerada por cada Programa para el Análisis Estático

	MASA DE LA INFRAESTRUCTURA (Kg)				% DE VARIACIÓN			
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R ESTRUC.	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R ESTRUC.
CUBIERTA	96,878.32	96,628.32	100,892.20	97,402.82	-1%	-1%	3%	-1%
NIVEL 2	127,309.85	127,059.85	125,830.20	127,834.35	0%	0%	-1%	1%
NIVEL 1	157,798.64	157,548.64	152,786.30	156,323.14	1%	1%	-2%	0%
TOTAL	381,986.81	381,236.81	379,508.70	381,560.31	0%	0%	0%	0%

Figura 129

Masa de la Estructura Considerada por cada Programa

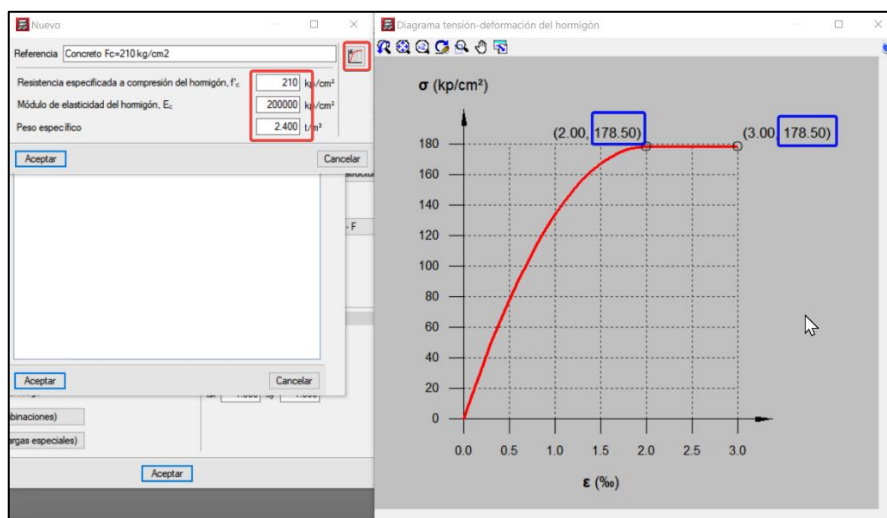


Análisis

En los resultados observamos valores similares obtenidos en cada programa en el total, sin embargo, existe variación para el modelo en Cypecad principalmente se debe a que en la configuración inicial del material concreto específicamente en la resistencia del concreto hay un error en la curva esfuerzo deformación como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 130

Diagrama Esfuerzo Deformación Concreto Asumido por Cypecad



Entonces la recomendación es buscar un valor aproximado a la resistencia que se requiere, el cual genera una diferencia en cuanto a los demás programas que tienen muy similares la consideración de la masa.

b) Análisis Modal

En cada software se realizó el análisis por cargas de servicio cuyos resultados analizaremos para cada software a continuación:

Tabla 31

Resultados Análisis Modal Revit Estructural

MODO	Frecuencia (Hz)	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)
1	2.5393	0.3938	0	0	1.3524	0	0	1.3524
2	3.0222	0.3309	0.0028	0	1.3524	0.0028	0	0
3	3.0668	0.3261	83.5542	0	1.3526	83.5514	0	0.0002
4	4.1973	0.2382	83.5542	0	1.6122	0	0	0.2596
5	5.8694	0.1704	83.5542	82.9943	1.6573	0	82.9942	0.0451
6	6.1345	0.163	83.5542	83.039	1.6573	0	0.0447	0
7	7.109	0.1407	83.5584	83.0407	1.6584	0.0042	0.0017	0.0011
8	8.6116	0.1161	83.5584	83.0408	1.7487	0	0	0.0904
9	8.9775	0.1114	83.5665	83.0799	8.0665	0.0081	0.0392	6.3177
10	9.9186	0.1008	83.567	88.1931	11.2082	0.0005	0.0639	3.1417
11	10.5961	0.0944	83.5743	88.1932	11.2402	0.0073	0.0149	0.032
12	10.7315	0.0932	92.7953	92.3591	11.2408	9.2209	0.0013	0.0006
		. UX (%)	92.7953	>90%	CUMPLE			
		. UY (%)	92.3591	>90%	CUMPLE			

De la tabla de resultados obtenida del programa Revit Estructural, podemos mencionar que la masa participante considerada en los modos supera el 90% el cual cumple con lo que se indica en nuestra norma, además el periodo máximo es de 0.3938 seg. Siendo este valor menor a lo considerado en nuestros cálculos que es de 0.6 seg, se muestra el comportamiento aparentemente de una estructura regular a simple vista.

Tabla 32

Resultados del análisis modal del programa Cypecad

Modo	T	L _x	L _y	L _{gz}	M _x	M _y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.438	0.0007	0.9961	0.0881	0%	93.15%	R = 8 A = 1.851 m/s ² D = 9.0118 mm	R = 3 A = 4.936 m/s ² D = 24.0315 mm
Modo 2	0.41	0.012	0.0168	0.9999	0.74%	0.02%	R = 8 A = 1.851 m/s ² D = 7.88929 mm	R = 3 A = 4.936 m/s ² D = 21.0381 mm
Modo 3	0.332	0.4673	0.0006	0.8841	92.76%	0%	R = 8 A = 1.851 m/s ² D = 5.15416 mm	R = 3 A = 4.936 m/s ² D = 13.7444 mm
Total						93.50%	93.17%	
		. UX (%)	93.50%	>90%	CUMPLE			
		. UY (%)	93.17%	>90%	CUMPLE			

De la tabla de resultados obtenida del programa Cypecad, podemos mencionar que la masa participante considerada en los modos supera el 90% el cual cumple con lo que se indica en nuestra norma, además el periodo máximo es de 0.438 seg. Siendo este valor menor a lo considerado en nuestros cálculos que es de 0.6 seg, se muestra el comportamiento aparentemente de una estructura regular a simple vista, además nos indica los valores de “R” considerados para nuestro sistema mixto. A diferencia de los demás programas solo nos presenta los valores de los 3 primeros modos que son los importantes.

Tabla 33

Resultados del análisis modal del programa Etabs

Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ
1	0.351	0.9188	0	0.9188	0	0	0.1883	0.0003
2	0.164	0	0.9203	0.9188	0.9203	0.1915	0	0
3	0.134	0.00003759	0	0.9188	0.9203	0	0.0017	0.9295
4	0.08	0.081	0	0.9998	0.9203	0	0.7342	6.105E-06
5	0.052	0	0.0797	0.9998	0.9999	0.7653	0	0
6	0.043	0.0001	0	0.9999	0.9999	0	0.0014	0.0703
7	0.022	0.0001	0	1	0.9999	0	0.074	3.474E-06
8	0.018	0	0.00004668	1	1	0.036	0	0
9	0.016	0	2.841E-06	1	1	0.0045	0	0
10	0.014	0	0	1	1	0	0.0003	0
11	0.013	0	4.078E-06	1	1	0.0028	0	0
12	0.012	0	0	1	1	0	7.591E-07	8.725E-07

De la tabla de resultados obtenida del programa Etabs, podemos mencionar que la masa participante considerada en los modos supera el 90% el cual cumple con lo que se indica en nuestra norma estos están indicados con valor de 1 en las columnas SumUx y SumUy, además el periodo máximo es de 0.351seg. Siendo este valor menor a lo considerado en nuestros cálculos que es de 0.6seg, se muestra el comportamiento aparentemente de una estructura regular a simple vista, con desplazamiento en X en el modo 1, para el modo 2 desplazamiento en Y e para el modo 3 torsión, los cuales son valores correctos para nuestros modos.

Tabla 34

Resultados del análisis modal del programa Sap2000

Modo Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	RX Unitless	RY Unitless	RZ Unitless
1	0.454	0.840	0.000	0.000	0.840	0.000	0.000	0.024	0.000
2	0.185	0.000	0.852	0.000	0.840	0.852	0.093	0.000	0.000
3	0.161	0.000	0.000	0.000	0.840	0.852	0.000	0.000	0.839
4	0.119	0.000	0.005	0.015	0.840	0.856	0.027	0.000	0.000
5	0.112	0.000	0.000	0.000	0.840	0.856	0.000	0.005	0.002
6	0.102	0.000	0.000	0.001	0.840	0.856	0.001	0.000	0.000
7	0.102	0.117	0.000	0.000	0.957	0.856	0.000	0.086	0.000
8	0.087	0.000	0.000	0.000	0.957	0.856	0.000	0.006	0.002
9	0.087	0.000	0.001	0.004	0.957	0.858	0.009	0.000	0.000
10	0.082	0.000	0.000	0.000	0.957	0.886	0.000	0.000	0.000
11	0.079	0.008	0.000	0.000	0.965	0.923	0.000	0.000	0.000
12	0.075	0.000	0.000	0.000	0.965	0.923	0.000	0.000	0.006
		. UX (%)	96.52% >90%		CUMPLE				
		. UY (%)	92.34% >90%		CUMPLE				

De la tabla de resultados obtenida del programa Sap20000, podemos mencionar que la masa participante considerada en los modos supera el 90% el cual cumple con lo que se indica en nuestra norma estos están indicados con valor de 0.965 y 0.923 en las columnas SumUx y SumUy respectivamente, además el periodo máximo es de 0.454seg. Siendo este valor menor a lo considerado en nuestros cálculos que es de 0.6seg, se muestra el comportamiento aparentemente de una estructura regular a simple vista, con desplazamiento en X en el modo 1, para el modo 2 desplazamiento en Y e para el modo 3 torsión, los cuales son valores correctos para nuestros modos.

c) Fuerzas Cortantes

Cortante Estático en la base

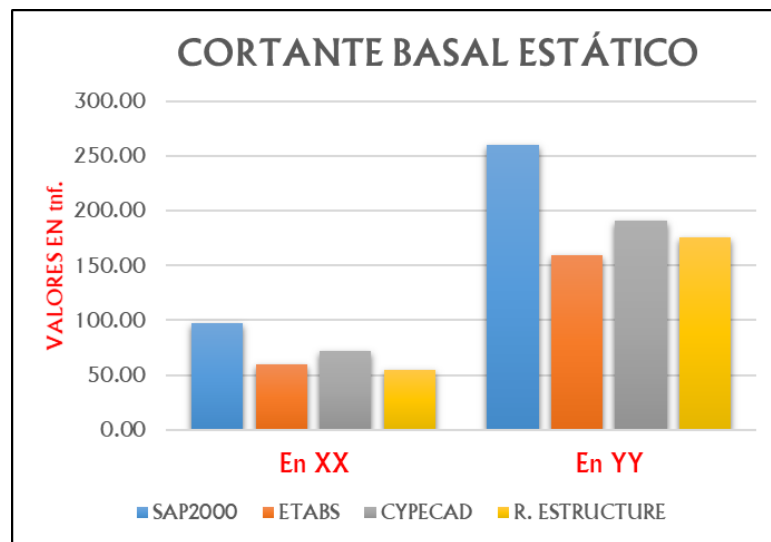
Tabla 35

Cortante Estático en la Base

CORTANTE BASAL ESTÁTICO (Tnf.)				
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
En XX	97.5117	59.6810	71.6026	54.8900
En YY	259.9796	159.1176	190.9403	175.6200

Figura 131

Cortante Basal Estático



Análisis

De los datos obtenidos en cada programa podemos ver una diferencia notoria por parte de los resultados obtenidos por el programa Sap2000 los cuales van atribuidos a la forma de como considera la masa el programa Sap2000, podemos describir en la siguiente figura como asume la masa cada programa y es por esa razón la diferencia en cuanto a los valores de la cortante.

Figura 132

Masa Asumida Para Cálculos para Sap2000

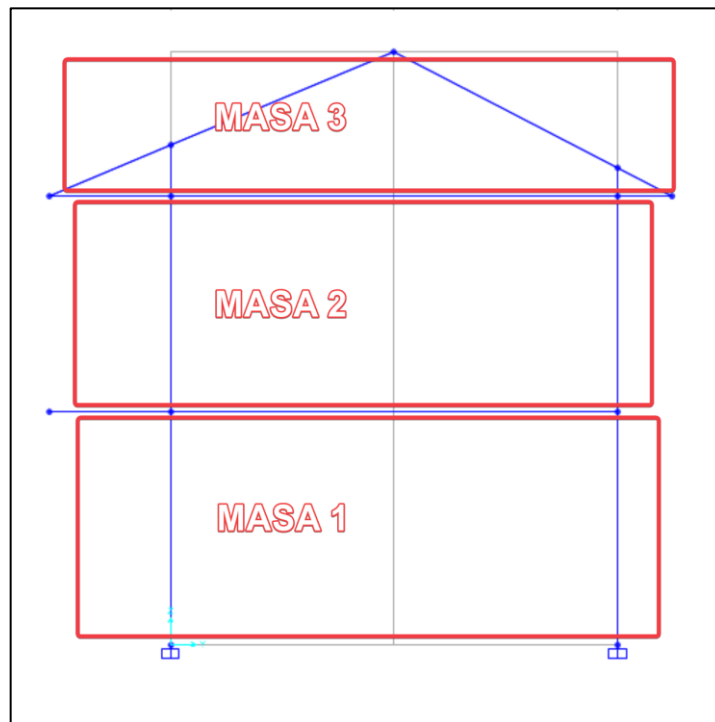
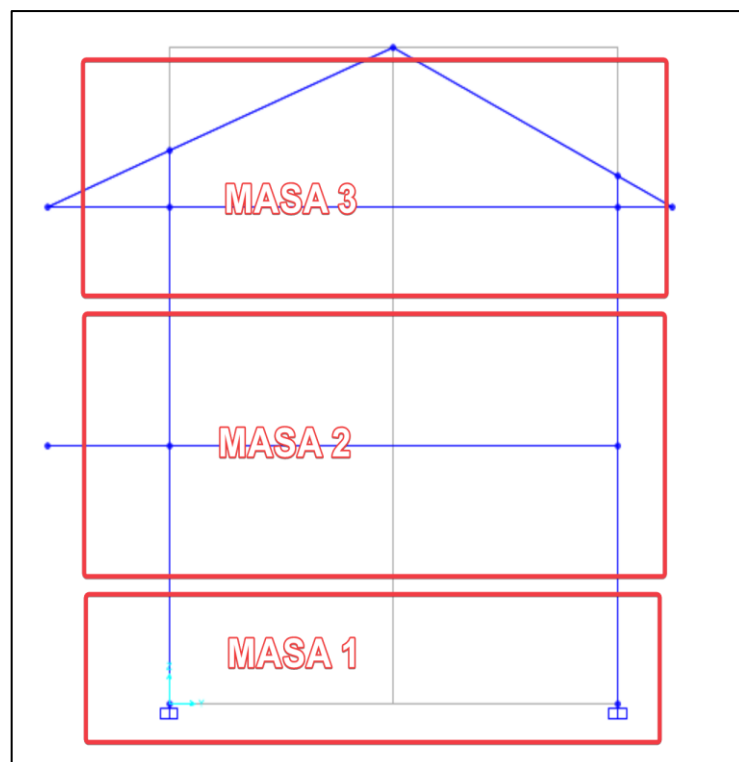


Figura 133

Masa Asumida para los Cálculos por Etabs, Cypecad y Revit Estructural





Debido a esta razón hay diferencias en los resultados de cortante estático en la base, además debemos mencionar la metodología con la que trabaja cada programa como detallamos a continuación:

- La metodología de cálculo Revit Estructural, es por el método matricial de la rigidez para la estructura y método de elementos finitos para losas, añade más introducción de parámetros de diseño los cuales generan mejores resultados, pero requiere mayor conocimiento de ellos para poderlos usar correctamente en los cálculos.
- La metodología de cálculo Sap2000, es por el método matricial de la rigidez para la estructura y método de elementos finitos para losas, metodología implícita en cuanto a la introducción de parámetros de diseño es decir que no está a la vista del usuario.
- La metodología de cálculo Etabs, es por el método matricial de la rigidez para la estructura y método de elementos finitos para losas, metodología implícita en cuanto a la introducción de parámetros de diseño es decir que no está a la vista del usuario, además nos da la opción de “mech automático”, que nos dan opciones avanzadas para poder mejorar nuestro calculo con mayores detalles, el problema de este análisis es que requiere mayor conocimiento además de un procesador de buena capacidad. Otro aspecto importante del Etabs es que puede calcular un análisis no lineal frente a los demás programas.
- La metodología de cálculo Cypecad, es por el método matricial de la rigidez para la estructura y método de elementos finitos para losas, metodología implícita en cuanto a la introducción de parámetros de diseño es decir que no está a la vista del usuario.

Cortante Dinámico en la base

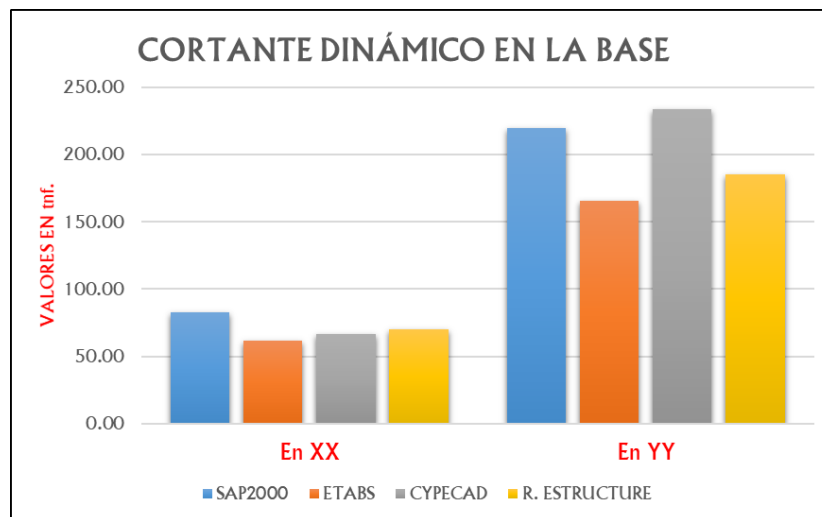
Tabla 36

Cortante Dinámico en la base

	CORTANTE DINÁMICO EN LA BASE			
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
En XX	82.4462	61.9148	66.2332	70.0600
En YY	219.5479	165.3838	233.6020	184.9700

Figura 134

Cortante Dinámico en la Base



Análisis

De igual que en los resultados de cortante estático en la base, hay diferencias notorias en el programa Sap2000 con respecto a los demás programas los cuales son asumidos por las mismas causas mencionadas en el análisis de la cortante basal estático. Además, debemos mencionar que la verificación de cortante dinámico vs cortante estático todos los programas cumplen con lo requerido en nuestra norma los cuales detallamos en el anexo verificaciones para cada programa. Otra diferencia es la configuración de losa que asume cada programa en el caso del Etabs y Sap2000 nos permite configurar el diafragma y que en los otros dos programas lo toman automáticamente.

d) Desplazamientos

Tabla 37

Máximos desplazamientos en X

DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS POR PISOS EN XX (m)				
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
NIVEL 3	0.0602	0.0410	0.0417	0.0325
NIVEL 2	0.0594	0.0406	0.0386	0.0307
NIVEL 1	0.0313	0.0214	0.0223	0.0164
Variación Max (%)	27%	-7%	-5%	-15%

Figura 135

Desplazamientos máximos por niveles en X

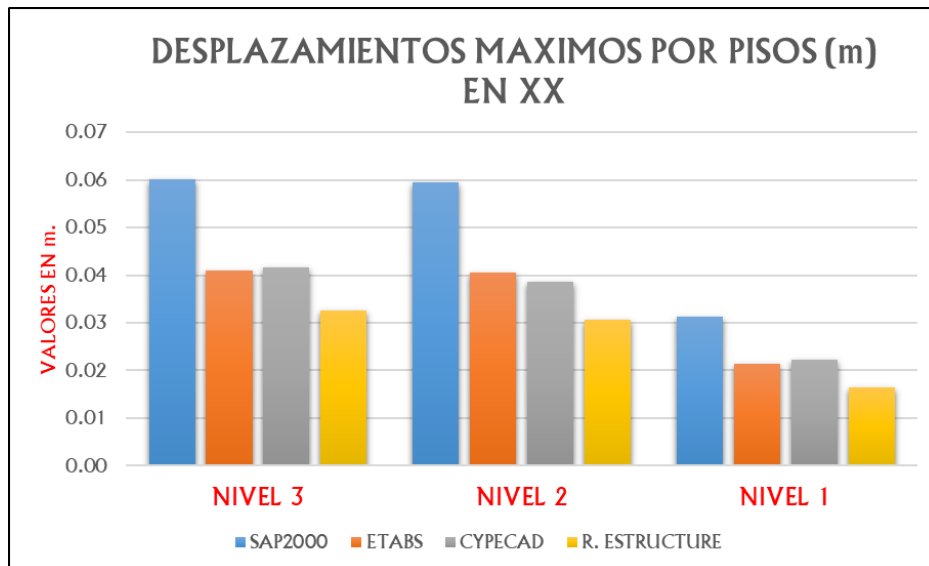


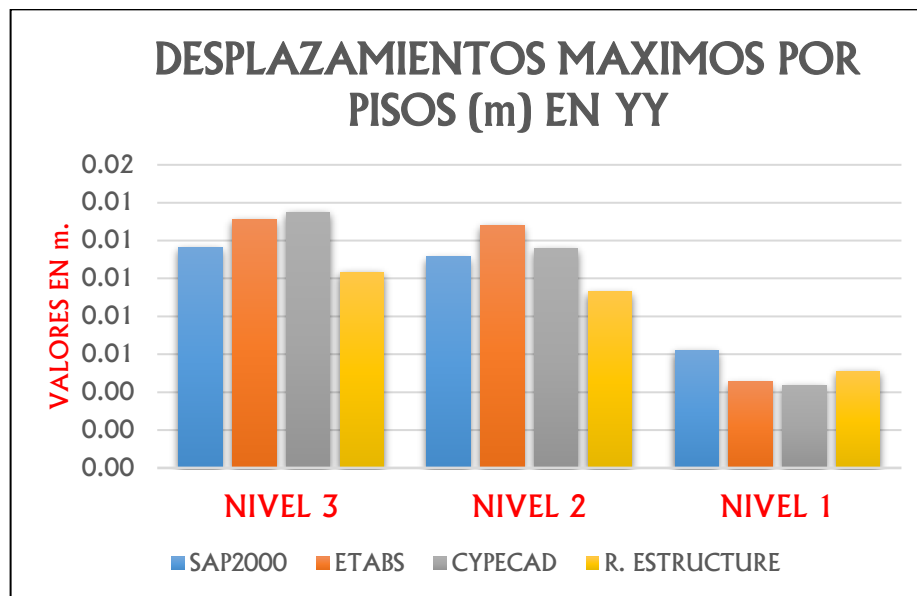
Tabla 38

Máximos desplazamientos en Y

DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS POR PISOS EN YY (m)				
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
NIVEL 3	0.0117	0.0131	0.0135	0.0103
NIVEL 2	0.0111	0.0128	0.0116	0.0093
NIVEL 1	0.0062	0.0046	0.0044	0.0051
Variación Max (%)	-4%	7%	10%	-15%

Figura 136

Desplazamientos Máximos en Y por pisos



Análisis

Según los resultados obtenidos de los diferentes programas comparados vemos una diferencia en cuanto a los desplazamientos calculados por el programa Sap2000 y es lógico por la forma y metodología de cálculo que emplea ya analizados en el capítulo de resultados de cortante basal y en respuesta a este análisis se verifica mayores desplazamientos de pisos en referencia a los demás programas, y es en respuesta a estos valores altos calculados en el programa Sap2000. También en la dirección Y el cual que se considera la albañilería, se observa diferencias mínimas en cuanto a los desplazamientos. Cabe mencionar que las verificaciones de irregularidad tanto de altura y de planta se han realizado en el anexo verificaciones, en general todos los programas cumplen con dichos requerimientos indicados en nuestras normas.

e) Derivas

Tabla 39

Máximas Derivas en X

	DERIVAS EN XX (m)				VERIFICACION
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE	<0.007
NIVEL 3	0.0004	0.0001	0.0004	0.0008	Cumple
NIVEL 2	0.0067	0.0058	0.0049	0.0054	Cumple
NIVEL 1	0.0070	0.0060	0.0063	0.0057	Cumple

Figura 137

Máximas Derivas en X

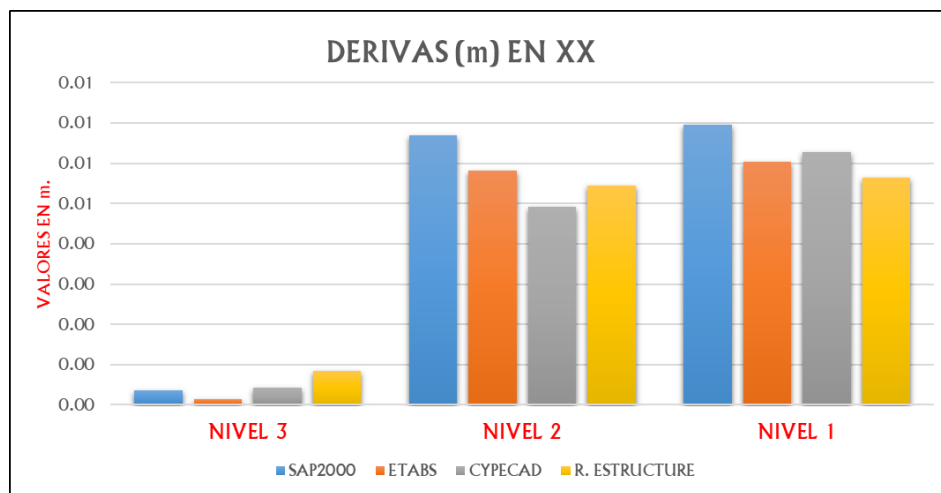


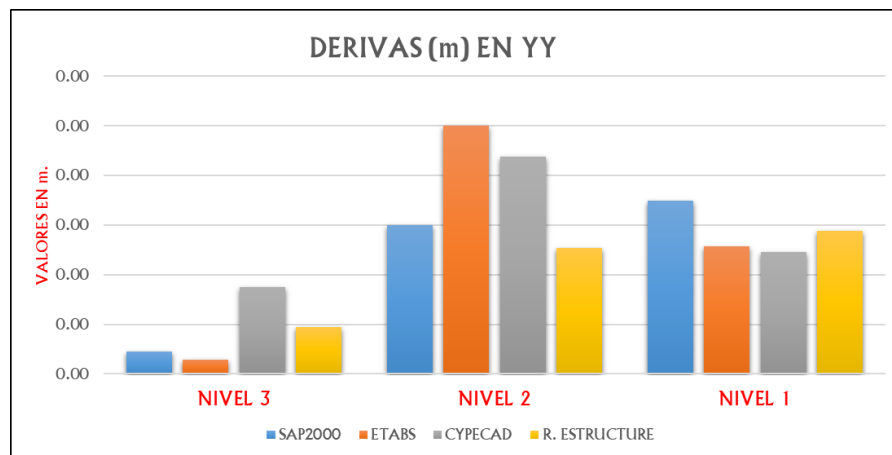
Tabla 40

Máximas Derivas en Y

	DERIVAS EN YY (m)				VERIFICACION
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE	<0.005
NIVEL 3	0.0002	0.0001	0.0009	0.0005	Cumple
NIVEL 2	0.0015	0.0025	0.0022	0.0013	Cumple
NIVEL 1	0.0017	0.0013	0.0012	0.0014	Cumple

Figura 138

Máximas Derivas en Y



Análisis

Según los resultados obtenidos de los diferentes programas comparados vemos una diferencia en cuanto a las derivas máximas calculadas por el programa Sap2000 y es lógico por la forma y metodología de cálculo que emplea ya analizados en el capítulo de resultados de cortante basal y en respuesta a este análisis se verifica mayores desplazamientos de pisos en referencia a los demás programas y por ende mayores derivas. También mencionamos que todas las derivas calculadas en el programa cumplen con lo requerido por la normatividad peruana, además se hizo comprobaciones semiautomatizadas de todas las verificaciones de irregularidad de altura en el anexo verificaciones y que todos los programas cumplen con dichos requisitos.

4.1.3. Resultados del diseño y metrado de acero

4.1.3.1. Resultados del diseño en concreto armado.

Se ha calculado el diseño de acero para cada sección en anexos, mostraremos los resultados obtenidos para la columna tipo T (65x40x25) eje 1-eje C y la viga V30x60 eje C primer nivel que son las secciones más desfavorables, como se muestra a continuación:

Tabla 41*Acero requerido para la Columna T eje 1- eje C*

	As(cm2)			
	As(min)	cuantía (%)	As(asumid)	cuantía (%)
ETABS	24.5	1.000%	25.18	1.050%
SAP2000	25.4	1.052%	26.06	1.075%
CYPECAD	27.8	1.093%	27.82	1.095%
R. ESTRUCTURE	25.75	1.060%	26.06	1.075%

Tabla 42*Acero requerido para la Viga V30x60 eje C primer nivel*

	As(cm2)	
	As(min)	As(asumid)
ETABS	12.75	13.04
SAP2000	13.23	13.23
CYPECAD	13.75	13.76
R. ESTRUC'	13.23	13.23

Análisis

Los datos de la tabla han sido obtenidos en hojas de cálculo con datos del programa los cuales se adjuntas en anexo diseño de elementos estructurales, son resultados correspondientes a las secciones más desfavorables, en el que podemos apreciar que hay diferencias entre los requisitos de acero para cada programa, siendo los datos del programa Etabs los de menor valor, esto se debe principalmente a que es un software especialista para proyectos netamente edificaciones, sin embargo los programas Sap2000 y Revit Estructure tiene resultados similares, debido a las diferencias en la metodología de cálculo de cada una de ellas explicadas en el capítulo de comparación de resultados, siendo lógica la variación en el cálculo de acero, sin embargo para el programa Cypecad hay resultados conservadores en relación a los demás, esto principalmente porque no hay una definición eral del tipo de secciones de columna en este Tipo L y Tipo T, para los cuales el programa asume parámetros distintos a los asumidos a los reales, en

esta versión recién se está ingresando el modelo para secciones especiales, en versiones pasadas solo se ejecutaba con columnas rectangulares y circulares, otro aspecto de importancia es la resistencia a la compresión que asume el programa al ingresar el valor de $F'c=210\text{kg/cm}^2$, tomo otro valor como se explicó en el apartado de resultados y comparación, en base a estas diferencias es que se tiene también diferencias al diseño de elementos estructurales que va acorde a lo calculo en el análisis estructural del proyecto para cada software.

4.1.3.2. Presupuesto aproximado de ejecución:

Se elaboró un presupuesto aproximado del costo de la especialidad de estructuras para la infraestructura.

a) Metrado de materiales

Para la comparación de la cantidad de materiales necesarios para la obra, se hizo un metrado de las partidas más relevantes, el cálculo del mismo se muestra en los anexos metrados calculados para cada software. Cuyos resultados son los siguientes:

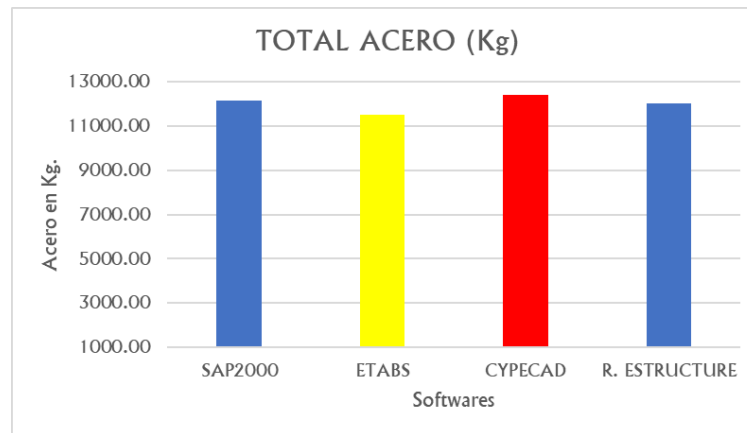
Tabla 43

Metrado Total de Acero

METRADO TOTAL DE ACERO				
MATERIALES	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
ACERO (Kg)	12165.95	11520.79	12389.46	12039.23
% Variacion	1%	-4%	3%	0%

Figura 139

Metrado Total de acero para la obra



También se ha calculado el metrado para la especialidad de estructuras de las partidas más importantes como se muestra a continuación:

Tabla 44

Metrados Calculados para la Obra

MATERIALES	METRADO			
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
CONCRETO (m3)	527.26	527.26	527.26	527.26
ENCOFRADO (m2)	4,030.98	4,030.98	4,030.98	4,030.98
ACERO (Kg)	12,165.95	11,520.79	12,389.46	12,039.23

b) Costo

Con los datos obtenidos en metrados cálculos el presupuesto total para nuestra obra para cada programa como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 45

Costos Unitarios Referenciales para la Obra

COSTOS UNITARIOS		
PARTIDA	UNIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)
CONCRETO (m3)	m3	330.00
ENCOFRADO (m2)	m2	75.00
ACERO (Kg)	Kg	4.50

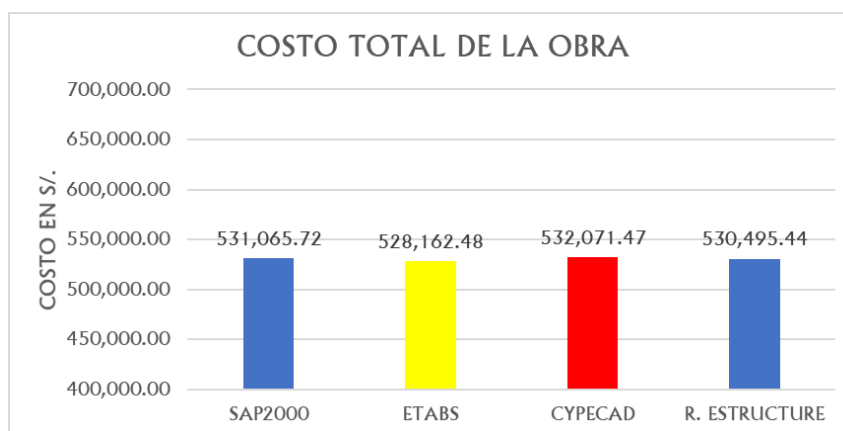
Tabla 46

Presupuesto total de la Obra por cada programa

PARTIDA	PRECIO (S/.)			
	SAP2000	ETABS	CYPECAD	R. ESTRUCTURE
CONCRETO (m3)	173,995.80	173,995.80	173,995.80	173,995.80
ENCOFRADO (m²)	302,323.13	302,323.13	302,323.13	302,323.13
ACERO (Kg)	54,746.79	51,843.56	55,752.55	54,176.51
TOTAL	531,065.72	528,162.48	532,071.47	530,495.44

Figura 140

Costo Total de la obra por cada Programa



4.2. Discusión de resultados:

En el modelo una estructura de concreto armado usando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure; todas de forma idénticas, con la misma estructuración, con las mismas cargas, los mismos procedimientos para el diseño sismorresistente y diseño en concreto armado fueron siempre iguales, pero aun así se produjo diferencia al confrontar los resultados de todos los programas mencionados esto debido a la metodología que emplea cada software además de la versatilidad y aceptación de parámetros de todos los elementos materiales, secciones, dibujo y otros.

La masa utilizada para el cálculo del cortante estático por cada uno de los softwares son muy similares a excepción de sap2000 que tiene una forma de asumir la



masa por nivel y no como entrepiso como los demás programas, este valor repercutirá en la cortante basal estático y dinámico calculado por el programa.

El cortante dinámico en todos los programas supera al 80% del cortante estático por lo cual tenemos una estructura regular, y no se aplicaron factores de escalamiento a las fuerzas dinámicas, esto sucedió en todos los softwares mencionados líneas arriba. Debido a que el valor final del cortante dinámico está en base al cortante estático, el cortante dinámico de todos los programas tiene una variación similar a la que se tenía en el cortante estático.

El metrado obtenido de todos los softwares usados es muy similar, debido a que las diferencias en el análisis no son muy grandes, esto nos arroja resultados muy semejantes y razonables en el diseño en concreto armado. De la misma manera los presupuestos calculados para todos los softwares son similares.

4.3. Discusión Antecedentes

Huaraca, A. (2018). Concluye “Que el comportamiento estructural de las viviendas autoconstruidas no se comporta correctamente según la evaluación realizada con los programas Structural Analysis y Etabs, los cuales no cumplen con los requisitos mínimos de las normas peruanas.” Para esta tesis se eligió un modelo estructural de dos niveles con cobertura de losa inclinada y sistema estructural mixto pórticos en X y albañilería confinada en Y, donde se comparó y verifico que los resultados cumplan con los requisitos mínimos de nuestras normas con los programas Etabs, Sap2000 y Cypecad, teniendo como conclusión final que cumplen.

Mamani, E. (2017). Concluye “Para optimizar el diseño estructural, se utilizó Etabs v15.2 y Safe.14.1, que contribuye a la minimización del costo y tiempo, y los resultados se basan en el modelo estructural, que hace que el comportamiento estructural



sea lo más real posible.” Para esta tesis se pudo constatar que el software Etabs optimiza de mejor manera los resultados de los proyectos estructurales, sin embargo, al gran avance tecnológico existen mejores softwares que optimizan el tiempo de elaboración debido a que incorporan la metodología BIM tales como el Cypecad y Revit Estructure.

Saravia, L. (2013) hace mención “Que el software Etabs es muy eficaz y fácil de usar para el diseño y análisis estructural, siendo este programa un gran aporte para la ingeniería civil, el cual facilitan los procesos de análisis y diseño estructural.” Para la presente investigación se pudo constatar que el software Etabs facilita el proceso de análisis y de diseño del proyecto, además indicar que el programa Etabs es un programa especializado en edificaciones y en la presente tesis al comparar con otros programas da mejores resultados, aunque son mínimos, sin embargo, también debemos considerar los Softwares Cypecad y Revit Estructure mucho más fáciles de usar por el interfaz en español y permiten un manejo más complejo de parámetros de materiales los cuales al ser manejados correctamente pueden generar mejores resultados.

Briones, P., & Alvarez Chiriboga, J. (2018) concluyeron “Que el análisis dinámico y estático que se realizó con los softwares estructurales Etabs y Robot Structural existen pequeñas diferencias causante por el metrado de cargas.” Estos dos programas al tener una metodología de cálculo similar por método de la rigidez para la estructura y elementos finitos para losas, generan resultados similares pero diferentes y principalmente se debe a que el programa Robot Estructural permite el ingreso de muchos más parámetros, de materiales, secciones que el Etabs, que asume algunos valores de forma automática u ocultas.

Aguilar, J. (2015) determino “Cuál de los sistemas propuestos es más adecuado para el edificio de ocho pisos, sin embargo, ambos sistemas se pueden complementar



adecuadamente provocando un ahorro importante en los materiales de construcción.” Respecto a la presente investigación se pudo diseñar satisfactoriamente mediante las cuatro propuestas realizadas, utilizando un sistema estructural mixto, el cual tiene mejor comportamiento y mejores resultados analizados en cada programa, además de haberse comprobado manualmente los resultados.

Ortiz, E. (2012) indico “Que el modelo y diseño estructural que se elaboró con el software Etabs tuvo un comportamiento optimo y satisfactorio, para ello se tuvo en cuenta los datos obtenidos de los diferentes elementos estructurales.” Para la presente investigación, el modelamiento con los cuatro Softwares Etabs, Sap2000, Cypecad y Revit Estructure, nos da una idea clara en cuanto a resultados y diferencias que se tienen uno de otros principalmente a la metodología de cálculo que emplean cada uno, además de ello en cada versión se va optimizando los resultados y facilitando el trabajo de cálculo en comparación del manual.

4.4. Determinación de la Eficiencia

Para calcular la eficiencia de cada software, nos basaremos en la medición mediante parámetros de eficiencia los cuales son:

Nota Importante: El tesista da una opinión en base a la aplicación de los softwares en la elaboración del proyecto estructural para la infraestructura Educativa de Sorapa, genera la puntuación en base a los objetivos propuestos en el presente tema de investigación. Donde 1 es el valor min. Y 10 el valor máximo.

Funcionalidad. Las funciones del software son aquellas que buscan satisfacer las necesidades del usuario; en este caso lograr el modelamiento, diseño estructural de la infraestructura educativa de Sorapa.



SOFTWARE	FUNCIONALIDAD	Observaciones
Etabs	10	Cumple el Objetivo
Sap2000	10	Cumple el Objetivo
Cypecad	10	Cumple el Objetivo
Revit Estructural	10	Cumple el Objetivo

Confiabilidad. La capacidad del software en cuanto la confianza de los resultados obtenidos requeridos.

SOFTWARE	CONFIABILIDAD	Observaciones
Etabs	10	Es Confiable
Sap2000	10	Es Confiable
Cypecad	10	Es Confiable
Revit Estructural	10	Es Confiable

Usabilidad. Basada en el esfuerzo necesario para utilizar el software por parte del tesista.

SOFTWARE	USABILIDAD	Dificultades
Etabs	8	Interfaz en ingles
Sap2000	8	Interfaz en inglés, dificultad de interpretación de resultados
Cypecad	10	Interfaz Español, fácil interpretación de resultados
Revit Estructural	9	Interfaz Español, dificultad de interpretación de resultados

Portabilidad. Basada en la capacidad del software para ser transferido de un entorno a otro.

SOFTWARE	PORTABILIDAD	Dificultades
Etabs	5	No permite
Sap2000	5	No permite
Cypecad	8	Mediante IFC
Revit Estructural	8	Mediante IFC

Versatilidad. Si el software utilizado realiza todo el componente estructural (análisis y diseño estructural de distintos tipos de estructuras)

SOFTWARE	VERSATILIDAD	Observaciones
Etabs	8	Análisis y diseño estructural
Sap2000	10	Análisis y diseño estructural



Cypecad	7	Análisis y diseño estructural, planos
Revit Estructural	10	Análisis y diseño estructural, planos

Soporte a nuestras normas. Basada en el esfuerzo necesario para realizar las modificaciones en cuanto a criterio y requisitos normativos de nuestro territorio.

SOFTWARE	SOPORTE NORMATIVO	Dificultades
Etabs	9	Normas Norteamericanas adecuadas a las nuestras
Sap2000	9	Normas Norteamericanas adecuadas a las nuestras
Cypecad	10	Contiene normas técnicas peruanas.
Revit Estructural	9	Normas Norteamericanas adecuadas a las nuestras

Economía en el diseño. En base a los resultados obtenidos que genera el programa en cuanto a los resultados más económicos frente a los demás (en este caso la variación se dará en el metrado de acero).

SOFTWARE	ECONOMIA EN EL DISEÑO	Dificultades
Etabs	10	Calculado de la tabla de costo de acero
Sap2000	9	Calculado de la tabla de costo de acero
Cypecad	9	Calculado de la tabla de costo de acero
Revit Estructural	9	Calculado de la tabla de costo de acero

Entonces para determinar la eficiencia de cada software, según el tesista y la realización del presente proyecto de investigación, usaremos la formula siguiente:

$$Eficiencia = \left(\frac{Resultado Alcanzado}{Resultado Previsto} \right) * 100\%$$

Dónde: Resultado alcanzado= La sumatoria de todos los valores obtenidos por cada software.

Resultado previsto= 70

Entonces tendremos:



SOFTWARE	Resultado Alcanzado	Resultado Previsto	%Eficiencia
Etabs	60	70	86%
Sap2000	61	70	87%
Cypecad	65	70	91%
Revit	66	70	93%
Estructural			

Como resultado de eficiencia calculada por el tesista en cuanto solamente al uso de cada software en la aplicación para la presente tesis, tendremos un 93% de eficiencia para la presente tesis, este resultado no influye en el cumplimiento del objetivo general, pero si en un objetivo secundario propuesto.



V. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones:

- En esta tesis se analizó y comparo los resultados del modelamiento, diseño estructural y diseño en concreto armado utilizando los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, para una infraestructura educativa de dos niveles con losa inclinada en el último nivel, se consideró un sistema mixto de pórticos en la dirección en X y albañilería confinada en la dirección Y, se han considerado los mismos datos de configuración unidades, definición de materiales, secciones, cargas, sobrecargas, combinaciones; se ha realizado el análisis estático y dinámico, las comprobaciones y verificación de irregularidad, y el diseño de elementos estructurales; obteniendo mejores resultados en Etabs en cuanto al acero calculado para toda la estructura, cuyas variaciones son -4% frente a Sap2000, -3% frente a Revit Estructure y -5% frente a Cypecad, cuya principal razón de esta variación es que Etabs es un programa especializado en análisis de este tipo de edificaciones y la metodología que emplea cada programa.
- En esta tesis se realizó y analizo el modelamiento de la infraestructura educativa de Sorapa en los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit Estructure, obteniendo el modelo 3D en cada programa con diferencia mínima en cuanto al cálculo del peso total de la estructura 381,236.81kg en Etabs, 381,986.45kg en Sap2000, 381,560.31kg en Revit Estructure y 379,508.70kg en Cypecad, cuya principal razón de las variaciones son la variedad de parámetros de ingreso que nos permite configurar cada programa.
- En esta tesis se realizó y analizo los resultados del diseño estructural de la infraestructura educativa con los softwares Sap2000, Etabs, Cypecad y Revit



Estructure, se desarrolló el análisis por cargas de servicio, análisis sísmico estático y el análisis dinámico modal espectral; encontrándose diferencias marcadas en el programa Sap2000 que presenta mayores cortantes estático y dinámico que los demás programas y que se debe principalmente a la forma de considerar la masa por piso y no por entrepisos como el resto de programas, además en Cypecad hay existe diferencia marcada en cuanto a las cortantes en el último nivel “losa inclinada”, la principal razón de esta diferencia es que en la definición de losa el programa asume mayores valores en la viga; todos los programas cumplen con las verificaciones.

- En esta tesis se realizó el diseño en concreto armado para la infraestructura educativa de Sorapa, de acuerdo a la norma E 0.60 y el código ACI318-14 en cada uno de los programas, obteniendo resultados similares en cuanto al área de acero requerida para cada una de las secciones de vigas y columnas, cuyo cómputo general del acero para toda la edificación es 11,520.79kg para el Etabs, 12,165.95kg para el Sap2000, 12,039.23kg para el Revit structure y 12,389.46 kg; cuya principal razón de esta variación es que Etabs es un programa especializado en análisis de este tipo de edificaciones.
- En esta tesis se determinó el software más eficiente para la elaboración de proyectos estructurales, en base a parámetros propuestos por el tesista y la aplicación de la metodología de diseño empleado en esta tesis tales como funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, portabilidad, versatilidad, soporte a nuestras normas y economía en el diseño; siendo este resultado para el tesista el programa Revit structure que cumple con los mejores parámetros indicados.
- En esta tesis se calculó y comparo el presupuesto obtenido a partir de los metrados generados por el diseño con los programas para la infraestructura educativa de



Sorapa en la especialidad de estructuras, cuyos resultados son S/. 531,065.72 con Sap2000, S/. 528,162.48 con Etabs, S/. 532,071.47 con Cypecad y S/. 530,495.44 con Revit structure, cuyo mejor resultado es la obtenida con datos del programa Etabs y que va relacionado a los datos obtenidos en los demás objetivos.



VI. RECOMENDACIONES

6.1. Recomendaciones:

- Se recomienda mejor capacitación para el empleo de softwares estructurales, y el entendimiento e interpretación y las capacidades de cada uno de ellos en cuanto al diseño estructural, los cuales se puede optimizar de mejor manera y obtener mejores resultados a partir de ello.
- Para el manejo y entendimiento de los softwares Etabs y Sap2000 se recomienda tener un manejo intermedio del idioma inglés como mínimo para poder emplear e interpretar de mejor manera los resultados, además en general un conocimiento alto en parámetros de diseño en cuanto a las propiedades de los materiales, criterios de diseño, artificios manuales para poder verificar e interpretar los resultados.
- Se recomienda utilizar otro programa para el diseño de cimentaciones ya que todos los programas comparados en la presente tesis no lo elaboran desde un punto de vista comparables, ya que emplean diferentes metodologías, incluso no basados en criterios internacionales.
- Para el entendimiento en cuanto a la eficacia de cada programa, se recomienda comparar no solo con resultados sino además incluir otros parámetros o aspectos importantes, hoy en día como la portabilidad o inclusión con un conjunto de softwares para un trabajo en conjunto con otros especialistas más y así lograr proyectos más óptimos y rápido.



VII. REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2015). *Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado*. Obtenido de https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000737725
- Alves González, J. J. (2011). *Análisis Dinámico de una Estructura irregulares Empleando el programa de Cálculo Estructural Etabs*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/305891819/Tesis-Analisis-Dinamico-Estructura-Irregular-Con-Etabs>
- Aza Santillán, G. S. (2014). *Diseño Estructural de un Edificio Residencial de Concreto Armado de ocho Pisos y Semisótano*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/260543516/Aza-Giancarlo-Diseno-Estructural-Eidificio-Concreto-Armado-Ocho-Pisos-Semisotano>
- Bellagio, C. A., & Figueroa, M. I. (2011). *Diagramas de Interacción para el Dimensionamiento de Secciones de Concreto Armado Sometidas a Flexión Recta con Solicitación Axial*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/58831581/4-p22-Bellagio>
- Blanco Blasco, A. (1997). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Ediciones Capitulo de Ingeniería Civil, consejo departamental Lima.
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Obtenido de https://www.academia.edu/9942581/Estructuracion_y_Diseno_de_Edificaciones_de_Concreto_Armado_Antonio_Blanco_Blasco
- Briones, P. & Alvarez, J. (2018). *Comparación del modelamiento, análisis y diseño estructural en concreto armado utilizando los Software Etabs y Robot Structural Analysis, para un edificio de cinco niveles (cuatro pisos y un semisótano)*. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1207>
- Calavera Ruiz, J. (1999). *Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón: Tomo I*. España: INTEMAC S.A.



- Cámara Peruana de la Construcción (2017). *El 70% de viviendas en Perú son informales y vulnerables a un terremoto*. Obtenido de <https://rpp.pe/economia/economia/capeco-el-70-de-viviendas-en-lima-sonconstruidas-sin-normas-tecnicas-noticia-1078934?ref=rpp>
- Carabela Hernández, J. C. (2013). *Comparación de la modelación, análisis y diseño de estructuras entre los programas Sap2000, Etabs, Staad Pro y Robot*. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0692470/0692470.pdf>
- Cárdenas, O. (2019). *Diseño estructural de un edificio multifamiliar de concreto armado de cinco pisos*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15010>
- Computers and Structures, Inc. (2020). Software Etabs. Recuperado de: <https://www.csiespana.com/software/5/etabs>
- Computers and Structures, Inc. (2020). Software Sap2000. Recuperado de: <https://www.csiespana.com/software/5/sap2000>
- Delgado, G. (2011). *Diseño de Estructuras Aporticadas de Concreto Armado*. Obtenido de <https://civiliestph.files.wordpress.com/2016/04/libro-genaro-delgado-diseño-de-estructuras-aporticadas-cc2baac2ba.pdf>
- Eadic Formación & Consultoría (2015). *Fases del diseño estructural: master estructuras*. Obtenido de <https://www.eadic.com/fases-del-diseno-estructural/>
- Global A. (2021). *La Tecnología Y La Ingeniería Civil*. Obtenido de <https://www.arcus-global.com/wp/la-tecnologia-y-la-ingenieria-civil/>
- Grados, P. (2018). *Aplicación del software Etabs para el diseño estructural de una edificación de 05 pisos con semisótano en San Isidro – 2018*. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40151>
- Huaraca, A. (2018). *Análisis Comparativo Aplicando el Software Robot Structural Analysis y Etabs para Evaluar el Comportamiento Estructural de Viviendas AutoConstruidas*. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/794>



- Huari Wilson, C. E. (2010). *Estructuras de un Edificio de departamentos de diez pisos, ubicado en una esquina de Miraflores dentro de un conjunto conformado por tres Edificios*. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/502>
- Lozano, N. (2013). *Comparación sismoresistente y económica entre una estructura convencional y una no convencional en un mismo edificio irregular*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11128>
- Mamani, E. (2017). *Análisis y diseño estructural de la edificación de nueve niveles con aplicación del Software Etabs versión 15.2 – Safe versión 14.1*. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1478>
- Márquez, J. (2015). *Aspectos de modelamiento en edificios de planta libre*. Obtenido de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/15694>
- Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), *Albañilería [Norma E.070]*. Lima, Perú.
- Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), *Cargas [Norma E.020]*. Lima, Perú.
- Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2009), *Concreto Armados [Norma E.060]*. Lima, Perú.
- Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018), *Diseño Sismoresistente [E.030]*. Lima, Perú.
- Montoya Martinez, D. A. (2016). *Optimización de estructuras de naves empleando tecnología BIM*. Obtenido de URI: <http://hdl.handle.net/11317/661>
- Nilson, A. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*, Duodécima edición. Recuperado de: <https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/disec3b1o-de-estructuras-de-concreto-nilson-arthur.pdf>
- Quinchiguango Córdova, M. V., & Taco Loacham, D. M. (2016). *Análisis estructural de una edificación de hormigón armado a través del software robot analysis structural*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6931>



- Quiroga, F. (2018). *Modelación, análisis y diseño estructural de una edificación de tres plantas de uso público con sección compuesta usando el espectro de diseño, Nec-15 y Etabs*. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32602/1/QUIROGA_FLAVIO_TR_ABAJO_TITULACION_ESTRUCTURAS_ENERO_2018.pdf
- Ramírez, J. (2019). *Diseño estructural de un edificio multifamiliar de 8 pisos en Surquillo*. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13530>
- Salinas Basualdo, R. (2013). Modelamiento de estructuras mediante programas de cómputo uso del programa Etabs. Obtenido de <http://docshare03.docshare.tips/files/2195/21953305.pdf>
- Saravia, L. (2013). Análisis y diseño con Etabs, su aplicación adecuada y comprobación de resultados, Aplicado a edificios de concreto armado. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1033/1/LUIS%20ESTUARDO%20SARAVIA%20RAM%20C%20DREZ.pdf>
- Structuralia. (2020). 5 software utilizados para el diseño y cálculo de estructuras. Obtenido de: <https://blog.structuralia.com/5-software-utilizados-para-el-diseno-y-calculo-de-estructuras-en-edificacion-y-obra-civil>
- Taboada García, J. A., & Izcue Uceda, A. M. (2009). *Diseño de Edificios Asistido por Computadoras*. Obtenido de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/155>
- Uribe, J. (1992). *Análisis de Estructuras, 2º Edición*. Recuperado de: https://www.academia.edu/34584677/Jairo_uribe_escamilla_150418194330_conversion_gate
- Vasco, P (2003). *Guía para Análisis y Diseño Estructural de Edificios de Hormigón Armado* (Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador). Recuperado de: https://www.academia.edu/8180956/guia_para_el_analisis_estructural_de_edificaciones



ANEXOS

1. Diagrama de flujo de procedimiento de modelado
2. Espectro de diseño utilizado
3. Memoria de cálculo verificaciones para cada software
4. Memoria de cálculo de diseño en concreto armado
5. Planos arquitectónicos
6. Planos de estructuras
7. Metrados de acero
8. Estudio de mecánica de suelos
9. Captura de imagen de autorización de uso de licencia de prueba