

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE
VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE
PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019**

PRESENTADO POR:

Br. WILDOR APAZA CHINO

PARA OPTAR AL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

M.Sc. Ing. JOSE RONALD AGUILAR HUERTA

CUSCO-PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO - PERÚ, 2019

presentado por: WILDOR APAZA CHINO con DNI Nro.: 73605724

presentado por: con DNI Nro.:

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 2%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 6 de NOVIEMBRE de 2024



Firma

Post firma MSc. Ing. Jose Ronald Aguilar Huerta

Nro. de DNI 42419267

ORCID del Asesor 0000-0002-5215-5253

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:401378994

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS

AUTOR

WILDOR APAZA CHINO

RECUENTO DE PALABRAS

9189 Words

RECUENTO DE CARACTERES

147755 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

222 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

20.5MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 3, 2024 1:43 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 3, 2024 1:45 PM GMT-5

● 2% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN.....	17
Capítulo 1. Introducción e información general	19
1.1. Introducción.....	19
1.2. Justificación.....	20
1.3. Formulación del Problema	20
1.3.1. Problema General	20
1.3.2. Problemas específicos	21
1.4. Objetivos de la Investigación	21
1.4.1. Objetivos General.....	21
1.4.2. Objetivos Específicos.....	21
1.5. Hipótesis de la investigación.....	22
1.5.1. Hipótesis General.....	22
1.5.2. Hipótesis Específicas	22
1.6. Unidad de análisis	22
1.7. Tipo de investigación	23
1.8. Nivel de investigación	23
1.9. Variables.....	23
1.10. Operacionalización de variables.....	25
1.11. Muestra.....	25
1.12. Alcances de la investigación.....	26
1.13. Antecedentes	27

Capítulo 2. Marco Teórico	29
2.1. Introducción	29
2.2. Estructuración y Pre-dimensionamiento	29
2.2.1. Pre-dimensionamiento	30
2.2.2. Losa aligerada	30
2.2.3. Vigas	31
2.2.4. Columnas	31
2.2.5. Recubrimiento	31
2.2.6. Longitud de desarrollo	32
2.3. Modelado	34
2.3.1. ETABS	34
2.3.2. REVIT	35
2.3.3. MATHCAD	36
2.4. Análisis sísmico	36
2.4.1. Análisis Sísmico Estático Elástico Lineal	38
2.4.2. Parámetros sísmicos	39
2.4.3. Irregularidades estructurales en Altura	43
2.4.4. Irregularidades estructurales en Planta	44
2.4.5. Análisis sísmico dinámico modal espectral	45
2.5. Diseño en concreto armado	48
2.5.1. Resistencia Requerida	48
2.5.2. Diseño por Flexión	49
2.5.3. Diseño por corte:	53

2.5.4.	Diseño por flexocompresión.....	53
2.5.5.	Diseño de vigas.....	56
2.5.6.	Diseño de columnas.....	56
2.5.7.	Control de deflexiones.....	57
Capítulo 3. Programación algorítmica visual y PYTHON		58
3.1.	Introducción.....	58
3.2.	Building Information Modeling.....	58
3.3.	Algoritmo	59
3.4.	Programación	59
3.5.	Programación algorítmica visual.....	60
3.6.	Dynamo	60
3.7.	Anatomía de un programa visual.....	61
3.7.1.	Nodo	61
3.7.2.	Cables.....	62
3.7.3.	Tipos de nodos.....	64
3.8.	Nodos personalizados.....	65
3.9.	Paquetes	65
3.10.	Dynamo para REVIT	66
3.11.	PYTHON.....	66
3.12.	Librerías de PYTHON	68
3.13.	JUPYTER NOTEBOOK	69
3.14.	VISUAL STUDIO CODE (VS CODE)	70
Capítulo 4. Desarrollo de la investigación: Muestra de control		72
4.1.	Modelo de estudio.....	72

4.2.	Materiales	73
4.3.	Estructuración	74
4.4.	Pre-dimensionamiento	75
4.4.1.	Losa aligerada	75
4.4.2.	Vigas	75
4.4.3.	Columnas	76
4.5.	Modelamiento	76
4.5.1.	Aspectos generales	76
4.5.2.	Modelado de elementos estructurales	79
4.5.3.	Restricciones	82
4.6.	Análisis sísmico	83
4.6.1.	Cargas	83
4.6.2.	Parámetros Sísmicos	84
4.6.3.	Irregularidades	85
4.6.4.	Patrones de carga	86
4.6.5.	Cargas puntuales y distribuidas	86
4.6.6.	Masa sísmica	87
4.6.7.	Espectro de respuesta	88
4.6.8.	Análisis sísmico estático	88
4.7.	Diseño estructural de columnas	90
4.8.	Diseño estructural de vigas	99
Capítulo 5. Desarrollo de la investigación: Muestra Experimental		102
5.1.	Modelo de estudio	102

5.2.	Materiales	102
5.3.	Estructuración	105
5.4.	Pre-dimensionamiento	106
5.5.	Modelamiento	106
5.5.1.	Algoritmo 1: Obtención de información de REVIT y trasladarlo a ETABS.....	109
5.5.2.	Restricciones	113
5.6.	Algoritmo 2: Generación de sismo en ETABS.....	113
5.6.1.	Cargas utilizadas	114
5.6.2.	Parámetros Sísmicos	114
5.6.3.	Patrones de cargas	114
5.6.4.	Cargas puntuales, lineales y superficiales.....	115
5.6.5.	Masa sísmica.....	118
5.6.6.	Irregularidades.....	119
5.6.7.	Análisis sísmico estático	119
5.7.	Algoritmo 3: Generación de reporte de sismo de ETABS.....	120
5.8.	Algoritmo 4: Diseño a flexocompresión y corte de columnas en MATHCAD	120
5.8.1.	Diseño por flexo compresión.....	121
5.8.2.	Diseño por Corte	131
5.9.	Diseño estructural de vigas.....	134
5.9.1.	Algoritmo de diseño de vigas - PYTHON	134
5.9.2.	Librerías PYTHON	135

5.9.3.	Conexión a ETABS	136
5.9.4.	Extracción de información de ETABS.....	137
5.9.5.	Diseño a flexión	141
5.9.6.	Diseño de corte	144
5.9.7.	Informe de diseño de viga.....	147
5.10.	Algoritmos de detallado de modelo estructural BIM.....	148
5.10.1.	Algoritmo 6: Colocación de acero longitudinal de columnas y vigas	149
5.10.2.	Algoritmo 7: Colocación de acero transversal de columnas y vigas.	152
5.11.	Elaboración de planos.....	155
5.11.1.	Generación de tablas	155
5.11.2	Generación de planos	157
Capítulo 6.	Discusión de resultados obtenidos.....	159
6.1.	Softwares empleados.....	159
6.2.	Algoritmos Generados	159
6.2.1.	Algoritmo1: Algoritmo de obtención de información de REVIT a ETABS.....	159
6.2.2.	Algoritmo2: Algoritmo de generación de sismo en ETABS.....	161
6.2.3.	Algoritmo 3: Algoritmo de generación de reporte de sismo.	162
6.2.4.	Algoritmo 4: Algoritmo de diseño a flexocompresión y corte de columnas en MATHCAD	164
6.2.5.	Algoritmo 5: Algoritmo de diseño a flexión y corte de vigas PYTHON	165
6.2.6.	Algoritmos de dibujo de acero	167
6.3.	Resultados.....	167
Capítulo 7.	Conclusiones y Recomendaciones	168

7.1.	Conclusiones.....	168
7.2.	Recomendaciones:	169
	Referencias.....	171
	Anexos	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variable Independiente	24
Tabla 2 Variable Dependiente.....	24
Tabla 3 Espesor de la losa aligerada en función de la longitud del vano	30
Tabla 4 Recubrimiento en concreto E.060.....	32
Tabla 5 Gancho estándar con doblez	33
Tabla 6 Longitudes de desarrollo.....	33
Tabla 7 Factor Z	40
Tabla 8 Factor de suelo "S"	41
Tabla 9 Periodos "Tp" y "Tl"	41
Tabla 10 Factor de amplificación sísmica.....	42
Tabla 11 Categoría de las edificaciones y factor U	42
Tabla 12 Sistemas estructurales y sus coeficientes básicos de reducción (Ro) ..	43
Tabla 13 Factores Φ para diferentes solicitaciones en diseño estructural	48
Tabla 14 Combinaciones de cargas en el diseño estructural.....	49
Tabla 15 Tipos de diseño por flexocompresión	54
Tabla 16 Peraltes o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones	57
Tabla 17 Características del concreto	73
Tabla 18 Características del acero	73
Tabla 19 Combinaciones de cargas colocadas al ETABS	84
Tabla 20 Parámetros sísmicos.....	84
Tabla 21 Irregularidades	85
Tabla 22 Cortante basal	89
Tabla 23 Valores de carga axial y momento	94
Tabla 24 Valores del diagrama de interacción nominal.....	95
Tabla 25.....	100

Tabla 26. Características del concreto.	102
Tabla 27. Características del acero.	104
Tabla 28 Pre-dimensionamiento	106
Tabla 29: Tipo de información requerida de los elementos estructurales de REVIT	109
Tabla 30. Tipo de ETABS.....	110
Tabla 31 Información de cargas.....	115
Tabla 32 Irregularidades	119
Tabla 33. Input flexocompresión.....	125
Tabla 34 Extracción de información de ETABS.....	141
Tabla 35 Cuantificador de acero requerido	155
Tabla 36 Algoritmo DYNAMO de longitud de desarrollo	156
Tabla 37 Longitud de desarrollo.....	156
Tabla 38 Resultados de los algoritmos.....	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Operacionalización de variables.....	25
Figura 2 Programación Algorítmica Visual.....	29
Figura 3 Flujo de comunicación de software	35
Figura 4 Análisis sísmicos.....	37
Figura 5 Factor de reducción de fuerzas sísmicas.....	39
Figura 6 Distribución real propuesta por Whitney.....	50
Figura 7 Diagrama momento-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión.....	51
Figura 8 Diseño por flexo-compresión	55
Figura 9 Metodología BIM.....	59
Figura 10 Composición de nodos	61
Figura 11 Estado de nodos	62
Figura 12 Cables	63
Figura 13 Proceso finalizado.....	63
Figura 14 Tipos de nodos.....	65
Figura 15 Nodos personalizados	65
Figura 16 Paquetes de Dynamo	66
Figura 17 a) Izquierda, plano en planta del modelo de estudio. b) Derecha, Plano en elevación de modelo de estudio	72
Figura 18 Colocación de Acero en ETABS.....	74
Figura 19 Estructuración en planta de modelo de estudio	75
Figura 20 Colocación de unidades.....	76
Figura 21 Colocación del grillado.....	77
Figura 22 Colocación de la altura del modelo	78
Figura 23 Resultado	78
Figura 24 Sección columna.....	79
Figura 25 Sección viga.....	80

Figura 26 Sección losa.....	80
Figura 27 Realización del dibujo de cada elemento estructural.....	81
Figura 28 Dibujo de la losa.....	81
Figura 29 Diafragma rígido.....	82
Figura 30 Restricciones del elemento.....	83
Figura 31 Colocación de patrones de carga.....	86
Figura 32 Colocación de las cargas uniformes.....	87
Figura 33 Establecer la masa sísmica.....	87
Figura 34 Colocación de parámetros sísmicos.....	88
Figura 35 Cortante basal estático y dinámico.....	89
Figura 36 Coeficientes de diseño en concreto armado en ETABS.....	90
Figura 37 Acero longitudinal.....	91
Figura 38 Coeficiente de capacidad/demanda.....	92
Figura 39 Diagrama de interacción.....	93
Figura 40 Construcción del diagrama de interacción.....	95
Figura 41 Valor de cargas sometidas.....	96
Figura 42 Resultado de diagrama de interacción.....	97
Figura 43 Diseño de corte.....	98
Figura 44 Valores de momento nominal eje 3-3 y eje 2-2.....	98
Figura 45 Valores de acero requerido a flexión.....	99
Figura 46 Flujo de trabajo de la investigación en la muestra experimental.....	103
Figura 47 Flujo de trabajo.....	104
Figura 48. Colocación de Acero en ETABS.....	104
Figura 49 Estructuración en planta de modelo de estudio.....	105
Figura 50 a) Izquierda, elemento estructural BIM, b) Derecha, vista analítica de elemento estructural.....	107
Figura 51 a) Izquierda, modelo 3D de sistema estructural. b) Derecha, modelo analítico 3D, del modelo de estudio.....	107

Figura 52	Nodos de apertura de ETABS	108
Figura 53	Traslado de niveles de REVIT	109
Figura 54	Información geométrica de los elementos estructurales.....	110
Figura 55	Nodos en DYNAMO de generación de elementos en ETABS	111
Figura 56	Modelo analítico en ETABS, generado por DYNAMO.....	112
Figura 57	a) Izquierda, nodos de diafragma rígido en DYNAMO. b) Derecha, diafragma generado en ETABS	112
Figura 58	Modelo analítico REVIT, cargas vivas y muertas.....	113
Figura 59	Patrones de carga.....	114
Figura 60	Coeficientes de sismo X y Y	115
Figura 61	Carga hospedadas en elementos frame, traslado en ETABS a tipo FRAME	116
Figura 62	Cargas hospedadas en elementos de área, traslado de losas aligeradas a cargas superficiales.....	117
Figura 63	Ejecución del algoritmo para obtener en ETABS.....	117
Figura 64	Masa sísmica	118
Figura 65	Peso sísmico en ETABS como MassSource	118
Figura 66	Flujo de diseño de columnas	121
Figura 67.	Tipo de cálculo en ETABS.....	122
Figura 68.	Asignación de acero longitudinal y transversal en ETABS.....	123
Figura 69.	Ratios de DEMANDA/CAPACIDAD de las columnas.....	124
Figura 70.	Comunicación entre ETABS y MATHCAD	125
Figura 71.	Valores de ETABS requeridos para el análisis por flexocompresión. 126	
Figura 72.	Flujo de Flexocompresión en Mathcad.	127
Figura 73.	Programación de matrices en MATHCAD.....	128
Figura 74	Resultado de β_1	129
Figura 75	Obtención de los valores de capacidad axial minorada y momento resistente minorado	129

Figura 76 resultado del diagrama de interacción.....	130
Figura 77 Diseño por corte de MATHCAD.....	131
Figura 78 Espaciamiento en zona de confinamiento.....	132
Figura 79 Espaciamiento de varilla	132
Figura 80 Longitud de zona de confinamiento.....	133
Figura 81 Resistencia al corte de concreto, resistencia al corte de acero.....	133
Figura 82 Espaciamiento en zona central.....	134
Figura 83 Instalación de PYTHON en VSC	135
Figura 84 Instalación de librerías requeridas.....	135
Figura 85 Importación de librerías en JUPYTER NOTEBOOK	136
Figura 86 Conexión a ETABS mediante PYTHON.....	137
Figura 87 Run Analysis	137
Figura 88 Inicio de diseño en ETABS	138
Figura 89. Colocación de unidades.....	138
Figura 90. Selección de viga a analizar.	139
Figura 91. Extracción de tablas dentro de PYTHON.....	139
Figura 92. Conversión a TABLAS con PANDAS	140
Figura 93. Generación de tabla en PYTHON.	140
Figura 94 Filtrado de datos.	140
Figura 95. Tabla obtenida del filtrado de datos	141
Figura 96 Generación de código para realizar el diseño a flexión	142
Figura 97 Valores extraídos de ETABS para diseño a flexión.	142
Figura 98 Valores en PYTHON para dibujo de acero longitudinal.....	143
Figura 99 Generación de imagen en MATPLOTLIB.....	143
Figura 100 Resultado del dibujo de MATPLOTLIB	144
Figura 101. Obtención del valor de C de Whitney en PYTHON	144
Figura 102 Obtención del momento nominal en PYTHON	144
Figura 103 Obtención del momento probable en PYTHON	145

Figura 104 Acero transversal indicado en PYTHON.....	145
Figura 105 Calculo de espaciamiento en zona 2h.	146
Figura 106 Obtención del cortante ultimo.....	146
Figura 107 Espaciamiento en zona de no confinamiento.....	147
Figura 108 Código para la generación del reporte	148
Figura 109 Reporte final de vigas	148
Figura 110 Algoritmo para poder colocar el acero dentro de la columna rectangular.....	149
Figura 111 Valores INPUT del acero longitudinal.....	149
Figura 112 Resultado de ejecución de DYNAMO PLAYER dentro de REVIT acero longitudinal.....	150
Figura 113 Acero longitudinal de viga de un solo tramo	151
Figura 114 Acero longitudinal de viga continua.....	151
Figura 115 Acero longitudinal de viga continua en un lado.....	152
Figura 116 Algoritmo para generar el acero transversal	153
Figura 117 Valores INPUT acero transversal	153
Figura 118 Resultado de ejecución de DYNAMO PLAYER dentro de REVIT acero transversal	154
Figura 119 Acero transversal de vigas	154
Figura 120 Plano de detallado de columna en REVIT.	157
Figura 121. Plano de detalle de columna en AUTOCAD.	158
Figura 122 Procesos de modelado en ETABS en la muestra de control.....	160
Figura 123 Procesos del algoritmo 1	160
Figura 124. Procesos de la generación de sismo de ETABS	161
Figura 125 Procesos del algoritmo 2	162
Figura 126 Procesos de la generación de reporte de sismo.....	163
Figura 127 Procesos del algoritmo 3, de generación de reporte.	163
Figura 128 Procesos de la generación de reporte de diseño de columnas.....	164

Figura 129 Procesos del algoritmo 4	165
Figura 130 Procesos de generación de reporte de diseño de vigas.....	166
Figura 131 Procesos del algoritmo 5	166

RESUMEN

La presente investigación implementó la programación algorítmica visual de DYNAMO como herramienta en el modelado, análisis y diseño estructural, tomando como unidad de análisis los pórticos de una vivienda unifamiliar de interés social, donde se han analizado los procesos que pueden ser automatizados y parametrizados.

Para este fin se ha generado una muestra de control siguiendo los procesos tradicionales de diseño y una muestra experimental donde se han aplicado los algoritmos de DYNAMO incorporando en procesos seleccionados líneas de programación de PYTHON 3.8.

Se ha ceñido a la normativa de Perú, siendo en la NTP E-0.20, para la asignación de cargas, NTP E-0.30 para el análisis sísmico estático/dinámico y NTP E-0.60 para el diseño en concreto armado, utilizando como sistema estructural pórticos en concreto armado tanto en la dirección "X" y "Y".

Los algoritmos se han trabajado como herramientas de comunicación entre los softwares de modelado REVIT 2022 y software de análisis y diseño estructural ETABS 2018, la generación de reportes se utilizó MATHCAD PRIME 8.0.0.0 y un archivo HTML, una vez analizado la estructura se exportó a REVIT 2022 para realizar el proceso de detallado y creación de planos y reportes.

Como resultado se obtuvieron 7 scripts principales en DYNAMO, el primero para el traslado de geometría de REVIT a ETABS, el segundo para la generación del sismo estático/dinámico en ETABS, el tercero en la generación de reporte en MATHCAD del análisis estático/dinámico obtenido de ETABS, el cuarto en la generación de reporte en MATHCAD del diseño en flexocompresión y corte de las columnas, el quinto en la generación del reporte del diseño de las vigas a flexión y corte, el sexto y el séptimo se ha enfocado en la generación de los planos de nuestros resultados de diseño.

Palabras clave: Programación algorítmica visual, DYNAMO, diseño estructural, pórticos.

ABSTRACT

This research implemented DYNAMO visual algorithmic programming as a tool for structural modeling, analysis and design, taking as the analysis unit the frames of a single-family social interest home, where the processes that can be automated and parameterized have been analyzed.

For this purpose, a control sample has been generated following the traditional design processes and an experimental sample where the DYNAMO algorithms have been applied incorporating PYTHON 3.8 programming lines in selected processes.

It has been adhered to the Peruvian regulations, being NTP E-0.20, for the assignment of loads, NTP E-0.30 for the static/dynamic seismic analysis and NTP E-0.60 for the design in reinforced concrete, using reinforced concrete frames as a structural system in both the "X" and "Y" directions.

The algorithms have been worked as communication tools between the REVIT 2022 modeling software and the ETABS 2018 structural analysis and design software. The report generation was done using MATHCAD PRIME 8.0.0.0 and an HTML file. Once the structure was analyzed, it was exported to REVIT 2022 to carry out the detailing process and create plans and reports.

As a result, 7 main scripts were obtained in DYNAMO, the first one for the transfer of geometry from REVIT to ETABS, the second one for the generation of the static/dynamic earthquake in ETABS, the third one for the generation of a report in MATHCAD of the static/dynamic analysis obtained from ETABS, the fourth one for the generation of a report in MATHCAD of the flexocompression and shear design of the columns, the fifth one for the generation of the report of the design of the beams in bending and shear, the sixth and the seventh one have focused on the generation of the plans of our design results.

Keywords: Visual algorithmic programming, DYNAMO, structural design, porticos.

Capítulo 1. Introducción e información general

1.1. Introducción

Se ha investigado la implementación de algoritmos de programación visual en el diseño y análisis de los pórticos de una vivienda de interés social, a fin de brindar una herramienta al ingeniero estructural que optimice sus procesos estructurales tradicionales.

Para este fin se ha tomado como unidad de análisis una vivienda de un nivel con proyección a dos, donde se ha establecido dos muestras la primera una muestra de control (MC) donde se ha seguido el proceso estructuración, pre-dimensionamiento, análisis sísmico de la vivienda, diseño estructural de las vigas y columnas, de manera tradicional y la segunda una muestra experimental (ME) donde se ha seguido los mismos procesos de la muestra de control, aplicándose los algoritmos. Definido esto se ha procedido a su presentación en planos de los diseños.

La tesis presente se divide en 06 capítulos. En el capítulo I se presenta la introducción del tema a investigar, así como los objetivos de la tesis. El capítulo II está compuesto por el marco teórico de la investigación, donde se explican el procedimiento de análisis sísmico y el estado del conocimiento con respecto al diseño en concreto armado. El capítulo III se enfoca en el marco teórico de la programación algorítmica visual de DYNAMO y como el software ETABS, REVIT y MATHCAD los emplea; también se explica como PYTHON puede ser una herramienta que ayude a este proceso. El capítulo IV se enfoca en el desarrollo de la muestra de control de la investigación, donde en la primera parte se describen los algoritmos realizados para: modelado y análisis sísmico de la vivienda y la segunda parte del capítulo se enfocó en los pórticos abordando el diseño estructural de la columna y viga. En el capítulo V se desarrolla la muestra experimental donde explica cómo se han implementado los algoritmos en los mismos procesos de la muestra de control. En el capítulo VI se muestran los resultados

obtenidos, finalmente en el capítulo VI se presentan las conclusiones y recomendaciones que deja el presente trabajo de investigación.

1.2. Justificación

El constante cambio tecnológico brinda nuevas herramientas a la ingeniería civil, denominándose la aplicación de estas como Building Information Modeling o más conocido como BIM, esto abarca la aplicación de nuevas tecnologías en el sector de la ingeniería civil en general desde programación code, programación no code, aplicación de drones, machine learning, impresoras 3D, entre otras. Todas estas nuevas tecnologías deben ser investigadas para una correcta aplicación dentro de la ingeniería del país y brindar nuevas herramientas al ingeniero civil que le permitan desempeñarse de mejor manera en el mercado laboral y el desarrollo social.

Dentro de estas tecnologías la presente tesis ha investigado la aplicación de la programación algorítmica visual de DYNAMO y el lenguaje de programación de PYTHON, la que nos ha permitido mejorar procesos en el modelado, análisis, diseño, generación de planos e informes de la disciplina de estructuras; brindando de esta manera una nueva herramienta aplicativa para el ingeniero estructural del país.

Se han generado 7 algoritmos, donde los dos primeros de ellos se enfocaron para su uso exclusivo en el modelo de estudio, los siguientes tres se enfocaron para un uso indiferente del modelo de estudio y que son aplicables para la generación de informes personalizados de cualquier otro proyecto. Los últimos 2, se enfocaron en la presentación de los diseños obtenidos.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

P.G: ¿Cómo los algoritmos de programación visual optimizan el diseño estructural de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú,2019?

1.3.2. Problemas específicos

P.E.01: ¿Cuántos procesos en algoritmos de programación visual intervienen en el modelado de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019?

P.E.02: ¿Cuántos procesos en algoritmos de programación visual intervienen en el análisis sísmico de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019?

P.E.03: ¿Cuántos procesos en algoritmos de programación visual intervienen en el diseño de los pórticos de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019?

P.E.04: ¿Cuántos procesos en algoritmos de programación visual intervienen en la documentación de los pórticos de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivos General

O.G: Obtener algoritmos de programación visual para el diseño estructural de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019

1.4.2. Objetivos Específicos

O.G.01: Obtener la cantidad de procesos con los algoritmos de programación visual que intervienen en el modelado de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019.

O.G.02: Obtener la cantidad de procesos de los algoritmos de programación visual que intervienen en el análisis sísmico de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019.

O.G.03: Obtener la cantidad de procesos de los algoritmos de programación visual que intervienen en el diseño de los pórticos de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019.

O.G.04: Obtener la cantidad de procesos de los algoritmos de programación visual que intervienen en la documentación de vigas y columnas de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú, 2019.

1.5. Hipótesis de la investigación

Nuestra hipótesis de la investigación se ha basado en, si aplicamos el sistema de algoritmos de programación visual de DYNAMO, en el proceso para obtener el diseño estructural, entonces se obtendrá el diseño estructural de los pórticos de una vivienda en una menor cantidad de procesos.

1.5.1. Hipótesis General

H.P: Obtenemos menor cantidad de procesos con los algoritmos de programación visual en el diseño estructural de viviendas de bajo costo, Cusco – Perú,2019.

1.5.2. Hipótesis Específicas

H.E.01: La cantidad de procesos se reduce, con el uso del algoritmo de modelado, en viviendas de bajo costo, Cusco - Perú,2019.

H.E.02: La cantidad de procesos se reduce, con el uso del algoritmo de análisis sísmico, en viviendas de bajo costo, Cusco - Perú,2019.

H.E.03: La cantidad de procesos se reduce, con el uso del algoritmo de diseño de los pórticos, en viviendas de bajo costo, Cusco - Perú,2019.

H.E.04: La cantidad de procesos se reduce, con el uso del algoritmo de documentación, en viviendas de bajo costo, Cusco - Perú,2019.

1.6. Unidad de análisis

Se estableció como unidad de análisis, una vivienda de interés social de un nivel con proyección a dos niveles que cuenta con un sistema estructural aporticado en ambas direcciones.

1.7. Tipo de investigación

Nos encontramos con una investigación que por su finalidad: es una investigación aplicada, esto debido a que, mediante el sistema establecido de la programación algorítmica visual de DYNAMO, buscamos optimizar los procesos del diseño estructural en la columna de una vivienda unifamiliar.

De acuerdo con la fuente, nos encontramos con una investigación de laboratorio, donde tenemos un ambiente controlado con los procesos a seguir y al manipular nuestra variable independiente de algoritmos de programación visual obtenemos variación en nuestra variable dependiente, en la cantidad de procesos para obtener el diseño estructural en los pórticos de una vivienda unifamiliar.

1.8. Nivel de investigación

Nos clasificamos en una investigación de nivel DESCRIPTIVO - CORRELACIONAL, esto se da porque primeramente el nivel de estudio se centra en entender las dos variables de estudio (algoritmos de programación visual, diseño estructural) y seguidamente entender el grado de relación en la mejora de procesos del diseño estructural mediante los algoritmos de programación visual.

1.9. Variables

La investigación tiene dos variables:

Variable Independiente (VI) = Algoritmos de programación visual

La variable independiente de la investigación es el “sistema de algoritmos de programación visual”, cuyos indicadores hacen referencia a las dimensiones de: Algoritmos de modelado, Algoritmo de análisis sísmico, Algoritmo de diseño estructural, Algoritmo de documentación.

Tabla 1*Variable Independiente*

Variable Independiente	Algoritmos de programación lineal	
Definición Conceptual Sistema de programación visual para optimizar procesos	Dimensión	Indicador
	Algoritmo de modelado	Pre - dimensiones de elementos estructurales en su modelo 3D
	Algoritmo de análisis sísmico	Establecer el análisis sísmico a someter el modelo 3D
	Algoritmo de diseño estructural	Dimensión final obtenida al someter los elementos estructurales a su demanda.
	Algoritmo de documentación	Brindar los planos e informes de memoria de cálculo de los elementos estructurales.

La variable dependiente es el “diseño estructural de la vivienda”, cuyo indicador hace referencia a la dimensión “Elementos estructurales de pórticos”

Variable Dependiente (VD) = Diseño Estructural

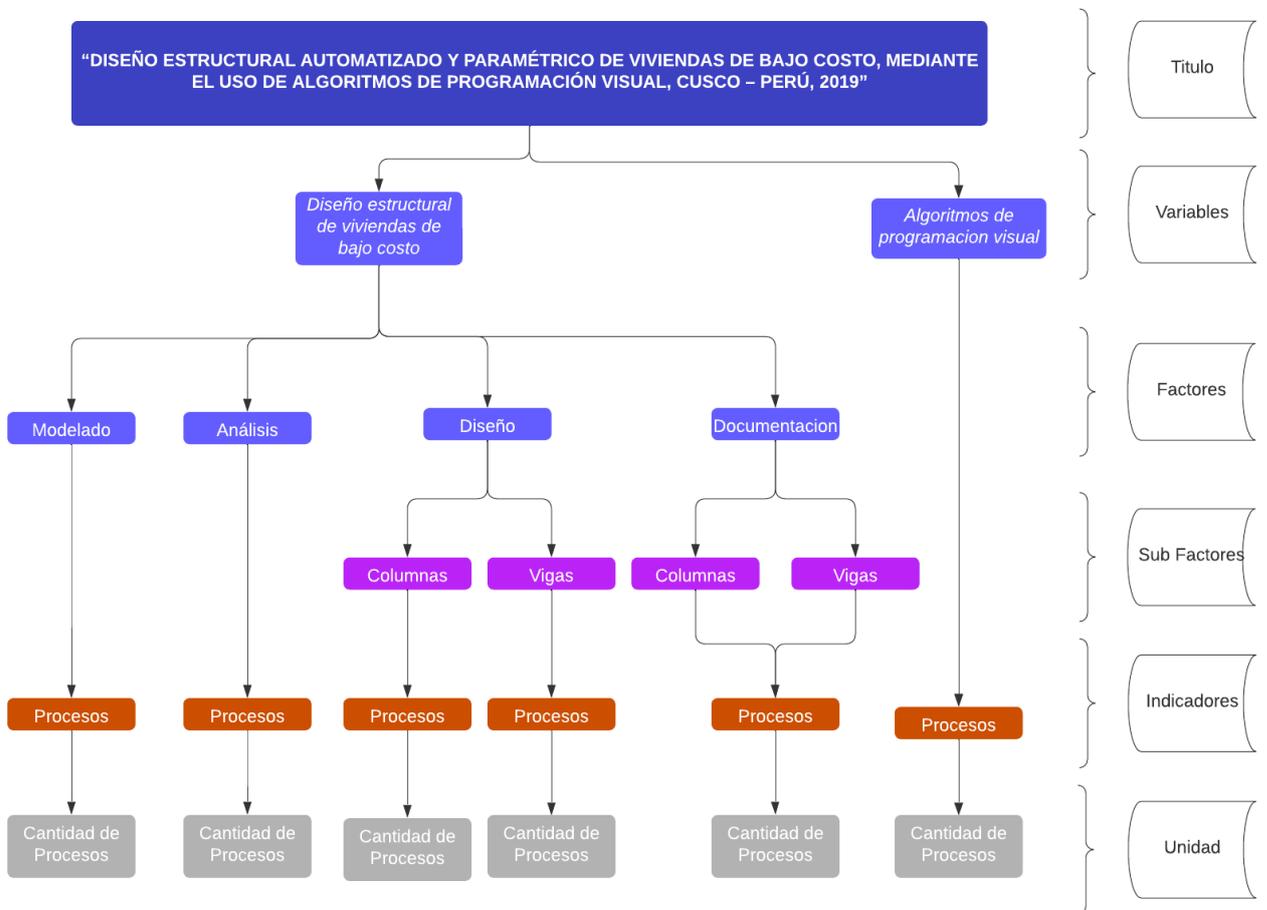
Tabla 2*Variable Dependiente*

Variable Dependiente	Diseño estructural	
Definición Conceptual Dimensiones finales al someter los pórticos de la vivienda a una demanda requerida.	Dimensión	Indicador
	Elementos estructurales de pórtico	Cantidad de procesos

1.10. Operacionalización de variables

Figura 1

Operacionalización de variables



Nota: Elaboración propia

1.11. Muestra

Se ha requerido de dos muestras del proceso diseño estructural de la vivienda: el primero fue nuestra muestra de control (MC), siendo una muestra que se ha diseñado y construido con los procesos de diseño tradicionales y en donde queremos mejorar sus procesos de diseño estructural.

Y nuestra segunda muestra es una muestra experimental (ME), que se ha diseñado y construido con los algoritmos de programación visual.

En ambas muestras al compararlas se midió el funcionamiento de los algoritmos de programación visual (VI) mediante los procesos requeridos, para obtener el diseño estructural (VD) de los pórticos de la vivienda.

ME	X	O1
MC	—	O2

Donde:

ME: Muestra experimental.

MC: Muestra de control.

X: Funcionamiento de la muestra 1.

O1: Observación de la variable dependiente en la ME.

O2: Observación de la variable dependiente en la MC.

1.12. Alcances de la investigación

Se estudió una vivienda de interés social de un nivel, con sistema estructural aporticado en ambas direcciones en concreto armado, con una resistencia normal de $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ del concreto y un $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ del acero corrugado.

Limitamos la investigación en realizar el diseño en concreto armado de los vigas y columnas y la posterior documentación del análisis y diseño, junto con la generación de documentación en formatos PDF y CAD.

Para cuantificar la aplicación de los algoritmos se estableció: la cantidad de procesos en el análisis y diseño tradicional en nuestra muestra de control (MC) vs la cantidad de procesos en el análisis y diseño aplicando algoritmos de programación visual, en nuestra muestra experimental (ME).

La generación de los procesos mediante los algoritmos se enfocó en la comunicación bidireccional de los softwares REVIT-ETABS, mediante el uso de

programación algorítmica visual en DYNAMO y el uso del lenguaje de programación de PYTHON, para la generación de reportes con MATHCAD. Con referencia a la programación realizada dentro de DYNAMO nos limitamos en realizarla los nodos ya generados dentro de su biblioteca y presentadas en código abierto dentro de GITHUB, y generando programación textual en algunos procesos que requieren, utilizándose PYTHON, con la ayuda de las librerías de PANDAS, NUMPY, COMTYPES, MATPLOTLIB.

1.13. Antecedentes

Loyola (2018) presentó su tesis: “DESARROLLO DE APLICACIÓN EN SOFTWARE BIM PARA LA INTEROPERABILIDAD ENTRE EL ANÁLISIS Y LA REPRESENTACIÓN 3D DEL REFUERZO ESTRUCTURAL EN MUROS DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO”. Tuvo como objetivo general realizar una aplicación para generar armaduras en un modelo BIM, en muros de hormigón armado, usando los programas ETABS y REVIT y tomando a DYNAMO como herramienta de automatización y manipulación. De esta manera obtuvo tiempos de ejecución menores de 3 minutos en comparación al uso de herramientas nativas de Revit.

Diaz et al. (2022) presentó su tesis: “PROTOCOLO DE TRABAJO PARA LA ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE UN MODELO BIM UTILIZANDO LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL DYNAMO PARA LAS ESPECIALIDADES DE ARQUITECTURA Y ESTRUCTURAS EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN”. Tuvo como objetivo general realizar un protocolo de trabajo BIM a fin de estandarizar procesos de modelado en especialidades de arquitectura y estructuras mediante lenguaje de programación visual DYNAMO, obteniendo variación de precisión de metrados de 0 a 6% en comparación con el proceso tradicional. Finaliza proponiendo un plan de ejecución BIM, que establece la estrategia de su trabajo obtenido.

Palomino (2023) en el artículo: “Algoritmo para automatizar el detallado de acero de refuerzo en modelos BIM mediante Dynamo”. Aborda la limitación actual que existe en el modelamiento del acero en elementos estructurales en modelos BIM. Teniendo como objetivo elaborar algoritmos para automatizar la generación del acero de refuerzo en los elementos zapatas, columnas y vigas de una edificación, mediante Dynamo. Concluyendo que los algoritmos generados han permitido automatizar procesos de reducción de tiempos y errores humanos en el modelamiento de acero en los proyectos BIM.

Cisneros (2016), presentó su tesis: “DISEÑO EN CONCRETO ARMADO DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE SIETE PISOS SIN SÓTANO”. Tuvo como objetivo realizar el análisis y diseño bajo la normativa peruana, de la disciplina de estructuras de un edificio de siete niveles con sistema de placas en la dirección X y Y, en un área de 350 m² en San Miguel, Perú; abarcando el diseño de los pórticos, placas, losas y cimentación.

Ramírez (2019), presento su tesis: “DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 8 PISOS EN SURQUILLO”. Realiza la tesis del análisis y diseño en concreto armado de un edificio multifamiliar de 8 niveles en Surquillo, Lima; en un área construida de 1680.72 m². Se utiliza como software de trabajo ETABS. Para la investigación utiliza la normativa peruana describiendo el proceso de análisis y diseño que aplica en concreto armado en un edificio multifamiliar.

Capítulo 2. Marco Teórico

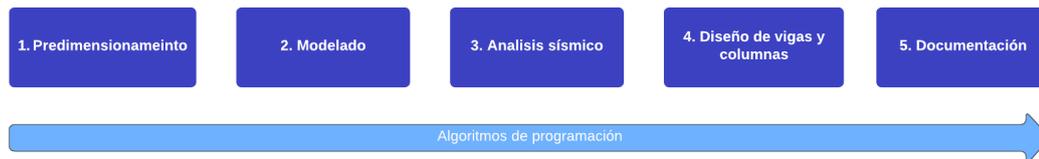
2.1. Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo describir y comprender el proceso de estructuración, pre-dimensionamiento, modelado, análisis sísmico, diseño y documentación en concreto armado a fin de entender la parte normativa en el país y poder aplicarla con la programación algorítmica visual (DYNAMO) mediante los softwares correspondientes.

Para este fin se requiere comprender la correcta aplicación de la norma peruana en cada una de las áreas indicadas: Cargas (E. 020), Análisis Sísmico (E. 030), Suelos y cimentaciones (E 0.50), Concreto Armado (E. 060).

Figura 2

Programación Algorítmica Visual



Nota: Elaboración propia

2.2. Estructuración y Pre-dimensionamiento

Debemos tomar en cuenta que al realizar la Ingeniería Estructural realizamos una predicción de las estructuras ante un comportamiento sísmico. Para que nuestras estructuras tengan un adecuado comportamiento frente a esas solicitudes se ha tomado como referencia los criterios de estructuración que de acuerdo con Blasco (1995) que son: simplicidad y simetría, resistencia y ductilidad, hiperestaticidad y monolitismo, uniformidad y continuidad, diafragma rígido y rigidez lateral.

Es importante tomar en cuenta que, para cumplir el objetivo de un adecuado comportamiento sísmico de la estructura, el diseño debe estar acompañado de buenos procesos constructivos y supervisión de estos.

2.2.1. Pre-dimensionamiento

Establecemos los criterios bajo los cuales se realiza el pre-dimensionamiento en la presente investigación.

El pre-dimensionamiento se basa en la experiencia y práctica y como su nombre lo indica es una dimensión preliminar de nuestros elementos estructurales, que serán corroborados más adelante en la simulación en el software, a fin de poder obtener las dimensiones de diseño finales (Blasco, 1995).

2.2.2. Losa aligerada

El espesor de nuestra losa aligerada unidireccional estará en función a la luz de esta, el mismo que incluye el espesor total de la losa, que está compuesto por el espesor del ladrillo y 5 cm de la losa superior (Blasco, 1995).

Tabla 3

Espesor de la losa aligerada en función de la longitud del vano

Luz de losa aligerada	Espesor (h)	Espesor de ladrillo
L < 4 m	17 cm	12 cm
4 < L < 5.5 m	20 cm	15 cm
5 < L < 6.5 m	25 cm	20 cm
6 < L < 7.5 m	30 cm	25 cm

El pre-dimensionamiento indicado es aplicable para condiciones de sobrecargas máximas de 300 a 350 kg/m², las cuales son condiciones normales en una vivienda unifamiliar de interés social como el caso de estudio en la presente investigación.

2.2.3. Vigas

El pre-dimensionamiento del peralte de las vigas se considerará en un orden de: 1/10 a 1/12 de la luz libre. (Blasco, 1995)

Referente al ancho se tendrá en cuenta que podrá:

“Variar entre 0.3 a 0.5 de la altura. La norma Peruana de Concreto Armado indica que las vigas deben tener un ancho mínimo de 25 cm, para el caso que estas formen parte de pórticos o elementos sismorresistentes de estructuras de concreto armado. Esta limitación no impide tener vigas de menor espesor (15 o 20 cm) si se trata de vigas que no forman pórticos.” (Blasco, 2018, p.39).

De acuerdo con la norma E.060 en el punto 21.5.1.3, para pórticos deberán tener una dimensión mínima para considerarse sísmica de 25 cm o 0.25 veces el peralte.

2.2.4. Columnas

De acuerdo con el Ingeniero Antonio Blanco, el pre-dimensionamiento de columnas en edificaciones aporticadas en concreto armado que no sobrepasen los 3 a 4 niveles, se requerirá dimensiones con un área fluctuante entre 1000 a 2000 cm², siempre y cuando no sobrepasen luces mayores a 7 m, es así que *“se dispondrán columnas con dimensiones de 35x35, 40x40, 25x50, 30x60, 30x40, 30x50 o circulares de 40 o 50 cm de diámetro”*.

De acuerdo con la E.060 en el punto 21.6.1.2, para pórticos deberán tener una dimensión mínima para considerarse sísmica de 25 cm.

2.2.5. Recubrimiento

Nos establecemos de acuerdo con la E.060 donde en el punto 7.7.1. indica los recubrimientos para los elementos estructurales no presforzados, como es el caso de interés en la presente investigación. De donde extraemos la siguiente tabla:

Tabla 4

Recubrimiento en concreto E.060

CONCRETO CONSTRUIDO EN SITIO		RECUBRIMIENTO
Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él.		7 cm
Concreto en contacto permanente con el suelo y la intemperie:	Barra de 3/4" y mayores.	5 cm
	Barra de 5/8" y menores, barras electrosoldadas.	4 cm
Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:	Losas, muros, viguetas: Barras de 1 11/16" y 2 1/4"	4 cm
	Losas, muros, viguetas: Barras de 1 3/8" y menores	2 cm
	Vigas y columnas: Armadura principal, estribos y espirales.	4 cm
	Cáscaras y losas plegadas: Barras de 3/4" y mayores	2 cm
	Cáscaras y losas plegadas: Barras de 5/8" y menores	1.5 cm
	Cáscaras y losas plegadas: Mallas electrosoldadas	1.5 cm

2.2.6. Longitud de desarrollo

De acuerdo con la E 0.60 en el punto 12.5.2, para barras corrugadas en tracción que terminen en un gancho estándar a 90°, la longitud deberá ser:

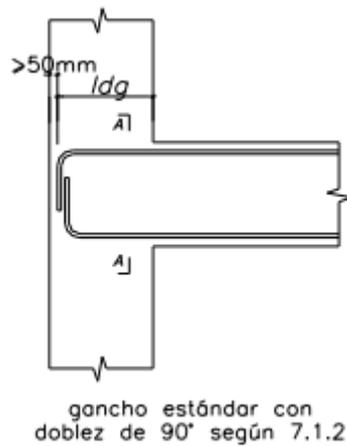
$$l_{dg} = \frac{0.075 \cdot \psi_e \cdot \lambda \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} * db \quad (1)$$

Donde el valor de ψ_e y λ deben de tomarse como 1.0.

Asimismo, en la normativa en el punto 12.5.3 indica que se podrá afectar por un valor de 0.7 a l_{dg} en casos donde los ganchos de 90° que tengan un recubrimiento en la extensión de la barra mayor a 50 mm, como se observa en el siguiente gráfico.

Tabla 5

Gancho estándar con doblez



Es así como tenemos las siguientes longitudes de desarrollo necesarias para cada tipo de acero corrugado.

Tabla 6

Longitudes de desarrollo

Diámetro de barra	dv(cm)	fy (kg/cm²)	f'c(kg/cm²)	ldg	0.7*ldg+50mm
3/8"	0.95	4200	210	20.65	19.46
1/2"	1.27	4200	210	27.61	24.32
5/8"	1.59	4200	210	34.56	29.19
3/4"	1.91	4200	210	41.52	34.06
1"	2.54	4200	210	55.21	43.65
1 3/8"	3.49	4200	210	75.86	58.10

2.3. Modelado

2.3.1. ETABS

En el año 1970 en EE.UU. el Dr. Edward L. Wilson, presenta el primer programa completo de análisis estructural, denominado SAP, el mismo que requería capacidad computacional de gran tamaño, restringiendo por su usabilidad a organizaciones gubernamentales y empresas de gran tamaño.

En la actualidad, los paquetes computacionales de CSI han desarrollado tecnologías que nos permiten realizar el análisis y diseño de estructuras en general, siendo los principales SAP2000 para estructuras en general, ETABS para edificaciones, SAFE para losas y cimentaciones y CSiBridge para puentes.

Es así como ETABS es un software de CSI que nos permite realizar análisis y diseño estructural de edificaciones, permitiendo realizar la representación de elementos estructurales en modelos tridimensionales, mediante dibujo de objetos con propiedades como dimensión, material, sección transversal, etc.

Las posibilidades de procesamiento que nos brinda pueden ser desde análisis estático elástico, análisis dinámico lineal (modal, tiempo - historia y espectral), análisis de acciones incrementales (Pushover), análisis de respuesta térmica, análisis transitorio lineal y no lineal y análisis de líneas de influencia.

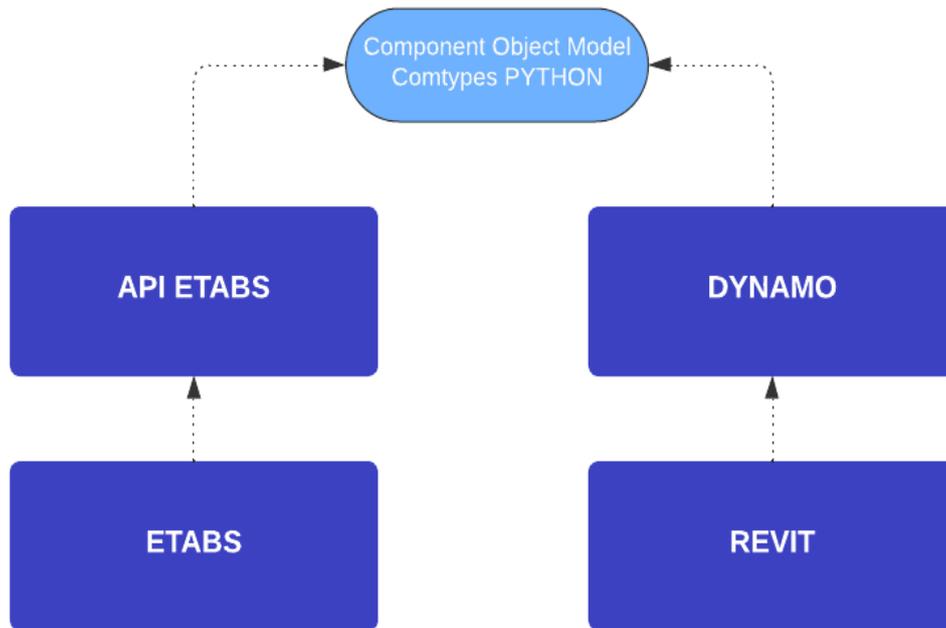
Es importante indicar que, a nivel de Perú, ETABS es uno de los softwares más aplicados por el Ingeniero Estructural en edificaciones, brindando la normativa peruana dentro de sus características de diseño, siendo ello una de las razones primordiales en la elección del software para la presente investigación, por la aplicabilidad de la investigación.

Es de particular interés adentrarnos en la automatización de procesos en ETABS en su versión 18 o 19, para ello nos adentraremos dentro de su API (Interfaz de

Programación de Aplicaciones) que al igual que ETABS y DYNAMO se encuentra diseñado en el lenguaje de programación de C#, pero que mediante la Librería COMTYPES pueden ser trabajadas mediante el lenguaje de programación de PYTHON.

Figura 3

Flujo de comunicación de software



Nota: elaboración propia

Es importante aclarar que la comunicación entre los programas es en base al API de ETABS, teniendo en este caso como requisito que el software receptor y emisor tengan desarrollado la tecnología de Component Object Model (COM) de Microsoft a fin de establecer una comunicación adecuada entre los softwares, pudiendo utilizarse VISUAL ESTUDIO, PYTHON, O C#

2.3.2. REVIT

La versión REVIT 0.1 fue lanzada en noviembre de 1999, desarrollada por la empresa Charles River Software y adquirida posteriormente por AUTODESK en el año 2002.

Revit es un software de la familia de AUTODESK que nos permite representar todos los elementos estructurales, arquitectónicos, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas e instalaciones mecánicas de los diversos tipos de edificaciones en un modelo 3D, donde a diferencia de un software CAD los elementos de todas esas disciplinas están interconectados.

Se considera REVIT un software que trabaja bajo la tecnología BIM, brindando conectividad a softwares de simulación de procesos constructivos, detección de interferencias, manejo de costo y presupuestos, detallado en elementos estructurales, arquitectónicos, entre otros; haciendo que el proceso de modelado *“nos brinde información real, coordinada y confiable, con la que se podrá visualizar diseños, predecir las prestaciones con precisión y tomar decisiones en fases más tempranas del proceso”*.

Dentro de la presente investigación nos centraremos en REVIT 2022, brindándonos la capacidad de comunicarse con ETABS 2018 mediante DYNAMO, a fin de obtener automatización de procesos de modelado.

2.3.3. MATHCAD

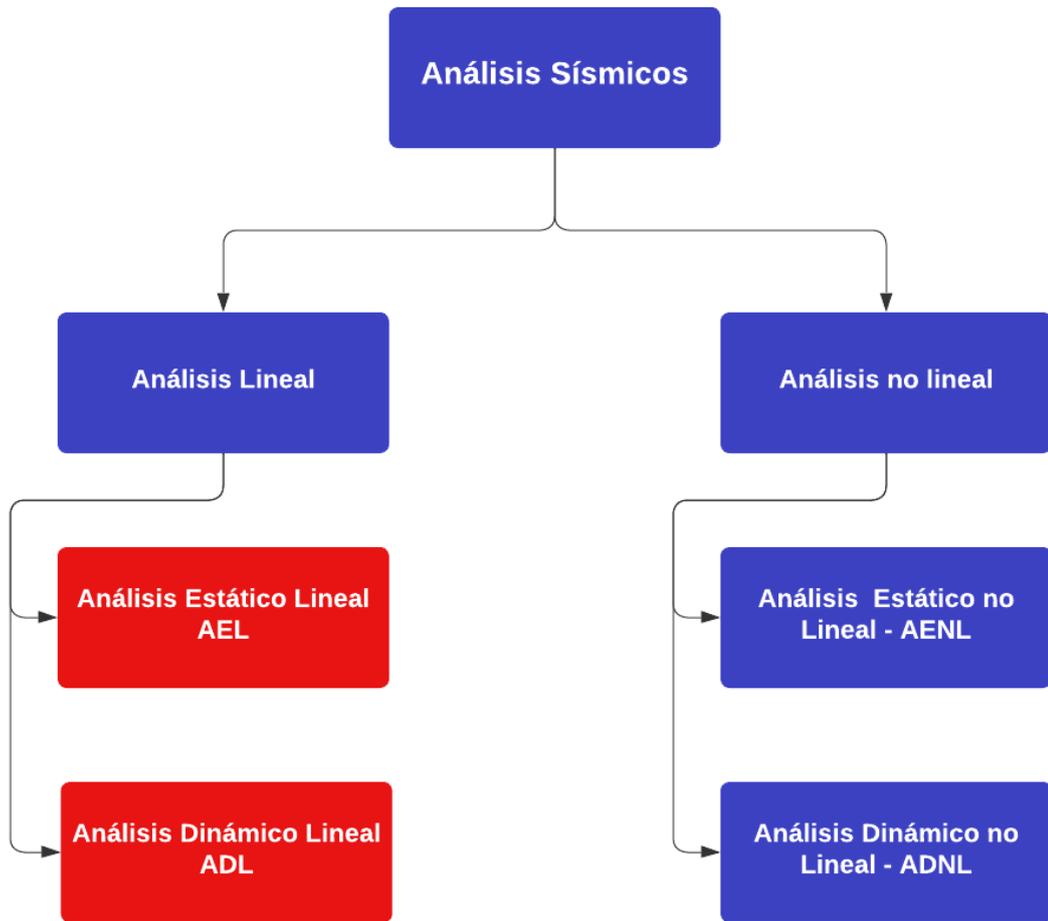
Mathcad prime es un software que nos permite automatizar reportes y generación de informes, a fin de utilizar el reúso de cálculos de ingeniería. Es un cuaderno digital de ingeniería que puede ser programado para resolver cálculos de manera que los datos obtenidos sean fiables y documentados de manera gráfica y visual.

Dentro de la presente investigación nos centramos en MATHCAD PRIME 8.0.0

2.4. Análisis sísmico

De acuerdo con el ASCE/SEI 41-13, podemos realizar diversos procedimientos de análisis sísmico de edificios, pudiendo ser lineales o no lineales los mismo que puede ser estáticos o dinámicos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4
Análisis sísmicos



Nota: Elaboración propia

Para la presente investigación nos centraremos en el Análisis Sísmico Lineal Estático y Dinámico.

Dentro de nuestro país para realizar el análisis sísmico, nos enfocamos en cumplir *“las recomendaciones mínimas para el Diseño Sismorresistente que se establece en la norma E 0.30 de las edificaciones.”* Para ello desarrollaremos el análisis de acuerdo con la E0.30.

De acuerdo con el artículo 3 de la E 0.30 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente, esta filosofía consiste en:

- a) Evitar pérdidas de vidas humanas
- b) Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- c) Minimizar los daños a la propiedad.

Referente al tema de principios, se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras, en tal se establece los siguientes principios:

- La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- Para edificaciones esenciales, se debería tener consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

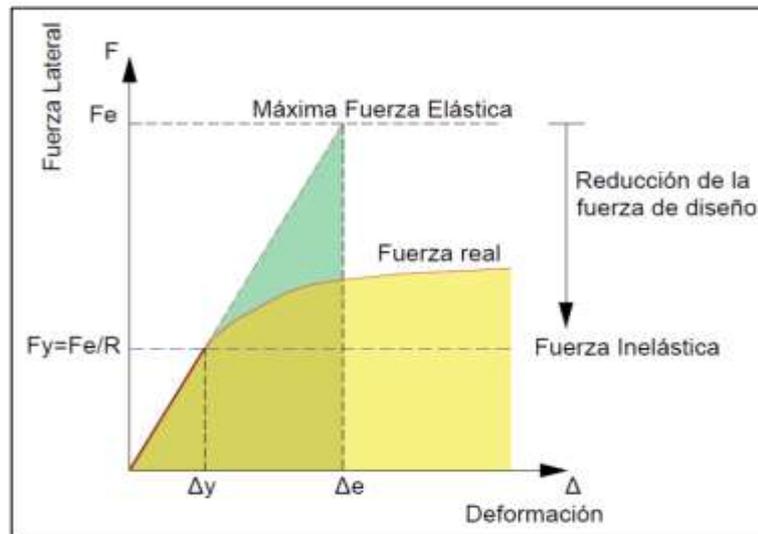
2.4.1. Análisis Sísmico Estático Elástico Lineal

El procedimiento de análisis sísmico lineal nos permite predecir la capacidad elástica de la estructura a fin de establecer dónde ocurrirá primero la fluencia donde las propiedades estructurales, como la rigidez y el amortiguamiento son constantes y no varían con el tiempo. Los desplazamientos, esfuerzos, reacciones son directamente proporcionales a la magnitud de las fuerzas aplicadas.

Sin embargo, este procedimiento no nos permite establecer los mecanismos de falla y no se toma en consideración la redistribución de fuerzas que se produce cuando la fluencia avanza en la estructura. Para incurrir la estructura en el rango no lineal, la norma E0.30 incluye un factor de reducción R a fin de reducir la fuerza sísmica que depende del tipo de sistema estructural a emplear.

Figura 5

Factor de reducción de fuerzas sísmicas



Al análisis que realizamos consiste en la asignación del sismo como fuerza lateral a cada piso en su centro de masa. De acuerdo con la norma E.030 podemos utilizar este procedimiento en las estructuras tanto regulares como irregulares ubicadas en una zona sísmica 1. En las otras zonas sísmicas se podrá emplear para estructuras clasificadas como regulares, de no más de 30m de altura y para estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura.

Se toma en cuenta que, se deberá obtener la fuerza cortante basal del análisis estático a fin de ser comparada con el dinámico, siendo el caso que no puede ser menor que el 80% en estructuras regulares, ni menor al 90% en estructuras irregulares. En caso se tengan valores fuera de esos márgenes se debería escalar proporcionalmente a fin de cumplirlos.

2.4.2. Parámetros sísmicos

Dentro del CAPÍTULO II y III de la E0.30 se hace referencia a los parámetros sísmicos que debemos considerar para el presente proyecto de investigación.

a) Zonificación

Nuestro país está sectorizado en 4 zonas, los cuales están propuestos de acuerdo con la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral. En el anexo II de la E 030 se brinda el listado de provincias y distritos correspondientes a cada zona.

Cada zona tiene un factor denominado Z, interpretándose como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (981 cm/s²) a fin de obtener la aceleración máxima en el suelo de la zona de estudio.

Tabla 7

Factor Z

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

b) Condiciones geotécnicas

De acuerdo con la E0.30, se clasifica para los suelos tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo y la velocidad de propagación de las ondas de corte o en el caso de suelos granulares el promedio N60 obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT) o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada para suelos cohesivos. Esto se deberá determinar para los 30 m superiores del perfil de suelo medido desde el nivel del fondo de cimentación. Estos parámetros también pueden obtenerse con un estudio de refracción sísmica.

Tabla 8*Factor de suelo "S"*

FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA/SUELO	So	1	S2	S3
Z4	0.8		1.05	1.10
Z3	0.8		1.15	1.20
Z2	0.8		1.2	1.4
Z1	0.8		1.6	2

Tabla 9*Periodos "Tp" y "Tl"*

PERIODOS "Tp" y "Tl"				
	Perfil de suelo			
	So	S1	S2	S3
Tp(s)	0.3	0.4	0.6	1
Tl(s)	3.0	2.5	2	1.6

Es importante mencionar el punto 12.3.1. de la norma E0.30 donde se menciona que en el caso de no ser obligatorio el Estudio de Mecánica de Suelo - EMS hasta 30 m de profundidad se permitirá que el profesional responsable estime valores en función de la base de la condición geotécnica conocida.

c) Factor de amplificación sísmica

En función de las características de sitio (T_p , T_L) y del periodo de la estructura (T) que se establece del análisis modal, podemos establecer el factor de amplificación sísmica C , que se interpreta como el factor de amplificación sísmica de la aceleración en la estructura, desde la aceleración de la base. El cual se establece mediante las siguientes expresiones:

Tabla 10*Factor de amplificación sísmica*

$T < T_p$	$C = 2.5$
$T_p < T < T_I$	$C = 2.5 * T_p / T$
$T > T_I$	$C = 2.5 * (T_p * T_L / T^2)$

d) Categoría de la edificación y factor de uso (U)

Cada estructura en general puede ser clasificada de acuerdo con la N°5 de la norma E 0.30, donde se establece el factor de uso (U) de acuerdo a la categoría de la edificación, clasificándose como edificaciones esenciales, importantes, comunes o temporales.

Tabla 11*Categoría de las edificaciones y factor U*

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR U		
CATEGORÍA	FACTOR U	
Edificaciones Esenciales	A1: Ver nota 1*E0.30	A2: 1.5
Edificaciones Importantes	1.3	
Edificaciones Comunes	1.0	
Edificaciones Temporales	Ver nota 2* E0.30	

e) Sistema estructural y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (Ro)

De acuerdo con la E0.30 se establecen estructuras de concreto armado, acero, albañilería, madera y de tierra, siendo de nuestro interés para la presente investigación las estructuras de concreto armado, que cumplen lo establecido en la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado del RNE.

Tabla 12

Sistemas estructurales y sus coeficientes básicos de reducción (R_o)

SISTEMA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_o
Pórticos	80% de la fuerza cortante es absorbida por las columnas de los pórticos.	8
Muros Estructurales	70% de la fuerza cortante en la base es absorbida por los muros estructurales.	7
Dual	El sistema es una combinación de pórticos y muros estructurales, donde la fuerza cortante que absorben los muros es mayor que 20% y menor que 70%.	6
Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL)	La resistencia sísmica y cargas de gravedad es dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, pudiendo construirse un máximo de 8 pisos.	4

f) Configuración estructural

A fin de establecer la configuración estructural, se la clasifica como regular o irregular a fin de obtener un análisis considerando el valor para el factor de reducción (R) que sea adecuado.

Para tal fin se establece las irregularidades consideradas en la Tabla N°8 de la Norma E 0.30.

2.4.3. Irregularidades estructurales en Altura

De los datos obtenidos en ETABS podemos realizar el análisis de Irregularidades Estructurales en Altura.

- Irregularidad de rigidez – Piso Blando

De acuerdo con la E.030, se establece que se tiene irregularidad de piso blando, si en un entrepiso la rigidez lateral es menor al 70% del nivel inmediato superior, o menor al 80% del promedio de las rigideces laterales de los 3 niveles superiores.

- Irregularidad extrema de rigidez

De acuerdo con la E.030 se establece que se tiene irregularidad extrema de rigidez, si en un entrepiso la rigidez lateral es menor al 60% del inmediato superior, o menor al 70% del promedio de rigideces laterales de los 3 niveles superiores.

- Irregularidad de masa o peso

De acuerdo con la norma se establece que se tiene Irregularidad de Masa o Peso, si el peso en un piso es mayor al 50% de un piso adyacente, a excepción de sótanos y azoteas.

- Irregularidad geométrica vertical

De acuerdo con la E 030, se establece que se tiene Irregularidad geométrica vertical, si las dimensiones en planta es un 30% mayor a la correspondiente de un piso adyacente, a excepción de sótanos y azoteas.

2.4.4. Irregularidades estructurales en Planta

- Irregularidad torsional

De acuerdo con la E 030, se establece que existe Irregularidad Torsional, cuando en cualquiera de las direcciones de análisis el coeficiente de torsión es mayor de 1.3

- Irregularidad torsional extrema

De acuerdo con la E.0330, se establece que existe Irregularidad Torsional Extrema, cuando en cualquiera de las direcciones de análisis el coeficiente de torsión es mayor de 1.5.

- Esquina entrante

De acuerdo con la norma E.030, se establece que existe Irregularidad por Esquina Entrante, cuando las dimensiones en ambas direcciones son mayores en un 20% de la correspondiente dimensión total en planta.

- Discontinuidad de diafragma

De acuerdo con la norma E 030, se establece que existe Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma, cuando se tienen aberturas mayores al 50% del área bruta de la planta, o cuando una sección transversal sea menor al 25% de la sección total de la planta.

- Sistemas no paralelos

De acuerdo con la norma E 030, se establece que se tiene Irregularidad por Sistemas no Paralelos cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos.

2.4.5. *Análisis sísmico dinámico modal espectral*

La estructura es modelada como un sistema de uno o varios grados de libertad, con una matriz de rigidez elástica lineal y una matriz de amortiguamiento viscoso equivalente. Para saber la demanda a la cual someteremos la estructura en este método, se puede usar el espectro de diseño sísmico que imponga la norma para el caso del método de análisis modal espectral. El análisis por combinación modal espectral supone que la respuesta dinámica de un edificio puede ser estimada a partir de la respuesta independiente de cada modo natural de vibración usando el espectro de respuesta elástico lineal. Solamente se consideran los modos que contribuyen de forma significativa a la respuesta de la estructura. La Norma E.030 indica que se considere aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total de la estructura. Cabe destacar que tampoco tiene en cuenta los efectos reales del comportamiento no lineal.

a) Análisis Dinámico Modal Espectral

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas. En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

b) Aceleración espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g \quad (2)$$

Donde Z es el factor de zona sísmica, U es el factor de importancia, C es el factor de respuesta, S es el factor del tipo de suelo, R es el factor de reducción sísmica y G es la aceleración de la gravedad.

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

c) Criterios de combinación

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso. La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (ri) podrá

determinarse usando la combinación cuadrática completa (CQC) de los valores calculados para cada modo

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i * \rho_{ij} * r_j} \quad (3)$$

Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas.

Los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i} \quad (5)$$

Donde β es la fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0.05, ω_i , ω_j son las frecuencias angulares de los modos i, j. Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la siguiente expresión:

$$r = 0.25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (6)$$

d) Fuerza cortante mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el numeral 4.5 (E.030) para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

e) Excentricidad accidental

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

2.5. Diseño en concreto armado

Realizaremos el diseño de en concreto armado de acuerdo con lo especificado en E0.60, siendo el diseño por resistencia, donde buscamos:

$$\text{Resistencia de diseño} > \text{Resistencia Requerida}$$

Donde la resistencia de diseño es la resistencia nominal del elemento multiplicado por el factor de reducción Φ , donde el valor de Φ varía de acuerdo con el tipo de sollicitación que es sometido el elemento.

Tabla 13

Factores Φ para diferentes sollicitaciones en diseño estructural

Solicitación	Factor Φ
Flexión y/o carga axial en tracción	0.9
Flexocompresión	0.7
Cortante	0.85

2.5.1. Resistencia Requerida

La resistencia requerida es dada por las cargas a las que es sometida cada elemento, mediante combinaciones de diseño de las cargas vivas (CV), cargas muertas (CM), cargas de sismo (CS) y de ser necesario cargas de viento, empuje lateral de suelos o cargas de presión de líquidos.

Para la presente investigación se tomará las siguientes combinaciones:

Tabla 14

Combinaciones de cargas en el diseño estructural

Combinación
1.4 CM +1.7 CV
1.25(CM+CV) +CS
1.25(CM+CV)-CS
0.9CM+CS
0.9CM-CS

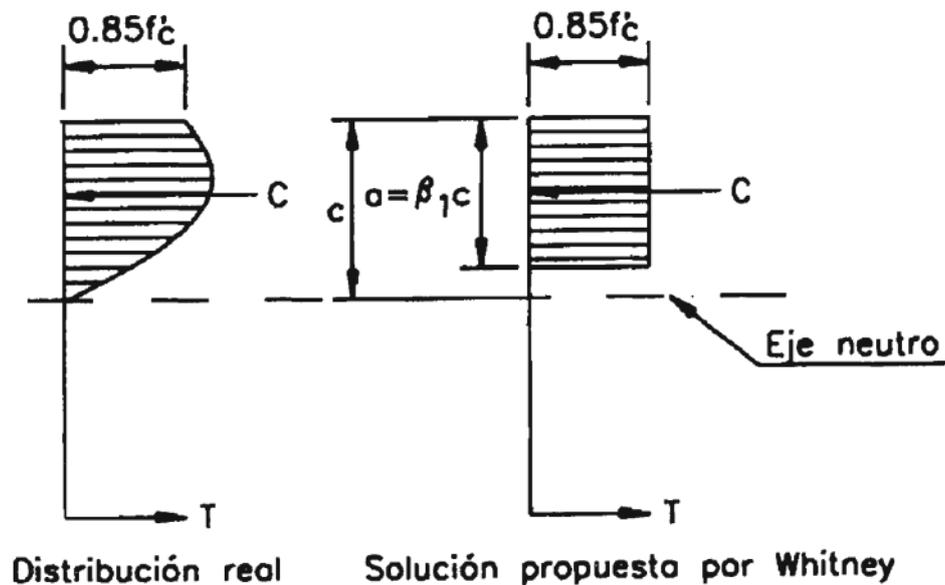
2.5.2. Diseño por Flexión

Para poder entender y realizar el análisis por flexión se requiere establecer las siguientes hipótesis básicas, establecidas en el capítulo 10 de la norma E.0.60:

- Las deformaciones del concreto y refuerzo son directamente proporcionales a su distancia del eje neutro de la sección, a excepción de vigas de gran peralte.
- La máxima deformación unitaria del concreto es de 0.003
- El esfuerzo en el refuerzo será igual al producto del módulo de elasticidad y la deformación unitaria.
- No se tomará la resistencia a la tracción del concreto
- La distribución de esfuerzos de compresión del concreto deberá ser distribuida de una manera que permita la predicción de la resistencia.
- A fin de satisfacer la hipótesis anterior tomaremos la propuesta de Whitney, que se toma como una distribución rectangular como se muestra en la siguiente imagen establecida por un coeficiente B_1 , donde B_1 toma un valor de 0.85 cuando la resistencia del concreto es menor a 280 kg/cm², en ningún caso B_1 será menor a 0.65, el valor de B_1 para mayores resistencias disminuirá en 0.05 por cada incremento de 70 kg/cm².

Figura 6

Distribución real propuesta por Whitney



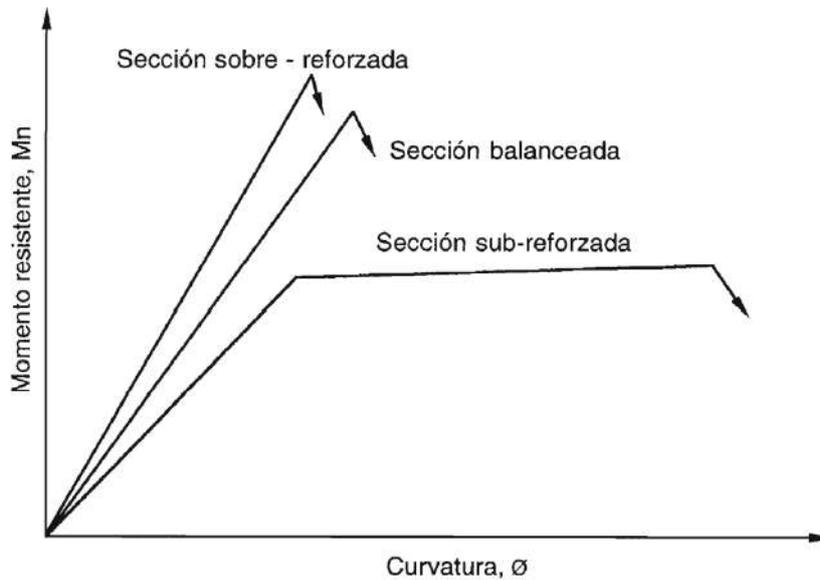
Para entender de manera adecuada el comportamiento a flexión es importante conocer los tipos de falla relacionados a la flexión, los mismos que casi siempre fallan por compresión del concreto, clasificándolos antes o después que el acero fluya.

- Falla por tensión o sub - reforzada: El acero fluye antes del colapso, presentando una falla dúctil, donde el acero llega a deflexiones y rajaduras.
- Falla por compresión o sobre- reforzada: El acero no fluye y el concreto llega al colapso de manera repentina, se evita este tipo de falla.
- Falla balanceada: Se denomina balanceada por que el concreto alcanza la deformación unitaria última de 0.003 al mismo tiempo que la fluencia del acero, es una falla no deseada. Toda sección tiene una cuantía única donde se produce una falla balanceada. Entendiéndose que si se tiene un refuerzo mayor a la balanceada se producirá una falla por compresión o sobre - reforzada y caso contrario se producirá una falla por tensión o sub-reforzada.

La norma E 0.60 establece que las secciones se diseñan, para una falla por tensión o sub reforzada, limitando la cuantía balanceada a 0.75 de su valor por temas de seguridad.

Figura 7

Diagrama momento-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión



En tal sentido buscamos que los elementos sometidos a flexión fallen por tensión o sub-reforzada, criterio que es el tipo de colapso más deseado por la ductilidad que se desarrolla.

Tomando en cuenta lo descrito y la hipótesis de Whitney, procedemos a obtener el momento resistente nominal de la sección establecida.

$$M_n = A_s f_y (d - a/2) \quad (7)$$

Donde A_s es el área de acero de refuerzo, " f_y " es la resistencia del acero, " d " es la distancia desde la fibra superior a la línea de acción del acero y " a " que es profundidad de la zona de compresión está definido por:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b} \quad (8)$$

Donde b es el ancho de la sección.

Una vez obtenido el momento nominal, deberemos comprobarlo por lo establecido en el diseño por resistencia, donde Mn afectado por el factor de resistencia(Φ) deberá ser mayor al momento de requerido Mu.

A fin de establecer una falla dúctil en el elemento, la cuantía de acero debe estar establecido entre el acero mínimo y el acero máximo establecido en la E 0.60.

- Acero mínimo: Establecemos el concepto de momento crítico, el cual ocasiona agrietamiento en el elemento, donde de acuerdo a Harmsen *“en la mayoría de los casos, el momento crítico es menor que su momento resistente”*; en caso contrario cuando el momento crítico es superior al momento resistente, se produce una falla que es súbita y frágil, no siendo dúctil como el comportamiento que deseamos. Para evitar este tipo de comportamiento se establece una cuantía mínima de acero que viene dada por:

$$A_{smin} = 0.8 \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \quad (9)$$

El mismo que no deberá ser menor a:

$$A_{smin} \geq \frac{14.1}{f_y} b_w d \quad (10)$$

- Acero máximo: Se establece la como el acero de cuantía máxima el acero, como el máximo valor para que la sección del elemento no sufra una falla balanceada, es decir cuando el concreto y el acero fallan al mismo tiempo.

La fórmula para obtener la cuantía balanceada es dada por:

$$A_b = \frac{0.85 \beta_1 f_c}{f} * \frac{\epsilon_{cu}}{(\epsilon_{cu} + 0.0021)} \quad (11)$$

$$A_b = 0.75 * A_b \quad (12)$$

2.5.3. Diseño por corte:

De acuerdo con Harmsen el estudio de la fuerza cortante en los elementos de concreto armado en la mayoría de los códigos en el mundo se basan en parámetros semi-empíricos.

El proceso de diseño consiste en dimensionar el elemento estructural para resistir solicitaciones en flexión, para posteriormente verificar la resistencia al corte, cuando el análisis nos brinda que no se puede resistir el corte se colocará acero transversal.

Al igual que en el caso de flexión se deberá cumplir en el diseño que:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (13)$$

$$V_u \leq \phi(V_c + V_s) \quad (14)$$

De acuerdo con la E 0.60 se establece que el valor de V_c :

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c b_w d} \quad (15)$$

Y donde V_s se establece como:

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s} \quad (16)$$

Debemos tomar en cuenta que, de acuerdo con el ACI, el espaciamiento máximo del acero a corte será de:

$$s \leq 60 \text{ cm} \quad (17)$$

$$s \leq d/2 \quad (18)$$

2.5.4. Diseño por flexocompresión

Dentro del diseño por flexocompresión incluimos el diseño tanto de flexión como de carga axial a la vez. Así mismo las hipótesis dadas son válidas para el análisis bajo flexo-compresión.

Debemos de tomar en cuenta que los elementos sometidos a flexo-compresión tienen infinitas combinaciones de carga axial y flexión que lo llevan al colapso,

dependiendo de la excentricidad que se aplica a la carga axial. Así mismo como en el caso del análisis por flexión, los elementos suelen presentar 3 tipos de fallas: por compresión, por tensión o falla balanceada.

Tabla 15

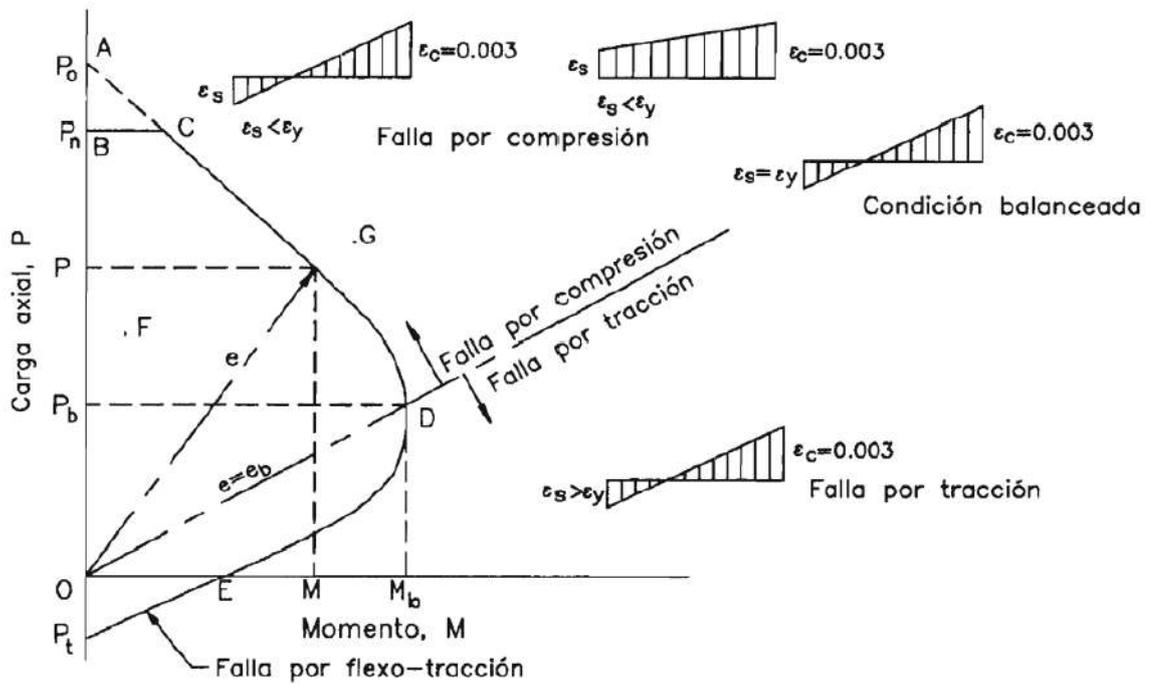
Tipos de diseño por flexocompresión

TIPO	Flexión	Compresión
Compresión	$M_n = 0.85f'_c ba \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$	$P_n = \frac{A'_s f_y}{\left[\frac{e}{(d-d')} \right] + 0.5} + \frac{bhf'_c}{\left(\frac{3he}{d^2} \right) + 1.18}$
Balanceada	$M_{nb} = 0.85f'_c ba_b \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(d - \frac{h}{2} \right)$	$P_{nb} = 0.85f'_c ba_b + A'_s f'_s - A_s f_y$
Tensión	$M_n = 0.85f'_c ba \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(d - \frac{h}{2} \right)$	$P_n = 0.85f'_c bd \left[\left(-\rho + 1 - \frac{e'}{d} \right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d} \right)^2 + 2\rho m' \left(1 - \frac{d'}{d} \right) + 2\rho \frac{e'}{d}} \right]$

Para realizar el diseño por flexo-compresión realizamos una representación gráfica de las combinaciones de carga axial - momento flector que van generando la falla de la sección, denominándose “diagrama de interacción”. En la siguiente imagen presentamos un diagrama típico de una sección rectangular con refuerzo simétrico.

Figura 8

Diseño por flexo-compresión



El punto A corresponde a la carga axial de rotura teórica cuando la sección no está sometida a flexión. La recta BC responde a esta limitación. El punto D de la curva representa la combinación de carga y momento que define la condición balanceada. Las combinaciones carga axial-momento contenidas en el tramo CD generan fallas por compresión, mientras que en el tramo DE, las fallas son por tensión. El punto E del diagrama de interacción representa un estado de flexión pura en el elemento. El comportamiento en este caso es similar al de una viga.

El diagrama de interacción muestra todas las combinaciones por falla que puede existir en un elemento sometido a flexo-compresión, por tal se presenta una descripción completa de la capacidad resistente de una sección.

2.5.5. Diseño de vigas

Para realizar el diseño de vigas se diseñan por corte y flexión, explicado en los puntos anteriores, al mismo tiempo se debe tomar en cuenta los siguientes criterios de diseño de acuerdo con la norma E 0.60.

- Refuerzo longitudinal: De acuerdo con el punto 21.5.2.2. de la E. 060 se deberá realizar una comprobación de tener una resistencia a momento positivo que será por lo menos la mitad de la resistencia a momento negativo en la misma cara.
- Refuerzo transversal en zona de confinamiento: De acuerdo con el punto 21.5.3.2 de la E. 060 se debe tener que el espaciamiento de los estribos deberá ser: (1) $d/4$ (2) Ocho veces el diámetro de las barras longitudinales (3) 24 veces el diámetro de la barra del estribo (4) 300 mm
- Refuerzo transversal en zona de no confinamiento: De acuerdo con el punto 21.5.3.4. se colocarán estribos espaciados como máximo $d/2$.

2.5.6. Diseño de columnas

El diseño de las columnas se realiza a flexocompresión y a corte donde se deberán tener al mismo tiempo en consideración los siguientes criterios.

- Acero mínimo: De acuerdo con el punto 212.6.3.1 de la norma E 060 la cuantía longitudinal sea entre 1% y 6% del área de la sección bruta de la columna.
- Acero máximo: El acero máximo viene dado por temas constructivos, en tanto que si se utilizan demasiado refuerzo hace lento el proceso de vaciado del concreto, en esos casos es conveniente reconsiderar las dimensiones de la columna. el ACI sugiere como máximo un área de acero equivalente a 0.08 veces el área de la columna, pero de acuerdo a

Harsem rara vez se supera el 0.06 por las dificultades que presenta durante su armado.

2.5.7. Control de deflexiones

Mediante la norma E0.60 de Concreto Armado se establece los espesores mínimos para no verificar las deflexiones, establecidos en la tabla 9.1 en el artículo 9.6.2.1 de la norma E0.60. Indicándose que los valores se deben usar directamente para elementos con concreto de 2300 kg/m³ y refuerzo de acero $f_y =$ de 4200 kg/cm².

Tabla 16

Peraltes o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones

Elementos	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptible de dañarse debido a deflexiones grandes			
Losas macizas en una dirección	l/20	l/24	l/28	l/10
Vigas o losas nervadas en una dirección	l/16	l/18.5	l/21	l/8

Capítulo 3. Programación algorítmica visual y PYTHON

3.1. Introducción

En el capítulo presente, se describe la programación algorítmica visual, que nos permiten automatizar y parametrizar procesos en función a los nodos en Dynamo.

Estos mismos algoritmos nos permiten mantener comunicados los programas de ETABS, REVIT y MATHCAD mediante DYNAMO e incorporando línea de código de PYTHON, lo que nos permite obtener los informes y planos respectivos.

Se describe también los conceptos básicos de PYTHON y librerías requeridas, a fin de obtener una adecuada interoperabilidad.

Para explicar de mejor manera la programación algorítmica visual, describiremos inicialmente la tecnología BIM.

3.2. Building Information Modeling

De acuerdo con BuildingSMART, define a BIM como:” Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.” (buildingSMART, 2023).

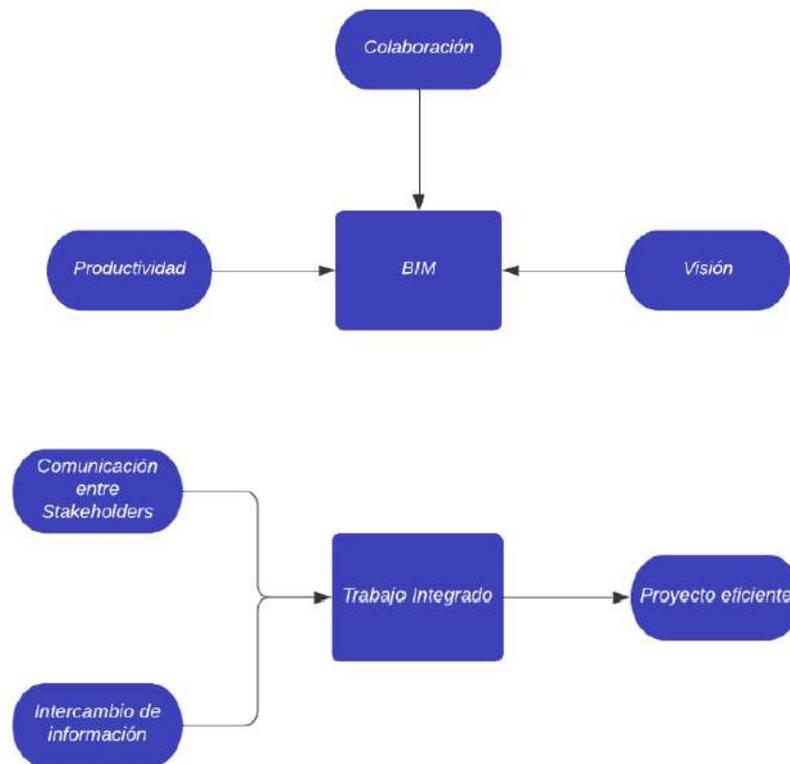
De acuerdo con el Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, lo define como: “una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de la información de una inversión pública, que hace uso de un modelo de información creado por las partes involucradas, para facilitar la programación multianual, formulación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura pública, asegurando una base confiable para la toma de decisiones.” (MEF, 2023).

De esta manera definimos a BIM como una metodología de trabajo colaborativo que nos permite una adecuada gestión de información, gracias al uso de tecnología. Esto

nos permite mejorar la productividad de los proyectos, integrando todas las disciplinas involucradas.

Figura 9

Metodología BIM



Nota: elaboración propia

3.3. Algoritmo

Definimos un algoritmo como una secuencia de pasos para obtener un resultado que sigue una lógica, está posee instrucciones o pasos definidos que están previamente establecidos como reglas.

3.4. Programación

Entendemos la programación como un término simplificado de la programación informática, donde esta se define como el procesamiento de una serie de pasos en un

programa ejecutable en un formato que un equipo informático puede leer y ejecutar. Para ello se establece la manera de comunicarnos con los equipos informáticos mediante lenguajes de programación que pueden ser JavaScript, Python o C#.

3.5. Programación algorítmica visual

Entendemos a la programación algorítmica visual como una programación que se realiza de manera visual mediante la conexión de nodos. Esto nos permite automatizar procesos del diseño que se realizan en software. Por lo general el diseño nos conlleva a utilizar parámetros siguiendo una lógica de cada parte del diseño y realizando un flujo de trabajo que puede seguir una lógica de entrada, procesamiento y salida.

Dos de los programas que utilizan esta tecnología son DYNAMO y GRASSHOPPER.

3.6. Dynamo

Dynamo es un software gratuito de código abierto que nos permite al usuario acceder a la API de numerosos paquetes de software, incluyendo Revit, ETABS, MATHCAD, entre otros, a través de la programación algorítmica visual.

La programación algorítmica visual usa el concepto de programación textual, pero simplifica la abstracción reemplazando fragmentos de código textuales con componentes gráficos. La programación visual tiene una sintaxis bien estructurada como cualquier otro tipo de lenguaje con la ventaja de ser más accesible y menos abstracta para aquellos que no tienen conocimientos técnicos de programación con código. La unión de código para la formación de nodos gráficos es la base fundamental de la programación gráfica. (Schiffer, 1998).

Por otro lado, Spin define Dynamo como un programa de scripts visuales que permite crear algoritmos personalizados a fin de procesar datos y generar geometrías. Las posibilidades que ofrece este software unido con Revit son infinitas, además en innumerables ocasiones facilita y resuelve conflictos que de otra manera serían tediosos

o incluso inalcanzables, como por ejemplo crear geometrías complejas, aplicar fórmulas matemáticas para desarrollar envolventes, exportar información, crear y estandarizar procesos. Aunque puede utilizarse como un software independiente, normalmente se utiliza enlazado con otros programas como Revit incluido a modo de plugin. (Spin, 2017).

El objetivo de Dynamo es ampliar las posibilidades del software Revit BIM mediante la programación visual en lugar de la programación normal basada en texto (Kron, 2013). La programación visual puede ayudar a los usuarios de BIM que no están muy familiarizados con los lenguajes de programación compatibles con .NET (VB.NET, C# y C++ administrado) para comunicarse con la Interfaz de Programación de Aplicaciones Revit (API .NET).

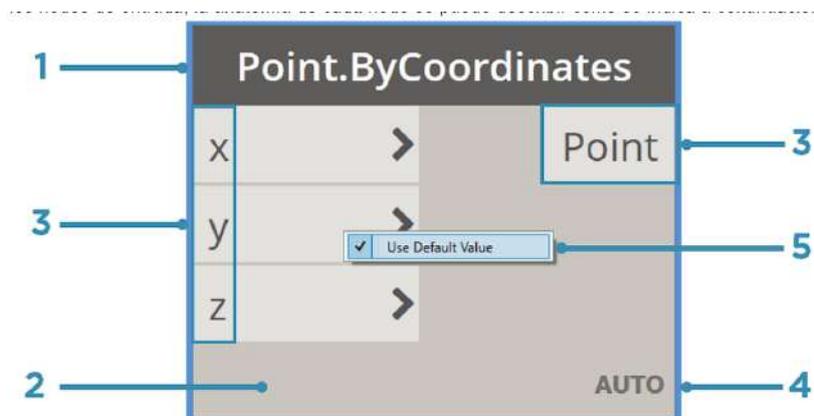
3.7. Anatomía de un programa visual

3.7.1. Nodo

Definimos los nodos como el lenguaje de programación de la programación algorítmica visual, donde la unión de varios nodos, nos permiten formar algoritmos para realizar operaciones.

De acuerdo con el manual de DYNAMO, los nodos están compuestos como se especifica la siguiente imagen:

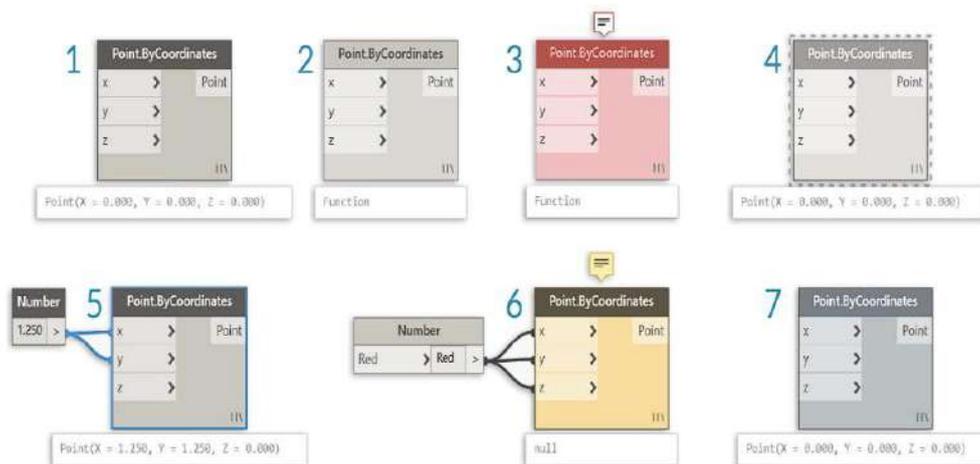
Figura 10 Composición de nodos



1. Nombre: nombre del nodo con la convención de nomenclatura Categoría.Nombre.

2. Parte principal: el cuerpo principal del nodo. Al hacer clic con el botón derecho, se presentan opciones en el nivel de todo el nodo.
 3. Puertos (entrada y salida): los receptores de los cables que proporcionan los datos de entrada al nodo, así como los resultados de la acción del nodo.
 4. Icono de encaje: indica la opción de encaje especificada para las entradas de lista coincidentes (se explicará detalladamente más adelante).
 5. Valor por defecto (haga clic con el botón derecho en un puerto de entrada): algunos nodos tienen valores por defecto que se pueden utilizar o no.
- Cada uno de los nodos tienen un estado: (1) Activo, (2) Inactivo, (3) Estado de error, (4) Bloqueado, (5) Seleccionado, (6) Advertencia, (7) Vista preliminar de fondo.

Figura 11 Estado de nodos

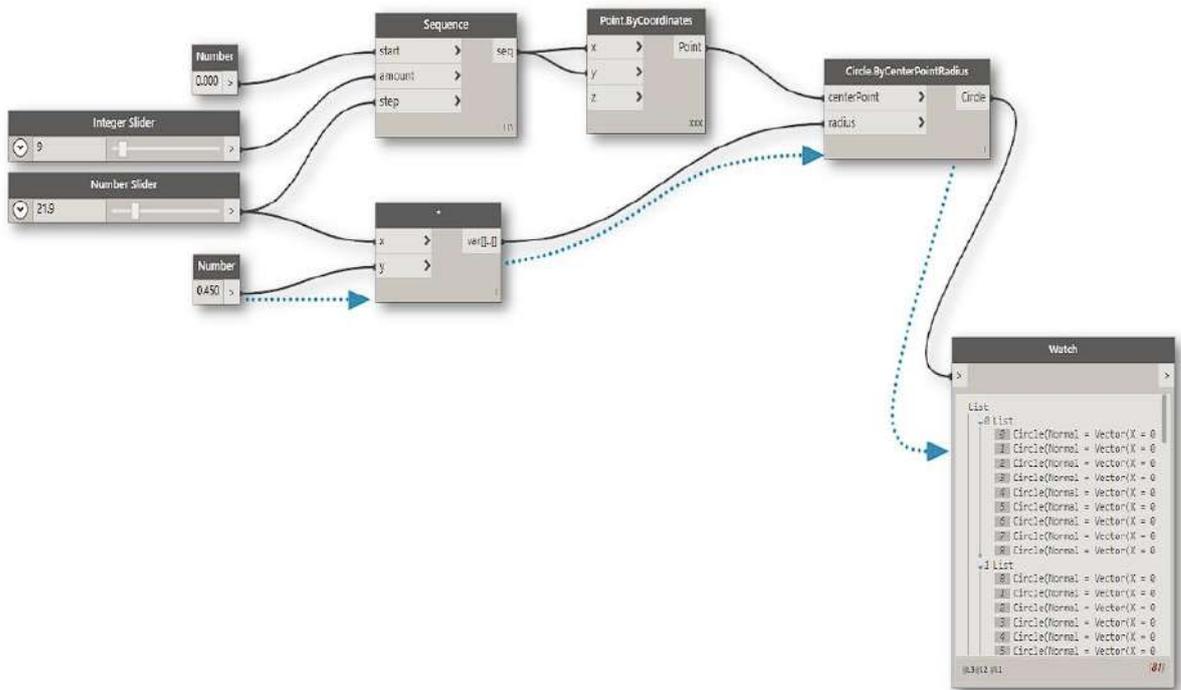


3.7.2. Cables

Los nodos para poder tener comunicación entre ellos necesitan de cables, alambres, wires, que cumplen la función de trasladar la información de OUTPUT de un

nodo y llevarla como información de INPUT a otro nodo y de esta manera poder crear algoritmos. Es importante indicar que la dirección de compilado y secuencia de lógica es de izquierda a derecha.

cFigura 12 Cables



Al realizar la conexión antes de finalizado el proceso se tendrá cables con líneas punteadas que se convertirá en una línea continua cuando haya sido conectado a algún puerto de INPUT.

Figura 13 Proceso finalizado

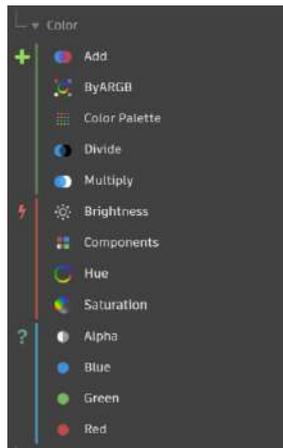


3.7.3. Tipos de nodos

Clasificamos principalmente los tipos de nodos los que nos permiten realizar los algoritmos dentro de DYNAMO los cuales son:

- **Nodos de entrada:** Se definen los nodos y el tipo de variable de INPUT que se va a utilizar, estos pueden ser del tipo booleano, numero, texto, ruta de archivos.
- **Nodos de acción:** Se definen estos nodos como los nodos que llaman a la acción o a la ejecución de procesos, como realizar una operación matemática, unión de elementos, etc.
- **Nodos de consulta:** Se definen estos nodos como nodos que nos permiten buscar información dentro del conjunto de información obtenida de los nodos de acción.
- **Nodo de programación:** Nos permite realizar el desarrollo de los nodos de manera textual y poder escribir código textual dentro del mismo, es importante aclarar que gran cantidad de los nodos pueden ser abreviados con este nodo, realizando el llamado a la función de un nodo determinado.

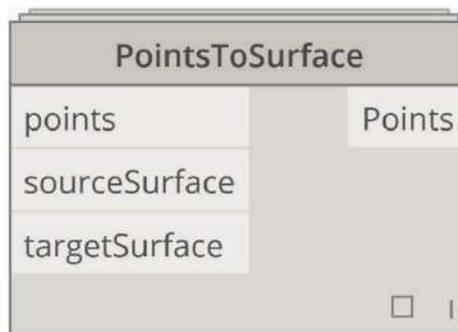
Figura 14 Tipos de nodos



3.8. Nodos personalizados

Dynamo nos permite generar nodos personalizados que sirven para poder ser utilizados en otros proyectos y/o poder ser compartidos con otros usuarios de DYNAMO. Uno de los grandes beneficios de los nodos personalizados es que al tener una anatomía casi idéntica a los nodos normales pueden ser fácilmente utilizados sin necesidad de entender el proceso lógico del algoritmo; pero si es importante entender el input y output de estos nodos.

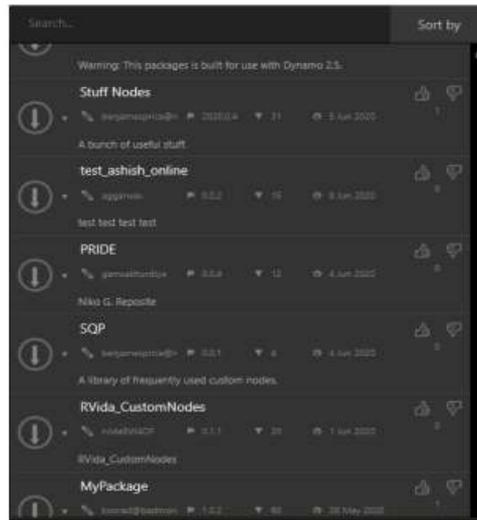
Figura 15 Nodos personalizados



3.9. Paquetes

Los nodos personalizados pueden compartirse con la comunidad de DYNAMO mediante paquetes, que son el conjunto de nodos personalizados, que son desarrollados por 3ros y se encuentran en un repositorio global. Cualquier usuario de DYNAMO puede acceder a los paquetes y utilizarlos.

Figura 16 Paquetes de Dynamo



3.10. Dynamo para REVIT

Originalmente DYNAMO se creó en el entorno de REVIT y para uso exclusivo de REVIT, creando y potenciando el sistema BIM de REVIT.

Al utilizar el software de DYNAMO se distinguen: DYNAMO para REVIT y un DYNAMO como software independiente, el primero se encuentra alojado dentro de REVIT y el segundo es un software independiente. En la presente tesis se utilizó DYNAMO para REVIT.

3.11. PYTHON

PYTHON versión 0.9.0 es creada en 1991 por Guido Van Rossum, con un propósito inicial de facilitar la programación con un lenguaje sencillo y legible, sin limitarse a un solo campo de aplicación, a lo largo de los años se ha vuelto popular adoptándose su uso en ciencias de datos, desarrollo web, inteligencia artificial, entre otros. En 1994 se lanza PYTHON 1.0 introduciéndose funciones como procesar lista de datos o filtrado. El 16 de octubre de 2000 se lanzó PYTHON 2.0 y el 3 de diciembre del 2008 se introduce PYTHON 3.0. que es el que se usa hasta la fecha.

PYTHON tiene como características principales que es un lenguaje interpretado y es fácilmente ejecutable en diferentes sistemas operativos sin la necesidad de compilación además que posee un código legible, permitiéndole esto ser versátil en su uso desde principiantes hasta grandes proyectos.

Una de las características mas resaltantes es que PYTHON posee bibliotecas y frameworks como PANDAS, COMTYPES, NUMPY, entre otras. Las mismas que facilitan su uso y comprensión.

Hoy en día PYTHON es uno de los lenguajes de programación mas utilizados en el mundo debido a la versatilidad que posee, fácil aprendizaje y una comunidad sólida; teniendo un intérprete y una extensa librería disponibles en su código fuentes de manera libre.

Las principales características de su código son:

- Indentación: A nivel de código PYTHON ofrece características como la indentación a fin de definir líneas de código sin la necesidad del uso de llaves como en otros lenguajes de programación.
- Declaración de variables: PYTHON no requiere que se declaren las variables previamente, puesto que las determina en tiempo de ejecución.
- Multiparadigma: PYTHON permite que la programación sea una Programación Orientada a Objetos (POO), Funcional e Imperativa.
- Bibliotecas: Gracias a su comunidad y ser de código libre PYTHON tienen una gran cantidad de bibliotecas que pueden ser utilizadas para diversas tareas.
- Portabilidad: PYTHON puede ser ejecutado en diversos sistemas operativos desde WINDOWS, LINUX, Mac Os.

3.12. Librerías de PYTHON

Python nos permite utilizar una gran variedad de Librerías siendo la utilizadas para esta tesis las siguientes:

- Pandas: La librería de PANDAS nos permite utilizar estructura de Datos como Series que son unidimensional y DataFrame que son bidimensionales similares a una hoja de cálculo. Esto nos permite manipular los datos en su selección, filtrado, combinación, entre otros. Una característica principal es que nos permite leer y escribir datos en diferentes formatos como CSV, EXCEL, SQL, JSON, entre otros.
- NumPy: Es la abreviatura de Numerical Python, que permite el desarrollo de operaciones matemáticas avanzadas, siendo una herramienta importante para el cálculo numérico de Python, siendo utilizados para el trabajo con arrays.

Dentro de sus principales características es que puede ser utilizadas en operaciones de cálculos matemáticos y operaciones con matrices con una estructura de datos denominada ndarray , a fin de trabajar con múltiples dimensiones; dentro de las cuales se pueden utilizar funciones matemáticas de trigonometría, álgebra lineal.

- Matplotlib: Matplotlib es una de las bibliotecas que permite la visualización de datos dentro de PYTHON, que permite la creación de gráficos de manera sencilla como generar gráficos en línea, histogramas, gráficos de barras, entre otros.

Dentro de sus principales características son que pueden generar gráficos en 2D y tiene compatibilidad con Pandas, Numpy y obtenemos control completo sobre los aspectos del gráfico.

- Comtypes: Es una biblioteca en PYTHON que nos permite interactuar con Component Object Model (COM) dentro del sistema operativo de Windows esto nos permite automatizar aplicaciones dentro de Windows que tienen interfaz COM, como Microsoft Word, Excel, Autocad, Mathcad, Revit, Etab.

Comtypes tiene como característica principal la interoperabilidad de PYTHON con otros lenguajes de programación que soportan COM(C++ o Visual Basic), permitiendo esto la automatización en las aplicaciones, con la creación de scripts.

3.13. JUPYTER NOTEBOOK

Jupyter Notebook es una herramienta de software libre que permite crear y ejecutar código a fin de ver los resultados de manera dinámica y todo dentro del mismo entorno.

Jupyter Notebook es de código abierto que busca facilitar la creación de documentos de manera interactiva, cuyo nombre hace referencia a los lenguajes de programación Julia, Python y R, siendo hoy en día compatible con más de 40 lenguaje de programación.

Jupyter Notebook nace en el 2014 de un proyecto denominado IPython con el propósito de proporcionar un entorno interactivo que pueda ser usada en análisis de datos, desarrollo de software, investigación científica y compartir los resultados de manera clara y comprensible.

Las principales características son:

- Interactividad: Una de las características más importantes es que permite escribir y ejecutar código en celdas a manera de obtener resultados inmediatos, facilitando la experimentación y realizar ajustes rápidos.

- Kernels: Jupyter Notebook permite aceptar múltiples lenguajes de programación por el uso de su Kernels.
- Visualización de datos: nos permite integrarnos con bibliotecas como Matplotlib y Seaborn a manera de obtener gráficos interactivos y bien detallados.
- Documentación: Podemos exportar a los formatos que requerimos como HTML, PDF o Markdown y compartir el código mediante GitHub.

3.14. VISUAL STUDIO CODE (VS CODE)

Visual Studio Code es un editor de código gratuito desarrollado por Microsoft, siendo el editor de código mas usado por los programadores gracias a su simplicidad, flexibilidad y capacidad de ser personalizable, pudiendo ser utilizable con varios lenguajes de programación.

Es desarrollado en 2015 por Microsoft con el propósito de brindar un editor de texto que sea de código abierto, rápido y versátil con el uso de cualquier lenguaje de programación.

Las principales características que posee son:

- Multilenguaje: Visual Studio code tiene la gran característica que es multilenguaje, siendo compatible con diferentes lenguajes de programación como PYTHON, JAVASCRIPT, C++, GO.
- Depuración Integrada: Se puede ejecutar el código y establecer un punto de interrupción a fin de analizar variables y comportamientos del programa.
- Terminal: VS Code tiene integrado un terminal que permite ejecutar los comandos sin salir del editor, esto permite interactuar de manera versátil con Git a fin de obtener el control de versiones.

- Extensiones: VS Code al tener una gran comunidad a creado extensiones que pueden cubrir cualquier flujo de trabajo como PYTHON EXTENSION, LIVE SERVER, entre otros.
- Control de Versiones: Vs Code tiene el control de versiones integrado dentro del programa, esto debido a que tiene el soporte nativo de GIT, permitiendo a los desarrolladores gestionar repositorios directamente desde VS Code, sin la necesidad de salir del entorno.
- Live Share: Dentro de VS Code se permite la colaboración en tiempo real, donde se permite que se pueda editar y depurar simultáneamente.

Capítulo 4. Desarrollo de la investigación: Muestra de control

En este capítulo se desarrolló los procesos requeridos para obtener el diseño estructural de las columnas y vigas de nuestra unidad de análisis con procesos de diseño tradicional, entendiéndose a esta como nuestra muestra de control (MC).

4.1. Modelo de estudio

Para la presente investigación se tomó como puntos de estudio un módulo básico de vivienda.

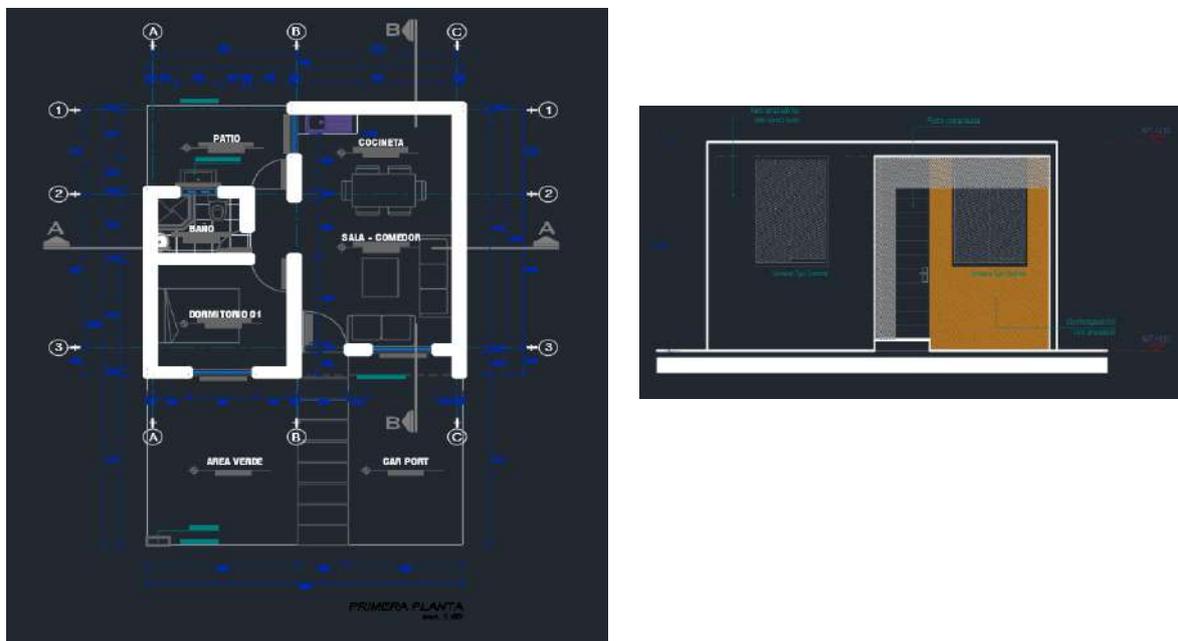
La vivienda consta de un nivel, con proyección a 2 niveles y una azotea, está dentro de un área de construcción de 49 m².

Se investigó la aplicación de los algoritmos en el modelado, análisis, diseño y documentación de la vivienda.

El plano de arquitectura puede observarse en el anexo 1 a mayor detalle, a continuación, presentamos el plano en planta y elevación.

Figura 17

a) Izquierda, plano en planta del modelo de estudio. b) Derecha, Plano en elevación de modelo de estudio



Nuestro modelo de estudio es brindado en un plano DWG, pudiéndose también brindar en un modelo BIM.

4.2. Materiales

El material. con el que se realizó el estudio contempla el concreto armado, que contempla el concreto y el acero corrugado, estos mismos tienen las siguientes características:

Tabla 17

Características del concreto

Características Concreto	
Resistencia a la compresión ($f'c$)	210 kg/cm ²
Módulo de Elasticidad ($E_c = 15000\sqrt{f'c}$)	217370.65 kg/cm ²
Módulo de Corte ($G_c = E_c / (2(\mu_c + 1))$)	94508.98 kg/cm ²
Módulo de Poisson (μ_m)	0.15
Deformación unitaria	0.003
Peso volumétrico	2400 kg/m ³

Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Características del acero

Características Acero	
Esfuerzo a la fluencia (f_y)	4200 kg/cm ²

Nota: Elaboración propia

Tanto el concreto como el acero se colocaron en ETABS, asignando las propiedades de los materiales del concreto armado.

Figura 18

Colocación de Acero en ETABS.

Material Property Data

General Data

Material Name: CONCRETO TESIS 210

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Color] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.0024 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000002 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 217370.68 kgf/cm²

Poisson's Ratio, U: 0.15

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00001 1/C

Shear Modulus, G: 94508.99 kgf/cm²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.3. Estructuración

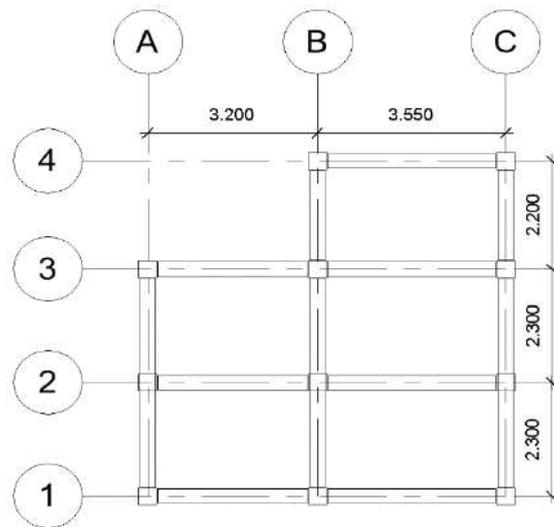
Para realizar la estructuración de nuestro modelo de estudio, se tomó los conceptos explicados en el punto 2.2, a fin de garantizar una correcta estructuración se buscó unidades homogéneas dentro de la estructuración.

Debemos tomar en cuenta que el concepto de estructuración desde la experiencia de un ingeniero estructural no puede ser sustituida.

A fin de buscar el mejor comportamiento sísmico del edificio se propuso la siguiente estructuración, buscándose paños homogéneos.

Figura 19

Estructuración en planta de modelo de estudio



4.4. Pre-dimensionamiento

Tomamos lo indicado en el punto 2.2 a fin de obtener las dimensiones iniciales de los elementos estructurales, como se detalla en los siguientes puntos.

4.4.1. Losa aligerada

Se propuso el uso de losas aligeradas en una dirección, debido a que se tiene una luz menor a 4m, podemos optar por una losa de 17 cm de espesor, debido a la facilidad de construcción y acceso a materiales en la región, tomamos una losa de 20 cm.

4.4.2. Vigas

Se tomó una viga de ancho mínimo de 25 cm, con un peralte de 30 cm, como es explicado en el punto 2.2.

4.4.3. Columnas

De acuerdo con el punto 2.2.4 podemos tomar columnas con una dimensión mínima de 25 cm, para la investigación tomamos secciones de 25x25 cm, como predimensionamiento, esto en función a la longitud de desarrollo requerido de acuerdo con el punto 2.2.6. por la viga, recubrimiento requerido 2.2.5. y criterio del ingeniero civil por proceso constructivo.

4.5. Modelamiento

Obtenido el pre-dimensionamiento de los elementos estructurales de nuestro modelo de estudio y los materiales a utilizar, se ha procedido a realizar el modelado de nuestra estructura dentro del software ETABS, realizándose de manera manual.

Se han tomado criterios de modelado, a fin de obtener un modelo analítico representativo y funcional.

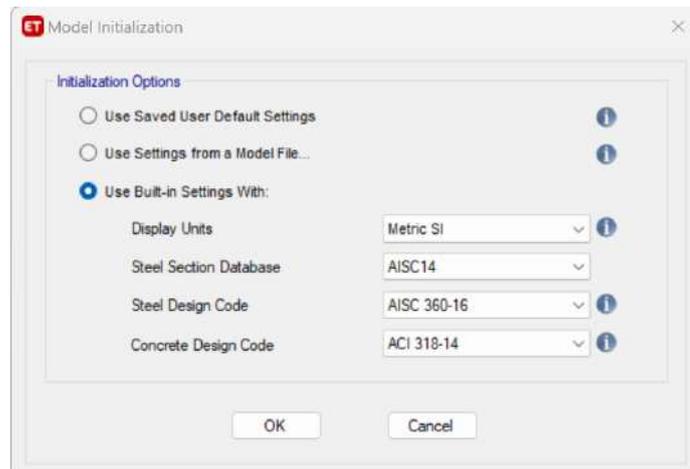
Debemos tomar en cuenta que hemos partido de los planos CAD, mas no de un modelo BIM.

4.5.1. Aspectos generales

Se ha iniciado colocando las unidades en los cuales trabajaremos, siendo en este caso unidades en un el Sistema Internacional.

Figura 20

Colocación de unidades

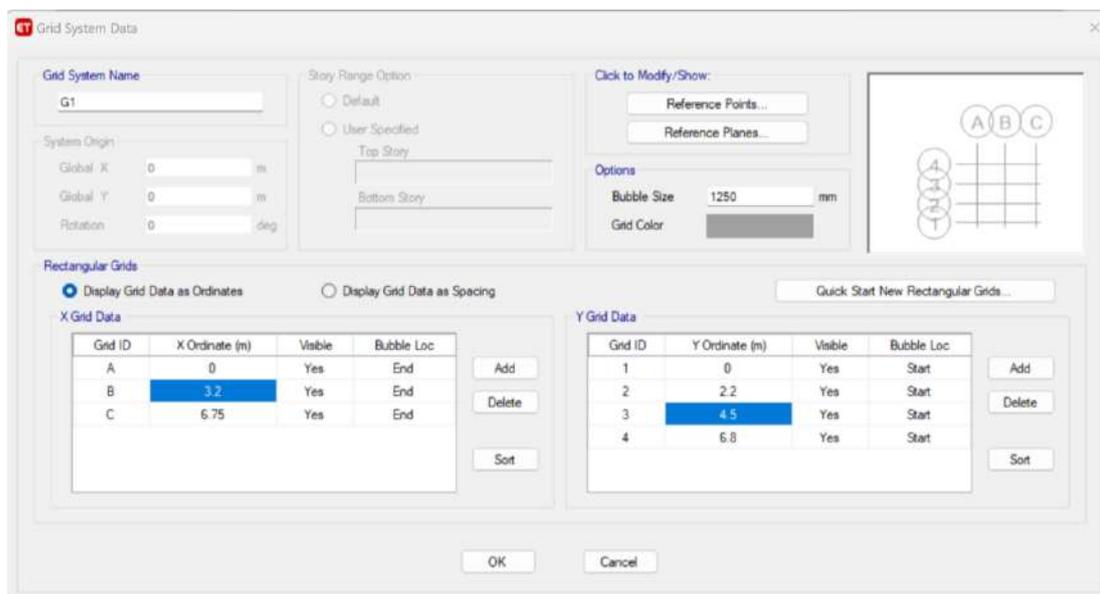


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Posterior a esto colocamos el grillado de nuestro sistema estructural, siendo de la siguiente manera.

Figura 21

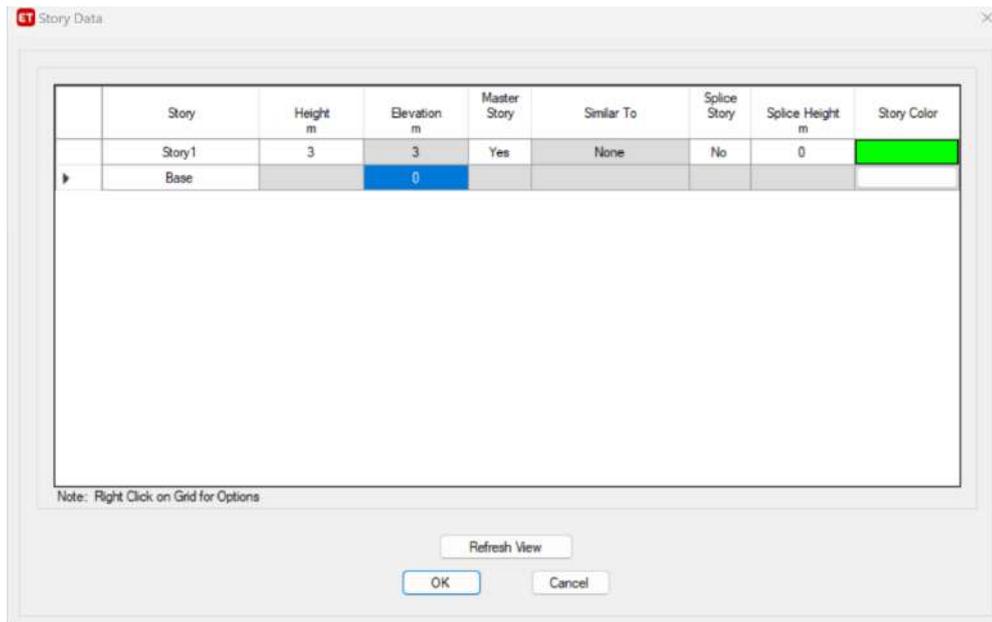
Colocación del grillado



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

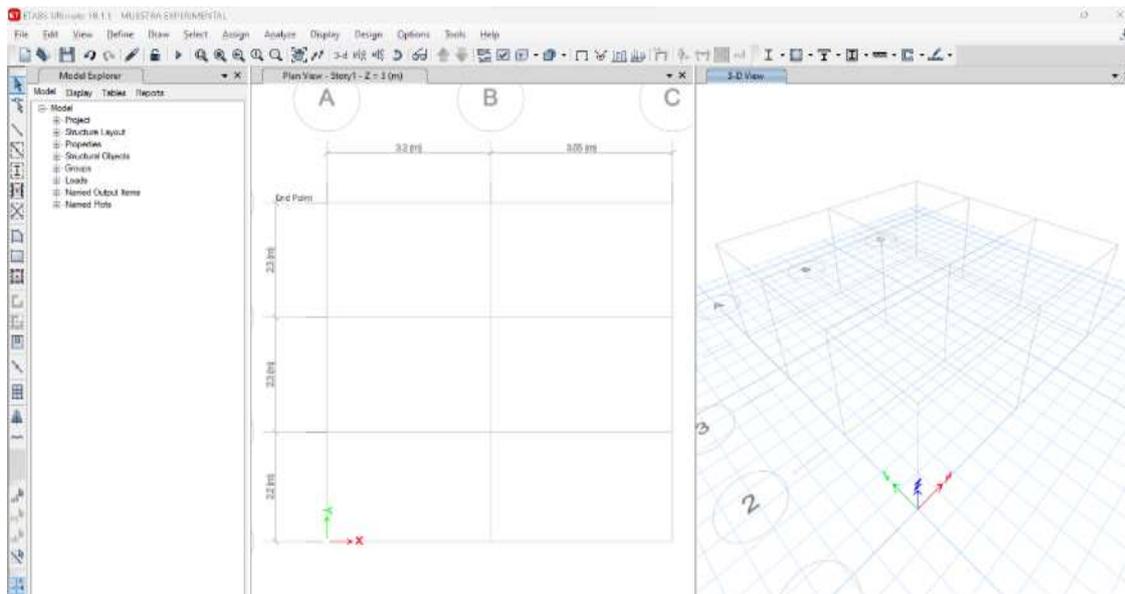
De la misma manera colocamos la altura de nuestro modelo.

Figura 22
Colocación de la altura del modelo



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS
Teniendo el siguiente resultado:

Figura 23
Resultado



Nota: Elaboración propia utilizando el software ETABS

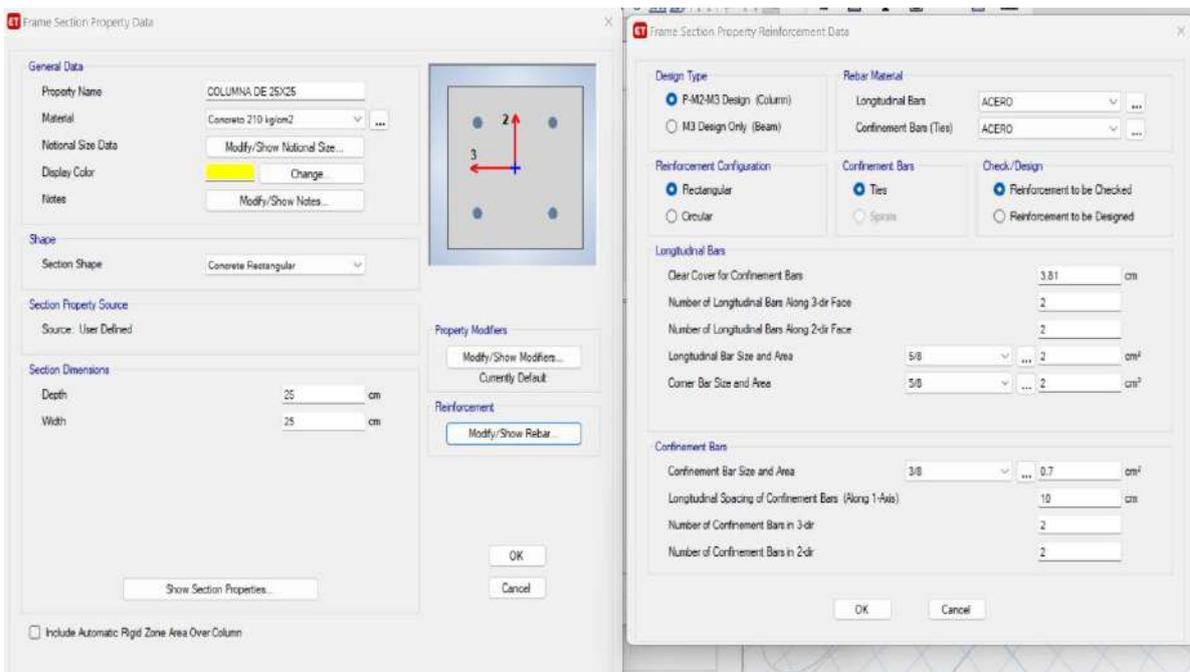
4.5.2. Modelado de elementos estructurales

Procedemos a colocar las secciones de acuerdo con nuestra pre-dimension y el sistema estructural indicado.

En la siguiente imagen se muestra la sección de la columna.

Figura 24

Sección columna

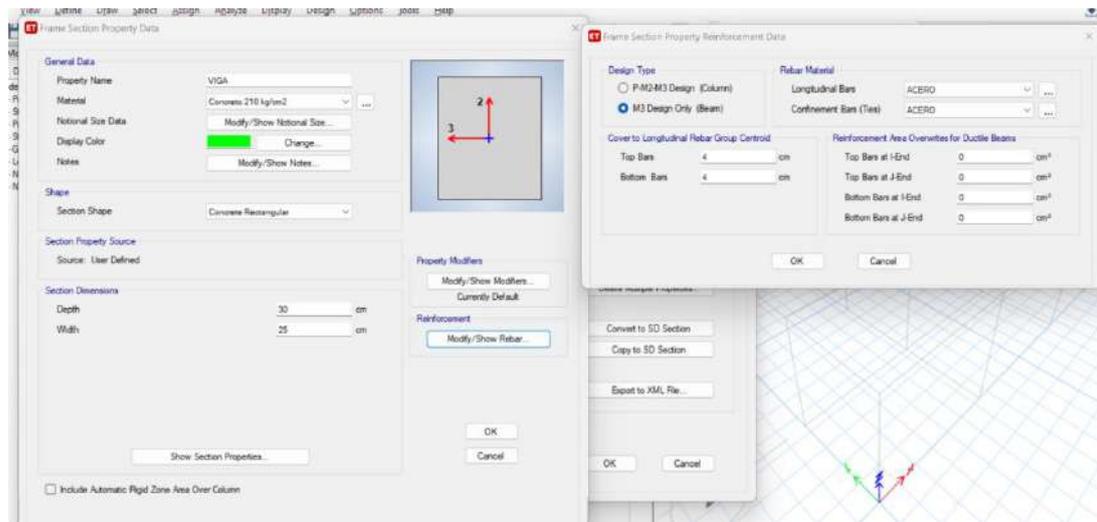


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Se coloca de la misma manera la sección de la viga.

Figura 25

Sección viga

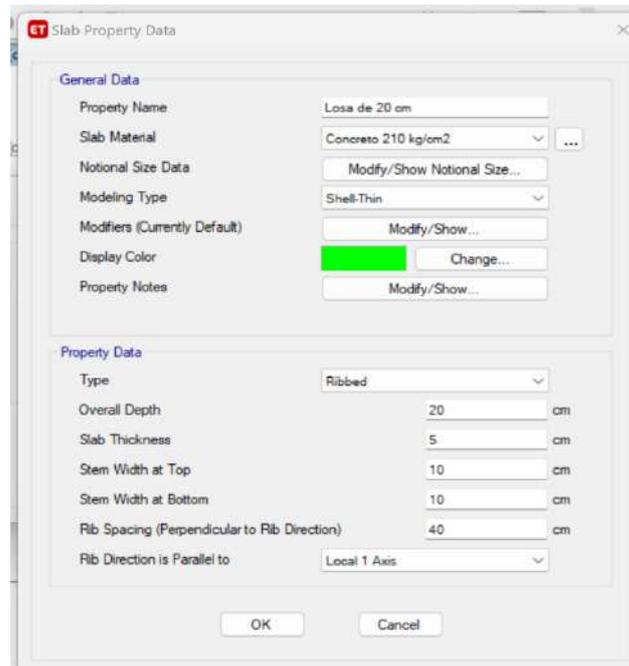


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Y de la misma manera la sección de losa.

Figura 26

Sección losa

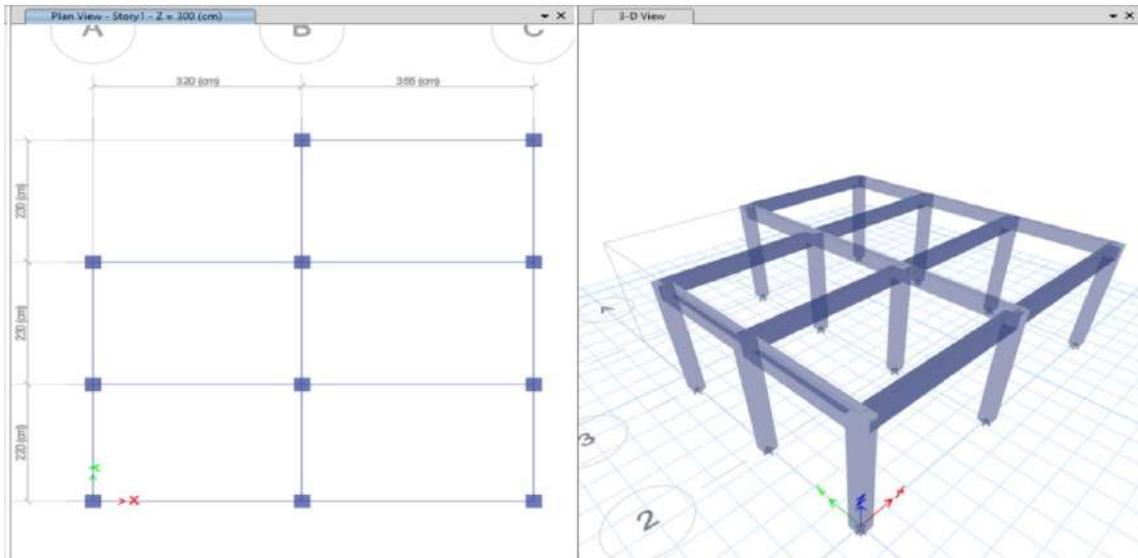


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Colocada las propiedades de los elementos, procedemos a realizar el dibujo de cada elemento estructural, tanto de la viga como de la columna.

Figura 27

Realización del dibujo de cada elemento estructural

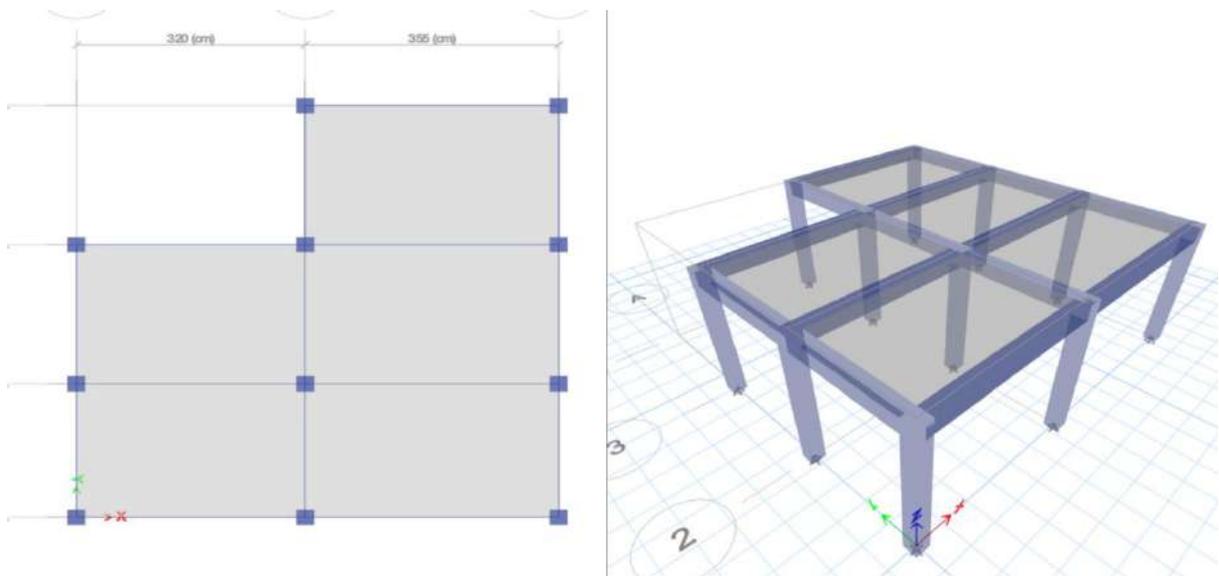


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

De la misma manera del dibujo de la losa.

Figura 28

Dibujo de la losa

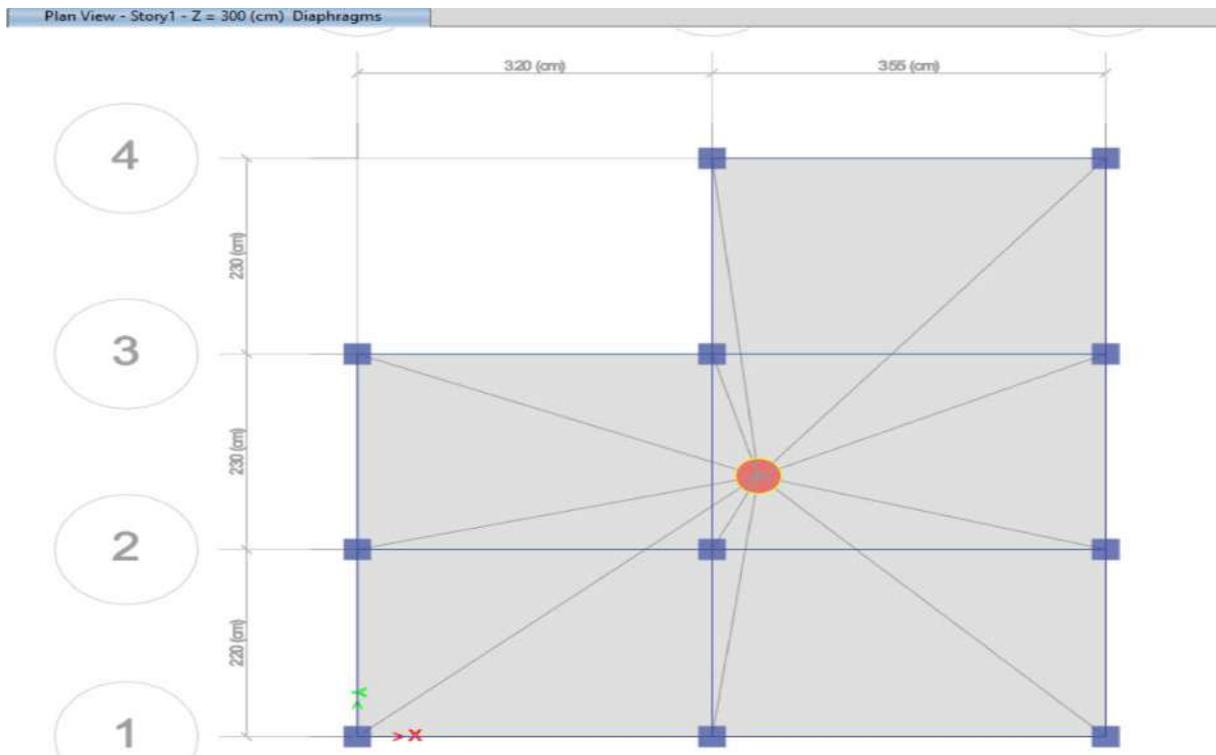


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Se colocó el diafragma rígido.

Figura 29

Diafragma rígido



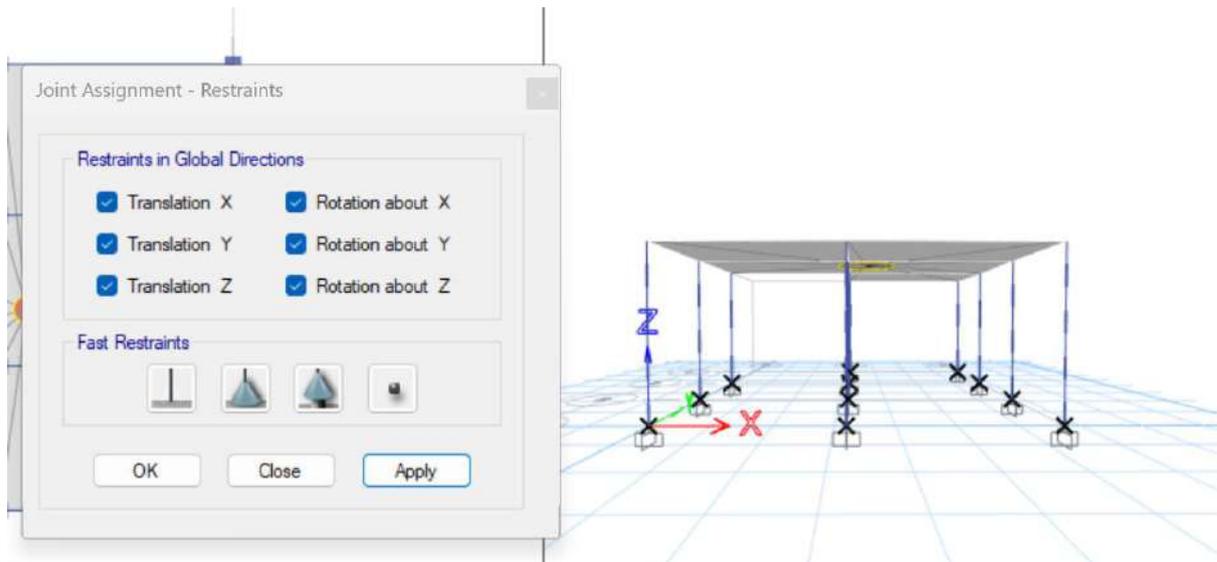
Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.5.3. Restricciones

Colocamos las restricciones del elemento, que son empotrados.

Figura 30

Restricciones del elemento



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.6. Análisis sísmico

Se ha realizado el análisis sísmico estático lineal y el análisis sísmico dinámico modal espectral, para nuestra muestra de control se ha iniciado este análisis, colocando manualmente los requerimientos de ETABS.

4.6.1. Cargas

Utilizamos las cargas indicadas en la Norma E 0.20.

- Carga muerta - Elementos estructurales: Se tomo como peso específico del concreto armado 2400 kg/m³.
- Carga muerta – tabiques: Se tomo como peso específico de 1800 kg/m³ en tabiques de ancho de 15 cm y de 2000 kg/m³ en tabiques de ancho de 20 cm.
- Carga muerta – losas: Se tomo para la losa aligerada un peso de 300 kg/m².
- Carga muerta – piso terminado: Se toma para un piso terminado de 5 cm, un peso de 100 kg/m².

- Carga viva: 200 kg/m², en áreas utilizados como vivienda.

Como se ha establecido en el punto 3.5.1 , se colocan las cargas de acuerdo con lo establecido en la Norma E 0.60, donde para la carga al sismo se considera el sismo en X y el sismo en Y, siendo un total de 9 combinaciones de cargas. Estas son nuestras combinaciones de cargas colocadas en ETABS.

Tabla 19

Combinaciones de cargas colocadas al ETABS

Combinación
1.4 CM +1.7 CV
1.25(CM+CV) +CS
1.25(CM+CV)-CS
0.9CM+CS
0.9CM-CS

4.6.2. Parámetros Sísmicos

Para la selección de los parámetros sísmicos nos basamos en el punto 2.4.4. y tomamos como referencia la Norma E. 030, y de acuerdo con el modelo tenemos:

Tabla 20

Parámetros sísmicos

FACTOR	VALOR UTILIZADO	COEFICIENTE
Factor de Zona (Z)	De acuerdo al anexo 2, de la E 0.30, nos encontramos dentro de una zona sísmica 2.	Z= 2.5
Factor de Uso (U)	La vivienda es diseñada para ser destinada al uso como vivienda, siendo de categoría C, como Edificaciones Comunes.	U=1
Factor de Suelo (S), periodos T _p y T _l	Dentro de la ciudad del Cusco, tomamos como caso general el S3, por tanto, S=1.4	S=1.4
Factor de Amplificación sísmica(C)	$T < T_P: C = 2.5$ $T_P < T < T_{LP}: C = 2.5 * \frac{T_P}{T}$	T=2.5

$$T > TL: C = 2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right)$$

El valor de T, se calculó de acuerdo al periodo en cada dirección.

Factor de Reducción (R)	Se establece un sistema aporticado, R=8.	R=8
-------------------------	--	-----

Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.6.3. Irregularidades

Realizamos el análisis de las irregularidades de acuerdo con lo indicado en el punto 2.4.3. y 2.4.4, para nuestro caso de estudio tenemos:

Tabla 21

Irregularidades

Tipo de irregularidad		Coefficiente	Estado
Irregularidad en Altura	Irregularidad de rigidez - Piso Blando	0.75	No
	Irregularidad extrema de rigidez	0.5	No
	Irregularidad de masa o peso	0.9	No
	Irregularidad geométrica vertical	0.9	No
Irregularidad en Planta	Irregularidad torsional	0.75	No
	Irregularidad torsional extrema	0.6	No
	Esquina entrante	0.9	Si
	Discontinuidad de diafragma	0.85	No
	Sistemas no paralelos	0.9	No

Nota: Elaboración propia

Del análisis tenemos irregularidad en planta de esquina entrante, donde $I_p = 0.9$.

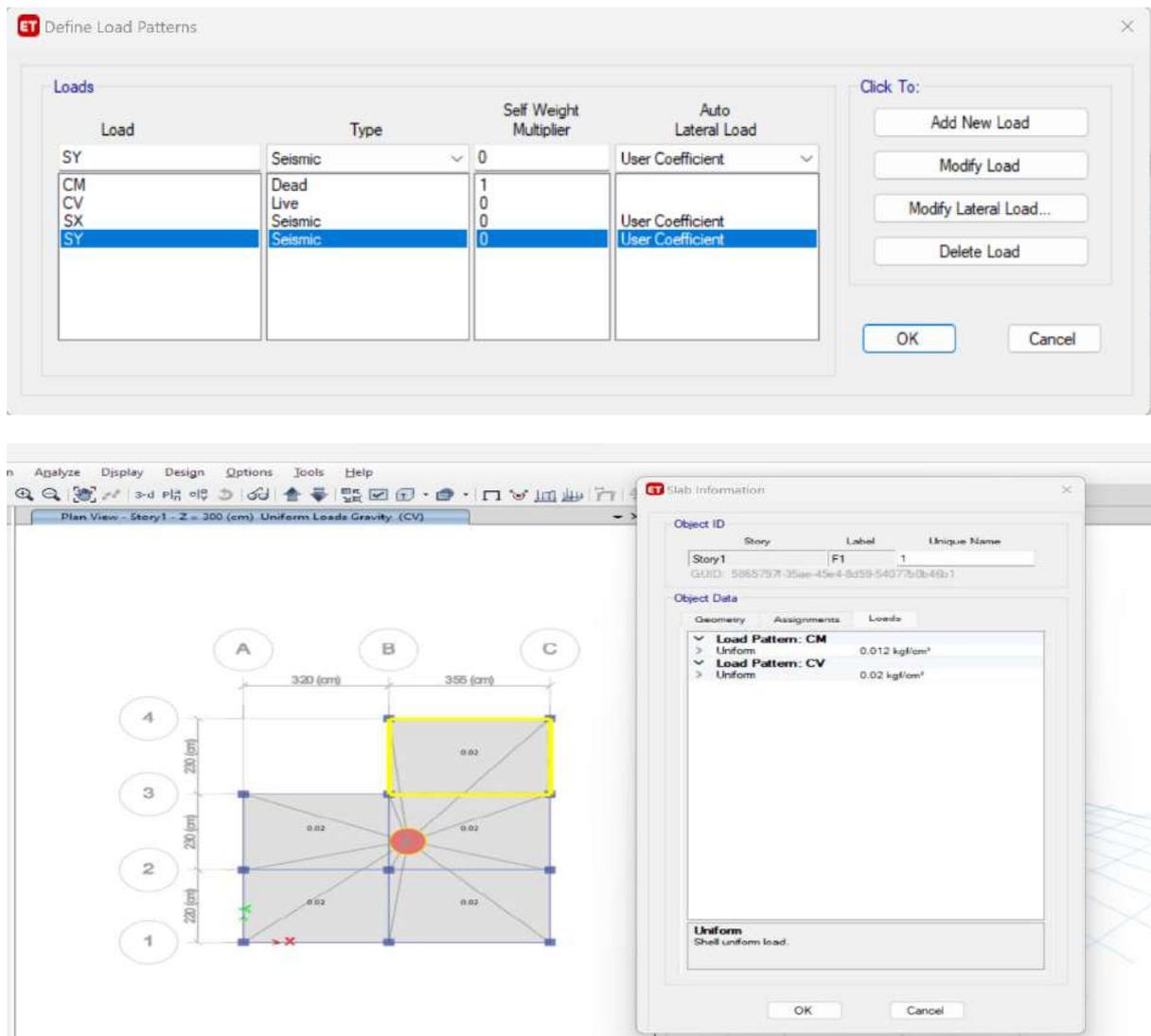
Donde tenemos que el valor de R es:

$$R = I_p * I_a * R_0 = 0.9 * 1 * 8 = 7.2$$

4.6.4. Patrones de carga

Colocamos los tipos de cargas a considerar, tanto la carga viva, carga muerta, sismo en X y sismo en Y,

Figura 31
Colocación de patrones de carga

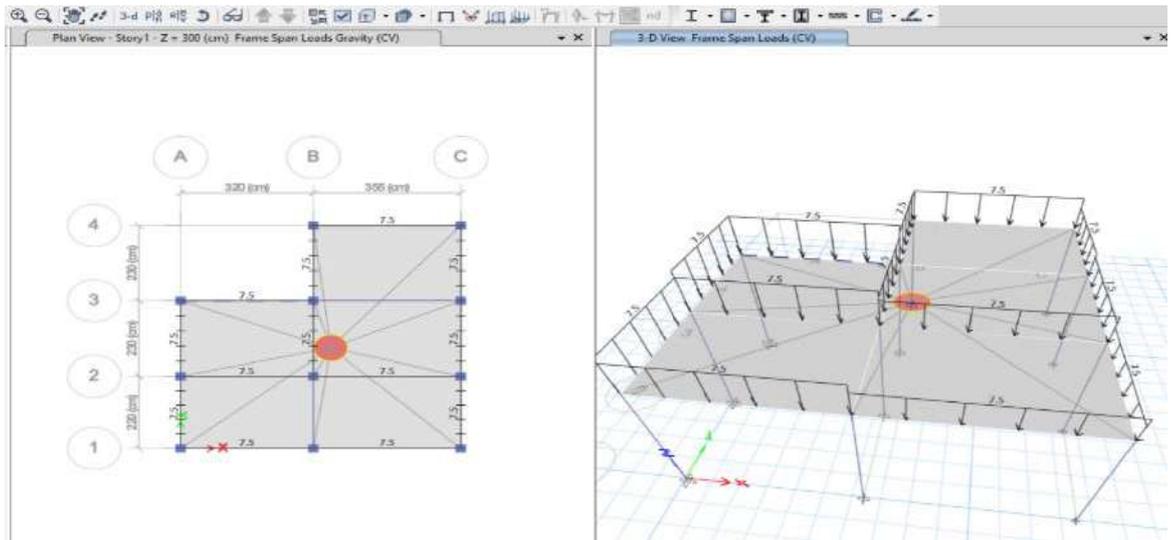


Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.6.5. Cargas puntuales y distribuidas

Colocamos las cargas distribuidas uniformes tanto a los elementos Shell como a los elementos frame.

Figura 32 Colocación de las cargas uniformes



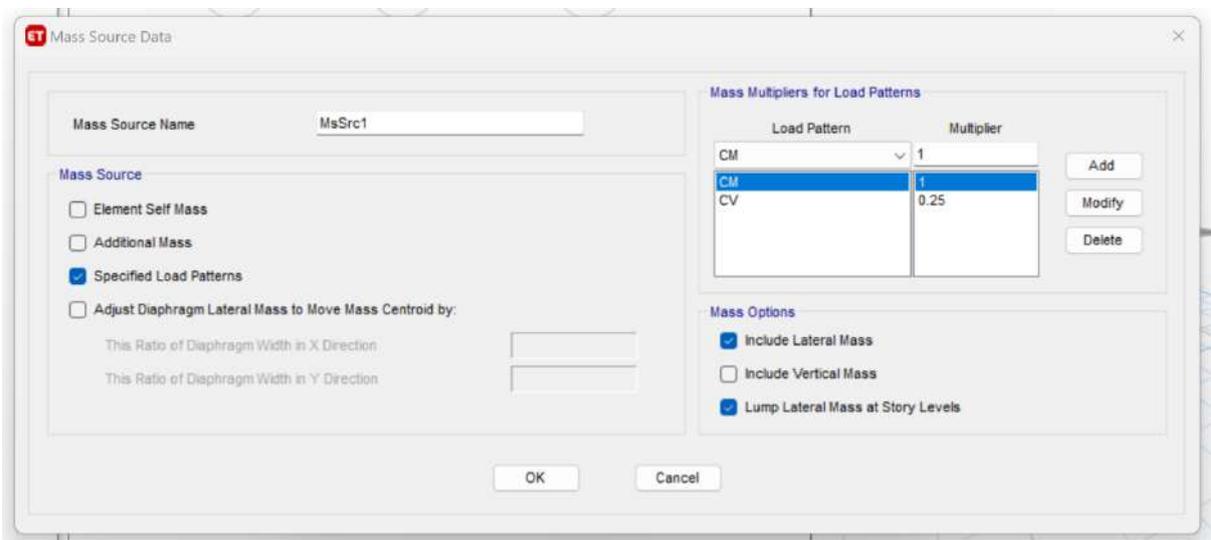
Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.6.6. Masa sísmica

Establecemos la masa sísmica con la que se hará el diseño, que viene dada por el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva.

Figura 33

Establecer la masa sísmica



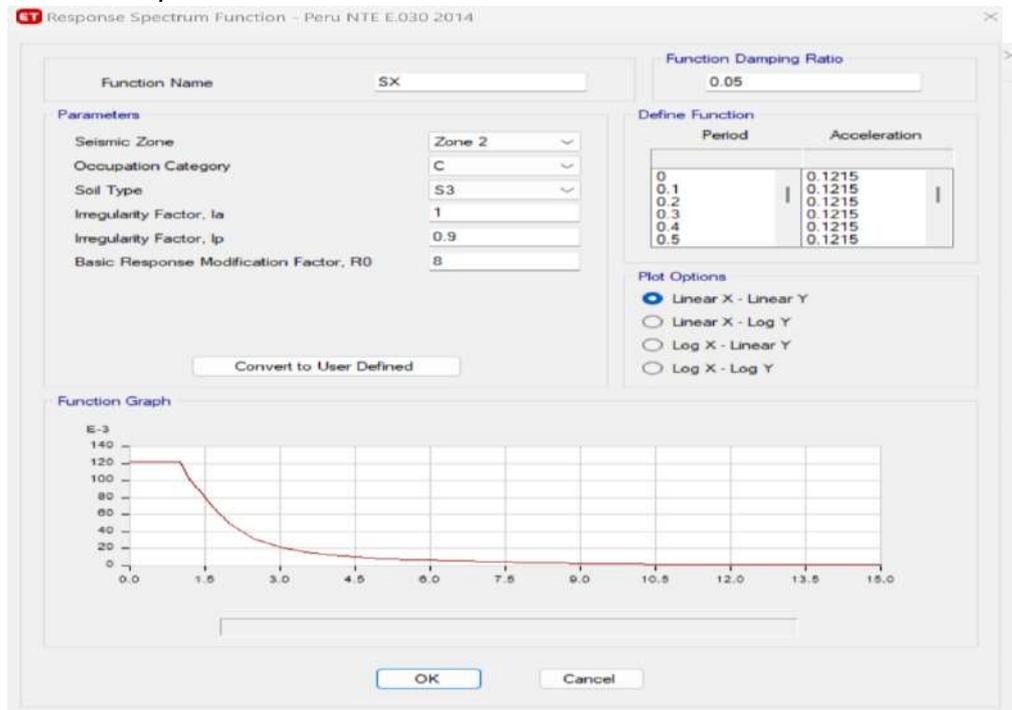
Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.6.7. Espectro de respuesta

Se colocó los parámetros sísmicos en ETABS, tanto en el eje X como en el eje Y. Esto nos permitió obtener el espectro de respuesta.

Figura 34

Colocación de parámetros sísmicos



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

4.6.8. Análisis sísmico estático

De acuerdo con lo establecido en el punto 2.4.1, se realiza el análisis sísmico estático, para lo cual obtenemos la cortante basal del modelo de estudio, ya obteniendo los Parámetros Sísmicos en el punto 4.6.2. y las irregularidades en el punto 4.6.3. podemos obtener nuestro coeficiente sísmico.

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = 0.1215 \times P$$

Donde:

$$P = \text{Pesos sísmico de la edificación}$$

De ETABS obtenemos el cortante basal estático y dinámico en X y Y:

Figura 35

Cortante basal estático y dinámico

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-cm	MY kgf-cm	MZ kgf-cm	X cm	Y cm
Muerta	LinStatic			0	0	24558.18	7362426.17	-9043443.93	0	0	0
Viva	LinStatic			0	0	39133	11719270	-14387605	0	0	0
SX	LinStatic			-4824.14	0	0	0	-1447243.39	1443314.16	0	0
SY	LinStatic			0	-4824.14	0	1447243.39	0	-1778013.1	0	0
Peso sísmico	LinStatic			0	0	34341.43	10292243.67	-12640345.18	0	0	0
SDX	LinRespSpec	Max		3868.2	24.3	0	7290.04	1160461.2	1120992.64	0	0
SDY	LinRespSpec	Max		24.3	3868.88	0	1160662.6	7290.04	1464598.04	0	0
DRIFTX	LinRespSpec	Max		23673.33	148.72	0	44614.91	7101998.88	6860452.1	0	0
DRIFTY	LinRespSpec	Max		148.72	23677.44	0	7103231.44	44614.91	8963310.13	0	0

Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Siendo en este caso el cortante basal, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22

Cortante basal

TABLE: Base Reactions			
Output Case	Case Type	FX kgf	FY kgf
SX	Sismo Estático X	-3871.42	0
SY	Sismo Estático Y	0	-3871.42
SDX	Sismo Dinámico X	3868.2	24.3
SDY	Sismo Dinámico Y	24.3	3868.88

Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

De los dos sismos se tiene que están dentro del rango de 90% de diferencia entre ambos.

4.7. Diseño estructural de columnas

Debemos tomar en cuenta que se ha colocado a la columna en ETABS como elemento de “Chequeo” y no de diseño, esto indica que nosotros le brindamos el pre-dimensionamiento del acero y el concreto y que de acuerdo con ello realice los cálculos, mas no, así como “Diseño” donde ETABS nos brinda el diseño de acero requerido.

Para realizar el diseño de los elementos estructurales dentro de ETABS, debemos de tener cuidado en la colocación de coeficientes de acuerdo con la norma E 0.60, de donde se han obtenido los coeficientes para el diseño.

Figura 36 Coeficientes de diseño en concreto armado en ETABS.

	Item	Value
02	Multi-Response Case Design	Step-by-Step - All
03	Number of Interaction Curves	24
04	Number of Interaction Points	11
05	Consider Minimum Eccentricity?	Yes
06	Design for B/C Capacity Ratio?	Yes
07	Seismic Design Category	D
08	Design System Omega0	2
09	Design System Rho	1
10	Design System Sds	0.5
11	Consider ICC-ES ESR-2107	No
12	Phi (Tension Controlled)	0.9
13	Phi (Compression Controlled Tied)	0.65
14	Phi (Compression Controlled Spiral)	0.75
15	Phi (Shear and/or Torsion)	0.85
16	Phi (Shear Seismic)	0.6
17	Phi (Joint Shear)	0.85
18	Pattern Live Load Factor	0.75
19	Utilization Factor Limit	1

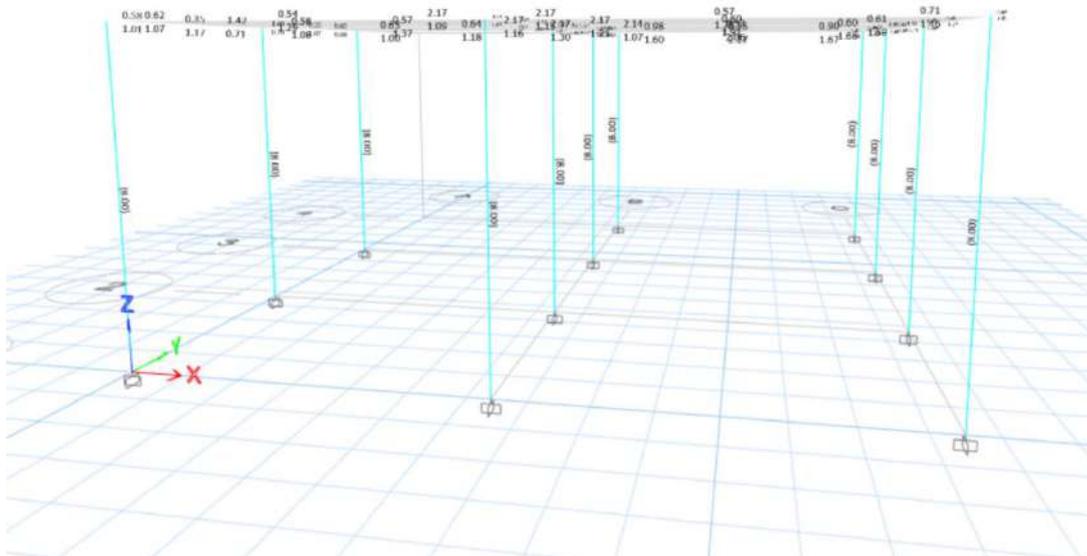
Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

- **Acero longitudinal**

El valor del acero longitudinal se ha establecido en el pre-dimensionamiento a un área de 8 cm², distribuido a lo largo de la columna en dos varillas de 5/8" en cada dirección.

Figura 37

Acero longitudinal



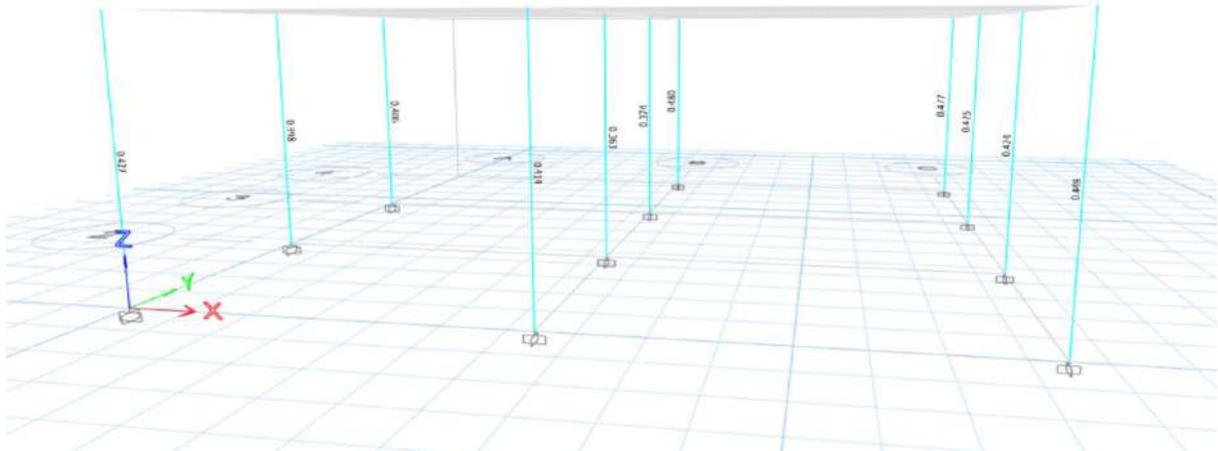
Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

- **Coefficiente de capacidad/demanda**

Revisamos el valor del ratio de capacidad/ demanda que se encuentra entre un 36% a 48% de la capacidad de la columna.

Figura 38

Coeficiente de capacidad/demanda



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

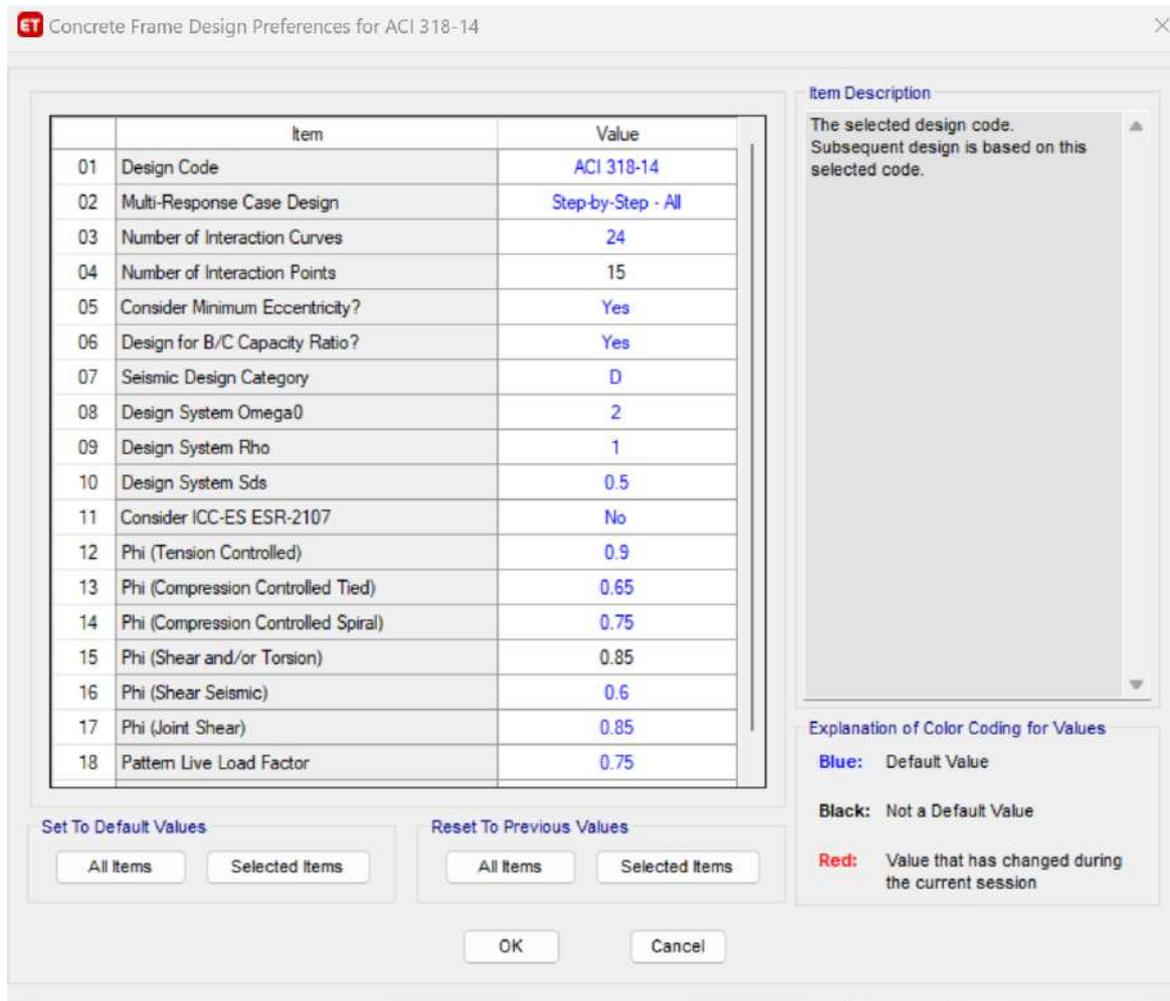
- **Diagrama de interacción – Diseño por flexocompresión**

Para realizar el diagrama de interacción se ha hecho uso de una hoja Excel.

Para ello, hemos realizado en ETABS algunas modificaciones del diseño, para realizar nuestro diagrama de interacción, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 39

Diagrama de interacción



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Colocando en 15 el valor de puntos de interacción.

Ahora hemos proseguido a utiliza la columna que ha tenido mayor ratio de capacidad/demanda a fin de tomar el caso más crítico para la construcción del diagrama de interacción. Siendo en este caso la que ha tenido el coeficiente de 46.7%.

Tabla 23

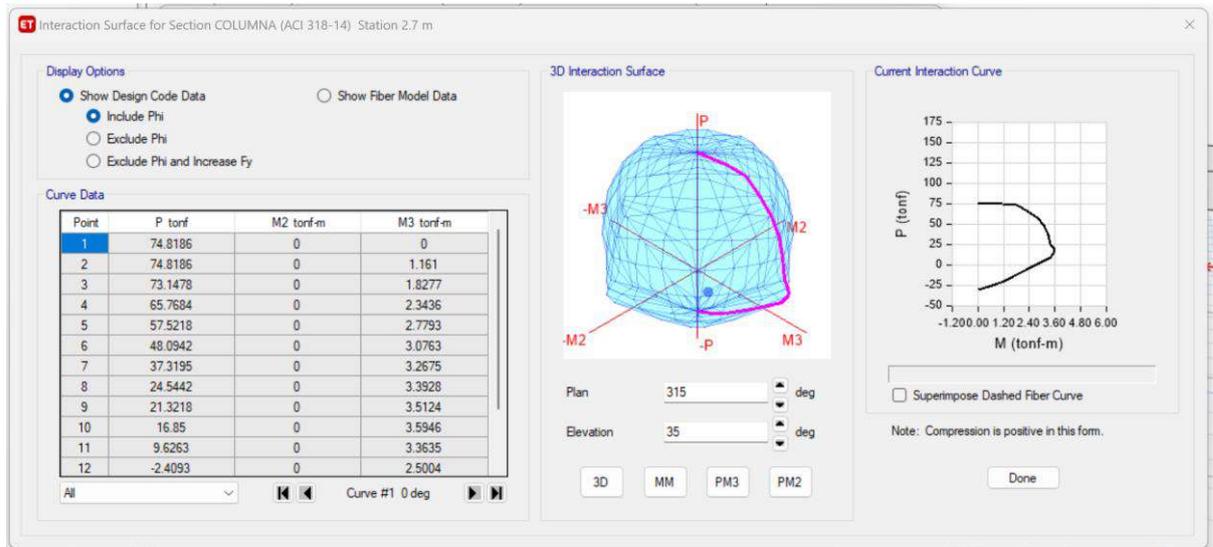
Valores de carga axial y momento

VALORES DE ETABS - DIAGRAMA DE INTERACCIÓN								
Curve #1 0 deg				Curve #7 90 deg				
Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m	Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m	M3 tonf-m
1	74.8186	0	0	1	74.8186	0	0	0
2	74.8186	0	1.161	2	74.8186	1.161	0	0
3	73.1478	0	1.8277	3	73.1478	1.8277	0	0
4	65.7684	0	2.3436	4	65.7684	2.3436	0	0
5	57.5218	0	2.7793	5	57.5218	2.7793	0	0
6	48.0942	0	3.0763	6	48.0942	3.0763	0	0
7	37.3195	0	3.2675	7	37.3195	3.2675	0	0
8	24.5442	0	3.3928	8	24.5442	3.3928	0	0
9	21.3218	0	3.5124	9	21.3218	3.5124	0	0
10	16.85	0	3.5946	10	16.85	3.5946	0	0
11	9.6263	0	3.3635	11	9.6263	3.3635	0	0
12	-2.4093	0	2.5004	12	-2.4093	2.5004	0	0
13	-19.2586	0	1.2355	13	-19.2586	1.2355	0	0
14	-24.8156	0	0.6562	14	-24.8156	0.6562	0	0
15	-30.3726	0	0	15	-30.3726	0	0	0
Curve #13 180 deg				Curve #19 270 deg				
Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m	Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m	M3 tonf-m
1	74.8186	0	0	1	74.8186	0	0	0
2	74.8186	0	-1.161	2	74.8186	-1.161	0	0
3	73.1478	0	-1.8277	3	73.1478	-1.8277	0	0
4	65.7684	0	-2.3436	4	65.7684	-2.3436	0	0
5	57.5218	0	-2.7793	5	57.5218	-2.7793	0	0
6	48.0942	0	-3.0763	6	48.0942	-3.0763	0	0
7	37.3195	0	-3.2675	7	37.3195	-3.2675	0	0
8	24.5442	0	-3.3928	8	24.5442	-3.3928	0	0
9	21.3218	0	-3.5124	9	21.3218	-3.5124	0	0
10	16.85	0	-3.5946	10	16.85	-3.5946	0	0
11	9.6263	0	-3.3635	11	9.6263	-3.3635	0	0
12	-2.4093	0	-2.5004	12	-2.4093	-2.5004	0	0
13	-19.2586	0	-1.2355	13	-19.2586	-1.2355	0	0
14	-24.8156	0	-0.6562	14	-24.8156	-0.6562	0	0
15	-30.3726	0	0	15	-30.3726	0	0	0

Nota: elaboración propia exportando datos del software ETABS

Figura 40

Construcción del diagrama de interacción



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Para ello dentro del diagrama de interacción de ETABS hemos extraído los valores de carga axial y momento en los ángulos de 0°, 90°, 180°, 270°, tanto del momento nominal como del momento afecta del valor phi.

De la misma manera obtenemos el valor del diagrama de interacción nominal.

Tabla 24

Valores del diagrama de interacción nominal

VALORES DE ETABS - DIAGRAMA DE INTERACCIÓN NOMINAL							
Point	Curve #1 0 deg			Point	Curve #7 90 deg		
	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m		P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m
1	115.1055	0	0	1	115.1055	0	0
2	115.1055	0	1.7861	2	115.1055	1.7861	0
3	112.535	0	2.8118	3	112.535	2.8118	0
4	101.1822	0	3.6056	4	101.1822	3.6056	0
5	88.495	0	4.2758	5	88.495	4.2758	0
6	73.991	0	4.7327	6	73.991	4.7327	0
7	57.4147	0	5.0269	7	57.4147	5.0269	0
8	37.7603	0	5.2198	8	37.7603	5.2198	0
9	29.5292	0	4.8644	9	29.5292	4.8644	0
10	20.4754	0	4.368	10	20.4754	4.368	0

11	10.6959	0	3.7372	11	10.6959	3.7372	0
12	-2.677	0	2.7783	12	-2.677	2.7783	0
13	-21.3984	0	1.3728	13	-21.3984	1.3728	0
14	-27.5729	0	0.7291	14	-27.5729	0.7291	0
15	-33.7473	0	0	15	-33.7473	0	0

Curve #13 180 deg				Curve #19 270 deg			
Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m	Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m
1	115.1055	0	0	1	115.1055	0	0
2	115.1055	0	-1.7861	2	115.1055	-1.7861	0
3	112.535	0	-2.8118	3	112.535	-2.8118	0
4	101.1822	0	-3.6056	4	101.1822	-3.6056	0
5	88.495	0	-4.2758	5	88.495	-4.2758	0
6	73.991	0	-4.7327	6	73.991	-4.7327	0
7	57.4147	0	-5.0269	7	57.4147	-5.0269	0
8	37.7603	0	-5.2198	8	37.7603	-5.2198	0
9	29.5292	0	-4.8644	9	29.5292	-4.8644	0
10	20.4754	0	-4.368	10	20.4754	-4.368	0
11	10.6959	0	-3.7372	11	10.6959	-3.7372	0
12	-2.677	0	-2.7783	12	-2.677	-2.7783	0
13	-21.3984	0	-1.3728	13	-21.3984	-1.3728	0
14	-27.5729	0	-0.7291	14	-27.5729	-0.7291	0
15	-33.7473	0	0	15	-33.7473	0	0

Nota: Elaboración propia utilizando el software ETABS

Ahora se ha obtenido el valor de las cargas a las que se ha sometido a la columna.

Figura 41

Valor de cargas sometidas

Story	Column	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Station m	P tonf	V2 tonf	V3 tonf	T tonf-m	M2 tonf-m	M3 tonf-m	Element	Elem Station m
Story1	C10	10	MUERTA	LinStatic			0	-1.4194	-0.1168	0.0481	-0.0001	0.047	-0.1188	10	0
Story1	C10	10	VIVA	LinStatic			0	-2.3744	-0.207	0.0727	-0.0063	0.073	-0.2082	10	0
Story1	C10	10	SDX	LinRespSpec	Max		0	0.2522	0.3419	0.0062	0.0081	0.0116	0.5464	10	0
Story1	C10	10	SDY	LinRespSpec	Max		0	0.3802	0.0314	0.3341	0.0054	0.5385	0.0495	10	0

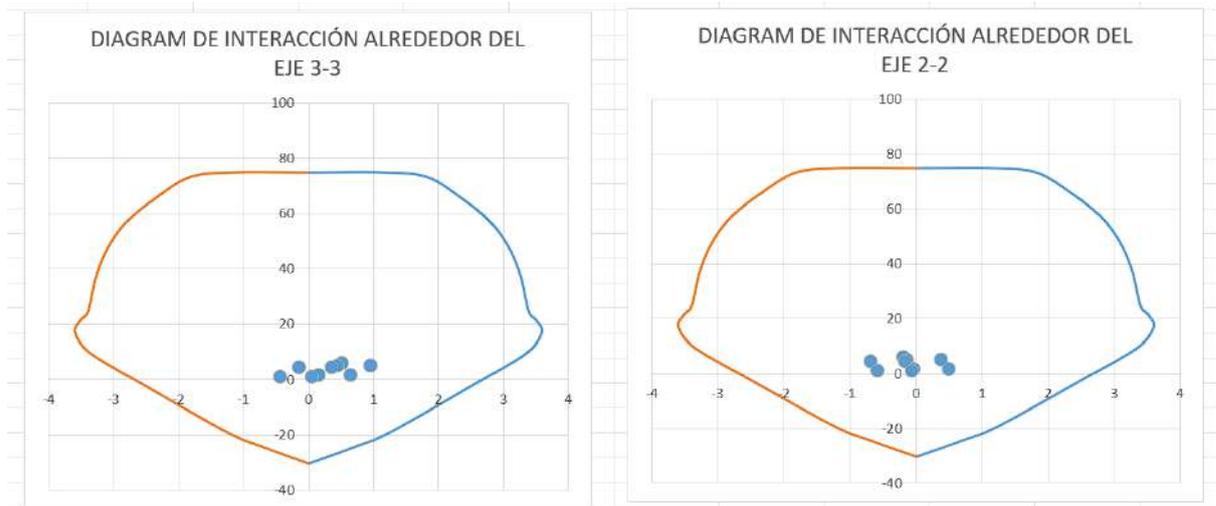
Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

Estos valores son exportados de igual manera a Excel para realizar la construcción del diagrama de interacción.

En el anexo se presentan los resultados y la hoja de cálculo de nuestro diagrama de interacción de nuestra muestra de control. De donde se obtuvo:

Figura 42

Resultado de diagrama de interacción



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

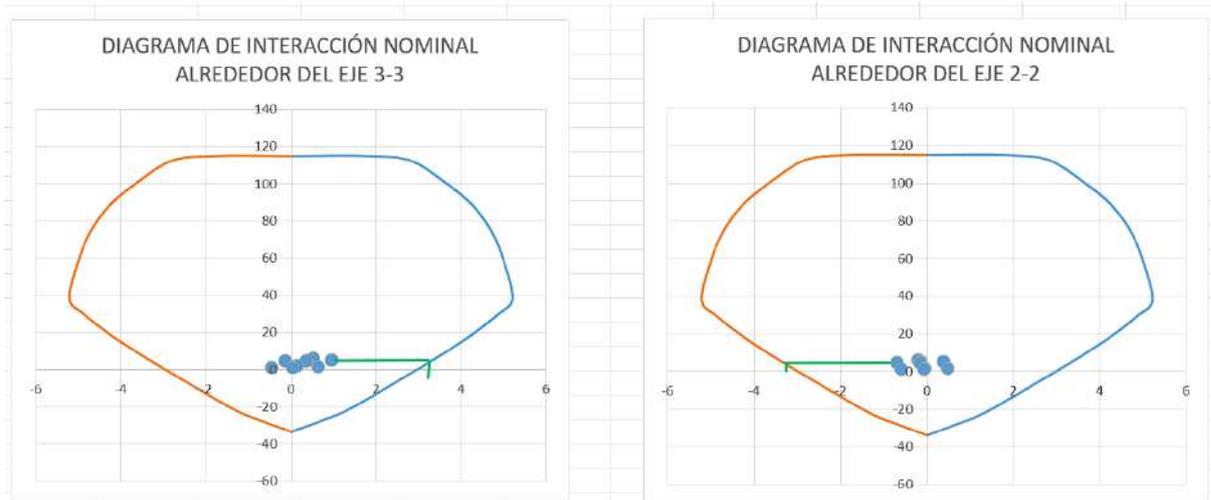
Teniendo el diagrama de interacción, verificamos que todos los pares de fuerza-momento estén dentro de los límites. De esta manera hemos verificado el diseño por flexocompresión.

-Diseño por corte

A continuación, se ha procedido a realizar el diagrama nominal de donde se ha obtenido el valor del momento máximo nominal al cual se ha sometido a nuestra columna. Teniendo en este caso:

Figura 43

Diseño de corte



Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

De esta manera se han obtenido los valores de momento nominal tanto en el eje 3-3 y el eje 2-2. A continuación se ha realizado el diseño del acero transversal:

Figura 44

Valores de momento nominal eje 3-3 y eje 2-2

Mn33				Mn22			
Mn33 (Tn-m)	3.8	f'c (Tn/m2)	2100	Mn22 (Tn-m)	3.8	f'c (Tn/m2)	2100
hn (m)	2.70	Vc (Tn)	3.26	hn (m)	2.70	Vc (Tn)	3.26
Vu22 (Tn)	2.81	Vs (Tn)	0.05	Vu33 (Tn)	2.81	Vs (Tn)	0.05
Øv	0.85	s1 _{lo} (m)	21.41	Øv	0.85	s1 _{lo} (m)	21.41
Øv _l	0.85	s2 _{lo} (m)	0.16	Øv _l	0.85	s2 _{lo} (m)	0.16
Vs (Tn)	3.31	s3 _{lo} (m)	0.46	Vs (Tn)	3.31	s3 _{lo} (m)	0.457
b (m)	0.25	s4 _{lo} (m)	0.25	b (m)	0.25	s4 _{lo} (m)	0.25
h (m)	0.25	s5 _{lo} (m)	0.25	h (m)	0.25	s5 _{lo} (m)	0.25
d (m)	0.17	s _{lo} (m)	0.16	d (m)	0.17	s _{lo} (m)	0.16
fy (Tn/m2)	42000			fy (Tn/m2)	42000		
Av (cm2)	1.42			Av (cm2)	1.42		
db (pulg)	5/8			db (pulg)	5/8		
dbh (pulg)	3/8			dbh (pulg)	3/8		
s1 (m)	0.31	bc (m)	0.17	s1 (m)	0.31	bc (m)	0.17
s2 (m)	0.10	s (m)	0.05	s2 (m)	0.10	s (m)	0.05
s3 (m)	0.08	Ag (m2)	0.0625	s3 (m)	0.08	Ag (m2)	0.0625
s4 (m)	0.10	Ach (m2)	0.0289	s4 (m)	0.10	Ach (m2)	0.0289
s (m)	0.08	Ash1 (cm2)	1.482	s (m)	0.08	Ash1 (cm2)	1.48
Lo (m)	0.50	Ash2 (cm2)	0.38	Lo (m)	0.50	Ash2 (cm2)	0.38
Usar []: Ø3/8" 8@0.05, Rto.@0.15				Usar []: Ø3/8" 8@0.05, Rto.@0.15			

Nota: elaboración propia utilizando el software ETABS

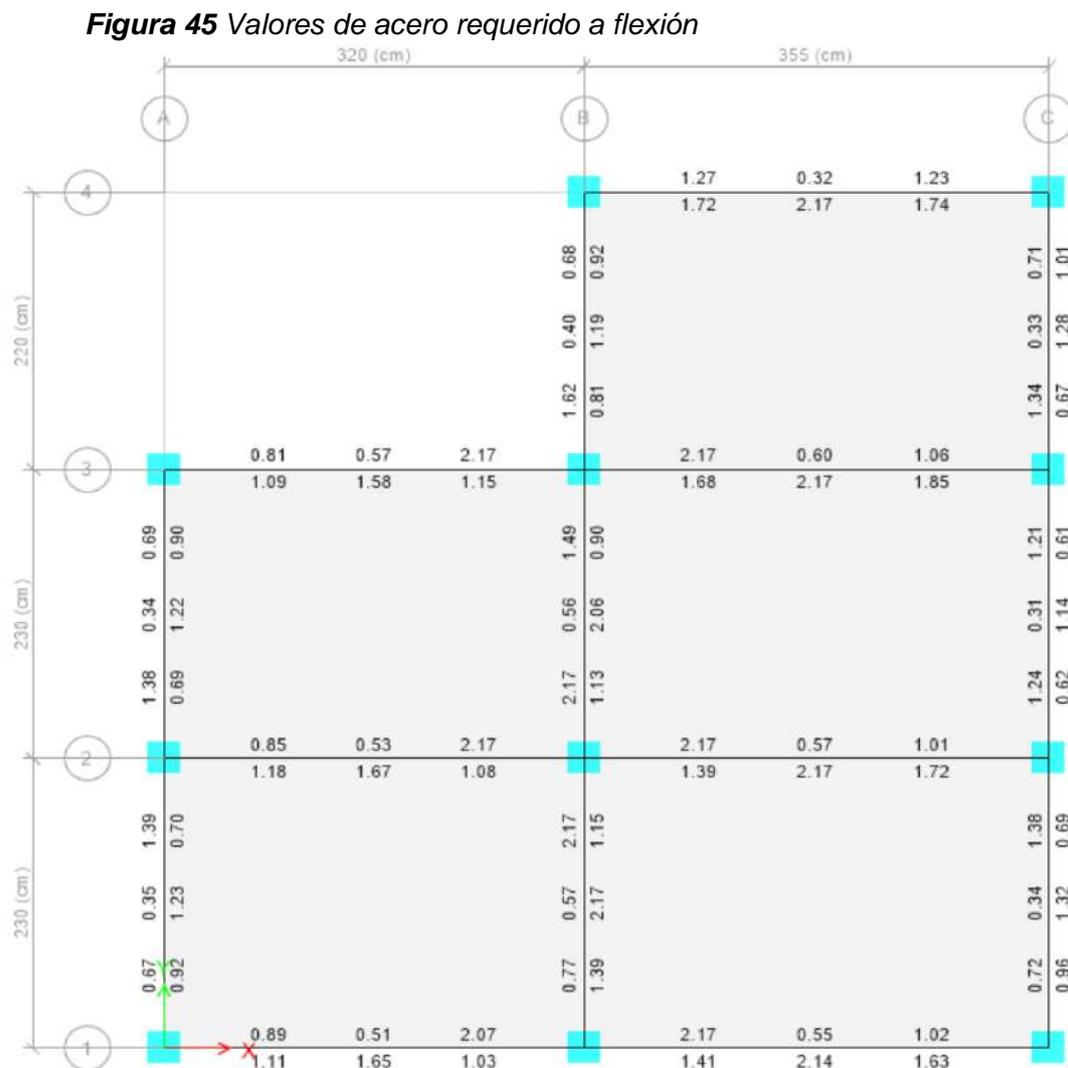
De donde se ha obtenido 8 aceros a 5 cm de 3/8" en los primeros 50 cm y el resto a 15 cm; con un acero longitudinal de 4 aceros de 5/8", finalizando el proceso de diseño.

4.8. Diseño estructural de vigas

Se realizo el diseño por flexión y corte de los elementos vigas de nuestros pórticos, para ello se ha procedido en la muestra de control dentro de ETABS a realizar el diseño.

4.8.1. Diseño por flexión de vigas

Obteniendo los siguientes valores requeridos de acero para el diseño a flexión.



Nota: Elaboración propia extraído de ETABS.

De donde se ha establecido que el mayor valor de las vigas en el momento negativo es de 2.17 y en el momento positivo es de 2.17.

Tabla 25

Valores de acero a flexión requeridos.

Área de acero Longitudinal Requerido			
		A-B	B-C
1	As+ (cm2)	2.07	2.14
	As- (cm2)	1.65	2.17
2	As+ (cm2)	2.17	2.17
	As- (cm2)	1.67	2.17
3	As+ (cm2)	2.17	2.17
	As- (cm2)	1.58	2.17
4	As+ (cm2)		2.17
	As- (cm2)		1.27

Área de acero Longitudinal Requerido				
		1-2	2-3	3-4
A	As+ (cm2)	1.39	1.38	
	As- (cm2)	1.23	1.22	
B	As+ (cm2)	2.17	2.17	1.62
	As- (cm2)	2.17	2.06	1.19
C	As+ (cm2)	1.38	1.24	1.34
	As- (cm2)	1.32	1.14	1.28

De las áreas de acero requeridas se ha propuesto tanto para el área negativa y área positiva 2 varillas de acero de $\frac{1}{2}$ " , teniendo un área final de 2.58 cm², en cada zona.

4.8.2. Diseño por corte de vigas

Para el diseño de corte de las vigas se ha procedido a obtener el valor de la cortante de la demanda de la viga y se ha tomado en consideración la capacidad de la viga que puede resistir, que está compuesto por la resistencia al corte del concreto y el acero.

Es importante diferenciar que tendremos el diseño por corte en la zona de confinamiento y fuera de la zona de confinamiento.

- **Diseño de corte de vigas en zona de confinamiento**

Del valor final del área final de acero longitudinal se ha calculado el valor de la altura de compresión del bloque equivalente (a) y el valor del Momento Nominal, de donde se ha obtenido el valor de la cortante a la cual se ha sometido las vigas. En el anexo 8, se presenta la hoja de cálculo del diseño transversal en la zona de confinamiento obteniendo un espaciamiento distribuido de la siguiente manera.

$\emptyset 3/8''$ 13@0.05

- **Diseño de corte de vigas en zona de no confinamiento**

El diseño de corte fuera de la zona de no confinamiento de 60cm es incluyendo el aporte de la resistencia del concreto del acero y el concreto al mismo tiempo, según nuestro anexo 8, donde se muestra el diseño a corte de las vigas, se a obtenido que el cortante requerido de 3.64 tn, es absorbido por la resistencia al corte del concreto, siendo no requerido según este primer criterio acero transversal.

Vu2h(Tn)	Vc(Tn)	Vs2h
3.64	4.99	0.00

Sin embargo, según la NTP E.060 se incluyen el criterio que las distancias de acero transversal en zona de no confinamiento no serán menores a la mitad de la altura efectiva de la viga, siendo en este caso la distancia de 13 cm, razón por la cual se toma una distancia final de 10cm para toda la zona de no confinamiento.

Teniendo de esta manera la siguiente distribución para todo el acero transversal de las vigas.

$\emptyset 3/8''$ 13@5cm , resto @10 cm

Capítulo 5. Desarrollo de la investigación: Muestra Experimental

En este capítulo se desarrolló el proceso de diseño estructural para las vigas y columnas de nuestra unidad de análisis, utilizando la programación algorítmica visual de DYNAMO, apoyada del lenguaje de programación de PYTHON 3.8., tomándose este modelo como nuestra muestra experimental (ME).

Se ha tomado en cuenta que nuestra muestra experimental (ME), tendrá la misma unidad de análisis que la muestra de control (MC).

En la figura 48 podemos observar el flujo de trabajo en el que nos hemos enfocado en el análisis y diseño estructural, donde las casillas de rojo son los algoritmos que se han utilizado dentro de los procesos y los algoritmos para la generación de documentación en las casillas verdes.

5.1. Modelo de estudio

Se ha tomado como modelo de estudio el mismo que el modelo de control (MC). Dentro de este modelo se ha estudiado la aplicación de los algoritmos en el modelado, análisis, diseño y documentación de la vivienda.

5.2. Materiales

Las características de los materiales utilizados del concreto armado es el mismo que el utilizado en el modelo de control (MC).

Tabla 26.

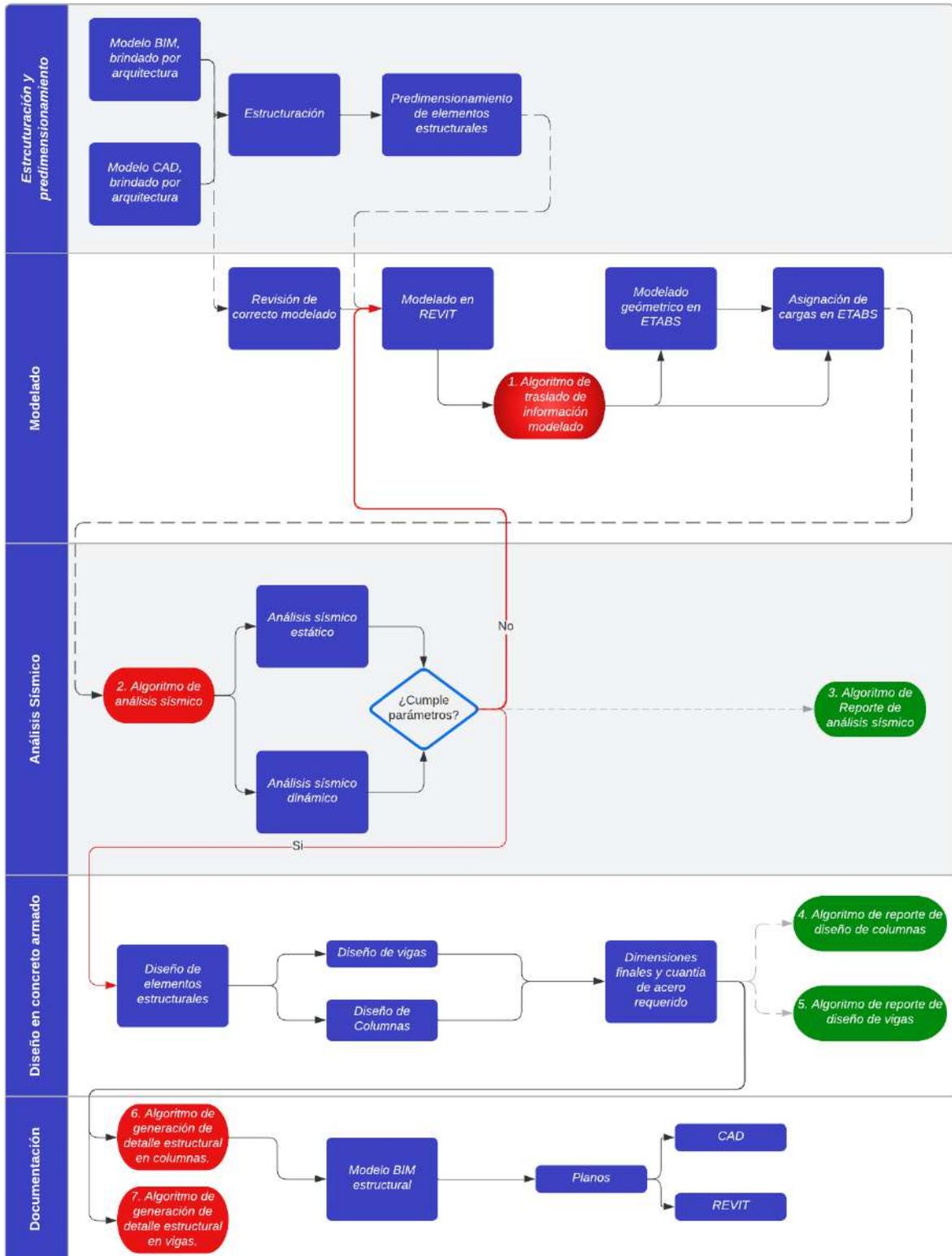
Características del concreto.

Características Concreto	
Resistencia a la compresión ($f'c$)	210 kg/cm ²
Módulo de Elasticidad ($E_c = 15000\sqrt{f'c}$)	217370.65 kg/cm ²
Módulo de Corte ($G_c = E_c/(2(\mu_c + 1))$)	94508.98 kg/cm ²
Módulo de Poisson (μ_m)	0.15
Deformación unitaria	0.003
Peso volumétrico	2400 kg/m ³

Nota: Elaboración propia

Figura 46

Flujo de trabajo de la investigación en la muestra experimental.



Nota: Elaboración propia

Tabla 27.

Características del acero.

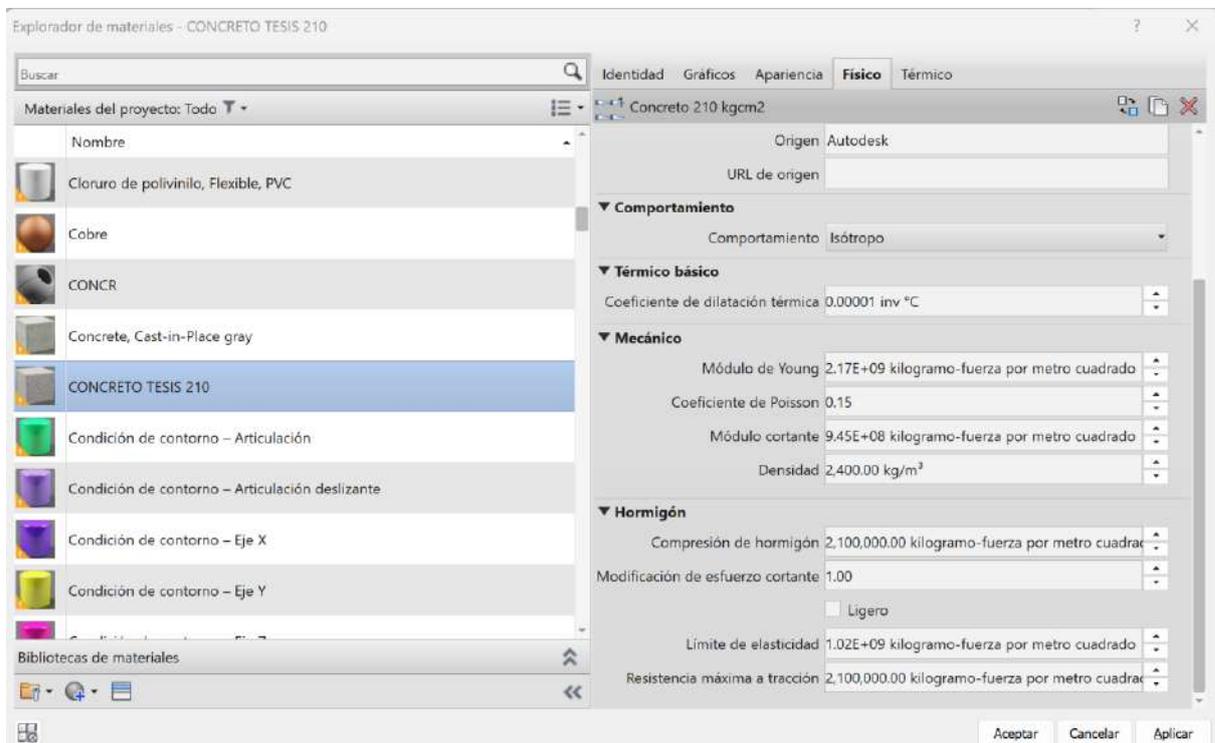
Características Acero	
Esfuerzo a la fluencia (fy)	4200 kg/cm2

Nota: Elaboración propia

Estos valores fueron colocados en Revit para nuestro flujo de trabajo, el mismo que se trasladó como información hasta la obtención de los planos, con el nombre de CONCRETO TESIS 210; como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 47

Flujo de trabajo



Nota: Elaboración propia

El acero se colocó dentro de ETABS, con el nombre de ACERO TESIS.

Figura 48.

Colocación de Acero en ETABS.

ET Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: ACERO TESIS

Material Type: Rebar, Uniaxial

Grade: Grade 60

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, F_y	4200	kgf/cm ²
Minimum Tensile Strength, F_u	4200	kgf/cm ²
Expected Yield Strength, F_{ye}	4200	kgf/cm ²
Expected Tensile Strength, F_{ue}	4200	kgf/cm ²

OK Cancel

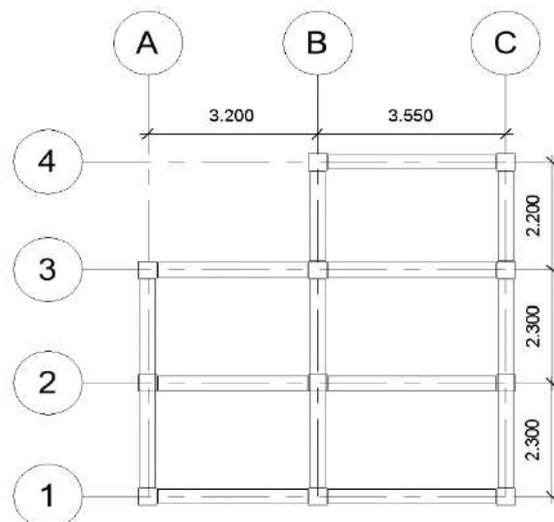
Nota: Elaboración propia

5.3. Estructuración

La estructuración es la misma que la realizada en la muestra de control.

Figura 49

Estructuración en planta de modelo de estudio



5.4. Pre-dimensionamiento

Se toma las mismas dimensiones que en el modelo de control, siendo en este caso:

Tabla 28

Pre-dimensionamiento

	Ancho	Peralte
Vigas	25 cm	30 cm
Columnas	25 cm	25cm
Losa aligerada		Espesor 20 cm

Nota: Elaboración propia

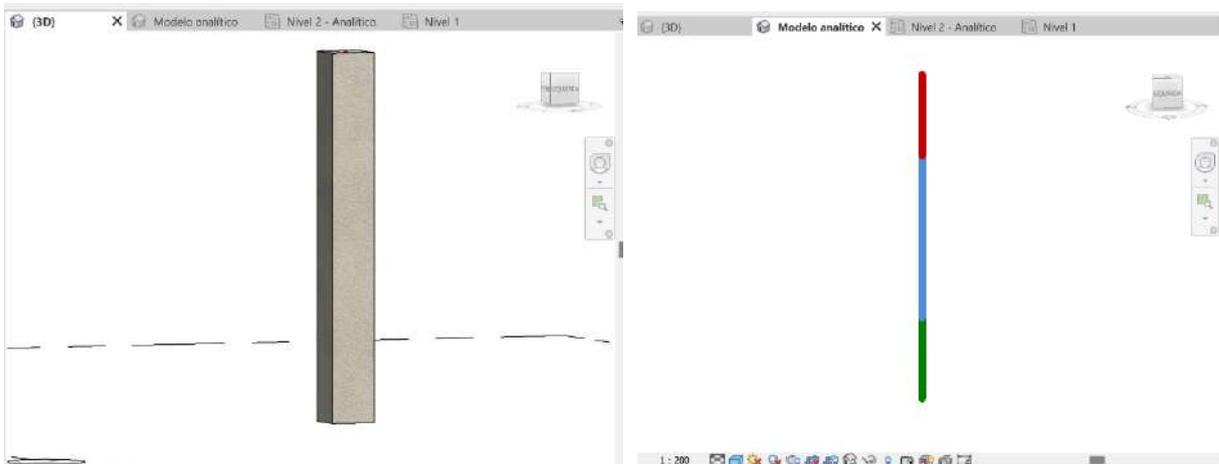
5.5. Modelamiento

En esta etapa se realizó el correcto modelamiento de nuestra vivienda, desde el punto de vista estructural, esto implica tener en cuenta la vista analítica de los modelos estructurales, para tener el adecuado comportamiento para el análisis y diseño de los elementos. Esto implica que el modelamiento BIM que realizamos debe realizarse desde un inicio con la visión de tener comunicación con los otros softwares de diseño, para este fin, tomamos en cada elemento dos funciones:

- Como elemento de modelo BIM, que conste con propiedades de material, dimensión, propiedades mecánicas, propiedades físicas, estéticas, textura, etc.
- Como elemento estructural, que pueda transmitir esfuerzos entre elementos estructurales.

Figura 50

a) Izquierda, elemento estructural BIM, b) Derecha, vista analítica de elemento estructural



Nota: Elaboración propia

En esta investigación hemos tomado el modelado dentro del software de Revit a fin de establecer una comunicación BIM entre la disciplina estructural y las otras disciplinas del proyecto.

Es importante indicar que REVIT junto a los algoritmos en DYNAMO nos permite tener una comunicación BIDIRECCIONAL con ETABS, es por ello por lo que se ha tomado énfasis en el correcto modelado en REVIT desde la vista analítica, puesto que cada elemento debe transmitir los esfuerzos de la manera correcta.

Figura 51

a) Izquierda, modelo 3D de sistema estructural. b) Derecha, modelo analítico 3D, del modelo de estudio

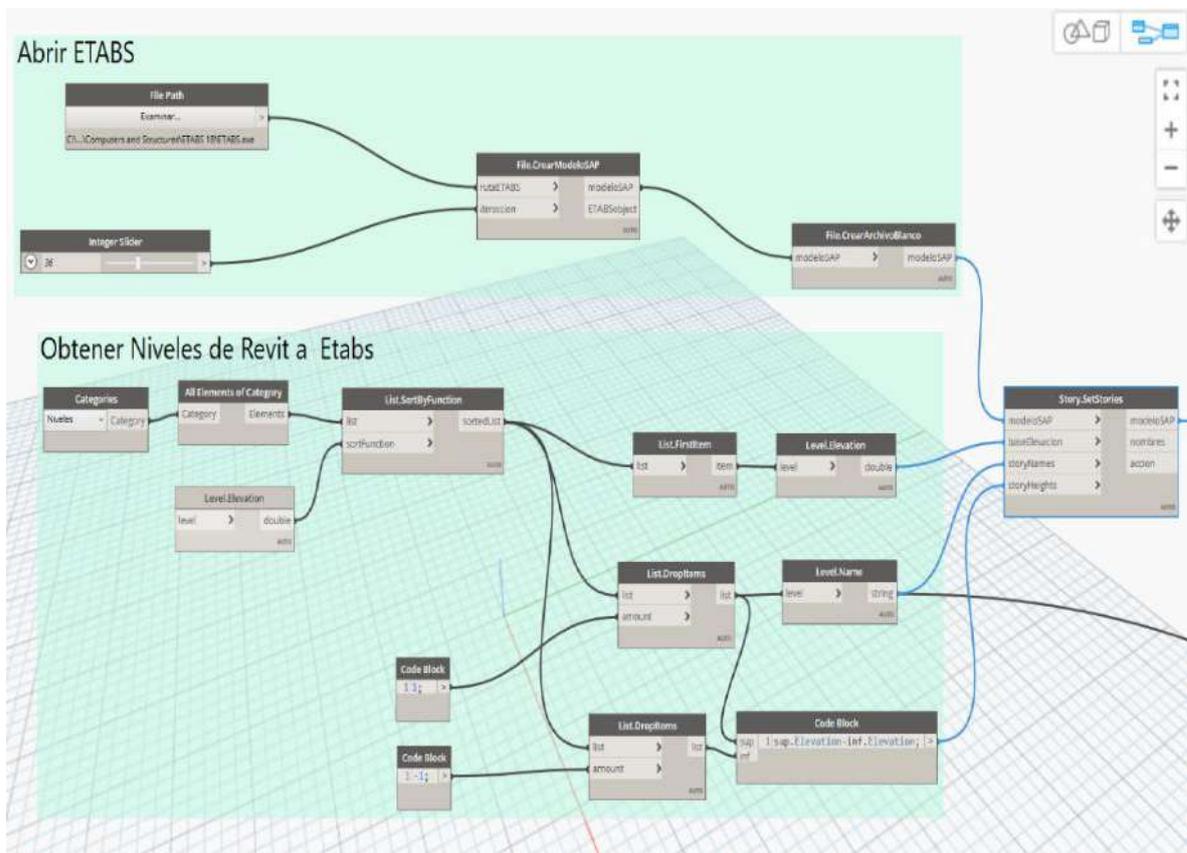


Una vez obtenido el modelo en REVIT procedemos a utilizar nuestro primer algoritmo de obtención de información de REVIT a ETABS, que contempla como se observa en la siguiente imagen en tres zonas:

- Nodos generales: Establecido como color turquesa, son nuestros nodos de apertura, que implican abrir ETABS desde DYNAMO, abrir un modelo en blanco en ETABS y obtener las propiedades de elevación del modelo de REVIT.

Figura 52

Nodos de apertura de ETABS

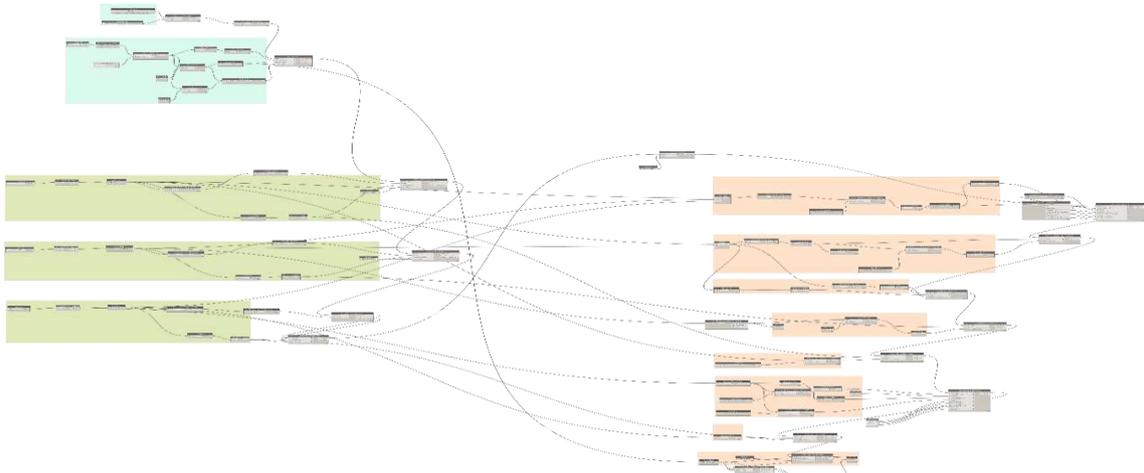


Nota: Elaboración propia

- Nodos de geometría: Establecido en color verde, son los nodos para establecer la extracción de información de REVIT.
- Nodos de ETABS: Establecidos en color naranja, son los nodos para establecer la información dentro de ETABS.

Figura 53

Traslado de niveles de REVIT



Nota: *Elaboración propia – Imagen representativa del algoritmo 1, se presenta en el anexo 2, la perspectiva general.*

5.5.1. Algoritmo 1: Obtención de información de REVIT y trasladarlo a ETABS.

Establecemos este algoritmo a fin de trasladar la información requerida a enviar a ETABS, desde la geometría y materiales de los elementos viga, losa, columna (longitud, posición en el espacio, secciones).

Tabla 29:

Tipo de información requerida de los elementos estructurales de REVIT

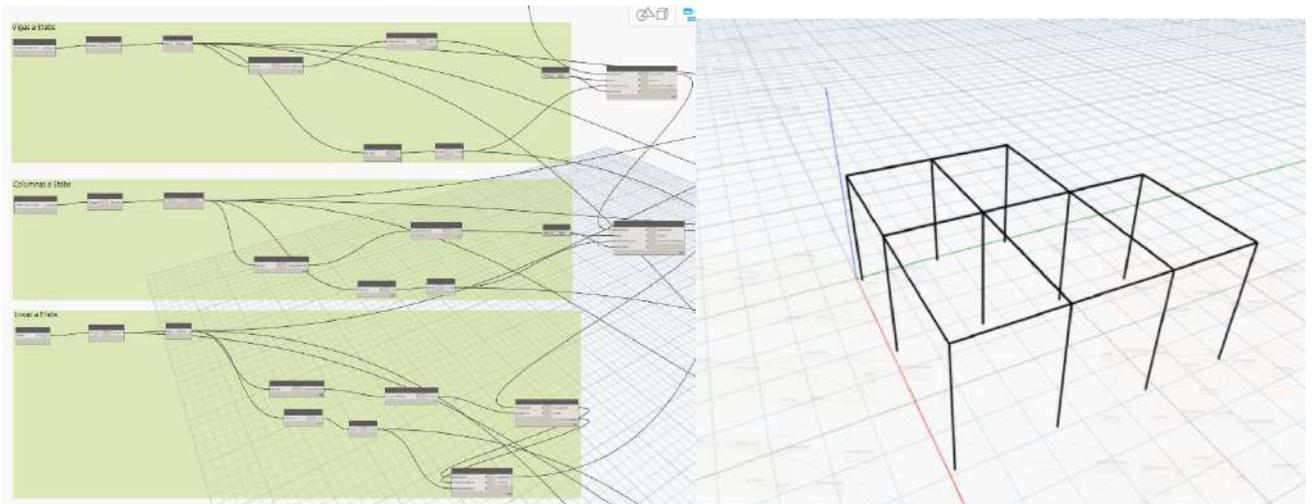
INFORMACIÓN	TIPO EN DYNAMO
Inicio y fin	Point
Longitud	Line
Material	String
Sección	String
Número de elemento (ID)	Number

Nota: *Elaboración propia*

Estas propiedades, al ya estar definidas en REVIT fueron trasladadas a DYNAMO ya sea como información de *string*, *boolean*, *line*, *point*. De esta manera se obtiene la información geométrica de los elementos estructurales como se establece en la tabla anterior. Obteniendo la información requerida como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 54

Información geométrica de los elementos estructurales



Nota: Elaboración propia

Este algoritmo nos permite realizar el modelamiento en 3D dentro de ETABS. Es así que teniendo la información dentro de DYNAMO, se procedió a trasladar esta información a ETABS, tomando como criterio que dentro de ETABS se toman los elementos como la siguiente tabla, donde cada tipo de información que tenemos en DYNAMO es trasladada a los elementos de información en ETABS.

Tabla 30.

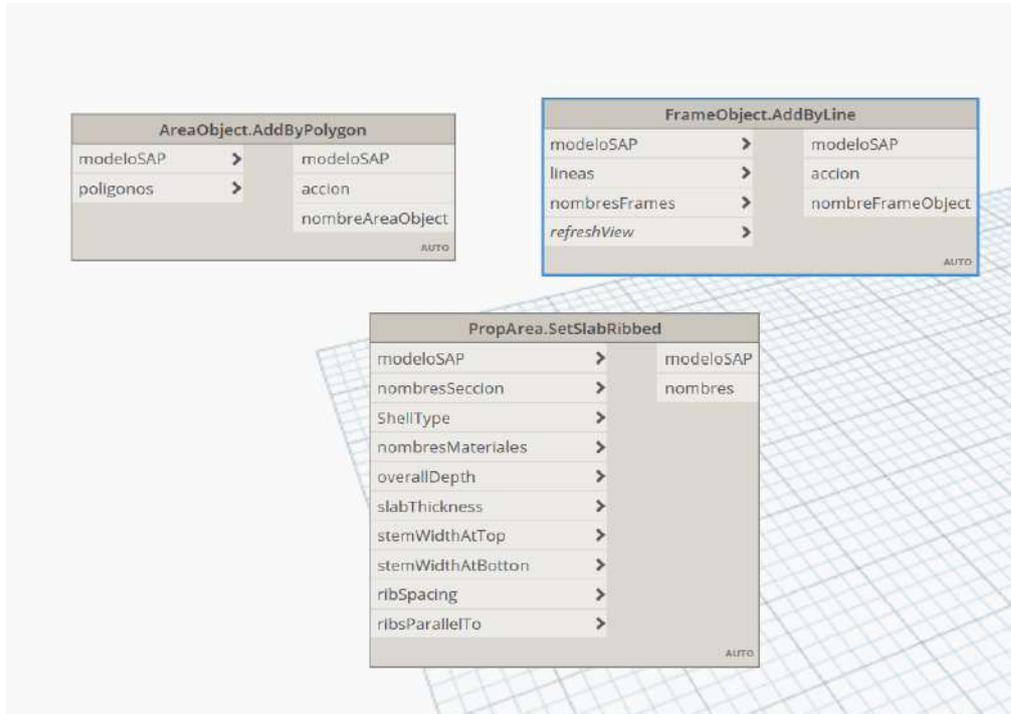
Tipo de ETABS

INFORMACIÓN	TIPO EN ETABS
Vigas y columnas	Frame
Losa	Slab seccion (Ribbed)
Material	Material properties

Nota: Elaboración propia

Figura 55

Nodos en DYNAMO de generación de elementos en ETABS

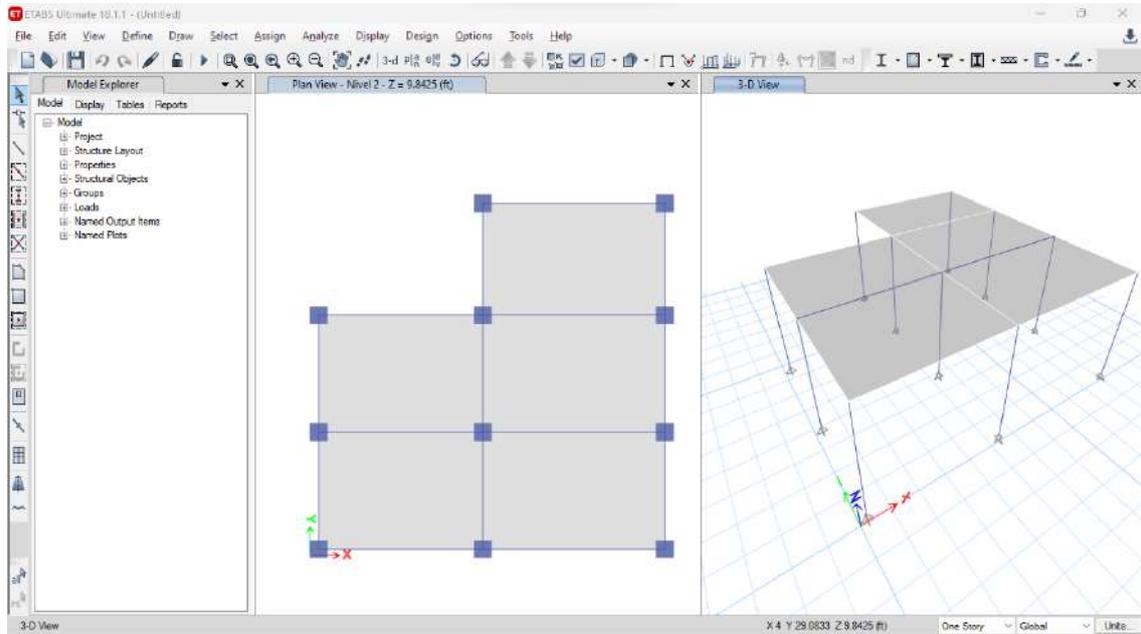


Nota: Elaboración propia

Esto se realizó con los nodos de DYNAMO, permitiéndonos tener la disciplina estructural del modelo BIM de REVIT dentro del entorno de ETABS.

Figura 56

Modelo analítico en ETABS, generado por DYNAMO

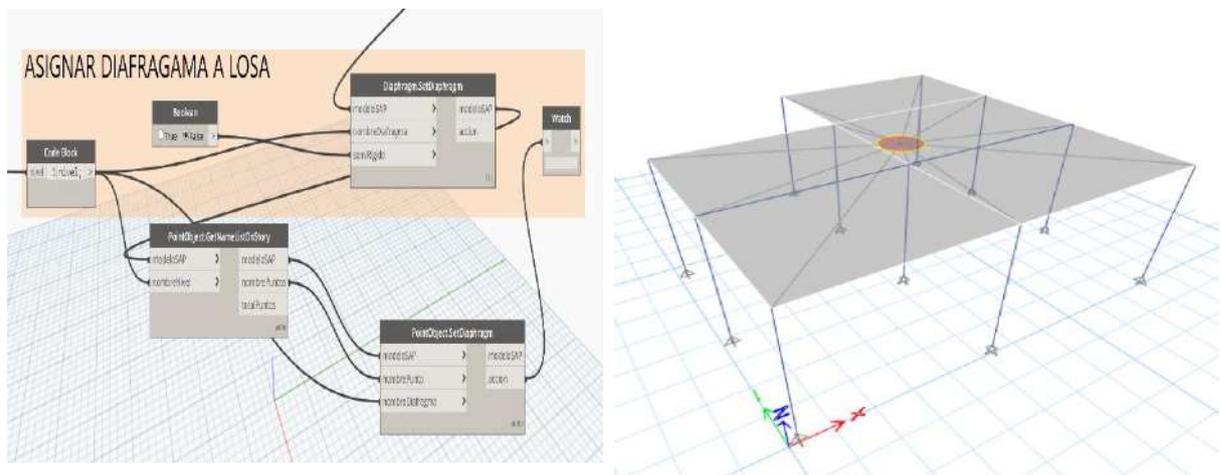


Nota: Elaboración propia

Dentro de los nodos que realizamos en DYNAMO podemos realizar el diafragma rígido de los niveles del edificio.

Figura 57

a) Izquierda, nodos de diafragma rígido en DYNAMO. b) Derecha, diafragma generado en ETABS



Nota: Elaboración propia

De esta manera obtenemos el modelado de la estructura dentro de ETABS y procedemos al traslado de información para el análisis sísmico y diseño estructural.

5.5.2. Restricciones

Existen ciertas características dentro de ETABS que aún no pueden ser obtenidas por DYNAMO, por ejemplo, las restricciones de la base, los brazos rígidos, excentricidades; para que estas características puedan ser obtenidas por DYNAMO.

Para nuestro modelamiento estas se colocan de manera manual, sin embargo, el uso de brazo rígido y excentricidades dependerá del criterio del ingeniero estructural.

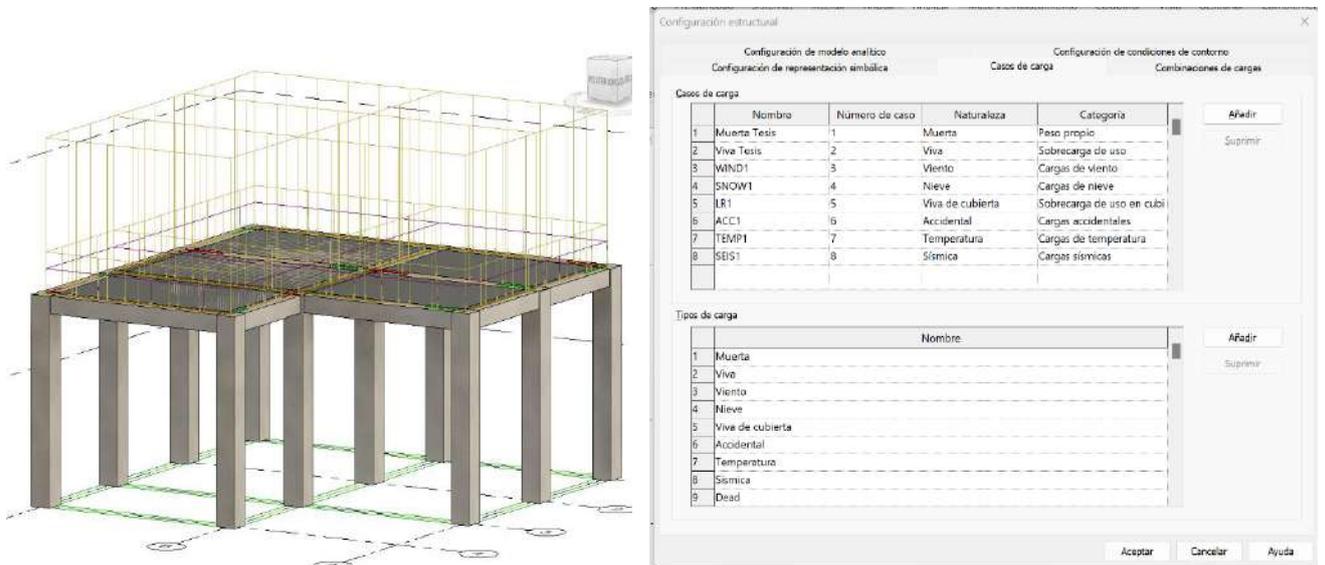
5.6. Algoritmo 2: Generación de sismo en ETABS

Dentro del análisis sísmico se ha realizado el análisis sísmico estático lineal y el análisis sísmico dinámico modal espectral, puntos que fueron explicados en el punto 2.4.

A fin de realizar el análisis sísmico en ETABS tomando como herramienta DYNAMO debemos de llevar la información del modelo analítico de REVIT y las cargas vivas y muertas.

Figura 58

Modelo analítico REVIT, cargas vivas y muertas



Nota: Elaboración propia

Tomando en cuenta esta información a trasladar a ETABS, ahora dentro de DYNAMO se ha obtenido los elementos necesarios para tener un análisis sísmico correcto.

5.6.1. Cargas utilizadas

Se ha utilizado las mismas cargas y combinaciones de cargas establecidas en la muestra de control (MC).

5.6.2. Parámetros Sísmicos

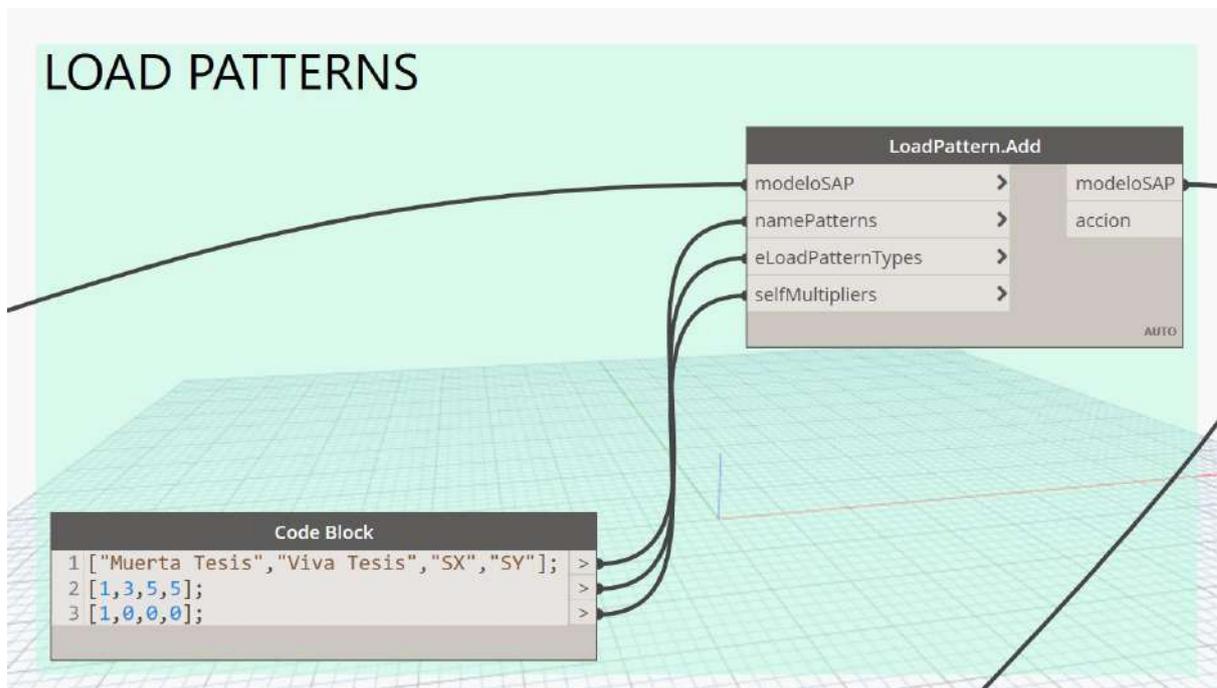
Se ha tomado los mismos parámetros sísmicos que la muestra de control.

5.6.3. Patrones de cargas

Generamos los patrones de carga requeridos en ETABS, dentro de DYNAMO siendo en este caso requeridos: carga viva, carga muerta, sismo estático en el eje X (SX), sismo estático en el eje Y (SY).

Figura 59

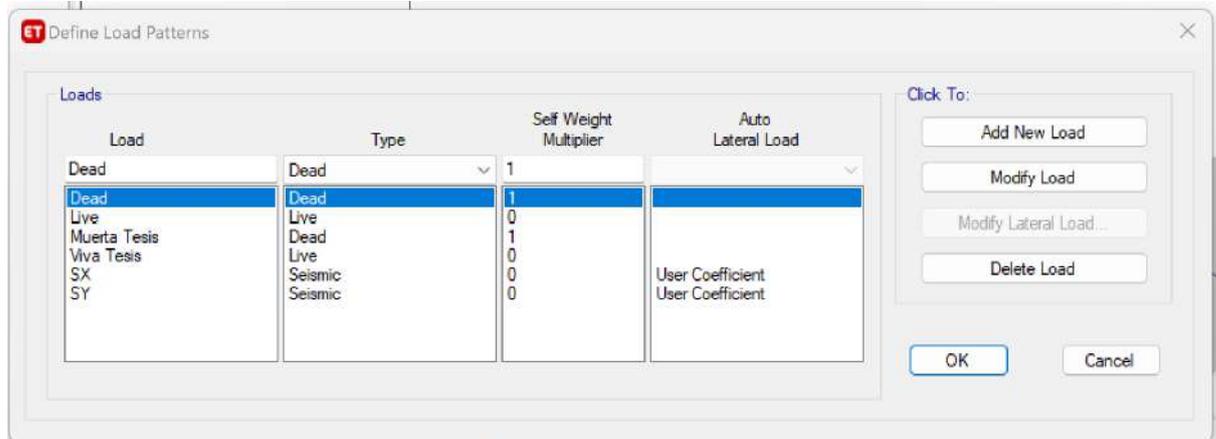
Patrones de carga



La que generada en ETABS nos da el resultado como la manera manual de realizarlo.

Figura 60

Coefficientes de sismo X y Y



Nota: Elaboración propia

Es importante indicar que para el caso de los sismos en X y Y debemos establecer el uso de coeficientes de forma manual.

5.6.4. Cargas puntuales, lineales y superficiales

Se ha trasladado las cargas puntuales, lineales y superficiales primeramente a DYNAMO y posteriormente trasladado a ETABS, para ello debemos identificar el tipo de información que requiere ETABS de los elementos de cargas:

Tabla 31

Información de cargas

INFORMACIÓN DE CARGAS		
Característica	Descripción	Tipo en DYNAMO
Tipo	Puntual, lineal, superficial	String
Magnitud	Magnitud de carga	String
Elemento Hospedado	Elemento donde se aplica la carga	String

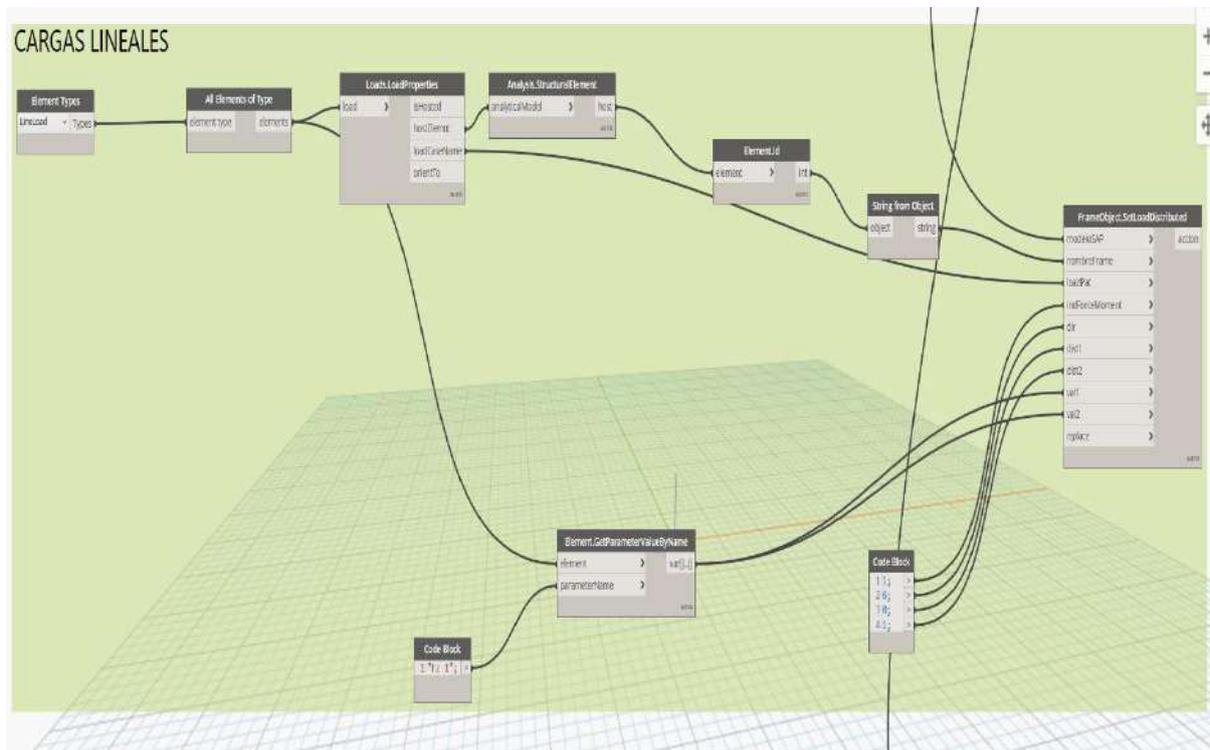
Nota: Elaboración propia

Para el modelo en estudio se ha trasladado cargas lineales y superficiales, donde las cargas lineales están hospedadas en elementos vigas y las cargas superficiales en los elementos losas.

- Cargas hospedadas en elementos frame: Identificamos como elementos frame nuestras vigas y columnas, donde se ha trasladado la información de cargas lineales, a elementos tipo FRAME.

Figura 61

Carga hospedadas en elementos frame, traslado en ETABS a tipo FRAME

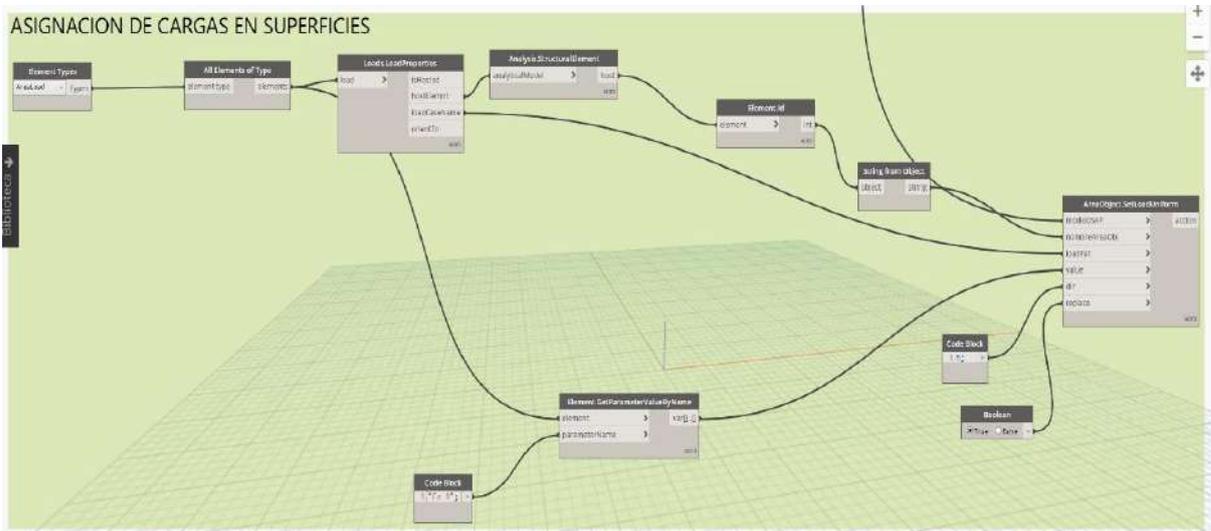


Nota: Elaboración propia

- Cargas hospedadas en elementos área: Identificamos como elementos área nuestras losas aligeradas donde se ha trasladado la información de cargas superficiales.

Figura 62

Cargas hospedadas en elementos de área, traslado de losas aligeradas a cargas superficiales

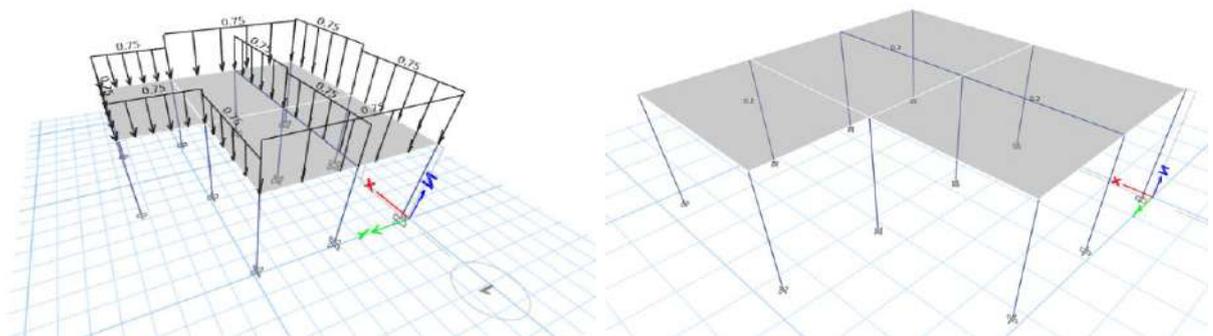


Nota: Elaboración propia

Identificados la información ya obtenida en DYNAMO, se ha ejecutado el algoritmo 2 para obtenerlo en ETABS, dentro del modelo generado en el y se obtenido las cargas como en la siguiente imagen.

Figura 63

Ejecución del algoritmo para obtener en ETABS



Nota: Elaboración propia

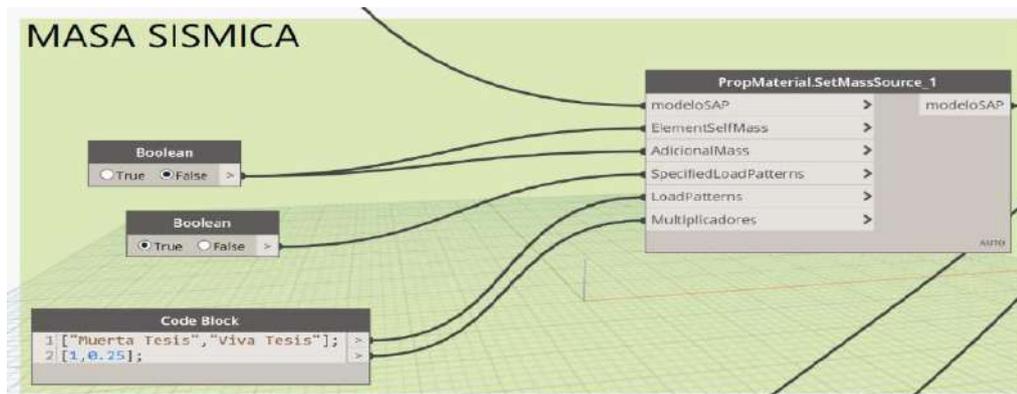
5.6.5. Masa sísmica

Para la obtención de la masa sísmica se ha tomado lo indicado en la norma E.030, como se ha planteado el uso para vivienda y teniendo un tipo de edificación común, se tiene que el peso sísmico a considerar será del 100% carga muerta y 25% de carga viva.

Esto mismo se ha colocado en el algoritmo en DYNAMO que nos permite obtener el peso sísmico en ETABS como MassSource.

Figura 64

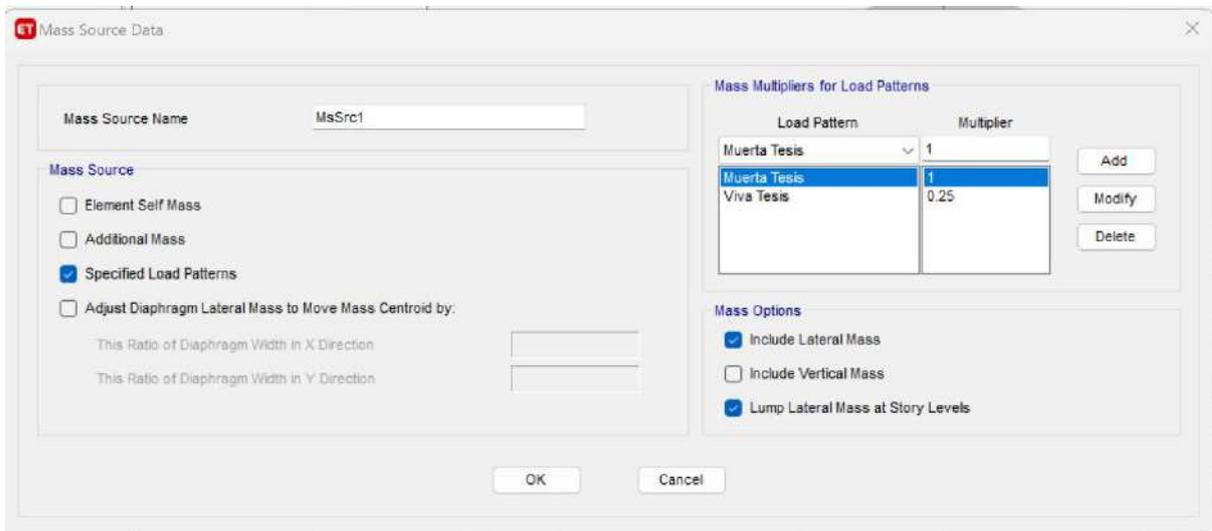
Masa sísmica



Nota: Elaboración propia

Figura 65

Peso sísmico en ETABS como MassSource



Nota: Elaboración propia

5.6.6. Irregularidades

Realizamos el análisis de las irregularidades de acuerdo con lo indicado en el punto 2.4.3. y 2.4.4, para nuestro caso de estudio tenemos:

Tabla 32

Irregularidades

Tipo de irregularidad		Coefficiente	Estado
Irregularidad en Altura	Irregularidad de rigidez - Piso Blando	0.75	No
	Irregularidad extrema de rigidez	0.5	No
	Irregularidad de masa o peso	0.9	No
	Irregularidad geométrica vertical	0.9	No
	Irregularidad torsional	0.75	No
Irregularidad en Planta	Irregularidad torsional extrema	0.6	No
	Esquina entrante	0.9	Si
	Discontinuidad de diafragma	0.85	No
	Sistemas no paralelos	0.9	No

Nota: Elaboración propia

Del análisis tenemos irregularidad en planta de esquina entrante, donde $I_p = 0.9$.

Donde tenemos que el valor de R es:

$$R = I_p * I_a * R_0 = 0.9 * 1 * 8 = 7.2$$

5.6.7. Análisis sísmico estático

De acuerdo con lo establecido en el punto 2.4.1, se realiza el análisis sísmico estático, para lo cual obtenemos la cortante basal del modelo de estudio, ya teniendo los Parámetros Sísmicos en el punto 5.5.4. y las irregularidades en el punto 5.5.8. podemos obtener nuestro coeficiente sísmico.

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = 0.1215 \times P$$

Donde:

$$P = \text{Pesos sísmico de la edificación}$$

5.7. Algoritmo 3: Generación de reporte de sismo de ETABS

Hemos generado un algoritmo dentro de DYNAMO que nos permite obtener los datos directos de ETABS y enviarlos a MATHCAD, a fin de tener un reporte inmediato de los datos en interés del análisis sísmico estático.

Del reporte obtenido tenemos que el cortante basal estático en X y Y:

$$V_{xest} = 3.988 \text{ tonf}$$

$$V_{yest} = 3.988 \text{ tonf}$$

El reporte final se muestra en el anexo 4.

5.8. Algoritmo 4: Diseño a flexocompresión y corte de columnas en MATHCAD

Obtenido los datos de los 3 algoritmos anteriores, se ha procedido a la generación de un algoritmo para el diseño de las columnas a flexocompresión y corte, realizando la comunicación de los resultados obtenidos en ETABS a MATHCAD mediante DYNAMO.

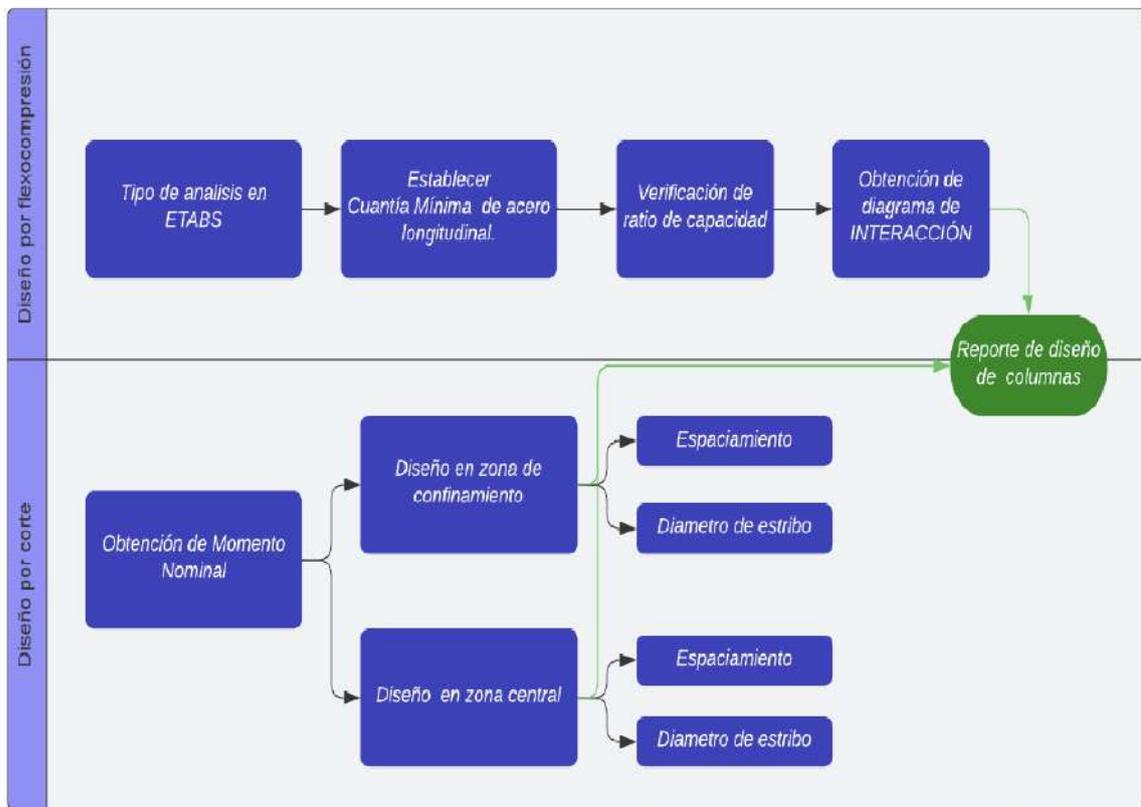
Del punto 5.4. obtenido el pre-dimensionamiento y verificado el análisis sísmico obtenemos los momentos a los cuales son sometidos nuestras columnas dentro de ETABS.

Si bien todos nuestros elementos columna tienen la misma dimensión de 25x25 cm, nos enfocaremos en la más crítica y realizar todo el proceso de diseño para el mismo.

En el siguiente flujograma, se presenta el proceso del flujo de trabajo que se ha seguido.

Figura 66

Flujo de diseño de columnas



Nota: Elaboración propia

5.8.1. Diseño por flexo compresión

Para realizar nuestro diseño por flexo compresión se ha establecido los procesos del flujograma anterior, para lo cual:

- Tipo de análisis en ETABS: Hemos establecido un tipo de trabajo en ETABS para el cálculo de la columna, ya sea por chequeo o por diseño. Para nuestro interés particular hemos establecido que se realice el cálculo por chequeo, debido a que ya tenemos predimensionado las columnas.

Figura 67.

Tipo de cálculo en ETABS.

The image shows a screenshot of the ETABS software interface, specifically the 'Design Type' dialog box. The dialog is divided into several sections:

- Design Type:** 'P-M2-M3 Design (Column)' is selected with a radio button.
- Rebar Material:** 'A615Gr60' is selected for both 'Longitudinal Bars' and 'Confinement Bars (Ties)'.
- Reinforcement Configuration:** 'Rectangular' is selected with a radio button.
- Confinement Bars:** 'Ties' is selected with a radio button.
- Check/Design:** 'Reinforcement to be Checked' is selected with a radio button.
- Longitudinal Bars:**
 - Clear Cover for Confinement Bars: 0.0381 m
 - Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 2
 - Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 2
 - Longitudinal Bar Size and Area: #6, 0.000284 m²
 - Corner Bar Size and Area: #6, 0.000284 m²
- Confinement Bars:**
 - Confinement Bar Size and Area: #3, 0.000071 m²
 - Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.1524 m
 - Number of Confinement Bars in 3-dir: 2
 - Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

At the bottom of the dialog, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Nota: Elaboración propia

- Cuantía de acero longitudinal: De acuerdo con lo descrito en el punto 2.5.4, realizamos el cálculo de la cuantía longitudinal de la columna, la cual debería de encontrarse entre 1% a 6% del área de la sección de la columna, el mismo valor que colocamos en ETABS para que haga el cálculo según el punto anterior.

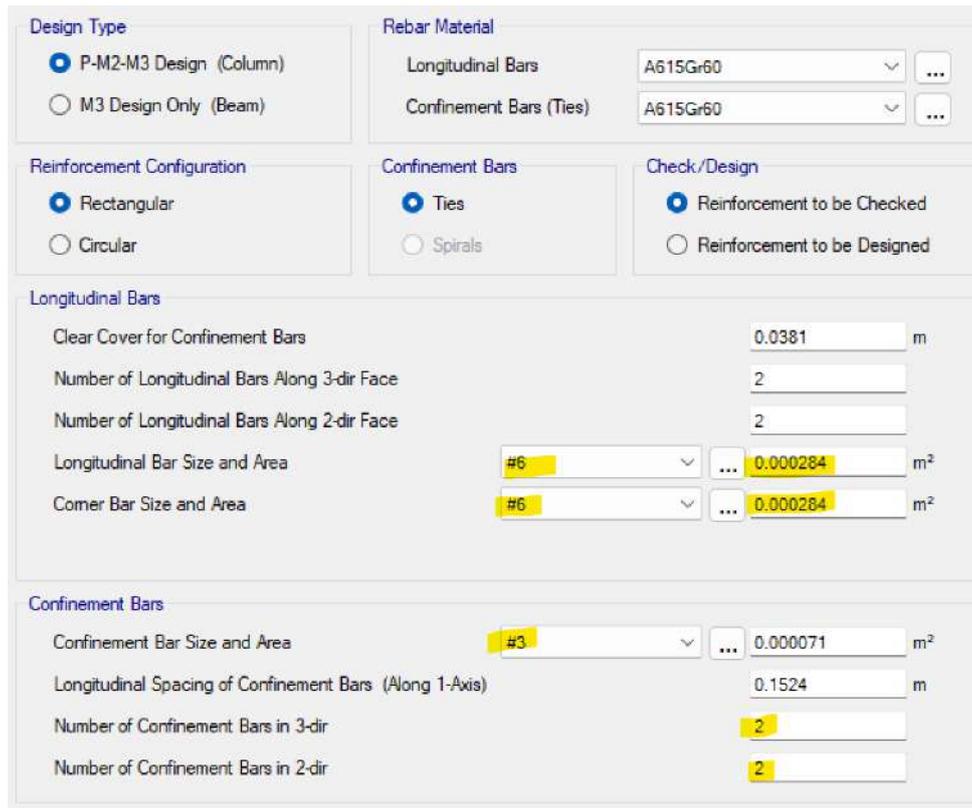
$$\rho = 0.01 * 25cm * 25cm = 6.25 cm^2$$

Obtenido el valor de diseño de 6.25 cm², establecemos al acero longitudinal a colocar que vendría establecido por 4 varillas de 5/8", teniendo una cuantía final de 8 cm², siendo un 1.28% de cuantía longitudinal de nuestra columna.

Dentro del diseño de los estribos colocamos estribos de 3/8", que es el mínimo establecido por la norma. En el punto 4.6.2. estableceremos su valor final y comprobación.

Figura 68.

Asignación de acero longitudinal y transversal en ETABS.



Section	Parameter	Value	Unit
Design Type	P-M2-M3 Design (Column)	<input checked="" type="radio"/>	
	M3 Design Only (Beam)	<input type="radio"/>	
Rebar Material	Longitudinal Bars	A615Gr60	
	Confinement Bars (Ties)	A615Gr60	
Reinforcement Configuration	Rectangular	<input checked="" type="radio"/>	
	Circular	<input type="radio"/>	
Confinement Bars	Ties	<input checked="" type="radio"/>	
	Spirals	<input type="radio"/>	
Check/Design	Reinforcement to be Checked	<input checked="" type="radio"/>	
	Reinforcement to be Designed	<input type="radio"/>	
Longitudinal Bars	Clear Cover for Confinement Bars	0.0381	m
	Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face	2	
	Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face	2	
	Longitudinal Bar Size and Area	#6	0.000284 m ²
	Corner Bar Size and Area	#6	0.000284 m ²
Confinement Bars	Confinement Bar Size and Area	#3	0.000071 m ²
	Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis)	0.1524	m
	Number of Confinement Bars in 3-dir	2	
	Number of Confinement Bars in 2-dir	2	

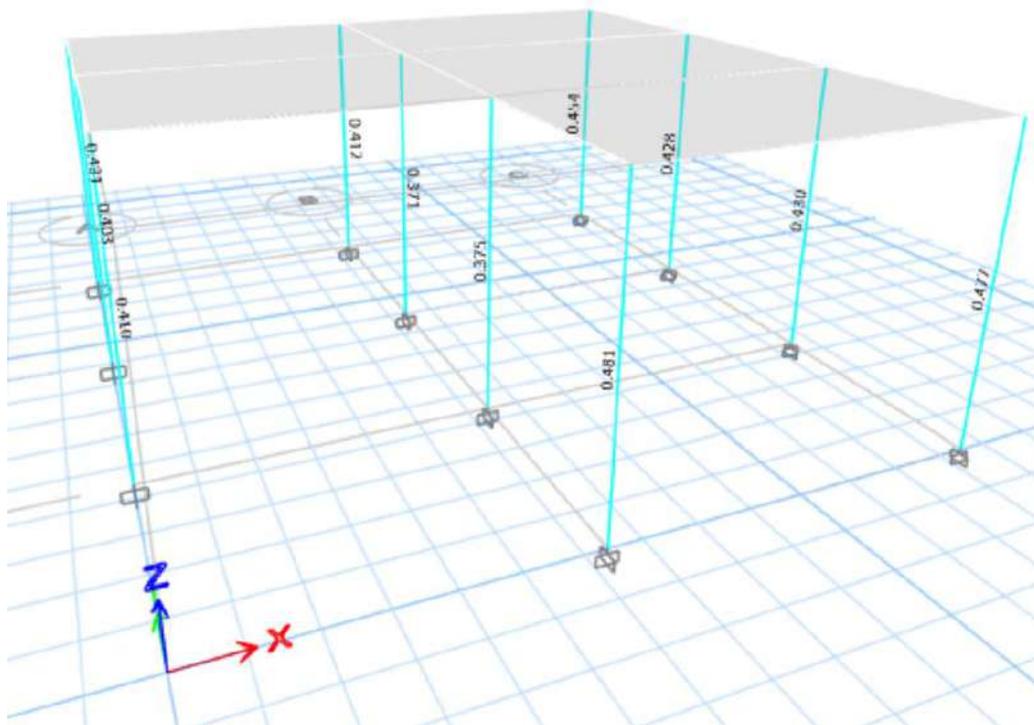
Nota: Elaboración propia

Establecido los valores de entrada, realizamos la corrida del programa a fin de obtener los resultados de las suposiciones iniciales.

- Verificación de ratio de capacidad: Realizado la corrida del programa procedemos a visualizar nuestra ratio de capacidad dentro de ETABS a fin de obtener los valores a los cuales es sometido la columna, teniendo en este caso valores entre 36% y 48%

Figura 69.

Ratios de DEMANDA/CAPACIDAD de las columnas.

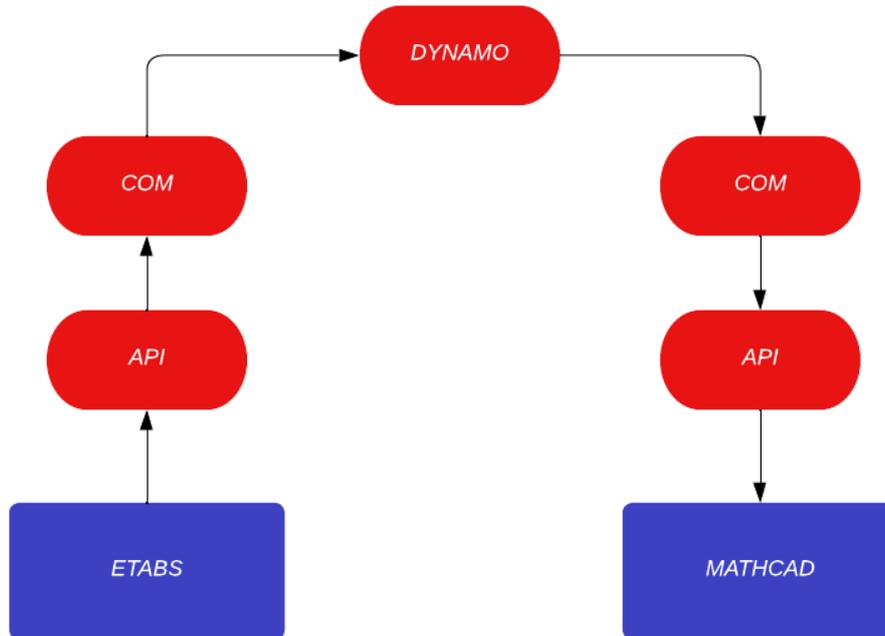


Nota: Elaboración propia

- Generación de diagrama de interacción: Para realizar el diagrama de INTERACCIÓN, se ha utilizado el algoritmo dentro de DYNAMO que nos permite obtener los valores de nuestra columna de ETABS a fin de hacer la verificación en MATHCAD.

Figura 70.

Comunicación entre ETABS y MATHCAD



Nota: Elaboración propia

La comunicación automatizada de ETABS y MATHCAD se ha realizado mediante DYNAMO, exportando para nuestro interés los valores de ETABS para nuestro análisis de flexocompresión, que serán nuestros inputs, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 33.

Input flexocompresión.

INPUT - FLEXOCOMPRESIÓN		
Input	ETABS expresión	MATHCAD expresión
Ancho	Depth	R1
Largo	Width	R2
Recubrimiento	Clear Cover for Confinement Bars	Re
Numero de varillas eje X	Number of Longitudinal bars along 3-dir face	n1
Número de varillas eje Y		n2

	Number of Longitudinal bars along 2-dir face	
Varilla Longitudinal	Longitudinal bar size and area	Ac1
Varilla Transversal	Corner Bar size and area	Ac2
Carga axial solicitada	Design Forces - columns - P	Pn
Momento en eje 2, solicitada	Design Forces - columns - M2	M2
Momento en eje 3, solicitada	Design Forces - columns - M3	M3

Nota: Elaboración propia

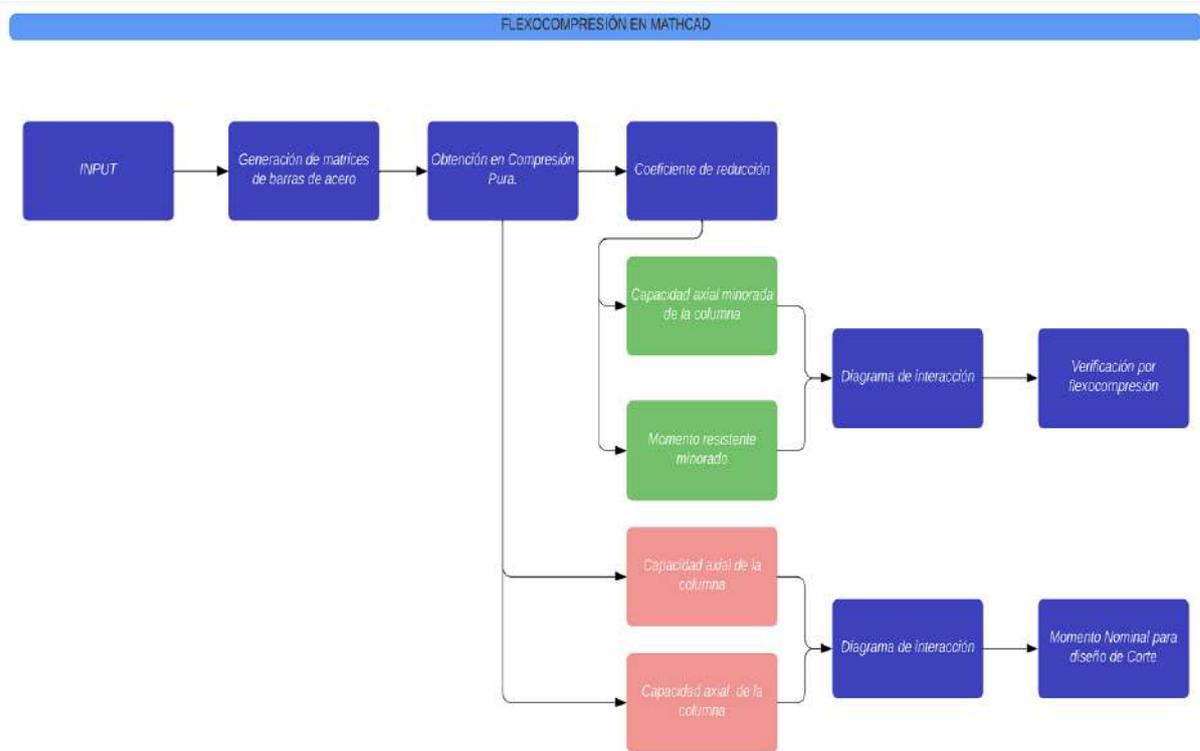
Figura 71.
Valores de ETABS requeridos para el análisis por flexocompresión.

Nota: Elaboración propia

De esta manera tenemos los inputs dentro de Mathcad, y procedemos a programar la hoja dentro de Mathcad y obtener los diagramas de interacción y el valor de Momento Nominal (M_n) que requerimos para el análisis por corte.

Figura 72.

Flujo de Flexocompresión en Mathcad.



Nota: Elaboración propia

El proceso de programación de la hoja de cálculo en Mathcad se realizó siguiendo el flujo de trabajo de la Figura anterior, en donde de acuerdo con los INPUTs obtenidos, generamos una matriz de ubicación de diámetro de barras y otro de área de acero.

En la siguiente figura, se muestra la programación en Mathcad donde las matrices de diámetro y área son variables de acuerdo con la información obtenida en el INPUT de número de barras en cada dirección, para nuestro caso se propuso 2 barras de $\frac{3}{4}$ " en cada dirección y nuestra matriz es de 2x2.

Figura 73.

Programación de matrices en MATHCAD

```

d_barras := || for i ∈ 1..ROWS (n_barras)
              ||   for j ∈ 1..COLS (n_barras)
              ||     if n_barras_i,j = 1
              ||       d_barras_i,j ← d_b
              ||     d_barras
              ||
              || = [ 1.905 1.905 ] cm
              ||   [ 1.905 1.905 ]

A_s :=  $\frac{\pi}{4} \cdot d_{barras}^2 = [ 2.85 \ 2.85 ] \text{ cm}^2$ 
        [ 2.85 \ 2.85 ]
    
```

Nota: Elaboración propia

```

d := || for i ∈ 2..m
      ||   dist_i ← dist_{i-1} + s_sep_barras
      ||   dist
      || = [ 5.905 ] cm
      ||   [ 24.095 ]
    
```

Posterior a ello, generamos una matriz de ubicación que nos permitirá obtener el esfuerzo en cada zona de barras, como se muestra en la siguiente figura

Teniendo generadas las matrices procedemos a obtener la carga axial máxima que soporta la columna, afectado por un factor de reducción $\phi=0.7$, establecida por la E 060 en el punto

$$\phi P_n \max = 0,80 \phi P_{on} = 0,80 \phi [0,85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

Obtenido este valor procedemos a obtener los esfuerzos en cada fila de barra de acero, para ello establecemos el valor β_1 de acuerdo con el punto 10.2.7.3 de la E 060, donde se establece que tomamos el valor de 0.85, el mismo que es programado dentro de nuestra hoja en Mathcad.

Figura 74

Resultado de β_1

$$\beta_1 := \begin{cases} \text{if } 17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa} & \beta_1 \leftarrow 0.85 \\ \text{if } 28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa} & \beta_1 \leftarrow 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'_c - 28 \text{ MPa})}{7 \cdot \text{MPa}} \\ \text{if } f'_c \geq 56 \text{ MPa} & \beta_1 \leftarrow 0.65 \end{cases} = 0.85$$

Procedemos a obtener el valor de reducción de acuerdo con el punto 9.3.2.2. de la E 060, donde se indica que el valor de ϕ puede variar linealmente hasta 0.9.

De esta manera procedemos a obtener los valores de capacidad axial minorada y momento resistente minorado, teniendo para este fin:

Figura 75

Obtención de los valores de capacidad axial minorada y momento resistente minorado

B.1) Capacidad Axial Minorada de la Columna

$$n := \text{cols}(n_{\text{barras}}) = 2$$

$$\phi P_n(a) := \min \left(\phi(a) \cdot \left(0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + \sum_{i=1}^n (A_{sf_{1,i}} \cdot f_s(i, a)) \right), \phi P_{n_max} \right)$$

$$\phi P_{n1}(a) := \min \left(\left(0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + \sum_{i=1}^n (A_{sf_{1,i}} \cdot f_s(i, a)) \right), \frac{\phi P_{n_max}}{0.7} \right)$$

B.2) Momento Resistente Minorado

$$\phi M_n(a) := \phi(a) \cdot \left(0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \left(A_{sf_{1,i}} \cdot f_s(i, a) \cdot \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \right) \right)$$

$$\phi M_{n1}(a) := \left(0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \left(A_{sf_{1,i}} \cdot f_s(i, a) \cdot \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \right) \right)$$

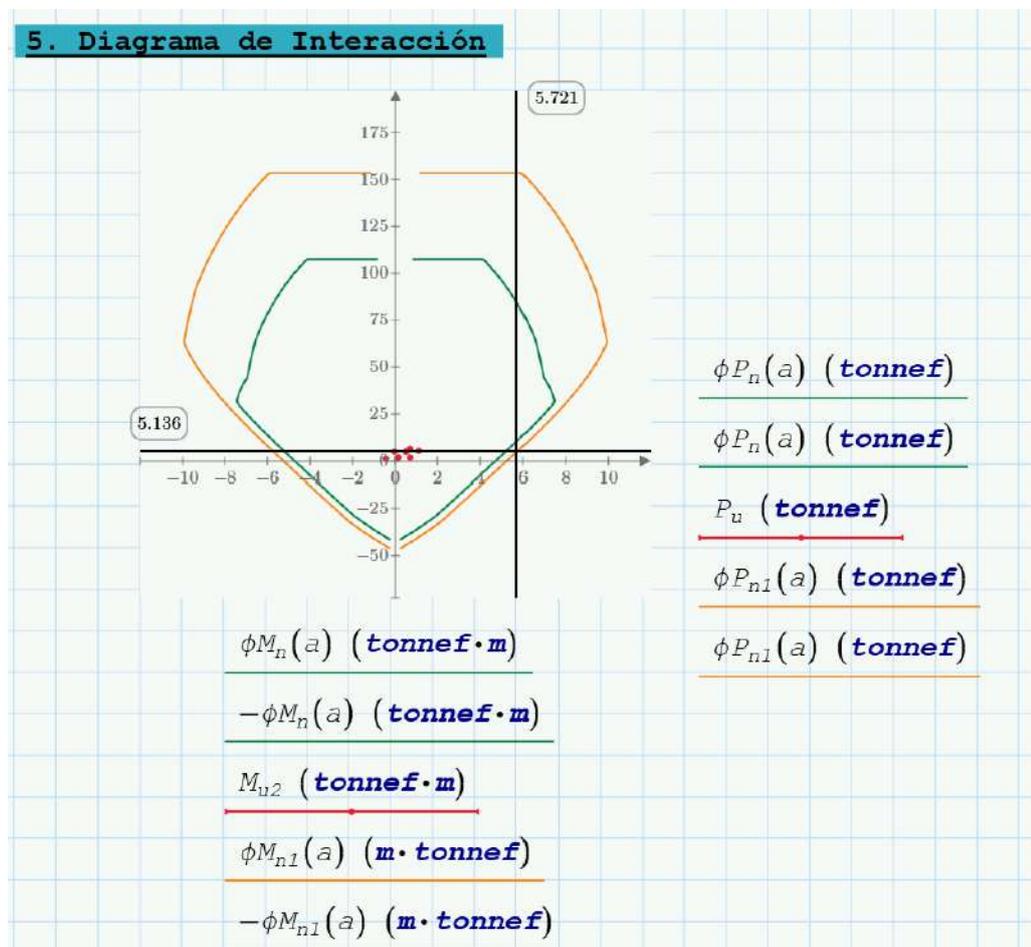
$$\phi(a) := \begin{cases} \varepsilon_t \leftarrow \frac{c(a) - d_t}{c(a)} \cdot \varepsilon_c \\ \phi \leftarrow \max \left(\min \left(0.7 + 0.25 \cdot \left(\frac{|\varepsilon_t| - \varepsilon_{ty}}{0.003} \right), 0.9 \right), 0.7 \right) \end{cases}$$

Ahora finalizamos programando que Mathcad haga la evaluación de la columna cuadrada en 100 distancias separadas equitativamente en la dirección de análisis.

Teniendo como resultado el diagrama de interacción siguiente:

Figura 76

resultado del diagrama de interacción

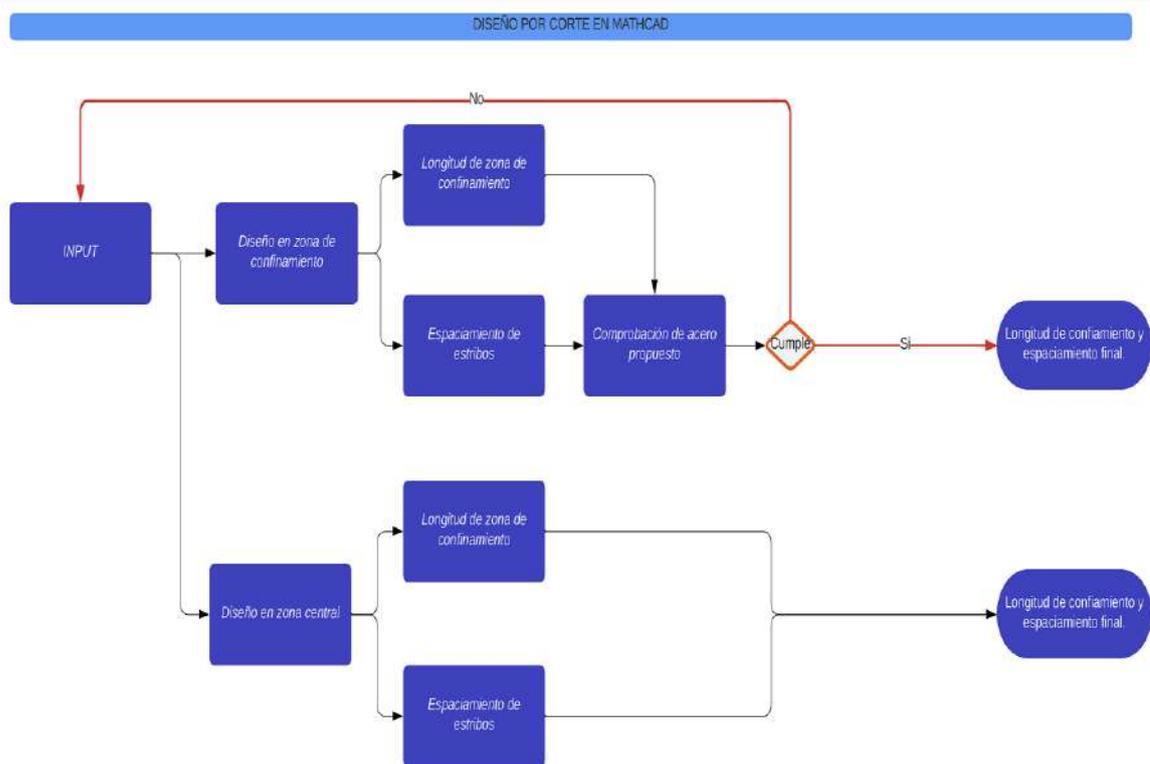


Para la dirección de momento 2, tendríamos un valor máximo nominal de 5.721 tonf.m, el que será utilizado para el diseño por corte.

5.8.2. Diseño por Corte

Obtenido el valor de “Mn” procedemos a realizar el diseño por corte de donde hemos elaborado una programación en MATHCAD que nos permita obtener el valor de espaciamiento final y el diámetro del estribo final a utilizar tanto en la zona central como en la zona de confinamiento. Para ello tenemos en el siguiente flujograma el trabajo que se ha seguido.

Figura 77 Diseño por corte de MATHCAD



Nota: Elaboración propia

- Espaciamiento en zona de confinamiento: El primer valor del espaciamiento de estribos dentro de la zona de confinamiento, viene dado por lo indicado en el punto 2.5.3. El mismo que es desarrollado dentro de Mathcad, teniendo en este caso.

Figura 78

Espaciamiento en zona de confinamiento

$$S_1 := A_v \cdot f_y \cdot \frac{b_c}{V_s} = 20.523 \text{ cm}$$
$$S_2 := 6 \cdot d_b = 11.43 \text{ cm}$$
$$S_3 := \frac{\min(h, b)}{3} = 10 \text{ cm}$$
$$S_4 := 10 \text{ cm}$$
$$S := \min(S_1, S_2, S_3, S_4) = 10 \text{ cm}$$

De lo que tenemos que el primer valor del espaciamento para el modelo de estudio es de 10 cm, este será verificado de acuerdo con el punto 21.6.4.1 de la E060.

Figura 79

Espaciamiento de varilla

$$S_f := 5 \text{ cm}$$
$$A_{sh1} := 0.3 \cdot S_f \cdot b_c \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left(\frac{(b \cdot h)}{b_c \cdot h_c} - 1 \right) = 1.418 \text{ cm}^2$$
$$A_{sh2} := 0.09 \cdot S_f \cdot b_c \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.495 \text{ cm}^2$$

De donde se tiene que para el valor A_v , sea mayor que A_{sh1} y A_{sh2} , el espaciamento para una varilla de 3/8" deberá ser de 5 cm.

- Longitud de zona de confinamiento: Para obtener la longitud de desarrollo nos referimos nuevamente el punto 2.5.3. de la presente investigación. De donde tenemos que el valor de la longitud es de 50 cm:

Figura 80

Longitud de zona de confinamiento

$$L_1 := \frac{L}{6} = 45 \text{ cm} \qquad L_2 := \max(b, h) = 30 \text{ cm} \qquad L_3 := 50 \text{ cm}$$

$$L_0 := \max(L_1, L_2, L_3) = 50 \text{ cm}$$

- Espaciamiento en zona central: Para el cálculo de la zona central consideramos la resistencia al corte del concreto y del acero. Los que vienen establecidos por las fórmulas indicadas en el punto 2.5.3. De donde tenemos para el caso de estudio los siguientes valores:

Figura 81

Resistencia al corte de concreto, resistencia al corte de acero

Resistencia al corte del concreto:

$$V_c := 0.17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot b_c \cdot \frac{s}{\text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{m}^{\frac{3}{2}}} \cdot \text{kN} = 5.192 \text{ tonnef}$$

Resistencia al corte del acero:

$$V_{s1} := \frac{V_u}{\phi_c} - V_c = 1.224 \text{ tonnef}$$

El espaciamiento en la zona central viene dado por el punto 2.5.3, de donde tenemos que el valor será de:

Figura 82

Espaciamiento en zona central

The image shows a spreadsheet with a light blue grid background. It contains five rows of mathematical formulas and their results, with the final result highlighted in blue. The formulas are as follows:

$$S_{L1} := A_v \cdot f_y \cdot \frac{b_c}{V_{s1}} = 107.579 \text{ cm}$$
$$S_{L2} := 10 \cdot d_b = 19.05 \text{ cm}$$
$$S_{L3} := 25 \text{ cm}$$
$$S_L := \min(S_{L1}, S_{L2}, S_{L3}) = 19.05 \text{ cm}$$
$$S_{Lf} := 15 \cdot \text{cm}$$

Donde el valor final del espaciamento es de 15 cm, en la zona central.

5.9. Diseño estructural de vigas

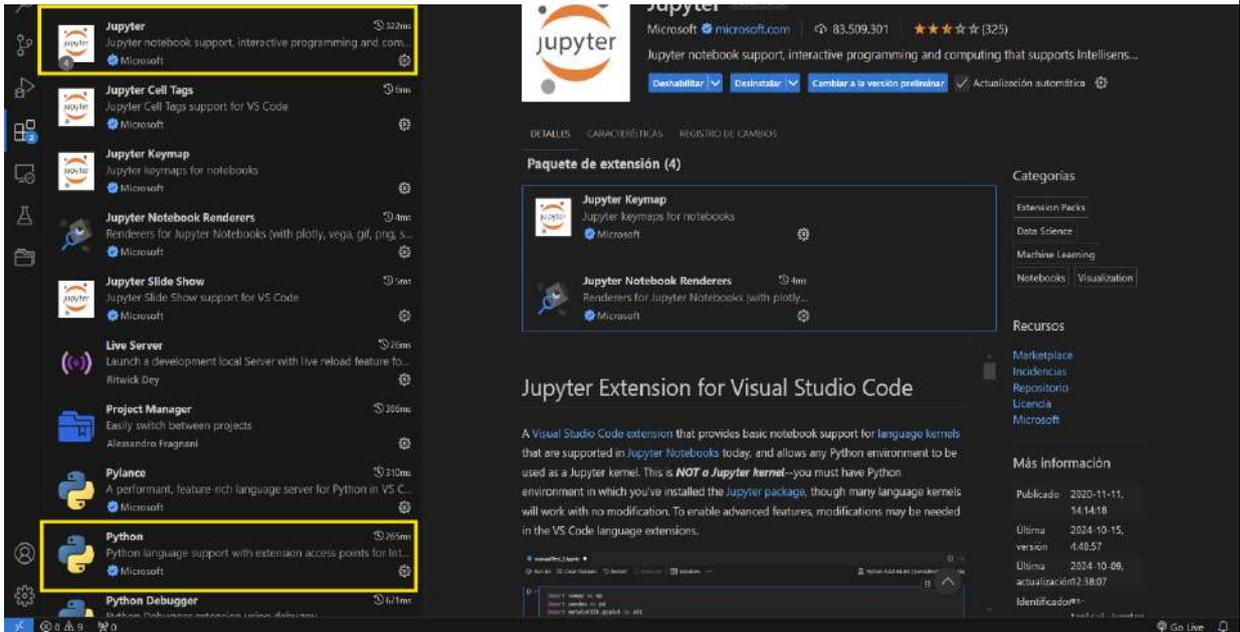
Para la generación del diseño estructural de las vigas se ha procedido a utilizar una secuencia de procesos incorporando un nodo con lenguaje de programación de PYTHON dentro de un editor de código como Visual Studio Code, donde se he procedido a la comunicación directa a ETABS18 mediante su API determinado por el archivo CSi API ETABS v1.chm, esta comunicación nos permite tener acceso al entorno de ETABS y extraer la información requerida de nuestro modelo experimental para la generación del diseño estructural en concreto armado de nuestras vigas tanto a flexión y a corte.

5.9.1. Algoritmo de diseño de vigas - PYTHON

A fin de obtener validación progresivamente de nuestros procesos se ha configurado Visual Studio Code con Jupyter Notebook con el kernel en Python 3.8.3 que es la versión de PYTHON que tenemos compatibilidad en DYNAMO en REVIT 2022.

Nota: Elaboración propia

Figura 83 Instalación de PYTHON en VSC

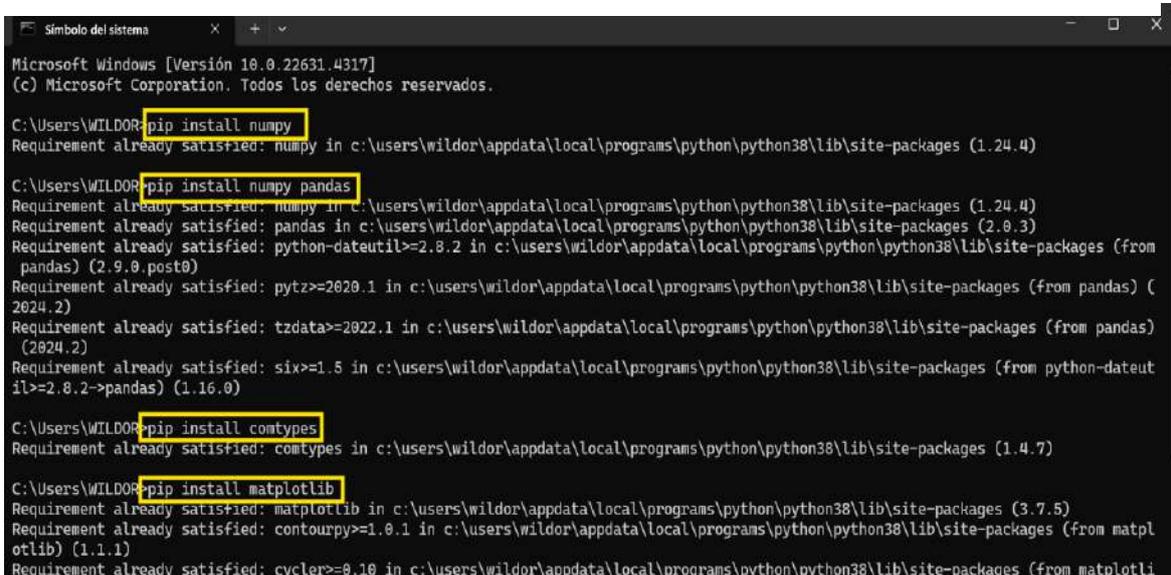


Nota: Extraído de VISUAL STUDIO CODE

5.9.2. Librerías PYTHON

A fin de realizar todo el proceso se han instalado en el CMD de nuestro ordenador las librerías requeridas para Python 3.8.3. de PANDAS, NUMPY, MATPLOTLIB y COMTYPES.

Figura 84 Instalación de librerías requeridas



Nota: Extraído del CMD de Windows

5.9.3. Conexión a ETABS

Dentro de Visual Studio Code, nos hemos dirigido a establecer un archivo en jupyter notebook con formato .ipynb donde se ha procedido a importar las librerías anteriormente instaladas.

Figura 85 Importación de librerías en JUPYTER NOTEBOOK

```
#1.Conectamos a ETABS ABIERTO
import pandas as pd
import numpy as np
import comtypes.client
import sys
import matplotlib.pyplot as plt
import os
import math
```

Gracias a la librería COMTYPES, podemos conectarnos a archivos tipo COM dentro de nuestro sistema operativo, siendo uno de estos ETABS18, de esta manera ya podemos acceder a ETABS18.

Para poder conectarnos directamente con un archivo abierto en ETABS hemos colocado una función dentro de nuestro archivo .ipynb, los comandos que se han utilizado son detallados en el archivo API de ETABS.

De esta manera hemos logrado conectarnos exitosamente aun archivo abierto de ETABS.

Figura 86 Conexión a ETABS mediante PYTHON

```
def connect_to_existing_etabs():  
  
    helper = comtypes.client.CreateObject('ETABSV1.Helper');  
    helper = helper.QueryInterface(comtypes.gen.ETABSV1.cHelper);  
  
    try:  
        myETABSObject = helper.GetObject("CSI.ETABS.API.ETABSObject");  
        print("Conectado exitosamente")  
    except (OSError, comtypes.COMError):  
        print("Ha fallado.")  
        sys.exit(-1);  
  
    SapModel = myETABSObject.SapModel  
    return SapModel, myETABSObject, helper;  
  
SapModel, myETABSObject, helper = connect_to_existing_etabs()  
1] ✓ 3.4s  
• Conectado exitosamente
```

5.9.4. Extracción de información de ETABS

Teniendo ya el modelo de ETABS de nuestra muestra experimental se ha procedido a realizar la corrida del modelo desde nuestro archivo, con comandos en PYTHON.

Figura 87 Run Analysis

```
#2. Corremos el modelo  
ret = SapModel.Analyze.RunAnalysis()  
✓ 2.0s
```

Para luego proceder al comando Concrete Frame Design de ETABS, mediante comandos PYTHON.

Figura 88 Inicio de diseño en ETABS

```
#3.Diseño de concreto
designConcrete = SapModel.DesignConcrete
designConcrete.StartDesign()
✓ 3.2s
```

A fin de garantizar la correcta extracción de información de ETABS se ha configurado las unidades.

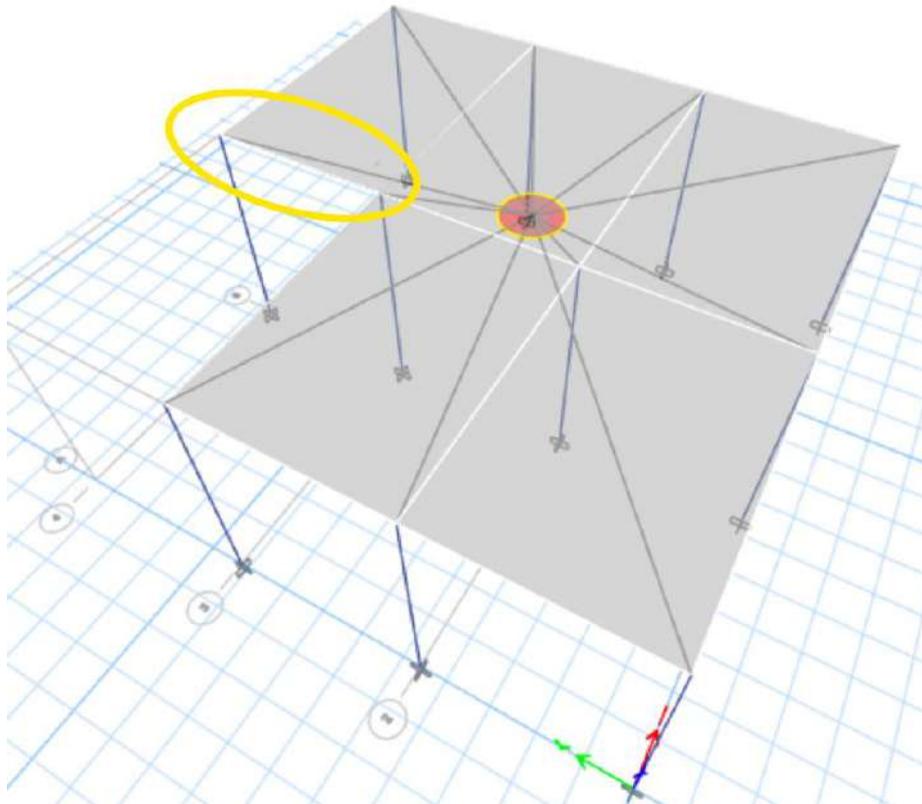
Figura 89. Colocación de unidades

```
#4. Unidades de trabajo PYTHON
tonf_cm_C=12
ret=SapModel.SetPresentUnits(tonf_cm_C)
```

De esta manera a partir de este momento podemos acceder a la información de cualquier elemento ya corrido y diseñado en el modelo experimental en ETABS.

Tomamos como valor de entrada del usuario el valor de la viga que deseamos analizar, siendo en este caso la viga en el eje B, en el eje 3-4. Determinado en nuestro elemento como "B2"

Figura 90. Selección de viga a analizar.



Para extraer la información de las tablas se ha procedido a utilizar el comando de extracción de DataBaseTables de ETABS, que nos ha permitido acceder a cualquier tabla de modelado, análisis o diseño. En la siguiente imagen se ha extraído los valores de la tabla "Frame Section Property Definitions - Concrete Rectangular"

Figura 91. Extracción de tablas dentro de PYTHON.

```
tableKey = "Frame Section Property Definitions - Concrete Rectangular"  
  
table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
```

Extraída la información de ETABS hemos procedido a convertirla en una tabla con los comandos de la librería PANDAS.

Figura 92. Conversión a TABLAS con PANDAS

```
table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
cols=table[2]
noOfRows=table[3]
vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
df= pd.DataFrame(vals)
df.columns=cols
```

Esta misma secuencia de comandos se ha utilizado para la extracción de toda la información de ETABS. En la siguiente imagen se muestra el resultado de extraído la tabla de Frame Section Property Definitions - Concrete Rectangular.

Figura 93. Generación de tabla en PYTHON.

	Name	Material	FromFile	t3	t2	RigidZone	NotSizeType	NotAutoFact	DesignType	AMod	A2Mod	A3Mod	JMod	I2Mod	I3Mod	MMod
0	COLUMNA	CONCRETO 210 kg/cm2	No	0.25	0.25	No	Auto	1	Column	1	1	1	1	1	1	1
1	VIGA 25X30	CONCRETO 210 kg/cm2	No	0.3	0.25	No	Auto	1	Beam	1	1	1	0	1	1	1
2	VIGA DE 30X30	CONCRETO 210 kg/cm2	No	0.3	0.3	No	Auto	1	Beam	1	1	1	1	1	1	1

Posterior se ha realizado el filtrado en las tablas de la información que nos importa extraer.

Figura 94 Filtrado de datos.

```
df
df_secciones = df[['Name','Material', 't3', 't2']]
df_secciones
```

Obteniendo para este caso

Figura 95. Tabla obtenida del filtrado de datos

	Name	Material	t3	t2
0	COLUMNA	CONCRETO 210 kg/cm2	0.25	0.25
1	VIGA 25X30	CONCRETO 210 kg/cm2	0.3	0.25
2	VIGA DE 30X30	CONCRETO 210 kg/cm2	0.3	0.3

De esta misma manera se han extraído toda la información requerida para realizar el diseño a flexión y corte de nuestras vigas, en el anexo 9 se muestra el código a detalle de cada uno de los siguientes valores extraídos.

Tabla 34 Extracción de información de ETABS.

Descripción	Variable	Valor	Unidad
Longitud	value_longitud	2.2	m
Recubrimiento	value_recubrimiento_top/bottom	4	cm
Peralte	value_peralte	26	cm
Ancho	value_ancho	25	cm
Alto	value_alto	30	cm
Luz libre	value_luz_libre	1.95	m
Resistencia del acero	value_acero_resis2	210	kg/cm2
Resistencia del concreto	value_concr_res2	4200	kg/cm2
Coeficiente de corte	value_coef_corte	0.85	

5.9.5. Diseño a flexión

Obtenido los valores de la viga "B2" se ha procedido a extraer los valores de acero requerido que nos brinda ETABS de la tabla Concrete Beam Flexure Envelope - ACI 318-14, para el acero positivo (AsTop) y negativo (AsBot) en End-I, Middle, End-J, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 96 Generación de código para realizar el diseño a flexión

```
#12. Acero POSITIVO y NEGATIVO requerido a Flexion

tableKey = "Concrete Beam Flexure Envelope - ACI 318-14"

table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey, GroupName="")
cols=table[2]
noOfRows=table[3]
vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
df= pd.DataFrame(vals)
df.columns=cols

df_seleccion = df[['Label','Location', 'AsTop', 'AsBot']]

df_seleccion['AsTop'] = pd.to_numeric(df_seleccion['AsTop'], errors='coerce')
df_seleccion['AsBot'] = pd.to_numeric(df_seleccion['AsBot'], errors='coerce')

df_seleccion['AsTop'] = df_seleccion['AsTop']*100*100
df_seleccion['AsBot'] = df_seleccion['AsBot']*100*100

df_viga = df_seleccion[df_seleccion['Label'] == vigas]
df_viga
```

Obteniéndose

Figura 97 Valores extraídos de ETABS para diseño a flexión.

	Label	Location	AsTop	AsBot
3	B2	End-I	1.62	0.81
4	B2	Middle	0.40	1.19
5	B2	End-J	0.68	0.92

Con estos datos, se ha procedido a graficar con la librería MATPLOTLIB el acero transversal, donde se ha procedido a establecer valores estándar para la generación del gráfico.

Figura 98 Valores en PYTHON para dibujo de acero longitudinal

```
# Dimensiones de la viga
length = 300
height = 30
cover = 3
rebar_offset = 5
# Posiciones del acero de refuerzo (2 barras longitudinales)
rebar_y_positions = [cover, height - cover]
# Dibujar la viga (vista longitudinal)
fig, ax = plt.subplots()
rect = plt.Rectangle((0, 0), length, height, linewidth=2, edgecolor='black', facecolor='none')
ax.add_patch(rect)
# Dibujar las barras de refuerzo (líneas longitudinales dentro de la viga con recubrimiento en los extremos)
for y in rebar_y_positions:
    plt.plot([rebar_offset, length - rebar_offset], [y, y], color='red', linewidth=2)
# Dibujar los ganchos:
hook_length = 7
```

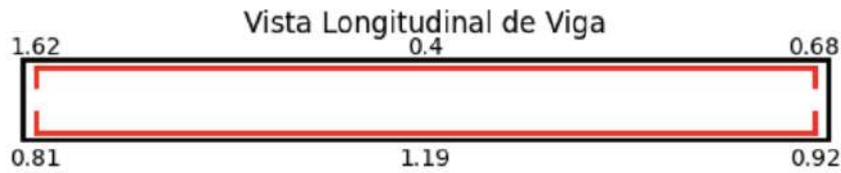
Como se mostró en la imagen anterior se ha establecido el valor de longitud, altura y recubrimiento de nuestra imagen que será requerida para el reporte generado con el dibujo de ganchos.

Figura 99 Generación de imagen en MATPLOTLIB

```
# Gancho para la barra superior (apunta hacia abajo)
plt.plot([rebar_offset, rebar_offset], [height - cover, height - cover - hook_length], color='red', linewidth=2)
plt.plot([length - rebar_offset, length - rebar_offset], [height - cover, height - cover - hook_length], color='red', linewidth=2)
# Gancho para la barra inferior (apunta hacia arriba)
plt.plot([rebar_offset, rebar_offset], [cover, cover + hook_length], color='red', linewidth=2)
plt.plot([length - rebar_offset, length - rebar_offset], [cover, cover + hook_length], color='red', linewidth=2)
#Colocamos valores de acero arriba
plt.text(rebar_offset, height + 2, str(AsTop1), fontsize=10, ha='center')
plt.text(length / 2, height + 2, str(AsTop2), fontsize=10, ha='center')
plt.text(length - rebar_offset, height + 2, str(AsTop3), fontsize=10, ha='center')
# Añadir los valores debajo de la viga (abajo)
plt.text(rebar_offset, -10, str(AsBot1), fontsize=10, ha='center')
plt.text(length / 2, -10, str(AsBot2), fontsize=10, ha='center')
plt.text(length - rebar_offset, -10, str(AsBot3), fontsize=10, ha='center')
# Configurar los ejes
ax.set_aspect('equal', 'box')
plt.xlim(-5, length + 5)
plt.ylim(-5, height + 5)
ax.set_axis_off()
plt.title('Vista Longitudinal de Viga')
# Mostrar la imagen
plt.savefig('viga_acero_requerido.png', format='png')
plt.show()
```

Con los datos establecidos se ha procedido a ejecutar el código obteniendo nuestra viga longitudinal.

Figura 100 Resultado del dibujo de MATPLOTLIB



De donde para la presente tesis se ha establecido un acero superior e inferior de varillas de ½” para un área de acero final de 2.58 cm².

5.9.6. Diseño de corte

Para el diseño en corte se han diferenciado la zona de confinamiento y la zona de no confinamiento.

- **Zona de confinamiento**

En la zona de 2h, siendo para la viga B2 de 60cm se ha establecido obtener el momento nominal con el nuevo acero longitudinal de 2.54 cm², para lo que requerimos el valor de C de Whitney.

Figura 101. Obtención del valor de C de Whitney en PYTHON

```
#15. Diseño en cortante
value_C_Whitney=round((As_fin*value_acero_resis2)/(value_coef_corte*value_concr_res2*value_ancho*100),2)
```

Con el valor de Whitney (a), se ha calculado el momento nominal determinado por:

Figura 102 Obtención del momento nominal en PYTHON

```
#calculo del momento nominal
value_momento_nominal = round((As_fin/10000)*(value_acero_resis2*10)*(value_peralte/100-(value_C_Whitney/100)/2),3)
value_momento_nominal
```

De donde se ha obtenido el valor del momento probable, determinado por 1.25 el valor nominal. Con estos datos podemos obtener el valor de cortante ultimo y el valor del cortante de diseño en la zona de 2h, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 103 Obtención del momento probable en PYTHON

```
#Calculo del diseño en la zona de confinamiento 2h
value_momento_probable=1.25*value_momento_nominal*2/value_luz_libre
value_cortante_ultimo=value_momento_probable+value_cortante_G

#Calculo del cortante ultimo
value_cortante_diseño=round(value_cortante_ultimo/value_coef_corte,2)
print(value_C_Whitney,value_momento_nominal,value_momento_probable,value_cortante_ultimo,value_cortante_diseño)
```

Para el primer cálculo de los estribos se ha establecido varillas de 3/8", con un área de 0.71, siendo un área final de 1.42cm².

Figura 104 Acero transversal indicado en PYTHON.

```
from fractions import Fraction
As_t=Fraction(3,8)
As_Can_t=2
As_fin_t=2*0.71
Area_text_t=f"Utilizaremos varillas de {As_t} para el acero transversal"
print(Area_text_t)
✓ 0.0s
Utilizaremos varillas de 3/8 para el acero transversal
```

Obtenido este valor se ha procedido a obtener el valor del espaciamiento de los estribos en la zona 2h. Obteniendo el valor mínimo de los 5 requerimientos según la normativa.

Figura 105 Calculo de espaciamiento en zona 2h.

```
#Calculo del espaciamiento en zona 2h
value_s1=As_fin_t*value_acero_resis2*value_peralte/value_cortante_diseño/1000

value_s2=round(value_peralte/4,2)
value_s3=round(10*As_t*0.0254*100,2)
value_s4=round(24*As_t*0.0254*100,2)
value_s5=30

value_corte_espaciamiento_2h = min(value_s2, value_s3, value_s4, value_s5)
print("La distancia propuesta es de",value_corte_espaciamiento_2h, "cm")
✓ 0.0s
La distancia propuesta es de 6.5 cm
```

Se ha tomado que se utilizara en esa zona estribos de 3/8" cada 5cm, por temas constructivos.

- **Zona de no confinamiento**

Teniendo el cortante último de la zona de confinamiento, se recalcula el valor de la cortante a una distancia de 2h.

Figura 106 Obtención del cortante ultimo

```
value_cortante_ultimo2=round(value_cortante_ultimo-value_alto*(value_cortante_G*2/value_luz_libre),2)
value_cortante_ultimo2
```

Con este valor obtenido se ha procedido a calcular el valor de la cortante del concreto y del acero. Para el caso de la viga B2, se ha observado que el valor de

la cortante del concreto supera al valor al que es sometido la viga. Estableciendo el valor del espaciamiento al criterio S2, del valor del peralte dividido entre dos.

Figura 107 Espaciamiento en zona de no confinamiento

```
#Calculo del espaciamiento en zona de no confinamiento
value_cortante_ultimo2=round((value_cortante_ultimo-value_alto*(value_cortante_G*2/value_luz_libre),2)
value_cortante_ultimo2

value_cortante_concreto=round(0.53*math.sqrt(value_concr_res2)*value_ancho*value_peralte/10,2)
value_cortante_concreto

value_cortante_estribo=round((value_cortante_ultimo2/value_coef_corte-value_cortante_concreto,2)
value_cortante_estribo

#Espaciamiento

value_corte_confi_s2=value_peralte/2

print("La distancia propuesta es de",value_corte_confi_s2, "cm")

✓ 0.0s
La distancia propuesta es de 13.0 cm
```

De donde se obtuvo un valor de distancia propuesta de 13 cm, tomándose un valor de 10 cm, en la zona de no confinamiento.

5.9.7. Informe de diseño de viga

Obtenido los valores, se generó un reporte que PYTHON a HTML, que se especifica en la siguiente imagen.

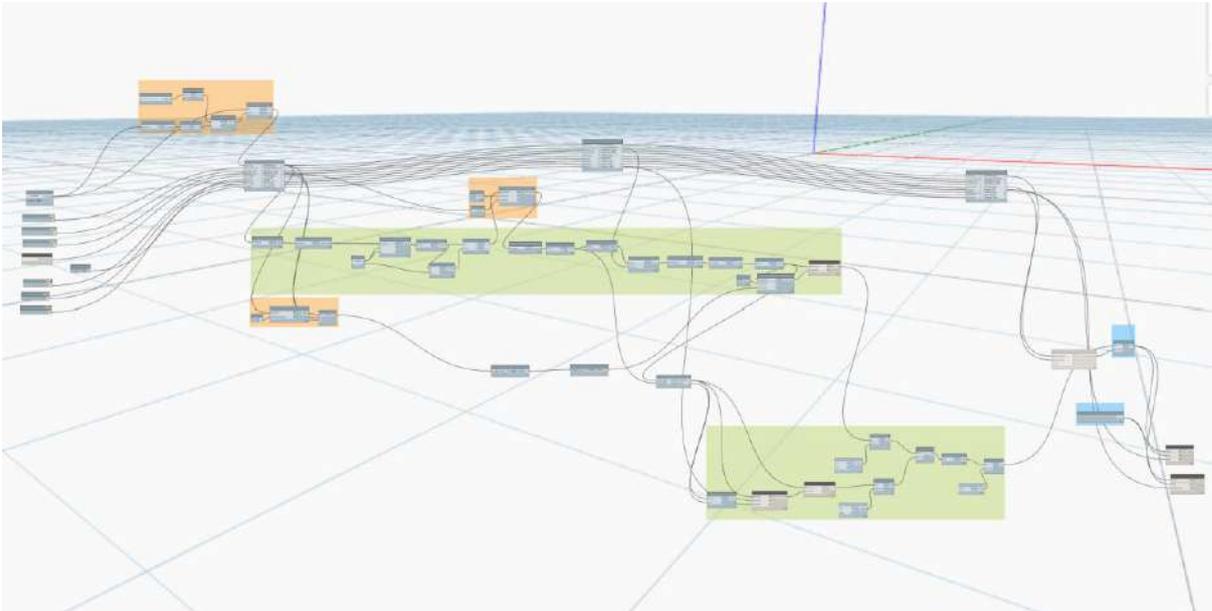
extracción de resultados se ha utilizado los nodos de DYNAMO generando un algoritmo que nos permite dibujar de manera paramétrica las dimensiones del acero a colocar.

5.10.1. Algoritmo 6: Colocación de acero longitudinal de columnas y vigas.

Dentro de DYNAMO hemos generado un algoritmo que nos permite colocar acero dentro de un elemento de columna rectangular, que esta desarrollada bajo los siguientes nodos:

Figura 110

Algoritmo para poder colocar el acero dentro de la columna rectangular



Nota: Elaboración propia

Dentro del algoritmo tenemos como INPUT los siguientes valores.

Figura 111

Valores INPUT del acero longitudinal

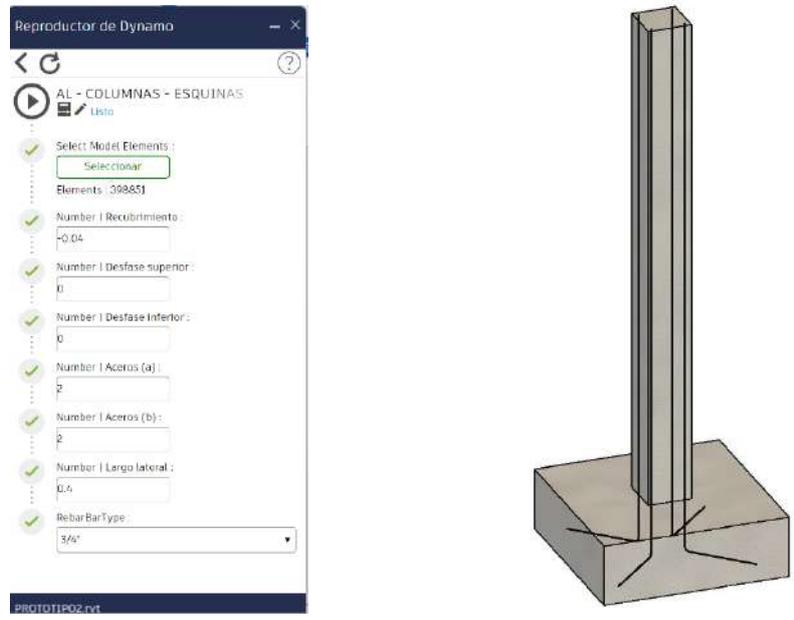
INPUT	
Diámetro de Varilla	3/4"
Bastón Inferior (m)	0.45
Desfase superior (m)	0
Desfase Inferior (m)	0
Recubrimiento (m)	0.04
Acero en eje 2-2	2

Nota: Elaboración propia

El mismo que lo ejecutamos por DYNAMO PLAYER dentro de REVIT, de lo que tenemos el siguiente resultado:

Figura 112

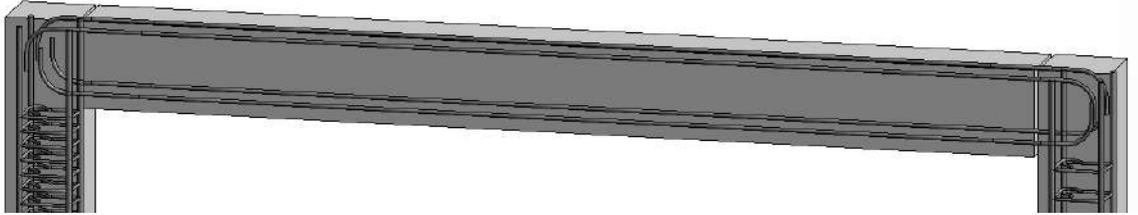
Resultado de ejecución de DYNAMO PLAYER dentro de REVIT acero longitudinal



Nota: Elaboración propia

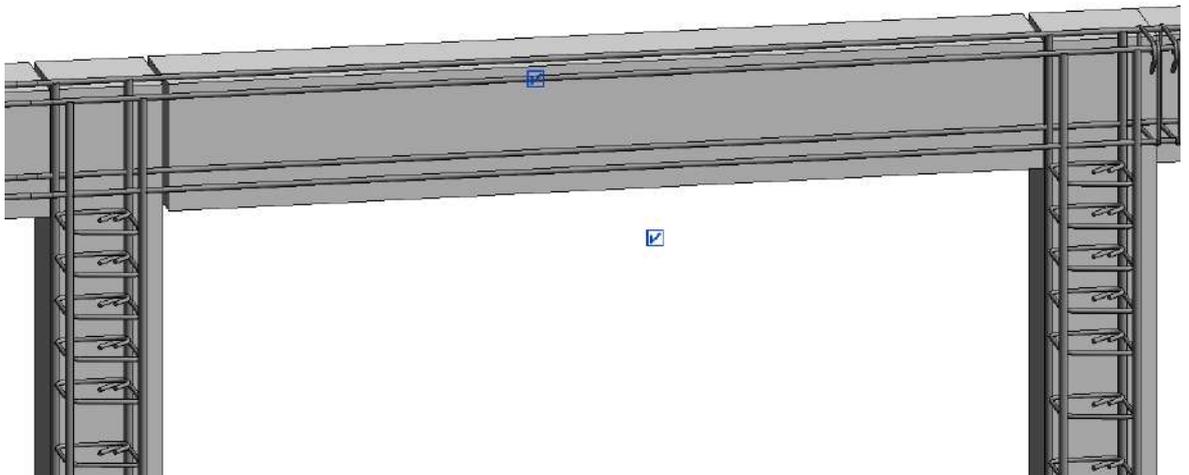
Para la colocación del acero longitudinal de las vigas, se ha generado el mismo algoritmo haciendo la variación del tipo de elemento a seleccionar, que al igual que en el caso anterior se ha ejecutado mediante DYNAMO PLAYER, obteniéndose el resultado que se muestra en la siguiente imagen.

Figura 113 Acero longitudinal de viga de un solo tramo



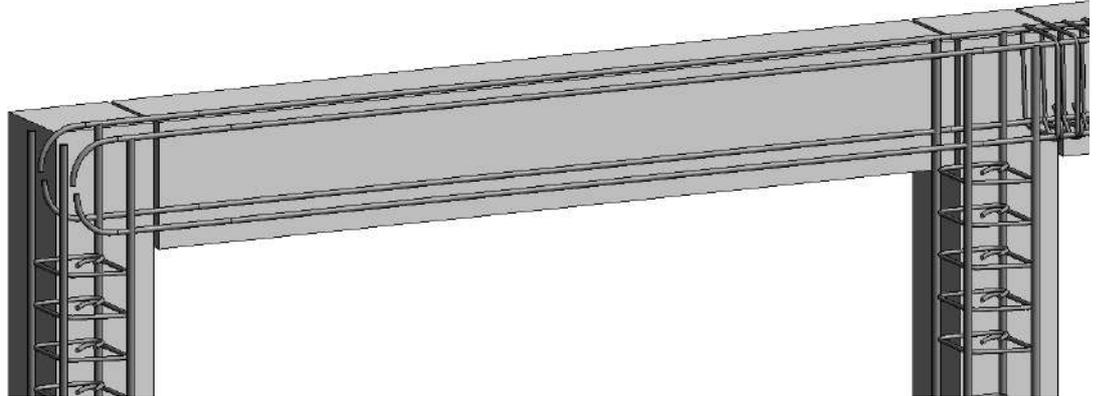
Para la colocación del acero longitudinal se diferencia tres tipos de acero longitudinal. El primero en una viga de un solo tramo como se mostro en la imagen anterior. El segundo de continuación en los dos tramos.

Figura 114 Acero longitudinal de viga continua



Y el tercero se coloco en vigas de continuación de un tramo y el otro de finalización.

Figura 115 Acero longitudinal de viga continua en un lado.



De esta manera se colocó el acero longitudinal de todas las vigas. Con los siguientes valores de INPUT.

INPUT	
Díámetro de Varilla	1/2"
Nudo Izquierdo	0.2
Nudo Derecho	0.2
Recubrimiento (m)	0.04
Acero superior	2
Acero inferior	2

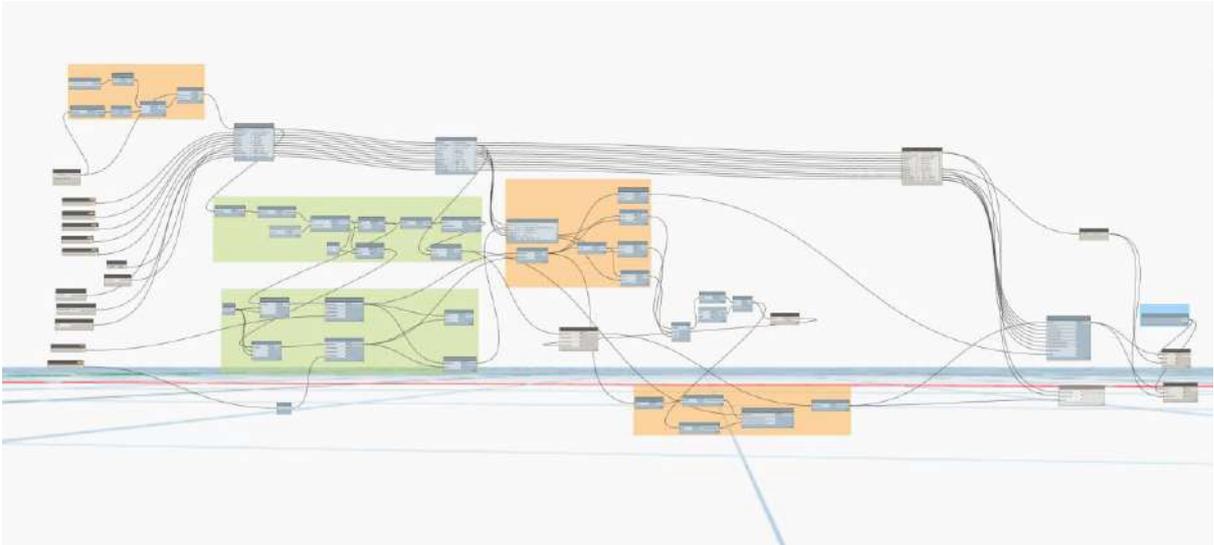
La longitud es variable de acuerdo con cada viga.

5.10.2. Algoritmo 7: Colocación de acero transversal de columnas y vigas

Para la generación del acero transversal de la columna, se ha generado de la misma manera un algoritmo que nos permite realizar el modelado y detallado de los estribos.

Figura 116

Algoritmo para generar el acero transversal



Para la ejecución del algoritmo tenemos como INPUT los siguientes valores:

Figura 117

Valores INPUT acero transversal

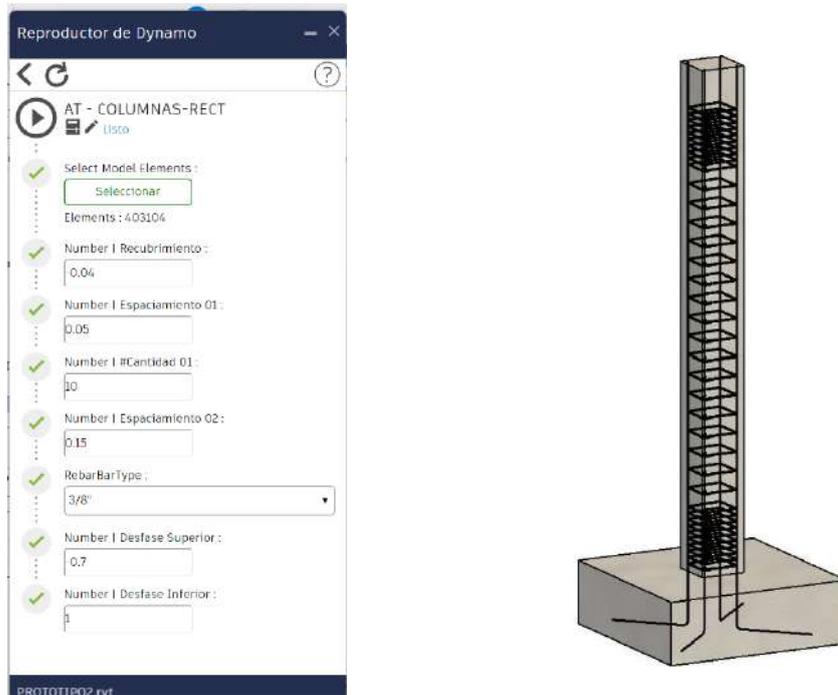
INPUT	
Diámetro de Varilla	3/8"
Espaciamiento en zona de confinamiento (m)	0.05
Cantidad de estribos en zona de confinamiento(m)	10
Recubrimiento (m)	0.04
Espaciamiento en zona central (m)	0.15
Desfase Superior	-0.7
Desfase Inferior	1

Nota: Elaboración propia

Al ser ejecutado por DYNAMO PLAYER tenemos como resultado:

Figura 118

Resultado de ejecución de DYNAMO PLAYER dentro de REVIT acero transversal

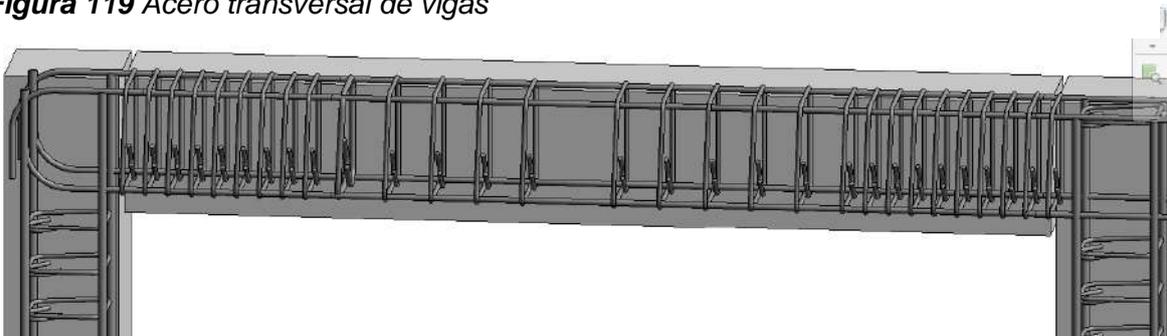


Nota: Elaboración propia

De esta manera tenemos dibujado nuestras columnas y acero como modelo BIM dentro de REVIT y podemos realizar su elaboración de planos de la respectiva columna.

En el caso de la generación de acero transversal para las vigas se colocó con el mismo algoritmo obteniéndose:

Figura 119 *Acero transversal de vigas*



5.11. Elaboración de planos

Dentro de REVIT la facilidad que tenemos es en la obtención de los planos, los mismos que nos permiten ser exportados a gran detalle a AUTOCAD. Estos planos se han generado como plantilla en un formato A2, dentro de REVIT y pueden ser utilizados para cualquier otro componente dentro de nuestro proyecto.

REVIT al ser un software BIM, nos permite parametrizar los valores que van dentro de nuestros planos, para completar esta información hemos generado tablas y vistas de planos, que son obtenidas mediante un algoritmo de DYNAMO.

5.11.1. Generación de tablas

Para la generación del detalle de la columna, hemos generado dos tablas, la primera de cuantificación de longitud de acero requerido y la segunda de longitud de desarrollo del acero longitudinal.

- Cuantificación de acero requerido: Es de nuestro interés obtener el total de acero requerido para nuestra columna, tanto longitudinal, como transversal, el mismo que lo generamos con la tabla de cuantificación en REVIT, de donde obtenemos la siguiente imagen como resultado.

Tabla 35

Cuantificador de acero requerido

<Metrado de acero>	
A	B
Tipo	Longitud
3/4"	20.1 m
3/8"	46.8 m

- Longitud de desarrollo: Generamos una tabla para obtener la longitud de desarrollo del acero longitudinal de nuestra columna, el mismo que esta parametrizado con un algoritmo en DYNAMO de acuerdo con lo requerido por el

punto 12.3.2 de la E 060. Donde se especifica que el valor será el máximo de los siguientes valores:

$$ldc_1 = 20 \text{ cm}$$

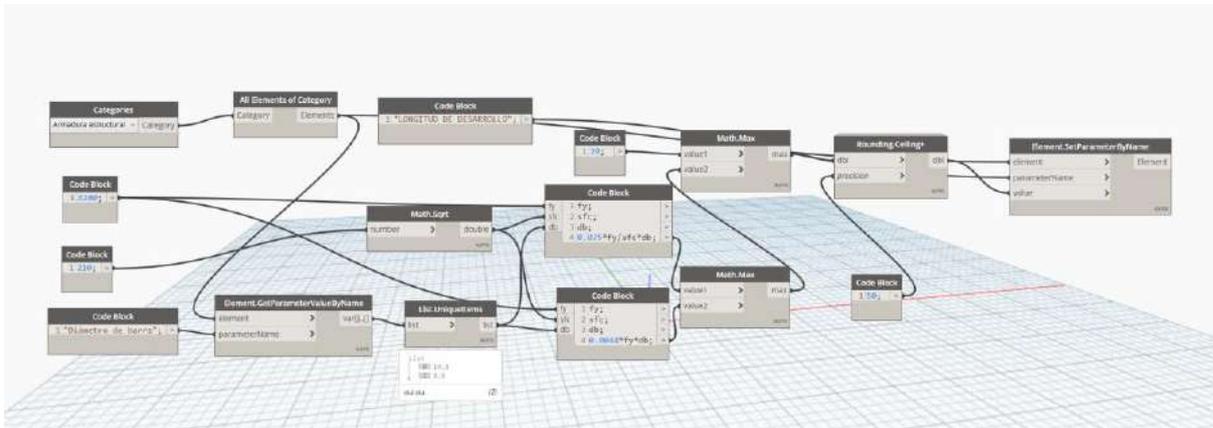
$$ldc_2 = (0.075 \frac{fy}{\sqrt{f'c}})db$$

$$ldc_3 = (0.0044fy)db$$

De esta manera en DYNAMO lo parametrizamos con los siguientes nodos.

Tabla 36

Algoritmo DYNAMO de longitud de desarrollo



Nota: Elaboración propia

Teniendo como resultado la siguiente tabla una vez ejecutado el algoritmo.

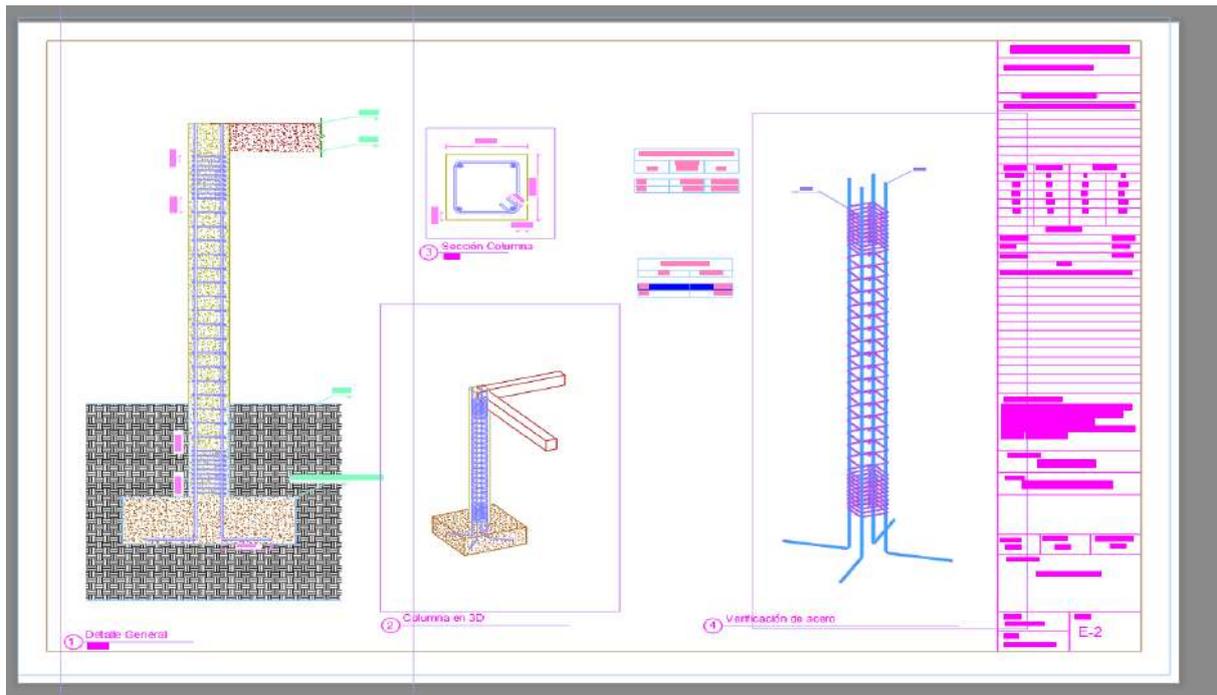
Tabla 37

Longitud de desarrollo

<LONGITUD DE DESARROLLO "a">		
A	B	C
Tipo	Diámetro de barra	Ldc
3/4"	19.1 mm	450.0 mm
3/8"	9.5 mm	250.0 mm

Figura 121.

Plano de detalle de columna en AUTOCAD.



Nota: Elaboración propia con el software REVIT

Capítulo 6. Discusión de resultados obtenidos

6.1. Softwares empleados

Se ha realizado la investigación de la tesis dentro del contexto peruano, a fin de poder aplicarlo de acuerdo con la normativa peruana y enfocado en el software ETABS que es el de mayor uso y aceptación nacional.

Se ha utilizado la programación de DYNAMO a fin de intercomunicar de manera BIDIRECCIONAL los softwares de ETABS, REVIT y MATHCAD.

Se ha utilizado el lenguaje de programación de PYTHON a fin de potenciar la comunicación entre distintos softwares y brindando diversas alternativas que pueden ser utilizadas.

6.2. Algoritmos Generados

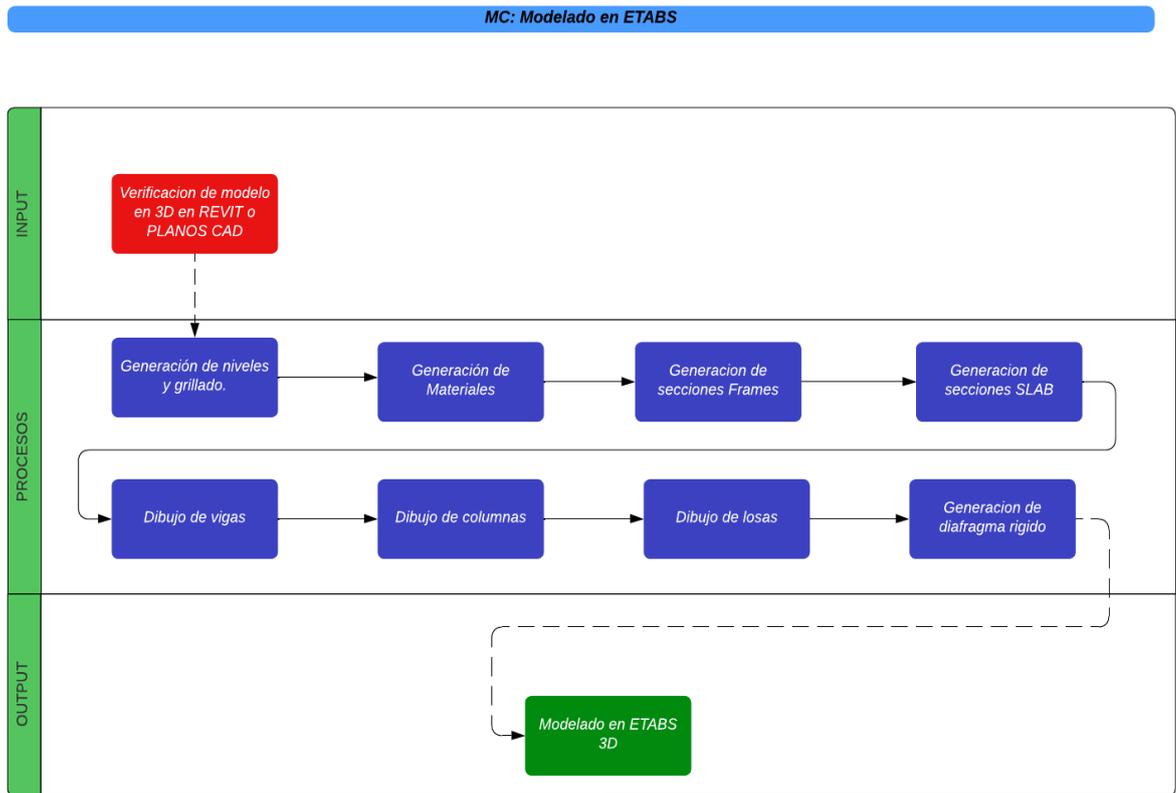
Se han generado 7 algoritmos en todo el flujo de trabajo, dentro de los cuales 5 se han comparado directamente en el flujo de procesos con el modelo de control y los dos últimos algoritmos se ha presentado para la generación de la presentación de planos de nuestra investigación.

De todo el procedimiento realizado en la tesis se han analizado los procesos entre la muestra de control y a muestra experimental, teniendo los siguientes resultados.

6.2.1. Algoritmo 1: Algoritmo de obtención de información de REVIT a ETABS

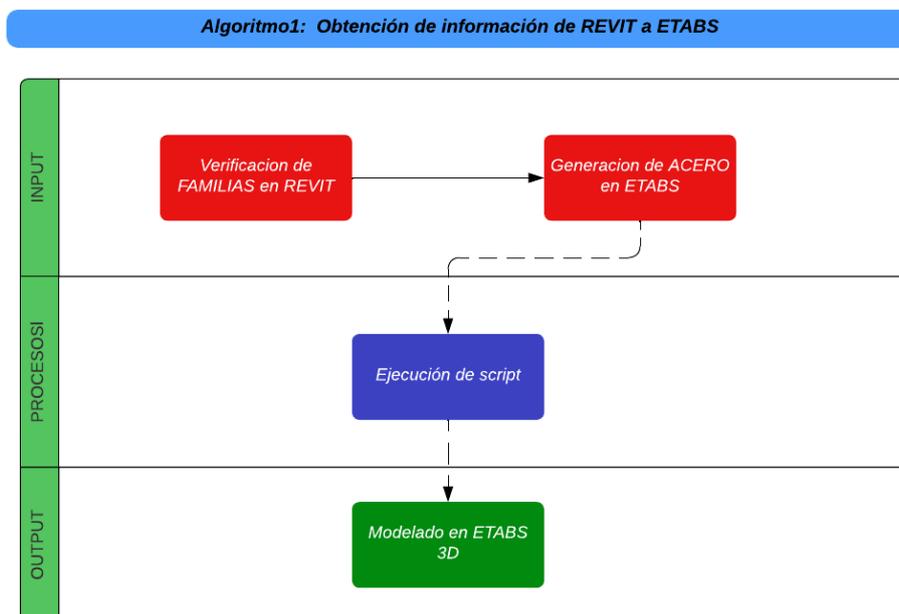
Presentamos primeramente los procesos de la muestra de control, que son los siguientes:

Figura 122 Procesos de modelado en ETABS en la muestra de control



Obteniéndose 10 procesos de la muestra de control. En la siguiente gráfica se presenta los procesos de la muestra experimental del algoritmo de obtención de información de REVIT a ETABS.

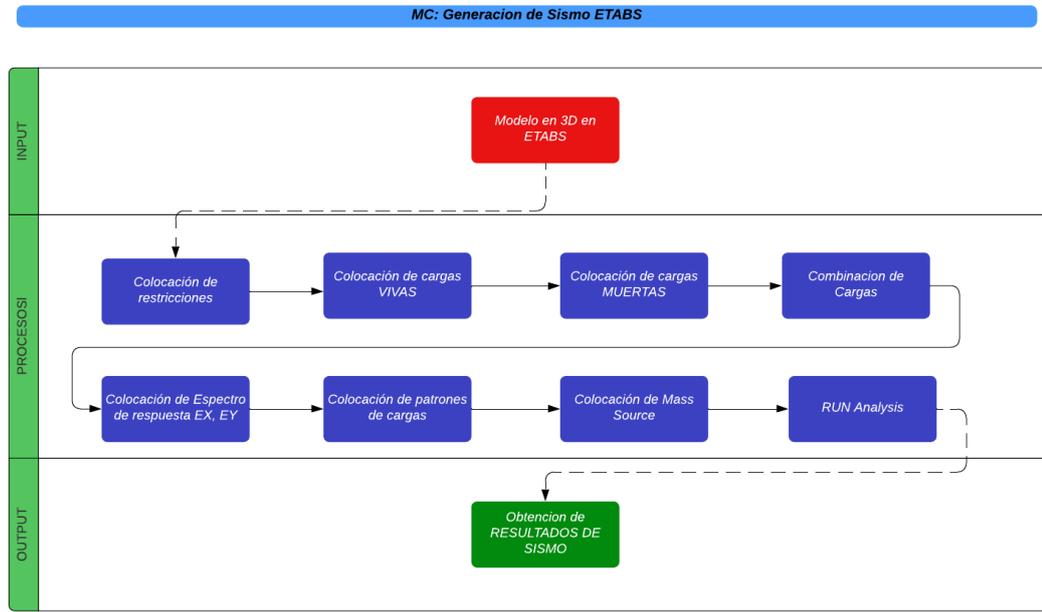
Figura 123 Procesos del algoritmo 1



De donde se han obtenido 4 procesos.

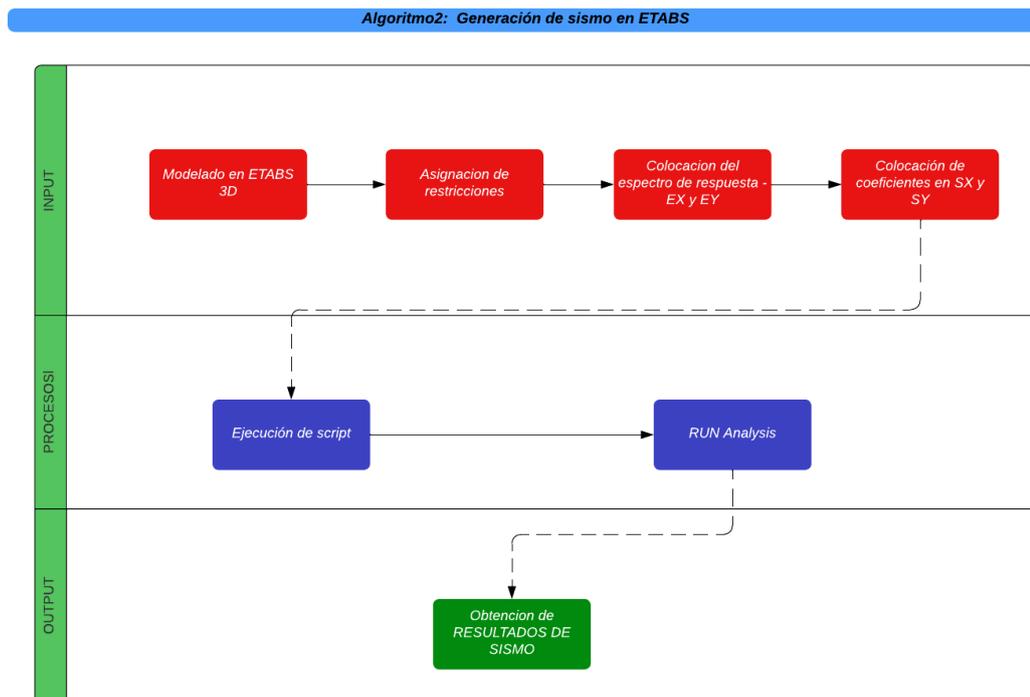
6.2.2. Algoritmo2: Algoritmo de generación de sismo en ETABS

Figura 124. Procesos de la generación de sismo de ETABS



De la generación de sismo dentro de la muestra de control se ha obtenido 10 procesos.

Figura 125 Procesos del algoritmo 2

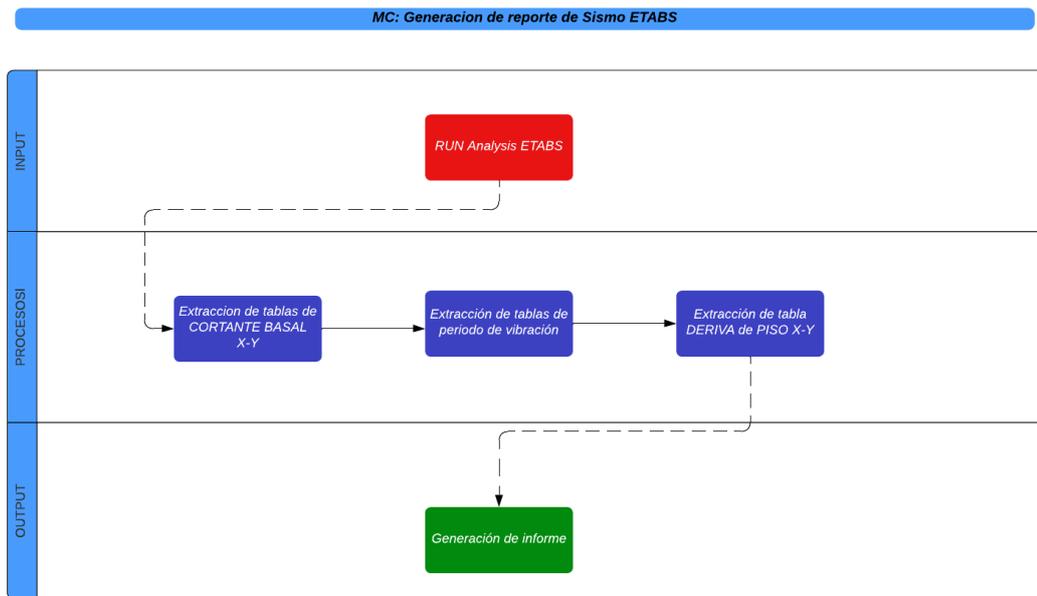


Utilizando el algoritmo de nuestra muestra experimental se han obtenido 7 procesos.

6.2.3. Algoritmo 3: Algoritmo de generación de reporte de sismo.

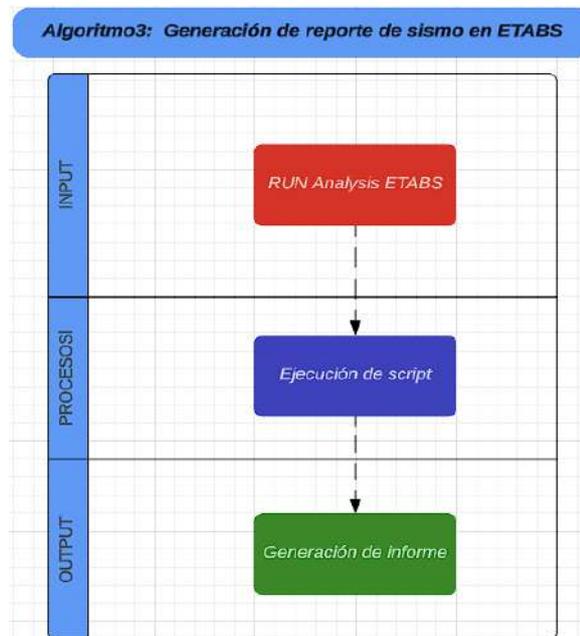
De nuestra muestra de control de han obtenido 5 procesos para la generación de reporte.

Figura 126 Procesos de la generación de reporte de sismo



De nuestra muestra experimental con el uso de los algoritmos se ha obtenido 3 procesos.

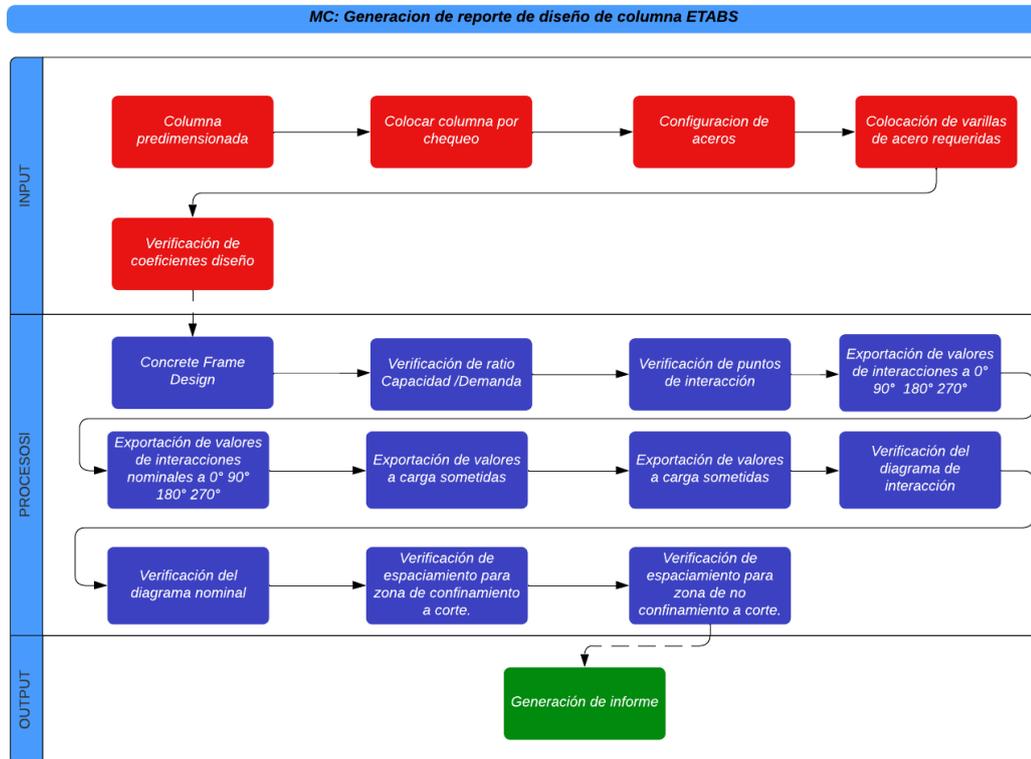
Figura 127 Procesos del algoritmo 3, de generación de reporte.



6.2.4. Algoritmo 4: Algoritmo de diseño a flexocompresión y corte de columnas en MATHCAD

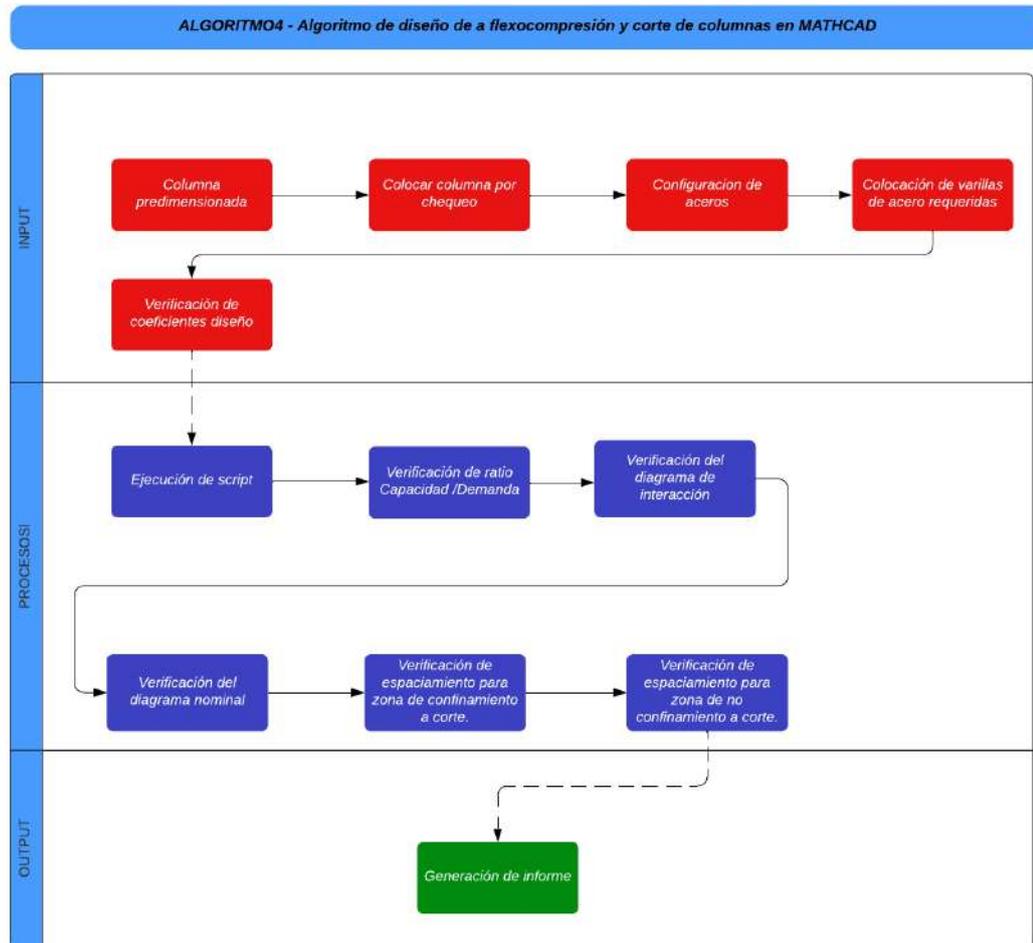
De la muestra de control podemos obtener para el proceso de diseño de columnas y generación de su reporte 17 procesos.

Figura 128 Procesos de la generación de reporte de diseño de columnas



Utilizando nuestra muestra experimental si tienen 12 procesos, como se muestra en la siguiente imagen.

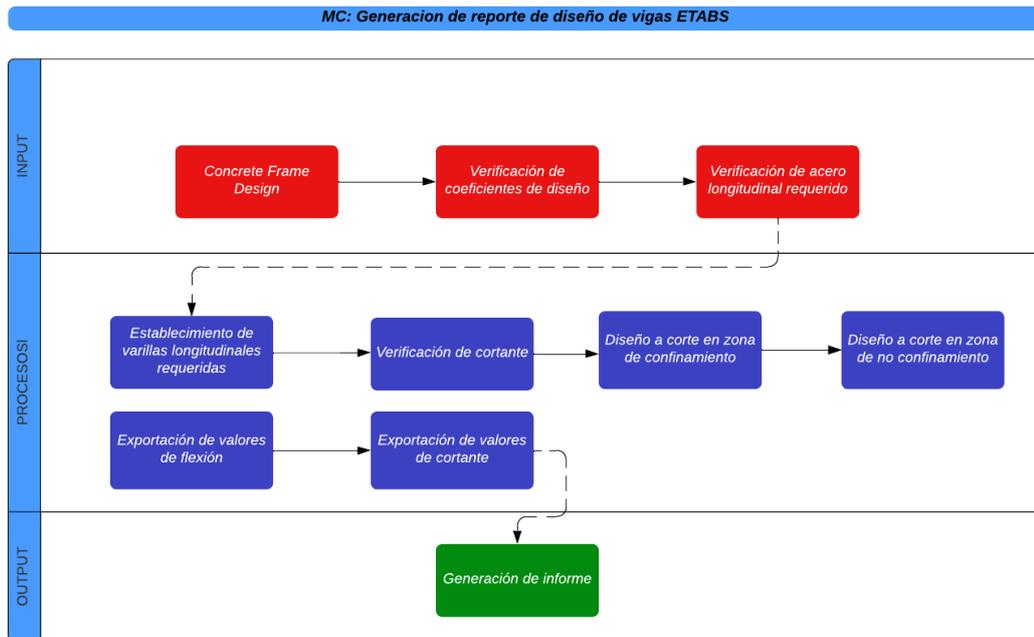
Figura 129 Procesos del algoritmo 4



6.2.5. Algoritmo 5: Algoritmo de diseño a flexión y corte de vigas PYTHON

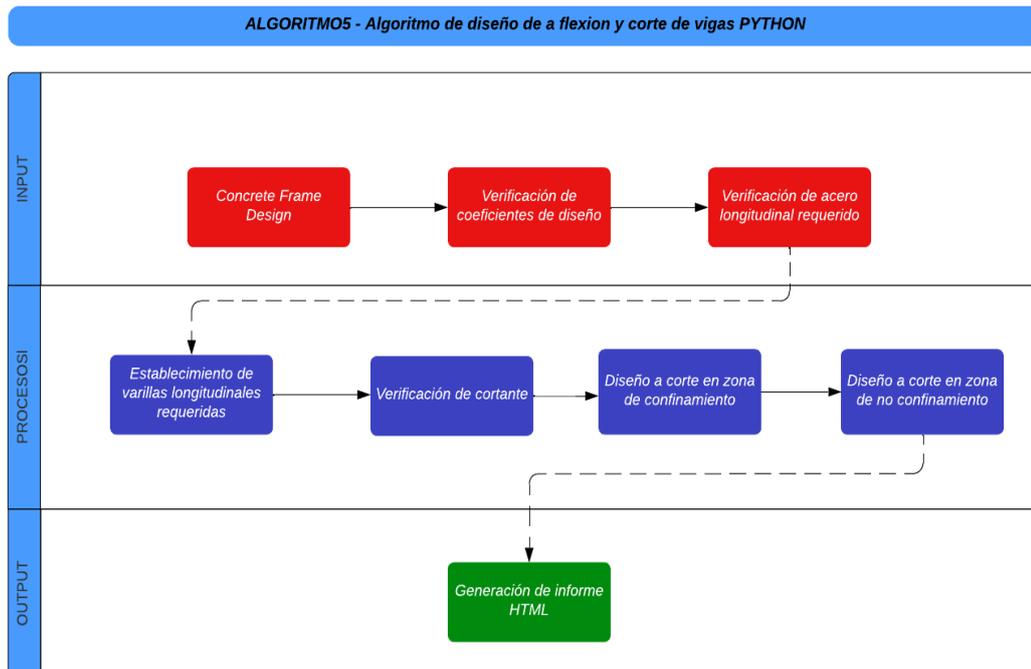
Utilizando nuestra muestra de control se han obtenido 10 procesos.

Figura 130 Procesos de generación de reporte de diseño de vigas



Utilizando nuestra muestra experimental, con el uso de nuestros algoritmos se han obtenido 8 procesos.

Figura 131 Procesos del algoritmo 5



6.2.6. Algoritmo 6 y 7: Algoritmos de dibujo de acero

Hemos generado una plantilla del rotulo en A2 que se ha requerido donde se coloca la información relevante para los diseños y parametrizados valores dentro de la plantilla que son de información del proyecto, esta plantilla es indiferente de nuestro caso de estudio.

La generación de vistas es realizada de manera manual dentro de REVIT y la comunicación y exportación a formatos PDF y CAD es bastante fluida y sin pérdida de información, dentro de los anexos podemos observar nuestros planos obtenidos.

6.3. Resultados

En el siguiente cuadro se presenta la comparación entre los procesos obtenidos de la muestra de control y la muestra experimental.

Tabla 38 Resultados de los algoritmos

	MUESTRA DE CONTROL	MUESTRA EXPERIMENTAL	PORCENTAJE DE MEJORA
1. Algoritmo de obtención de información de REVIT a ETABS	10	4	60%
2. Algoritmo de generación de sismo en ETABS	10	7	30%
3. Algoritmo de generación de reporte de sismo	5	3	40%
4. Algoritmo de diseño a flexocompresión y corte de columnas en MATHCAD	17	12	29%
5. Algoritmo de diseño a flexión y corte de vigas PYTHON	10	8	20%
	Promedio de todo el proceso		36%

Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones.

De acuerdo con los resultados obtenidos en todo el proceso de modelado, análisis, diseño y documentación, se obtienen las siguientes conclusiones:

- C.01. Se han obtenido 7 algoritmos generales de programación algorítmica visual en DYNAMO, comunicando los softwares de REVIT, ETABS, EXCEL, MATHCAD y AUTOCAD, para todo el proceso de modelado, análisis, diseño y documentación de la unidad de analisis.
- C.02. Se ha obtenido el algoritmo de obtención de información de REVIT a ETABS, reduciéndose a 4 procesos el modelado de la unidad de análisis a comparación de los 10 procesos identificados en la muestra de control.
- C.03. Se ha obtenido el algoritmo de generación de sismo en ETABS para la generación del sismo en ETABS, reduciéndose a 7 procesos de los 10 inicialmente obtenidos en la muestra de control.
- C.04. Se ha obtenido el algoritmo de generación del reporte de sismo, reduciendo a 3 procesos los 5 procesos de la muestra de control.
- C.05. Se ha obtenido el algoritmo de diseño y documentación de la columna a flexocompresión y corte de dimensiones de 25x25 cm de la unidad de análisis, reduciéndose a 12 procesos las 17 iniciales de la muestra de control.
- C.06. La documentación del diseño de la columna ha sido personalizada de acuerdo con la normativa de la E 030 y E 060, donde se generan a detalle nuestros informes, de manera paramétrica y de acuerdo con los criterios e información relevante que vea el ingeniero estructural. Estos reportes generados de análisis sísmico y diseño de columnas son indiferentes del caso de estudio de la investigación, pudiendo aplicarse a cualquier modelo de ETABS, bajo las características de entradas de dimensiones, materiales en el caso de diseño de columnas rectangulares, según lo requerido por la E 0.60.

- C.07. Se ha obtenido el algoritmo de diseño a flexión y corte de las vigas, reduciendo a 8 procesos los 10 procesos iniciales de la muestra de control.
- C.08. En general se tiene una mejora de 36% de todo el proceso de modelado, análisis, diseño.
- C.09. Se ha parametrizado la obtención de planos dentro de REVIT de acuerdo con el modelo BIM estructural que se ha obtenido como resultado del análisis y diseño. Este modelo al generarse dentro de REVIT nos permite tener comunicación directa con AUTOCAD a fin de que la presentación final de los planos se obtenga bajo formato CAD.
- C.010. Como se ha evidenciado, el criterio y experiencia del ingeniero civil no puede ser sustituida por un software, mas al contrario, el ingeniero civil y la tecnología de manera correctamente aplicada es imprescindible.

7.2. Recomendaciones:

- En toda la investigación presentada nos hemos enfocado en el diseño de la viga y columna, estudiando todo lo concerniente para su diseño dentro de una vivienda social, queda abierta realizar el diseño bajo la metodología presentada para las vigas, losas y zapatas.
- La programación visual de DYNAMO nos permite automatizar procesos y comunicar programas, queda abierto estudiar diferentes softwares y programar los nodos para poder utilizarlos, por ejemplo, SAFE, CSI BRIDGE, SAP, CIVIL 3D, TEKLA y entre otros, no solo limitándose al tema estructural si no al tema civil en general.
- Es recomendable proceder con la programación visual entendiendo el fenómeno de estudio, con bases en ingeniería de acuerdo con el uso que le demos a fin de obtener resultados aplicativos y de correcto uso bajo el entorno de normativa de la ingeniería peruana.

- Dentro de ETABS existe diferentes opciones que aún no han sido programadas dentro de DYNAMO, por ejemplo, el espectro de respuesta, restricciones de punto, excentricidades y demás, queda abierto generar la programación para las mismas, a fin de optimizar la comunicación entre softwares. De la misma manera investigar dentro de la programación textual de C#, PYTHON para la mayor aplicación de los elementos estudiados.
- Queda abierto realizar la investigación aplicada de la inteligencia artificial a todos estos procesos por lenguajes como PYTHON o DYNAMO.

Referencias

American Concrete Institute. (2014). ACI 318-S14 *comentado*.

Teodoro E. Harmsen (2017). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado (5 ed.)*. Perú:

Fondo Editorial Pontifice Universidad Católica del Perú

Morales, R (2006). *Diseño en Concreto armado (3 ed.)*. Perú. *Fondo Editorial ICG*

Blanco Blasco, Antonio (1995). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado (Libro 2)*. Perú: *Colegio de Ingenieros del Perú*.

Norma Técnica, E-030 (2020). *Diseño Sismorresistente*. *Sencico*

Norma Técnica, E-060 (2020). *Concreto Armado*. *Sencico*

Norma Técnica, E-020 (2020). *Cargas*. *Sencico*

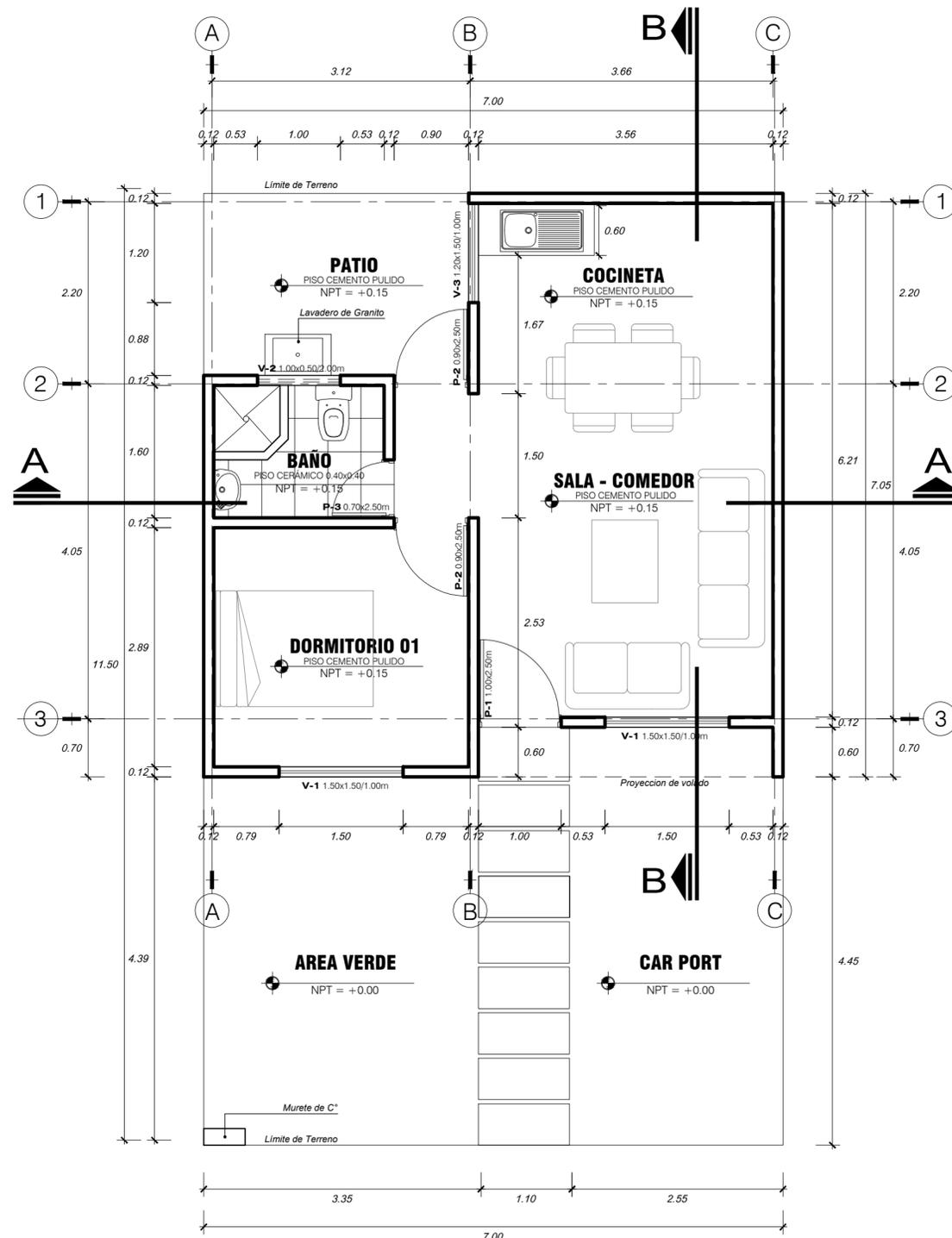
Dynamo Dictionary. Obtenido de <https://dictionary.dynamobim.com/#/>

Dynamo Forum. Obtenido de <https://forum.dynamobim.com/>

Anexos

ANEXO 1

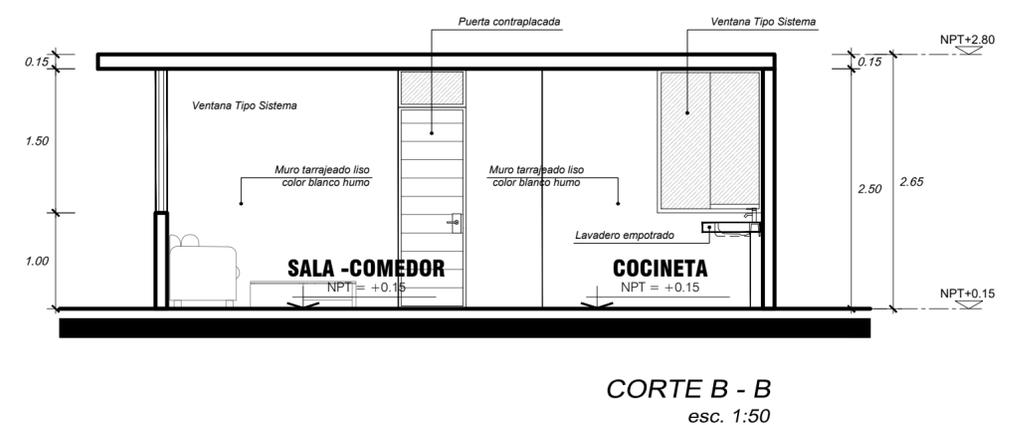
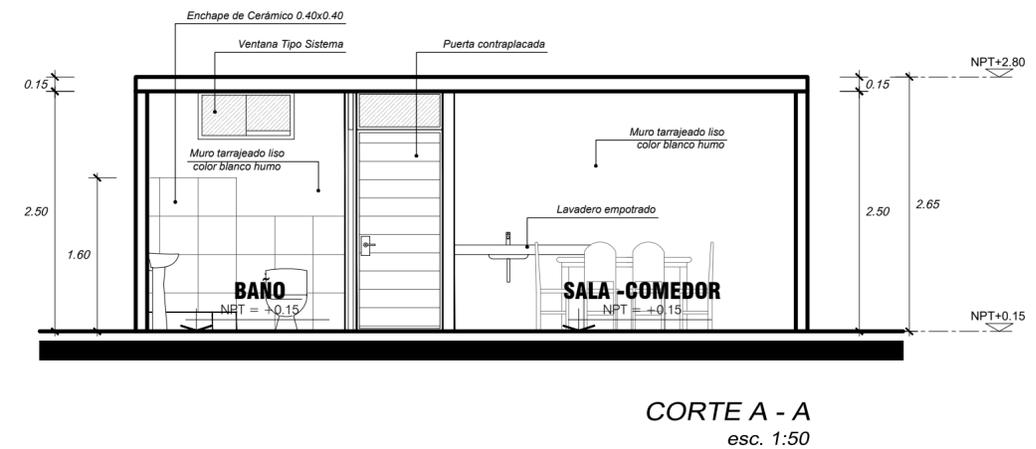
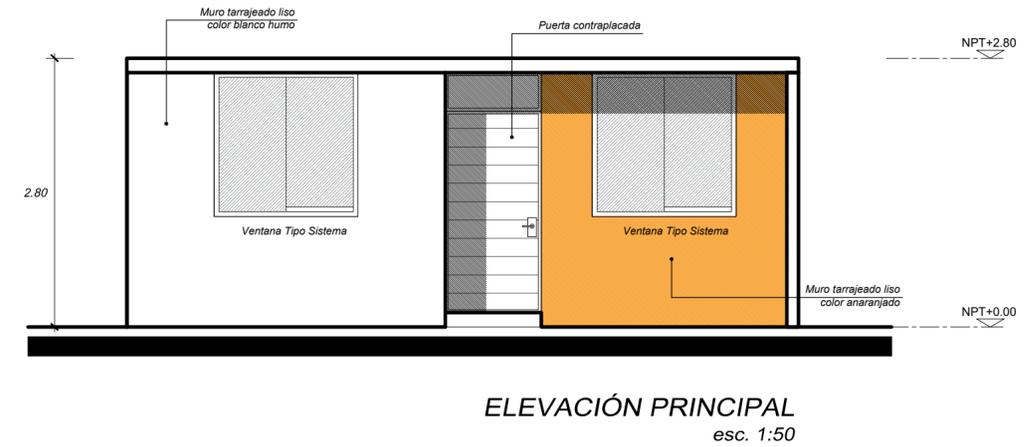
Planos de arquitectura de vivienda modelo



CUADRO DE VANOS VENTANAS				
	ANCHO	ALTURA	ALFEIZAR	TIPO
V1	1.50	1.50	1.00	VENTANA TIPO SISTEMA
V2	1.00	0.50	2.00	VENTANA TIPO SISTEMA
V3	1.20	1.50	1.00	VENTANA TIPO SISTEMA

CUADRO DE VANOS PUERTAS			
	ANCHO	ALTO	TIPO
P1	1.00	2.50	CONTRAPLACADA
P2	0.90	2.50	CONTRAPLACADA
P3	0.70	2.50	CONTRAPLACADA

MÓDULO BÁSICO DE VIVIENDA



	PROYECTO:	MÓDULO BÁSICO VIVIENDA - CONDOMINIO LAS PALMERAS		
	PROPIETARIO:	INFINITY CORPORATION CONSTRUCTORA E INMOBILIARIA S.A.C		
	PLANO:	DISTRIBUCIÓN, CORTES Y ELEV.	UBICACIÓN:	SECTOR DE IRRIGACIÓN COPARE DISTRITO, PROVINCIA Y DPTO. DE TACNA
	RESPONSABLE:	ESCALA:	FECHA:	CAD:
		INDICADA	SEPTIEMBRE, 2017	SCPS
				A-01

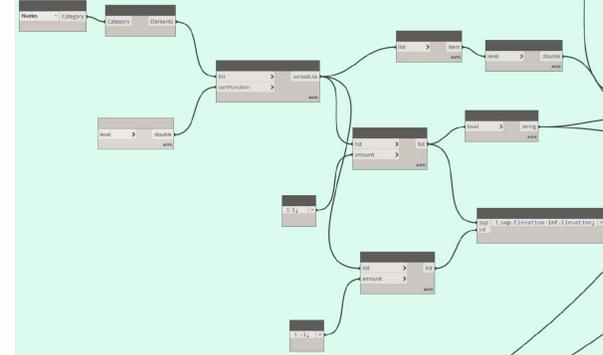
ANEXO 2

Algoritmos generados

Abrir ETABS



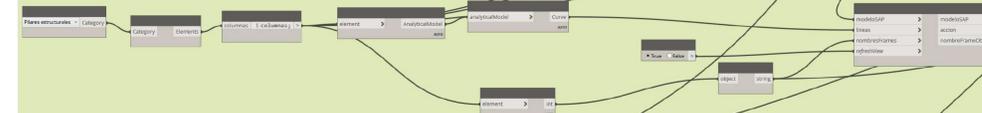
Obtener Niveles de Revit a Etabs



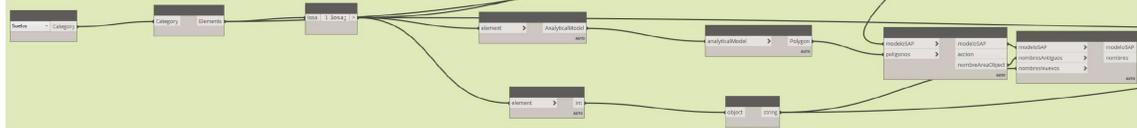
Vigas a ETABS



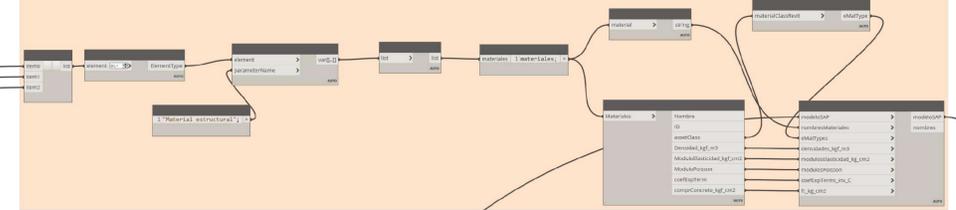
Columnas a ETABS



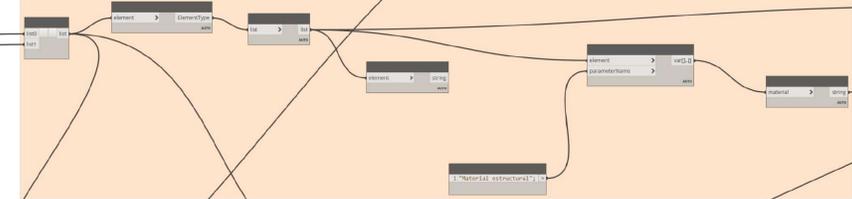
Losas a ETABS



Creación de materiales



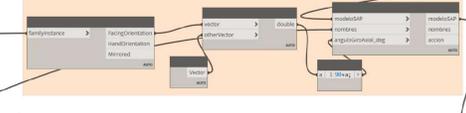
CREACION DE SECCIONES



AÑADIR SECCION



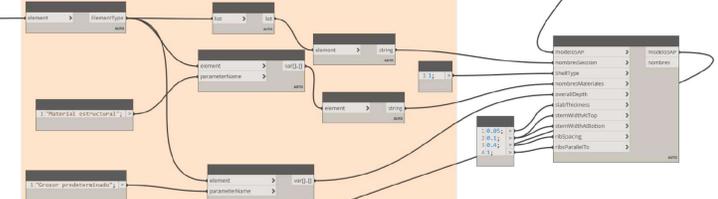
Local AXES - COLUMNAS



LOCAL AXES- VIGAS



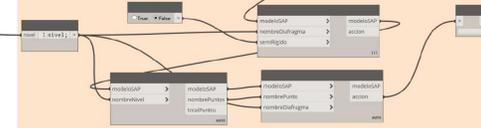
CREAR SECCION LOSA



Asignar sección a losa



Asignar diafragma rígido



NOMBRE DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

TITULO DE PLANO

ALGORITMO 1: Obtención de información de REVIT y trasladarlo a ETABS

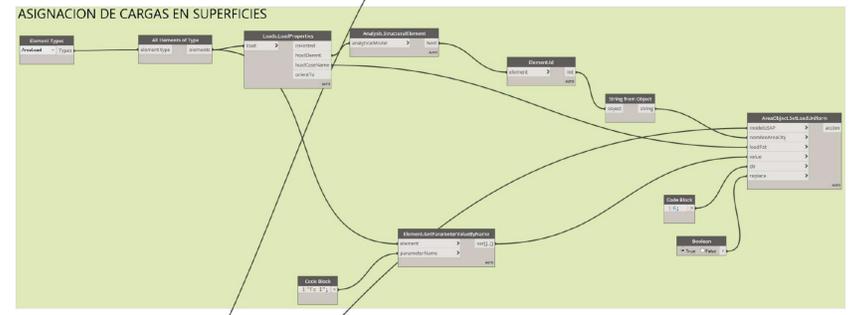
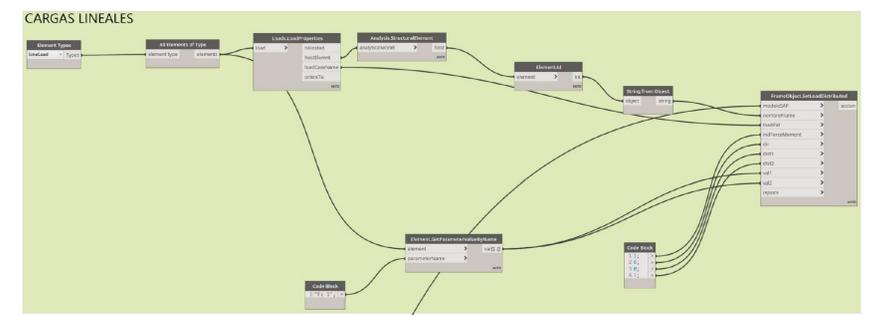
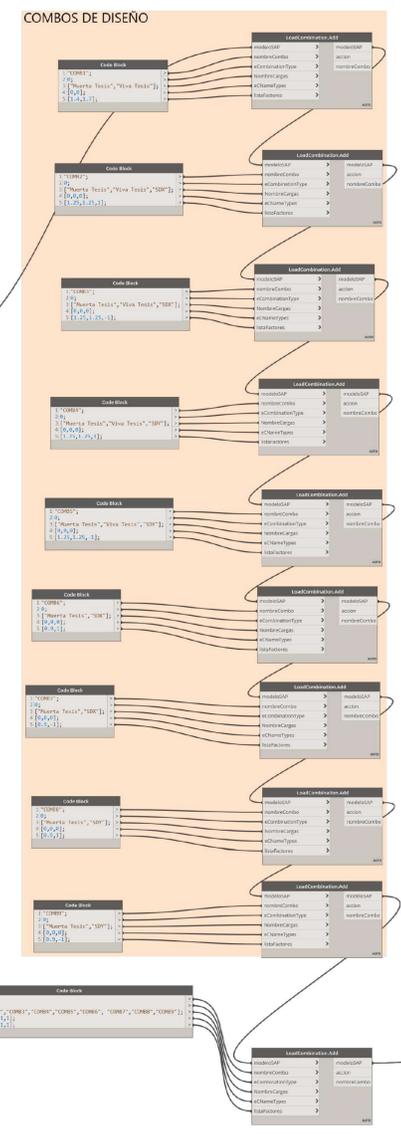
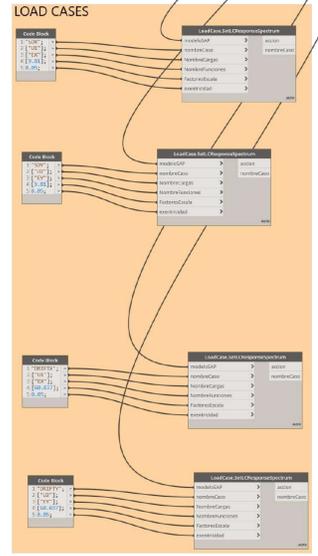
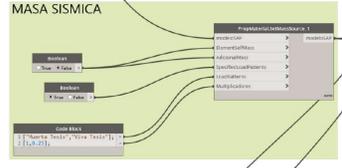
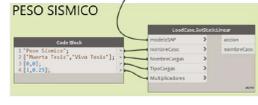
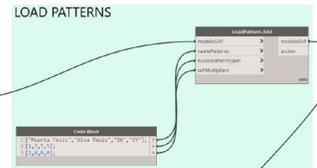
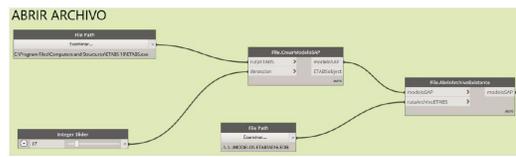
ESCALA: ASIGNADA

FECHA: 25 de octubre 2024

PLANO No.

01





NOMBRE DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

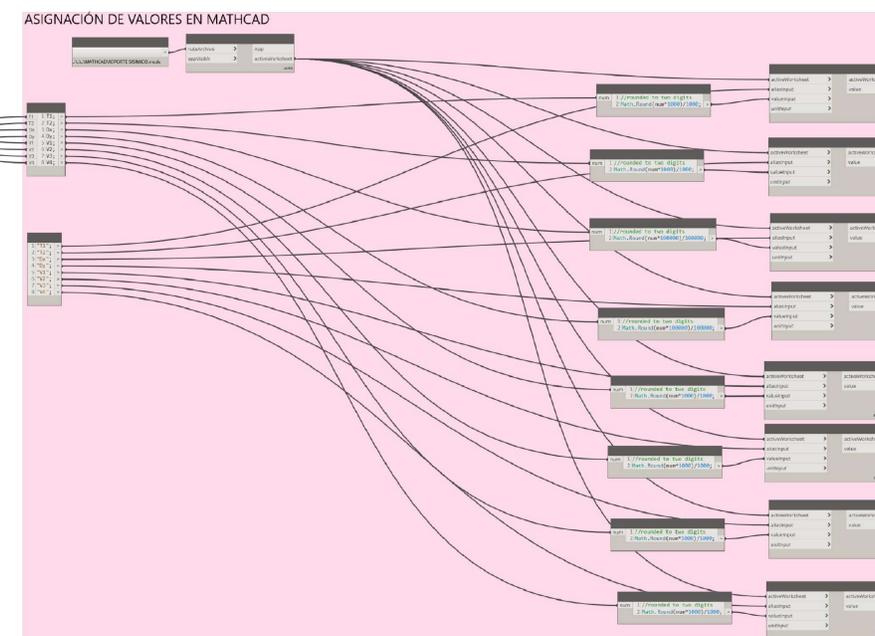
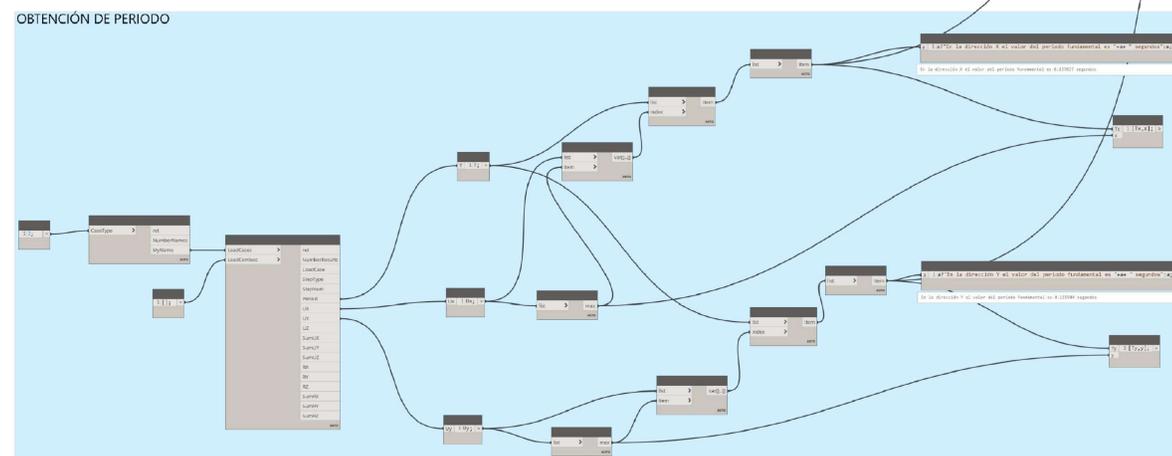
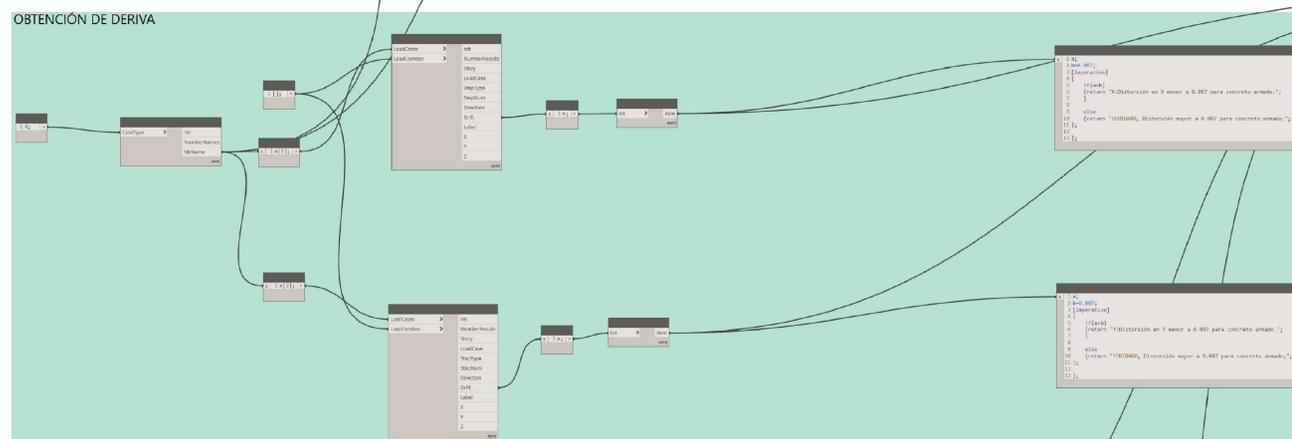
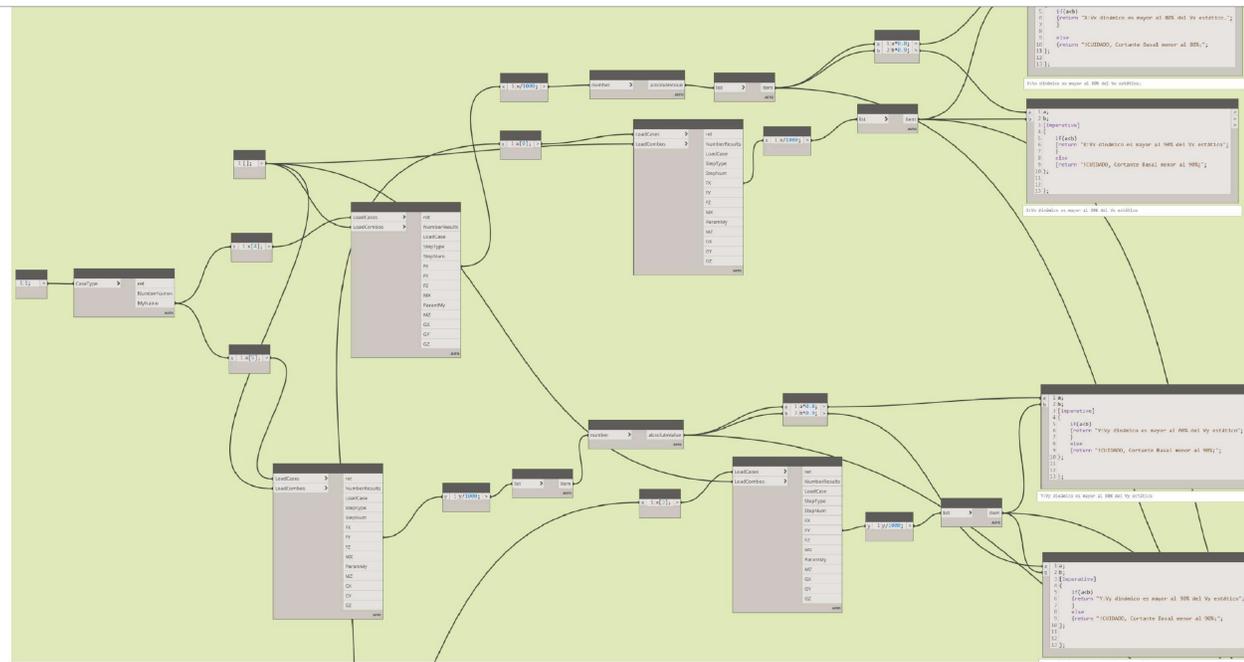
TITULO DE PLANO: Algoritmo 2: Generación de sismo en ETABS

ESCALA: ASIGNADA

FECHA: 25 de octubre 2024

PLANO No.
02





NOMBRE DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

TITULO DE PLANO

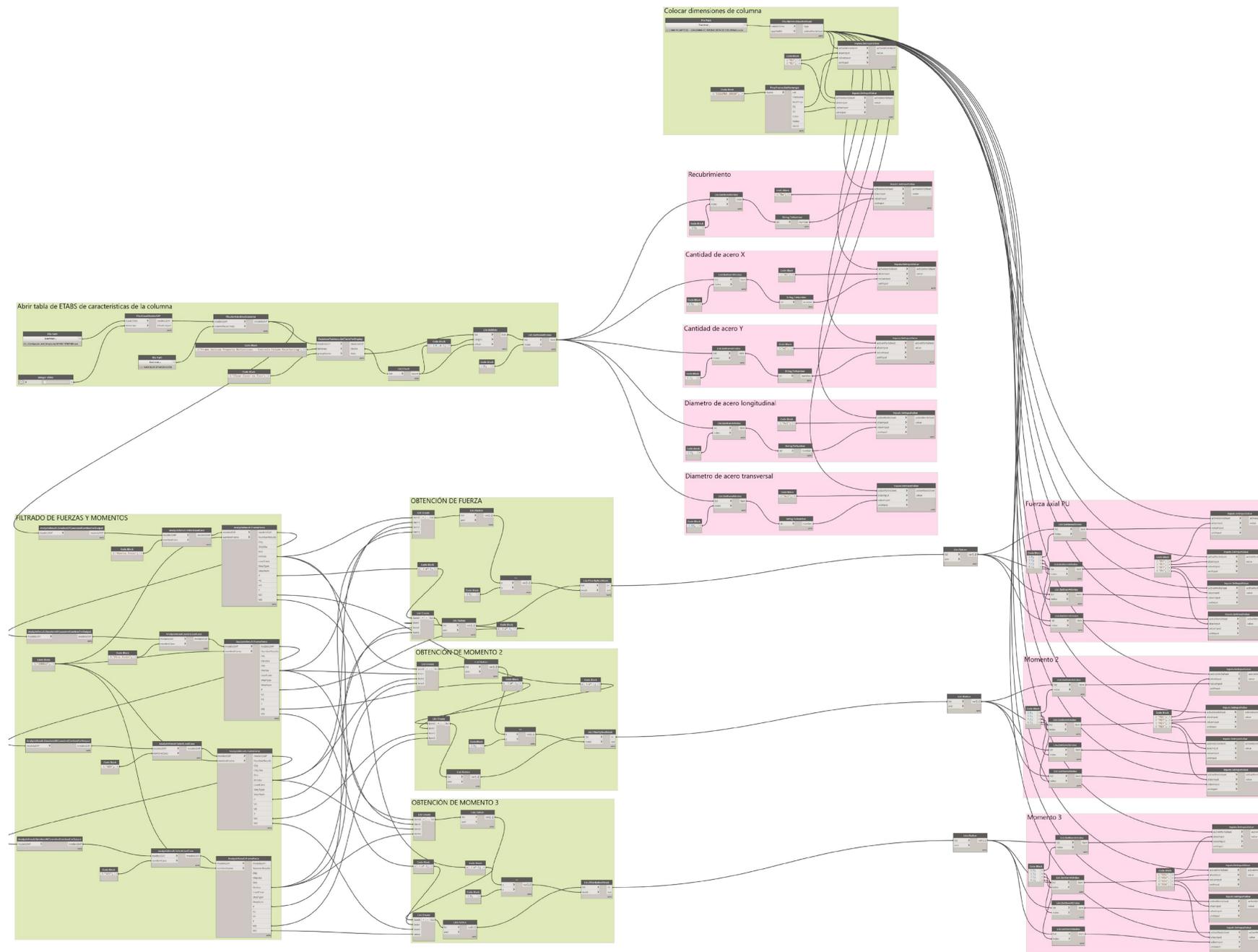
Algoritmo 3: Generación de reporte de sismo de ETABS

ESCALA: ASIGNADA

FECHA: 25 de octubre 2024

PLANO No.
03





NOMBRE DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

TITULO DE PLANO

Algoritmo 4: Diseño a flexocompresión y corte de columnas en MATHCAD

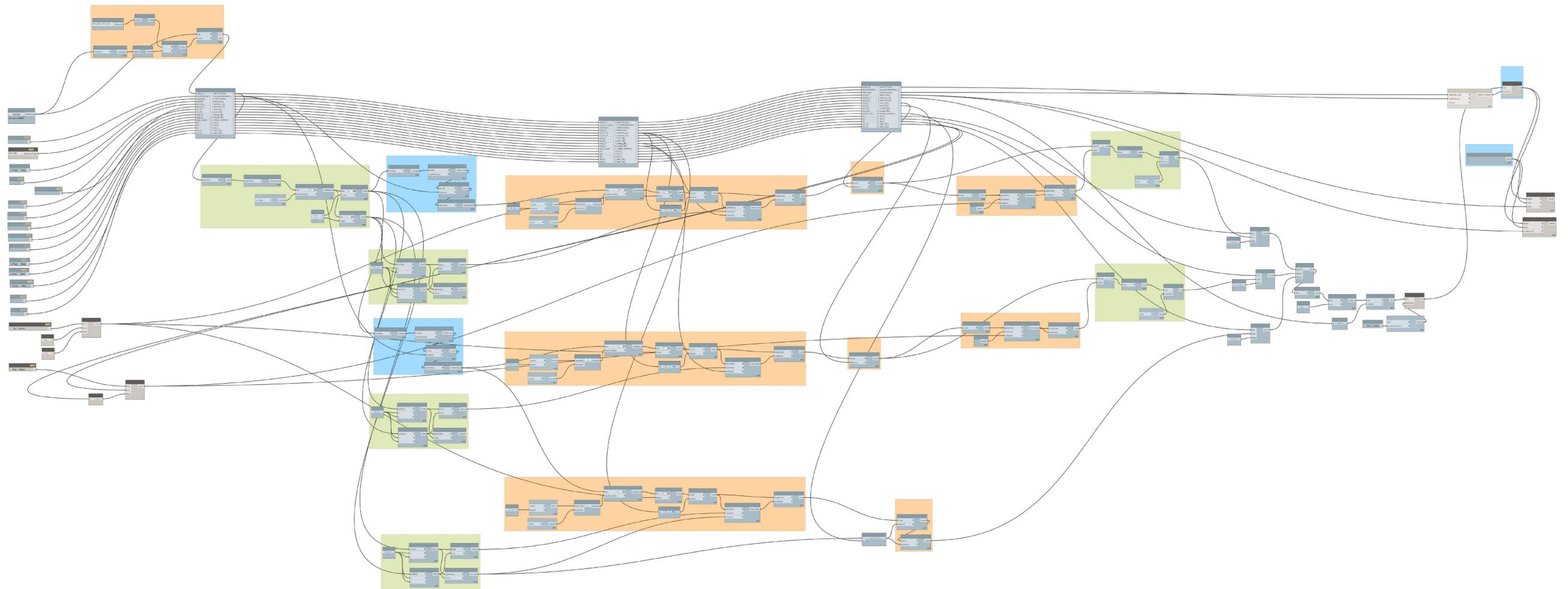
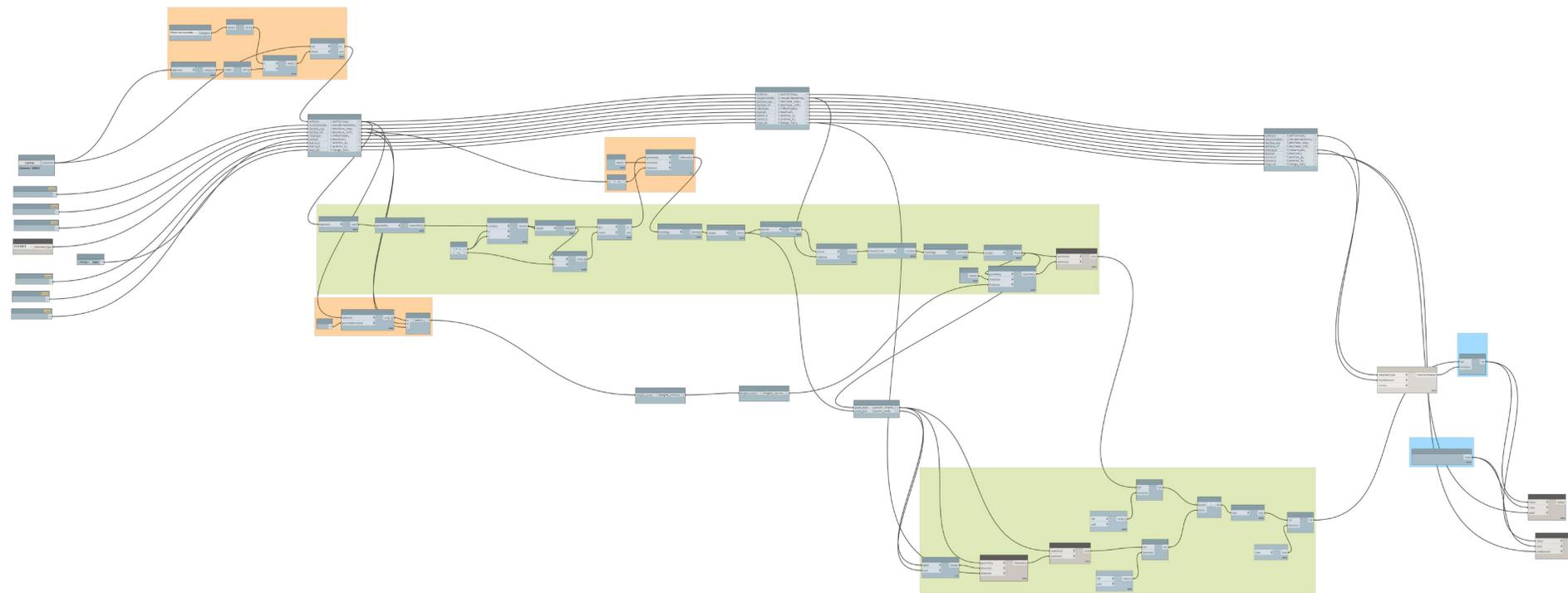
ESCALA: ASIGNADA

FECHA: 25 de octubre 2024

PLANO No.

04





NOMBRE DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

TITULO DE PLANO

Algoritmo 6: Colocación de acero longitudinal de vigas y columnas

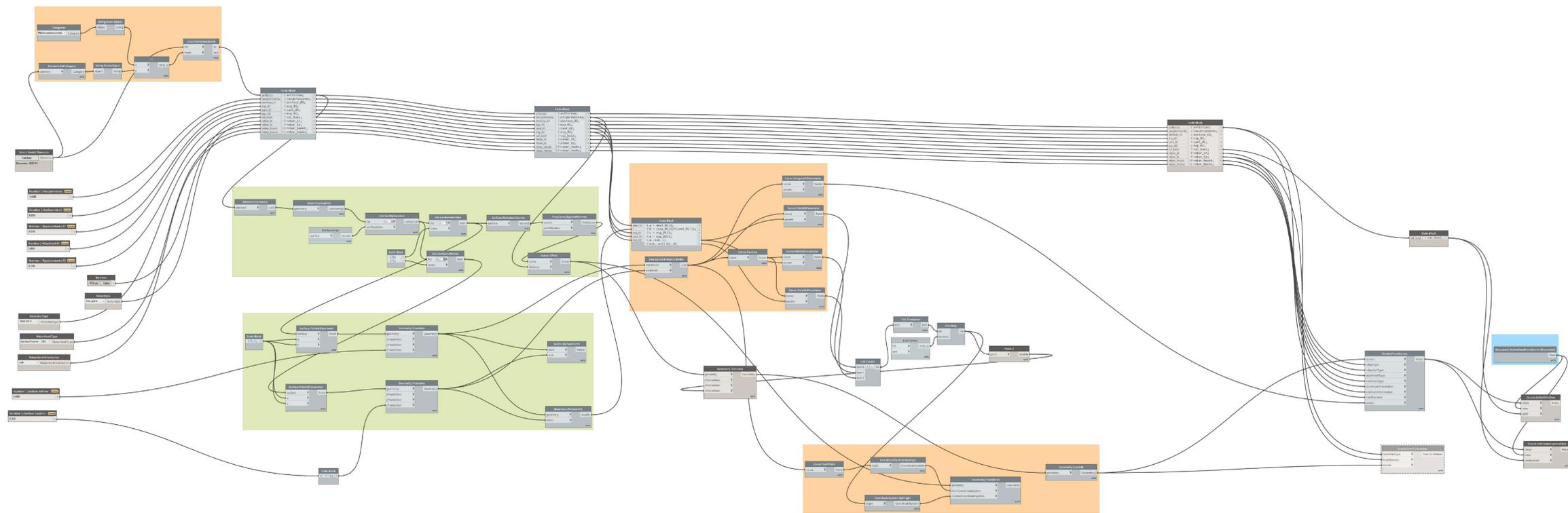
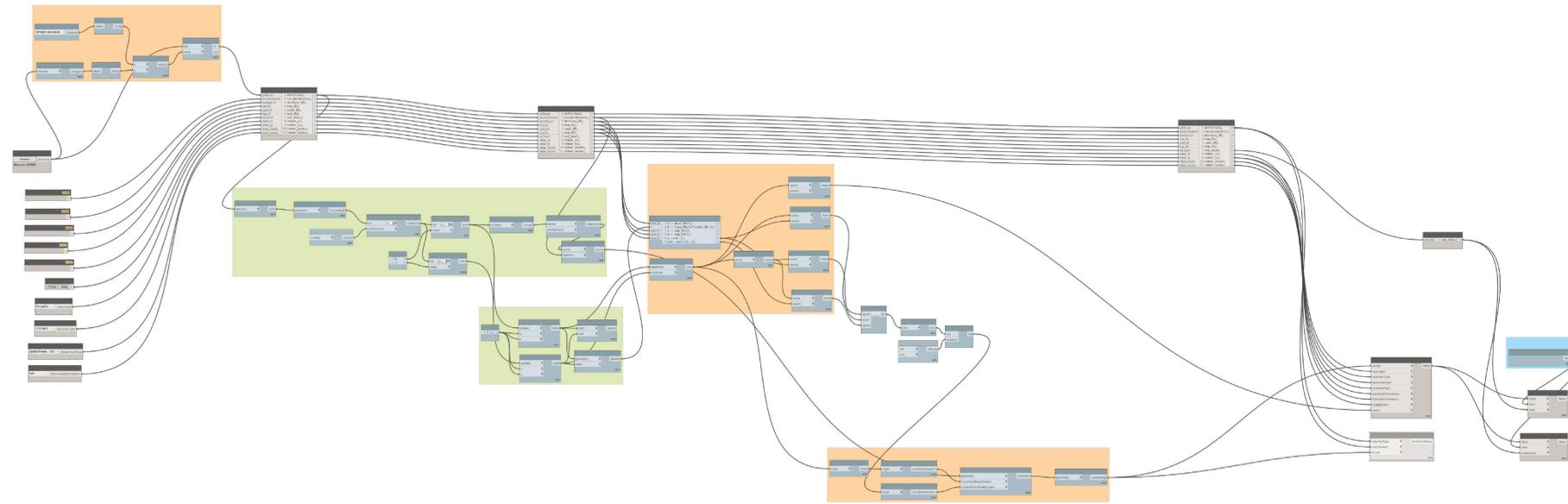
ESCALA: ASIGNADA

PLANO No.

FECHA: 25 de octubre 2024

06





NOMBRE DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMETRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

TITULO DE PLANO

Algoritmo 7: Colocación de acero transversal de columnas y vigas

ESCALA: ASIGNADA

FECHA: 25 de octubre 2024

PLANO No.
07



ANEXO 3

Reporte de Análisis Sísmico General

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

REPORTE DE ANALISIS SÍSMICO

0. Datos de conexión

1. Análisis Modal de la estructura

1.1. Periodo de vibración en la dirección X-X (s)

Entrada $\delta < 0.97$

1.2. Periodo de vibración en la dirección Y-Y (s)

Entrada < 0.97

2. Desplazamiento y distorsiones

2.1 Deriva de piso en X

Entrada < 0.9799

2.1 Deriva de piso en Y

Entrada < 0.9799

3. Cortante Basal Estático (tnf) 4. Cortante Basal Dinámico (tnf)

3.1 Cortante basal en X

Entrada $\delta < 0.7999$

4.1 Cortante basal en X

Entrada < 0.7999

3.1 Cortante basal en Y

Entrada < 0.7999

4.2 Cortante basal en Y

Entrada < 0.7999

**“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE
VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE
PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”**

1. Análisis Modal de la estructura

Obtenemos el periodo de vibración en la dirección donde se encuentra la mayor participación de masas.

1.1. Periodo de vibración en la dirección X-X

$$T_{X-X} = 0$$

1.2. Periodo de vibración en la dirección Y-Y

$$T_{Y-Y} = f$$

2. Desplazamiento y distorsiones.

La Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E.030 del RNE, establece como distorsión máxima de entrepiso el valor de 0.007 para sistemas de concreto armado y 0.005 para sistemas de albañilería, esto se cumplirá en las direcciones X-X y Y-Y respectivamente.

2.1 Deriva de piso en X

$$\Delta_{X-X} < 0$$

2.2 Deriva de piso en Y

$$\Delta_{Y-Y} < 0$$

3. Cortante Basal

De acuerdo a lo indicado en el Art. 29.4, se debe verificar que el cortante en la base obtenido del análisis dinámico para cada una de las direcciones consideradas en el análisis sea mayor o igual al 80% del cortante en la base obtenido del análisis estático, en estructuras irregulares y 90% en regulares.

3.1 Cortante basal en X

$$V_{X-X} \geq 0.8 V_{X-X} \quad | \quad V_{Y-Y} \geq 0.9 V_{Y-Y}$$

$$V_{X-X} \geq 0.9 V_{X-X}$$

3.1 Cortante basal en Y

**“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE
VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE
PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”**

—] 79<<

| 9—

— [7 <

—] 79<=<

ANEXO 4

Reporte de Análisis Sísmico Imprimible

REPORTE DE ANALISIS SÍSMICO

1. Análisis Modal de la estructura

Obtenemos el periodo de vibración en la dirección donde se encuentra la mayor participación de masas.

1.1. Periodo de vibración en la dirección X-X

$$T_{X-X} = 0.97$$

1.2. Periodo de vibración en la dirección Y-Y

$$T_{Y-Y} = 0.97$$

2. Desplazamiento y distorsiones.

La Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E.030 del RNE, establece como distorsión máxima de entrepiso el valor de 0.007 para sistemas de concreto armado y 0.005 para sistemas de albañilería, esto se cumplirá en las direcciones X-X y Y-Y respectivamente.

2.1 Deriva de piso en X

$$\Delta_{X-X} = 0.007$$

2.2 Deriva de piso en Y

$$\Delta_{Y-Y} = 0.005$$

3. Cortante Basal

De acuerdo a lo indicado en el Art. 29.4, se debe verificar que el cortante en la base obtenido del análisis dinámico para cada una de las direcciones consideradas en el análisis sea mayor o igual al 80% del cortante en la base obtenido del análisis estático, en estructuras irregulares y 90% en regulares.

3.1 Cortante basal en X

$$V_{X-X} = 0.8 V_{X-X}^{estático}$$

$$V_{Y-Y} = 0.9 V_{Y-Y}^{estático}$$

**“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE
VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE
PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”**

3.1 Cortante basal en Y

$$\begin{aligned} & \bar{V} \cdot \bar{V} < & | & 9- & \bar{V} [\bar{V} < \\ & \bar{V}] \bar{V} \Leftarrow & & & \end{aligned}$$

ANEXO 5

Reporte de diseño por flexocompresión y corte de columna - General

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

DISEÑO DE COLUMNAS - FLEJO COMPRESIÓN y CORTE

0. Datos de entrada - conexión

Datos extraídos de ETABS MEDIANTE DYNAMO

Dimensión de columna 2-2 Entrada R1 0.3 h $R1$ m 30 cm

Dimensión de columna 3-3 Entrada R2 0.3 b $R2$ m 30 cm

Recubrimiento Entrada Re 0.04 r Re m 4 cm

Cantidad de acero en 2-2 Entrada n1 2 n_b $n1$ 2

Cantidad de acero en 3-3 Entrada n2 2 n_h $n2$ 2

Diámetro y área de acero en 2-2

Entrada Ac1 6 d_b $Ac1$ in 0.75 in A_{d1} π d_b^2 4 2.85 cm^2

Diámetro y área de acero en 3-3

Entrada Ac2 3 d_v $Ac2$ in 0.375 in A_{d2} π d_v^2 4 0.713 cm^2

Fuerzas y momentos

Entrada
P1 1675.42434305893
Entrada
P2 2392.02294918873
Entrada
P3 231.880007067167
Entrada
P4 329.223699414175

Entrada
M21 144.764819782051
Entrada
M22 287.148316867967
Entrada
M23 565.310036676383
Entrada
M24 33.537623717324

Entrada
M31 662.6369513558369
Entrada
M32 685.0417852048557
Entrada
M33 64.4267731387303
Entrada
M34 580.134026528363

MU $P1$ $M21$ 100 $M31$ 100 1675.424 14476.482 66263.695
 VI $P2$ $M22$ 100 $M32$ 100 2392.023 28714.832 68504.179
 SDX $P3$ $M23$ 100 $M33$ 100 231.88 56531.004 6442.677
 SDY $P4$ $M24$ 100 $M34$ 100 329.224 3353.762 58013.403

$CB1$ 1.4 $MU4$ 1.7 VI 6412.033 69082.289 623226.277

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

CB2	1.25	1MU4	VI24	SDX	5316.189	110520.146	612017.165					
CB3	1.25	1MU4	VI26	SDX	4852.429	62541.862	624902.519					
CB4	1.25	1MU4	VI24	SDY	5413.533	57342.904	39553.561					
CB5	1.25	1MU4	VI26	SDY	4755.085	50635.38	676473.245					
CB6	0.9	MU4		SDX	1739.762	69559.837	805.352					
CB7	0.9	MU6		SDX	1276.002	643502.17	612080.003					
CB8	0.9	MU4		SDY	1837.106	16382.596	52376.077					
CB9	0.9	MU6		SDY	1178.658	9675.071	663650.728					
P_u	CB1 _{1f1}	CB2 _{1f1}	CB3 _{1f1}	CB4 _{1f1}	CB5 _{1f1}	CB6 _{1f1}	CB7 _{1f1}	CB8 _{1f1}	CB9 _{1f1}	kgf		
M_{u2}	CB1 _{1f2}	CB2 _{1f2}	CB3 _{1f2}	CB4 _{1f2}	CB5 _{1f2}	CB6 _{1f2}	CB7 _{1f2}	CB8 _{1f2}	CB9 _{1f2}	kgf cm		
M_{u3}	CB1 _{1f3}	CB2 _{1f3}	CB3 _{1f3}	CB4 _{1f3}	CB5 _{1f3}	CB6 _{1f3}	CB7 _{1f3}	CB8 _{1f3}	CB9 _{1f3}	kgf cm		
z max	CB1 _{1f1}	CB2 _{1f1}	CB3 _{1f1}	CB4 _{1f1}	CB5 _{1f1}	CB6 _{1f1}	CB7 _{1f1}	CB8 _{1f1}	CB9 _{1f1}		1	
											1000	
												$z = 6.412$

1. Materiales:

Concreto: f'_c 210 **kgf**
cm²

Acero: f_y 4200 **kgf**
cm²

Modulo de Elasticidad E_s $2.1 \cdot 10^6$ **kgf**
del Acero **cm²**

Deformacion Unitaria del Concreto ϵ_c 0.003

Deformacion Unitaria del Acero $\epsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_s}$

2. Dimensiones:

Altura: $h = 30$ **cm**

Base: $b = 30$ **cm**

Recubrimiento al estribo $r = 4$ **cm**

Longitud de columna $L = 2.7$ **m**

Altura comprimida: $h_c = h - 2r = 22$ **cm**

Base comprimida: $b_c = b - 2r = 22$ **cm**

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

3. Refuerzo:

Numero de Barras en b: $n_b - 2$

Numero de Barras en h: $n_h - 2$

Acero Longitudinal: $d_b - 0.75 \text{ in}$ $d_b - 1.905 \text{ cm}$

Refuerzo Transversal: $d_v - 0.375 \text{ in}$ $d_v - 0.953 \text{ cm}$
(Estribo)

4. Coeficiente de reducción:

Establecemos el valor de coeficiente de reducción por corte y flexo compresión, establecido por la norma E.060.

Coeficiente reducción por corte: $\phi_c - 0.85$

Coeficiente reducción por flexo compresión: $\phi - 0.7$

5. Diseño por flexo - compresión:

Programación para generar matrices de acero.

$f - 1 \quad n_b \quad c - 1 \quad n_h \quad n_{barras_{1:c}} - 1 \quad n_{barras_{f:1}} - 1 \quad n_{barras_{f:n_h}} - 1$

$n_{barras_{n_b:c}} - 1$

$n_{barras} - \begin{matrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{matrix}$

$n_{barras_{1:c}} - \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$

rows $n_{barras} - 2$ cols $n_{barras} - 2$

$d_{barras} \quad i - 1 \quad rows \quad n_{barras} \quad - \quad 1.905 \quad 1.905 \quad \text{cm}$
 $j - 1 \quad cols \quad n_{barras} \quad 1.905 \quad 1.905$

$n_{barras_{i:j}} - 1$

$d_{barras_{i:j}} \quad d_b$

d_{barras}

$A_s \quad \frac{\pi}{4} \quad d_{barras}^2 - \begin{matrix} 2.85 & 2.85 \\ 2.85 & 2.85 \end{matrix} \quad \text{cm}^2$

$k \quad rows \quad n_{barras} - 2 \quad m \quad cols \quad n_{barras} - 2$

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$A_{sf} = \sum_{i=1}^k A_s = 5.7 \cdot 5.7 \text{ cm}^2$$

$$A_{Stotal} = \sum_{i=1}^m A_{sf_i} = 11.401 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cuantia} = \frac{A_{Stotal}}{b \cdot h} = 100 \cdot 1.267$$

Ubicación de las Filas de Acero.

$$dist_1 = r_4 \cdot d_v \cdot 4 \cdot \frac{d_b}{2} = 5.905 \text{ cm}$$

$$S_{sep_barras} = \frac{h - 2 \cdot dist_1}{cols \cdot n_{barras}} = \frac{18.19 \text{ cm}}{6 \cdot 1} = 3.03 \text{ cm}$$

$$d = \frac{i - 2}{m} \cdot dist_i + \frac{dist_{i-1}}{i-1} + 4 \cdot S_{sep_barras} = 24.095 \text{ cm}$$

dist

A) Caso de Compresion pura

$$A_g = b \cdot h = 900 \text{ cm}^2 \quad \phi = 0.7 \quad Coef = 0.80$$

$$P_o = 0.85 \cdot f'_c \cdot A_g + A_{Stotal} \cdot f_y = 206.499 \text{ tonnef}$$

$$\phi P_{n_max} = \phi \cdot Coef \cdot P_o = 115.639 \text{ tonnef} \quad P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (22.4.2.2)$$

Tabla 22.4.2.1 — Resistencia axial máxima

Miembro	Refuerzo transversal	$P_{n,max}$
No preesforzado	Estribos que cumplen con 22.4.2.4	$0.80 P_o$ (a)
	Espirales que cumplen con 22.4.2.5	$0.85 P_o$ (b)
Preesforzado	Estribos	$0.80 P_o$ (c)
	Espirales	$0.85 P_o$ (d)
Miembros de cimentaciones profundas	Estribos de acuerdo con el Capítulo 13	$0.80 P_o$ (e)

B) Caso de Flexion y Compresion

$$\beta_1 = 0.85 \quad f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$f'_c = 28 \text{ MPa} \dots f'_c = 56 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.856 \quad f'_c = 28 \text{ MPa}$$

Tabla 22.2.2.4.3 — Valores de β_1 para la distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto.

f'_c , MPa	β_1
$17 < f'_c < 28$	0.85 (a)

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$f'_c = 56 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.65$$

$28 < f'_c < 55$	$0.85 - \frac{0.05(f'_c - 28)}{7}$	(b)
$f'_c \geq 55$	0.65	(c)

$$a = \beta_1 c \quad (22.2.2.4.1)$$

B.1) Esfuerzo en fila de barras:

$$f_s = \begin{cases} \epsilon_s E_s \leq f_y \\ f_y \end{cases} \quad \text{sign} \left[\frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} \right] \cdot 1$$

Valor de ϕ

$$\phi = \max \left[0.25, 0.74 - 0.25 \frac{\epsilon_t}{\epsilon_c} \right] \leq 0.9$$

$$\phi = \begin{cases} 0.74 - 0.25 \frac{\epsilon_t}{\epsilon_c} & \text{if } \epsilon_t \leq 0.003 \\ 0.9 & \text{if } \epsilon_t > 0.003 \end{cases}$$

B.1) Capacidad Axial Minorada de la Columna

$$\phi P_n = \min \left[0.85 f'_c a b, 4 \sum_{i=1}^n A_{sf_i} f_{si} \right] \leq \phi P_{n,max}$$

B.2) Momento Resistente Minorado

$$\phi M_n = \phi \left[0.85 f'_c a b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + 4 \sum_{i=1}^n A_{sf_i} f_{si} \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \right]$$

B.3) Valores de a

$$a = 0 \leq a \leq h$$

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

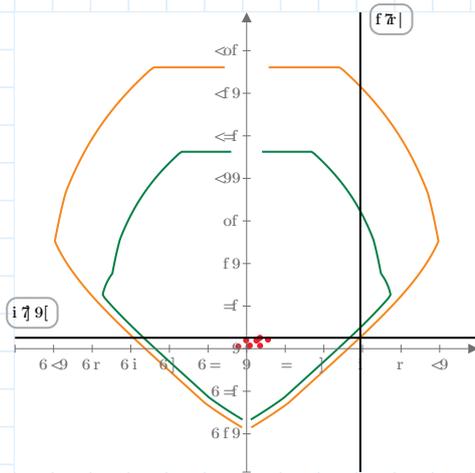
5.1 Solicitaciones:

$$P_u = 6.412 \quad 5.316 \quad 4.852 \quad 5.414 \quad 4.755 \quad 1.74 \quad 1.276 \quad 1.837 \quad 1.179 \quad \text{tonnef}$$

$$M_{u2} = 0.691 \quad 1.105 \quad 60.025 \quad 0.573 \quad 0.506 \quad 0.696 \quad 60.435 \quad 0.164 \quad 0.097 \quad \text{tonnef m}$$

$$M_{u3} = 60.232 \quad 60.12 \quad 60.249 \quad 0.396 \quad 60.765 \quad 0.008 \quad 60.121 \quad 0.524 \quad 60.637 \quad \text{tonnef m}$$

5.2 Diagrama de Interacción:



$$\phi M_n \text{ a2 } 1 \text{ tonnef m}^2$$

$$6 \phi M_n \text{ a2 } 1 \text{ tonnef m}^2$$

$$M_{u2} \text{ } 1 \text{ tonnef m}^2$$

$$\phi M_{n1} \text{ a2 } 1 \text{ m tonnef}^2$$

$$6 \phi M_{n1} \text{ a2 } 1 \text{ m tonnef}^2$$

$$\phi P_n \text{ a2 } 1 \text{ tonnef}^2$$

$$\phi P_n \text{ a2 } 1 \text{ tonnef}^2$$

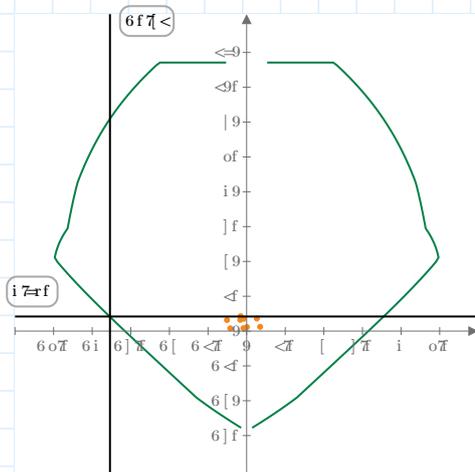
$$P_u \text{ } 1 \text{ tonnef}^2$$

$$\phi P_{n1} \text{ a2 } 1 \text{ tonnef}^2$$

$$\phi P_{n1} \text{ a2 } 1 \text{ tonnef}^2$$

De nuestro diagrama de interacción tenemos que el momento nominal de diseño en la dirección 2-2 es de:

$$M2 = 5.89 \text{ tonnef m}$$



$$\phi P_n \text{ a2 } 1 \text{ tonnef}^2$$

$$\phi P_n \text{ a2 } 1 \text{ tonnef}^2$$

$$P_u \text{ } 1 \text{ tonnef}^2$$

$$\phi M \text{ a2 } 1 \text{ tonnef m}^2$$

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$\psi_{M_n} 1.02 \text{ 1tonnef m}^2$$

$$6 \phi M_n 1.02 \text{ 1tonnef m}^2$$

$$M_{u3} \text{ 1tonnef m}^2$$

De nuestro diagrama de interacción tenemos que el momento nominal de diseño en la dirección 3-3 es de:

$$M3 \text{ 5.31 tonnef m}$$

5. Diseño por corte:

5.1. Distancia de estribos en zona de confinamiento

Obtenemos el momento probable $M_{pr} \text{ M3 1.25}$

Corte en la dirección de análisis $V_u = 2 \frac{M_{pr}}{L} = 4.917 \text{ tonnef}$

Corte mayorado $V_s = \frac{V_u}{\phi_c} = 5.784 \text{ tonnef}$

Cantidad de acero en dirección de análisis $A_v = 2 A_{d2} = 1.425 \text{ cm}^2$

Nuestro primer espaciado en la zona de rotura plástica viene dado por la menor dirección de los siguientes valores

$$S1 = A_v f_y \frac{b_c}{V_s} = 0.228 \text{ m}$$

$$S2 = 6 d_b = 11.43 \text{ cm}$$

$$S3 = \frac{\min\{h, b\}^2}{3} = 10 \text{ cm}$$

$$S4 = 10 \text{ cm}$$

$$S = \min\{S1, S2, S3, S4\} = 10 \text{ cm}$$

Verificación de acuerdo a la E 0.60, donde A_{sh1} y A_{sh2} deberán ser menores que A_v , de donde se tiene:

$$S_f = 5 \text{ cm}$$

$$A_{sh1} = 0.3 S_f b_c \frac{f'_c}{f_y} \frac{b h}{b_c h_c} = 1.418 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 S_f b_c \frac{f'_c}{f_y} = 0.495 \text{ cm}^2$$

Dentro de la zona de rotura plástica nuestra distancia final de estribos viene dada por:

$$S_f = 5 \text{ cm}$$

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

5.2. Longitud de zona de confinamiento

Establecemos la zona de confinamiento como la mayor de las siguientes dimensiones:

$$L1 = \frac{L}{6} = 45 \text{ cm} \qquad L2 = \max\{b; h\} = 30 \text{ cm} \qquad L3 = 50 \text{ cm}$$

$$L0 = \max\{L1; L2; L3\} = 50 \text{ cm}$$

5.3. Distancia de estribos en zona central

Dentro de la zona central, consideramos la resistencia al corte del concreto y del acero.

Resistencia al corte del concreto $f'_c = 2100000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_c \frac{h}{10} = 5.069 \text{ tonnef}$$

Resistencia al corte del acero

$$V_{s1} = \frac{V_u}{\phi_c} = 0.715 \text{ tonnef}$$

El espaciamiento final viene dado por el valor menor de las siguientes dimensiones:

$$S_{L1} = A_v f_y \frac{b_c}{V_{s1}} = 184.109 \text{ cm}$$

$$S_{L2} = 10 d_b = 19.05 \text{ cm}$$

$$S_{L3} = 25 \text{ cm}$$

$$S_L = \min\{S_{L1}; S_{L2}; S_{L3}\} = 19.05 \text{ cm}$$

$$S_{Lf} = 15 \text{ cm}$$

**“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE
VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE
PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”**

DISEÑO DE COLUMNAS - FLEJO COMPRESIÓN y CORTE

1. Materiales:

Concreto:	f'_c	210	$\frac{kgf}{cm^2}$
Acero:	f_y	4200	$\frac{kgf}{cm^2}$
Modulo de Elasticidad del Acero	E_s	$2.1 \cdot 10^6$	$\frac{kgf}{cm^2}$
Deformacion Unitaria del Concreto	ϵ_c	0.003	
Deformacion Unitaria del Acero	ϵ_{ty}	$\frac{f_y}{E_s}$	

2. Dimensiones:

Altura:	h	30	cm
Base:	b	30	cm
Recubrimiento al estribo	r	4	cm
Longitud de columna	L	2.7	m
Altura comprimida:	h_c	$h - 2r$	22 cm
Base comprimida:	b_c	$b - 2r$	22 cm

3. Refuerzo:

Numero de Barras en b:	n_b	2	
Numero de Barras en h:	n_h	2	
Acero Longitudinal:	d_b	0.75 in	d_b 1.905 cm
Refuerzo Transversal: (Estribo)	d_v	0.375 in	d_v 0.953 cm

4. Coeficiente de reducción:

Establecemos el valor de coeficiente de reducción por corte y flexo compresión, establecido por la norma E.060.

Coeficiente reducción por corte:	ϕ_c	0.85
Coeficiente reducción por flexo compresión:	ϕ	0.7

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

5. Diseño por flexo - compresión:

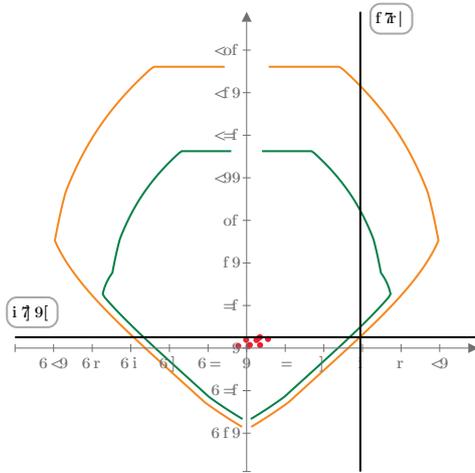
5.1 Solicitaciones:

P_u 6.412 5.316 4.852 5.414 4.755 1.74 1.276 1.837 1.179 **tonnef**

M_{u2} 0.691 1.105 60.025 0.573 0.506 0.696 60.435 0.164 0.097 **tonnef m**

M_{u3} 60.232 60.12 60.249 0.396 60.765 0.008 60.121 0.524 60.637 **tonnef m**

5.2 Diagrama de Interacción:



ϕM_n 1a2 1**tonnef m**2

6 ϕM_n 1a2 1**tonnef m**2

M_{u2} 1**tonnef m**2

ϕM_{n1} 1a2 1**m tonnef**2

6 ϕM_{n1} 1a2 1**m tonnef**2

ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

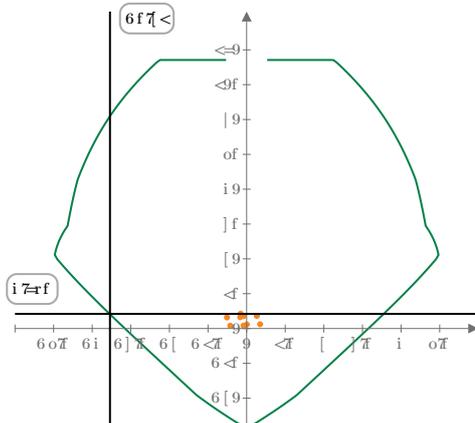
P_u 1**tonnef**2

ϕP_{n1} 1a2 1**tonnef**2

ϕP_{n1} 1a2 1**tonnef**2

De nuestro diagrama de interacción tenemos que el momento nominal de diseño en la dirección 2-2 es de:

M_2 5.89 **tonnef m**



ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

P_u 1**tonnef**2

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$\frac{\phi M_n 1a2 \text{ 1tonnef } m2}{6 \phi M_n 1a2 \text{ 1tonnef } m2}$$

$$M_{u3} \text{ 1tonnef } m2$$

De nuestro diagrama de interacción tenemos que el momento nominal de diseño en la dirección 3-3 es de:

$$M3 \text{ 5.31 tonnef } m$$

5. Diseño por corte:

5.1. Distancia de estribos en zona de confinamiento

Obtenemos el momento probable	$M_{pr} \text{ } M3 \text{ 1.25}$
Corte en la dirección de análisis	$V_u \text{ } 2 \frac{M_{pr}}{L} \text{ } 4.917 \text{ tonnef}$
Corte mayorado	$V_s \text{ } \frac{V_u}{\phi_c} \text{ } 5.784 \text{ tonnef}$
Cantidad de acero en dirección de análisis	$A_v \text{ } 2 \text{ } A_{d2} \text{ } 1.425 \text{ cm}^2$

Nuestro primer espaciamiento en la zona de rotura plástica viene dado por la menor dirección de los siguientes valores

$$S1 \text{ } \frac{A_v f_y b_c}{V_s} \text{ } 0.228 \text{ m}$$

$$S2 \text{ } 6 d_b \text{ } 11.43 \text{ cm}$$

$$S3 \text{ } \frac{\min\{h; b\}}{3} \text{ } 10 \text{ cm}$$

$$S4 \text{ } 10 \text{ cm}$$

$$S \text{ } \min\{S1; S2; S3; S4\} \text{ } 10 \text{ cm}$$

Verificación de acuerdo a la E 0.60, donde Ash1 y Ash2 deberán ser menores que Av, de donde se tiene:

$$S_f \text{ } 5 \text{ cm}$$

$$A_{sh1} \text{ } 0.3 S_f b_c \frac{f'_c}{f_y} \frac{b h}{b_c h_c} \text{ } 6 \text{ 1 } \text{ } 1.418 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh2} \text{ } 0.09 S_f b_c \frac{f'_c}{f_y} \text{ } 0.495 \text{ cm}^2$$

Dentro de la zona de rotura plástica nuestra distancia final de estribos viene dada por:

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$S_f = 5 \text{ cm}$$

5.2. Longitud de zona de confinamiento

Establecemos la zona de confinamiento como la mayor de las siguientes dimensiones:

$$L1 = \frac{L}{6} = 45 \text{ cm} \qquad L2 = \max\{b, h\} = 30 \text{ cm} \qquad L3 = 50 \text{ cm}$$

$$L_0 = \max\{L1, L2, L3\} = 50 \text{ cm}$$

5.3. Distancia de estribos en zona central

Dentro de la zona central, consideramos la resistencia al corte del concreto y del acero.

Resistencia al corte del concreto $f'_c = 2100000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_c \frac{h}{10} = 5.069 \text{ tonnef}$$

Resistencia al corte del acero

$$V_{s1} = \frac{V_u}{\phi_c} - V_c = 0.715 \text{ tonnef}$$

El espaciamiento final viene dado por el valor menor de las siguientes dimensiones:

$$S_{L1} = \frac{A_v f_y}{V_{s1}} b_c = 184.109 \text{ cm}$$

$$S_{L2} = 10 d_b = 19.05 \text{ cm}$$

$$S_{L3} = 25 \text{ cm}$$

$$S_L = \min\{S_{L1}, S_{L2}, S_{L3}\} = 19.05 \text{ cm}$$

$$S_{Lf} = 15 \text{ cm}$$

ANEXO 6

Reporte de diseño por flexocompresión y corte de columna - Imprimible

**“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE
VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE
PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”**

DISEÑO DE COLUMNAS - FLEJO COMPRESIÓN y CORTE

1. Materiales:

Concreto:	f'_c	210	$\frac{kgf}{cm^2}$
Acero:	f_y	4200	$\frac{kgf}{cm^2}$
Modulo de Elasticidad del Acero	E_s	$2.1 \cdot 10^6$	$\frac{kgf}{cm^2}$
Deformacion Unitaria del Concreto	ϵ_c	0.003	
Deformacion Unitaria del Acero	ϵ_{ty}	$\frac{f_y}{E_s}$	

2. Dimensiones:

Altura:	h	30	cm
Base:	b	30	cm
Recubrimiento al estribo	r	4	cm
Longitud de columna	L	2.7	m
Altura comprimida:	h_c	$h - 2r$	22 cm
Base comprimida:	b_c	$b - 2r$	22 cm

3. Refuerzo:

Numero de Barras en b:	n_b	2	
Numero de Barras en h:	n_h	2	
Acero Longitudinal:	d_b	0.75 in	d_b 1.905 cm
Refuerzo Transversal: (Estribo)	d_v	0.375 in	d_v 0.953 cm

4. Coeficiente de reducción:

Establecemos el valor de coeficiente de reducción por corte y flexo compresión, establecido por la norma E.060.

Coeficiente reducción por corte:	ϕ_c	0.85
Coeficiente reducción por flexo compresión:	ϕ	0.7

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

5. Diseño por flexo - compresión:

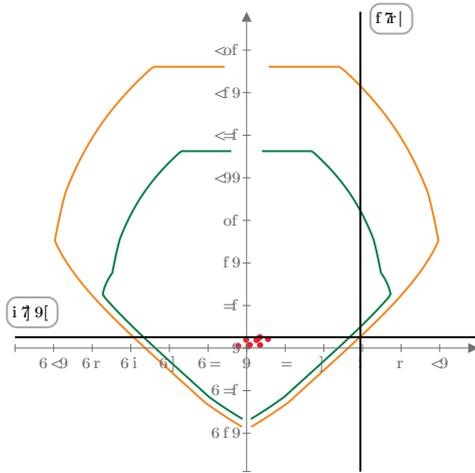
5.1 Solicitaciones:

P_u 6.412 5.316 4.852 5.414 4.755 1.74 1.276 1.837 1.179 **tonnef**

M_{u2} 0.691 1.105 60.025 0.573 0.506 0.696 60.435 0.164 0.097 **tonnef m**

M_{u3} 60.232 60.12 60.249 0.396 60.765 0.008 60.121 0.524 60.637 **tonnef m**

5.2 Diagrama de Interacción:



ϕM_n 1a2 1**tonnef m**2

6 ϕM_n 1a2 1**tonnef m**2

M_{u2} 1**tonnef m**2

ϕM_{n1} 1a2 1**m tonnef**2

6 ϕM_{n1} 1a2 1**m tonnef**2

ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

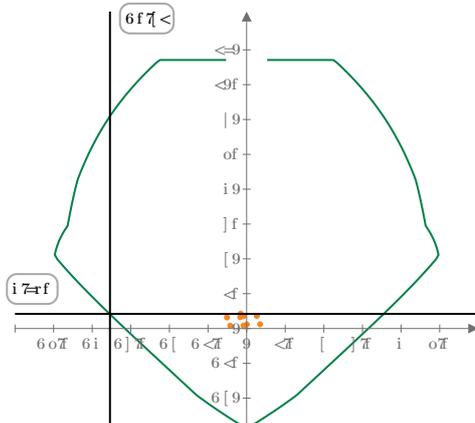
P_u 1**tonnef**2

ϕP_{n1} 1a2 1**tonnef**2

ϕP_{n1} 1a2 1**tonnef**2

De nuestro diagrama de interacción tenemos que el momento nominal de diseño en la dirección 2-2 es de:

M_2 5.89 **tonnef m**



ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

ϕP_n 1a2 1**tonnef**2

P_u 1**tonnef**2

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$\frac{\phi M_n 1a2 \text{ 1tonnef } m2}{6 \phi M_n 1a2 \text{ 1tonnef } m2}$$

$$M_{u3} \text{ 1tonnef } m2$$

De nuestro diagrama de interacción tenemos que el momento nominal de diseño en la dirección 3-3 es de:

$$M3 \text{ 5.31 tonnef } m$$

5. Diseño por corte:

5.1. Distancia de estribos en zona de confinamiento

Obtenemos el momento probable	$M_{pr} \text{ } M3 \text{ 1.25}$
Corte en la dirección de análisis	$V_u \text{ } 2 \frac{M_{pr}}{L} \text{ } 4.917 \text{ tonnef}$
Corte mayorado	$V_s \frac{V_u}{\phi_c} \text{ } 5.784 \text{ tonnef}$
Cantidad de acero en dirección de análisis	$A_v \text{ } 2 \text{ } A_{d2} \text{ } 1.425 \text{ cm}^2$

Nuestro primer espaciamiento en la zona de rotura plástica viene dado por la menor dirección de los siguientes valores

$$S1 \text{ } \frac{A_v f_y b_c}{V_s} \text{ } 0.228 \text{ m}$$

$$S2 \text{ } 6 d_b \text{ } 11.43 \text{ cm}$$

$$S3 \text{ } \frac{\min\{h; b\}}{3} \text{ } 10 \text{ cm}$$

$$S4 \text{ } 10 \text{ cm}$$

$$S \text{ } \min\{S1; S2; S3; S4\} \text{ } 10 \text{ cm}$$

Verificación de acuerdo a la E 0.60, donde Ash1 y Ash2 deberán ser menores que Av, de donde se tiene:

$$S_f \text{ } 5 \text{ cm}$$

$$A_{sh1} \text{ } 0.3 S_f b_c \frac{f'_c}{f_y} \frac{b h}{b_c h_c} \text{ } 6 \text{ 1 } \text{ } 1.418 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh2} \text{ } 0.09 S_f b_c \frac{f'_c}{f_y} \text{ } 0.495 \text{ cm}^2$$

Dentro de la zona de rotura plástica nuestra distancia final de estribos viene dada por:

“DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019”

$$S_f = 5 \text{ cm}$$

5.2. Longitud de zona de confinamiento

Establecemos la zona de confinamiento como la mayor de las siguientes dimensiones:

$$L1 = \frac{L}{6} = 45 \text{ cm} \qquad L2 = \max\{b, h\} = 30 \text{ cm} \qquad L3 = 50 \text{ cm}$$

$$L_0 = \max\{L1, L2, L3\} = 50 \text{ cm}$$

5.3. Distancia de estribos en zona central

Dentro de la zona central, consideramos la resistencia al corte del concreto y del acero.

Resistencia al corte del concreto $f'_c = 2100000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_c \frac{h}{10} = 5.069 \text{ tonnef}$$

Resistencia al corte del acero

$$V_{s1} = \frac{V_u}{\phi_c} = 0.715 \text{ tonnef}$$

El espaciamiento final viene dado por el valor menor de las siguientes dimensiones:

$$S_{L1} = \frac{A_v f_y}{V_{s1}} b_c = 184.109 \text{ cm}$$

$$S_{L2} = 10 d_b = 19.05 \text{ cm}$$

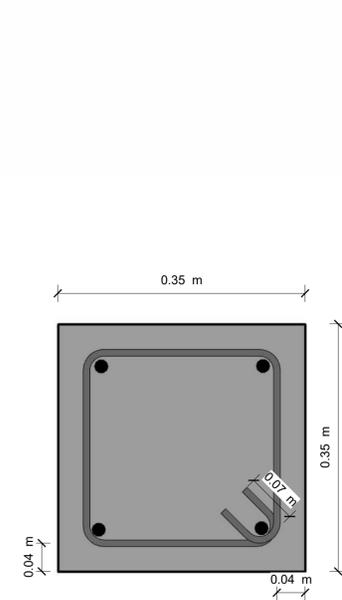
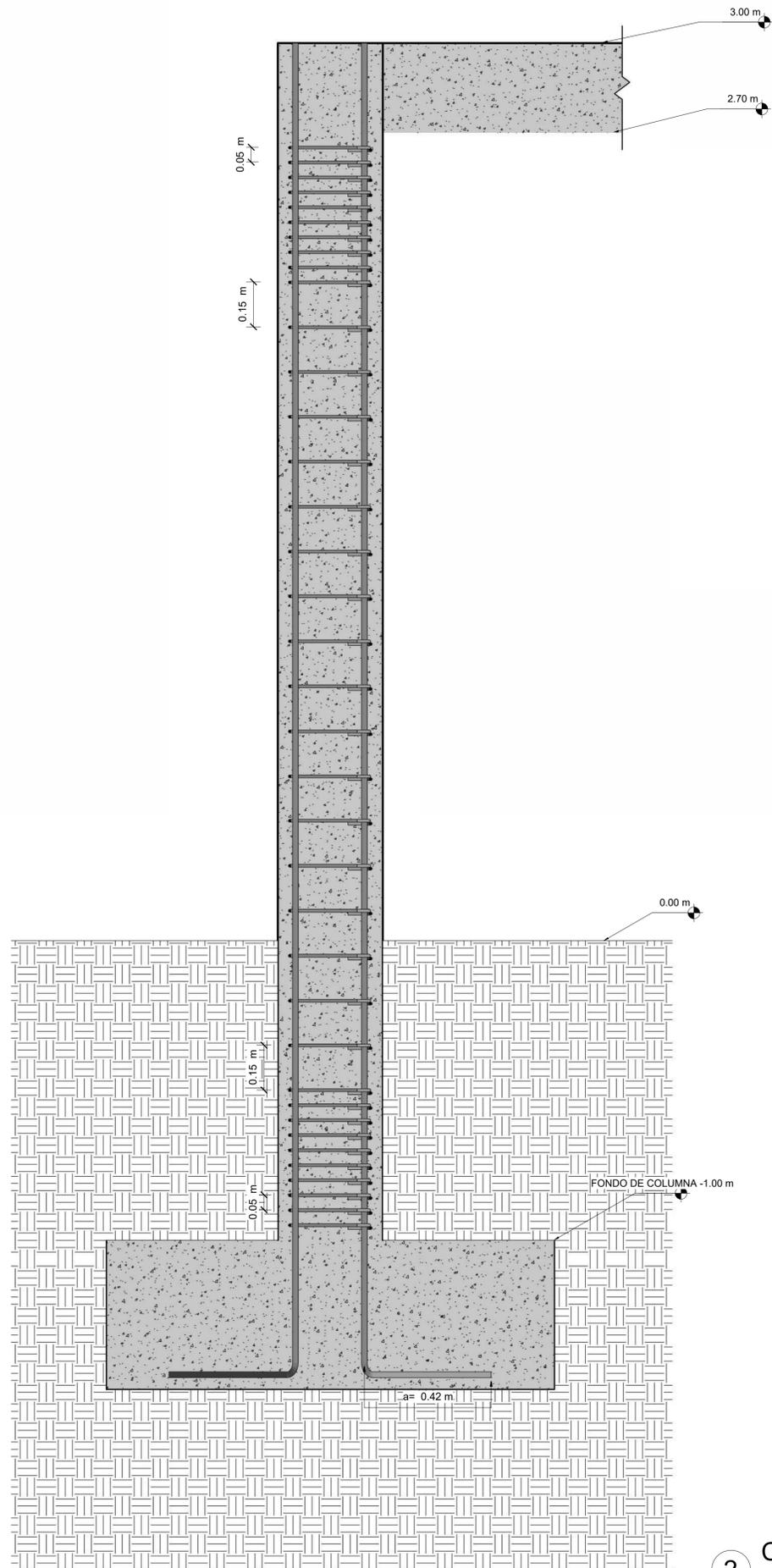
$$S_{L3} = 25 \text{ cm}$$

$$S_L = \min\{S_{L1}, S_{L2}, S_{L3}\} = 19.05 \text{ cm}$$

$$S_{Lf} = 15 \text{ cm}$$

ANEXO 7

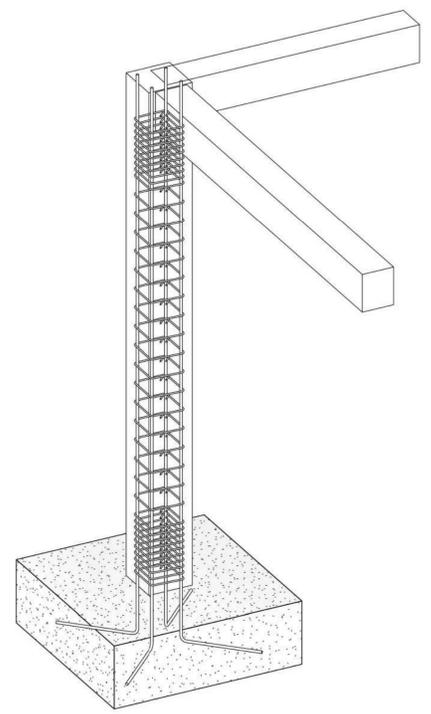
Plano de diseño de columna



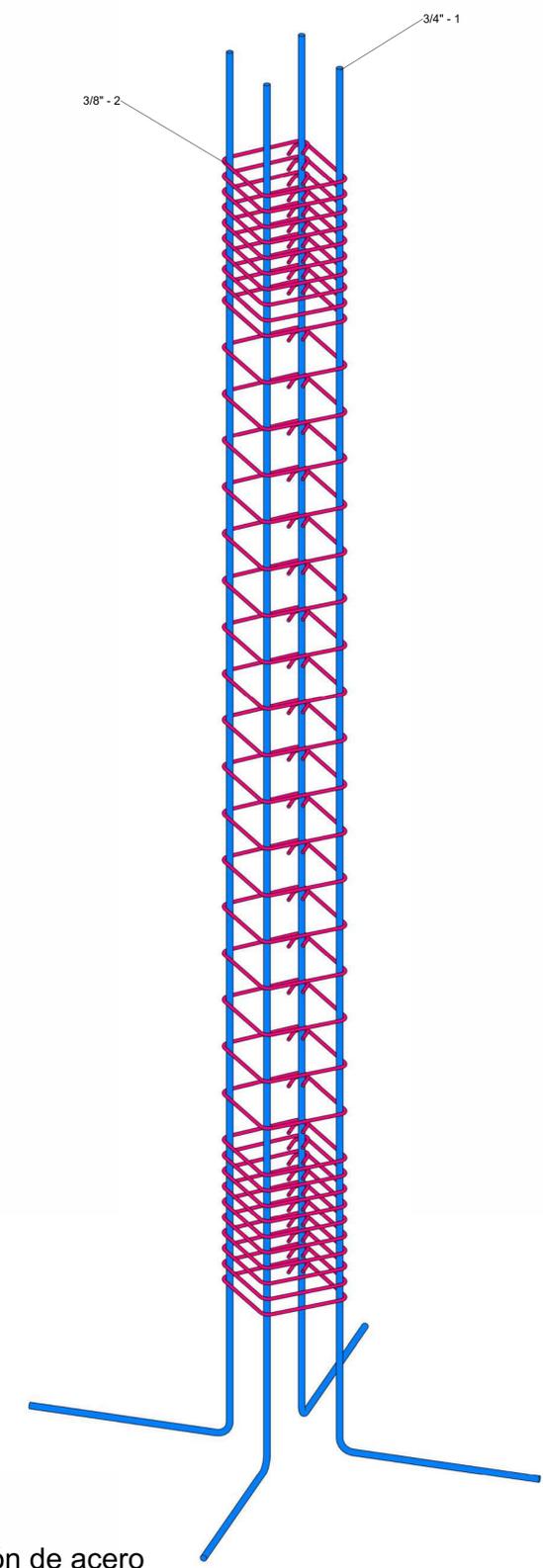
3 Sección Columna
1 : 5

LONGITUD DE DESARROLLO "a"		
Tipo	Diámetro de barra	Ldc
3/4"	19.1 mm	450.0 mm
3/8"	9.5 mm	250.0 mm

Metrado de acero	
Tipo	Longitud
3/4"	20.1 m
3/4": 1	20.1 m
3/8"	46.8 m
3/8": 39	46.8 m
Total general: 40	67.0 m



2 Columna en 3D



4 Verificación de acero

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CONCRETO COLUMNAS F'C=210 kg/cm²

RECUBRIMIENTO DE CONCRETO

COLUMNA 4.0 cm

COLUMNA	EMPALMES	ANCLAJES	
		Lt	Lc
Diámetro	Le		
3/8"	0.4	0.3	0.25
1/2"	0.6	0.5	0.3
5/8"	0.75	0.6	0.35
3/4"	0.9	0.7	0.45

CARGAS VIVAS

SEGUN USO	200 kg/cm ²
TECHO	50 kg/m ²
CORREDOR	400 kg/m ²

NOTAS

EMPALME EN COLUMNAS DENTRO DEL TERCIO CENTRAL

NOMBRE DEL PROYECTO
DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO - PERÚ, 2019"

ESPECIALIDAD
ESTRUCTURAS

PLANOS
DETALLE DE COLUMNA

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
CUSCO	CUSCO	CUSCO

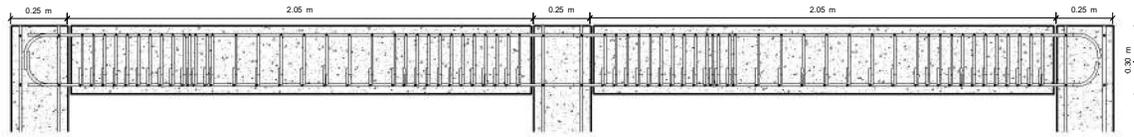
ESPECIALISTA
Bach. Wildor Apaza Chino

ESCALA	LAMINA
Como se indica	E-2
FECHA	
13/01/2023 18:57:57	

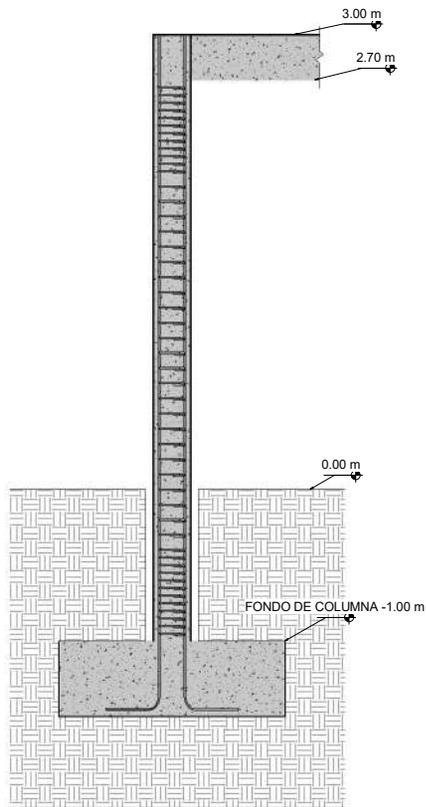
1 Detalle General
1 : 10

ANEXO 8

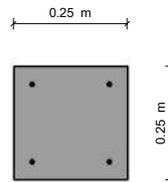
DISEÑO TRASNVERSAL DE VIGAS



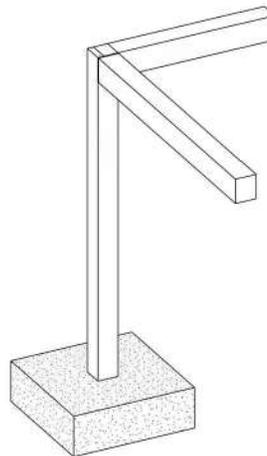
5 VIGAS
1 : 10



1 Detalle General
1 : 15



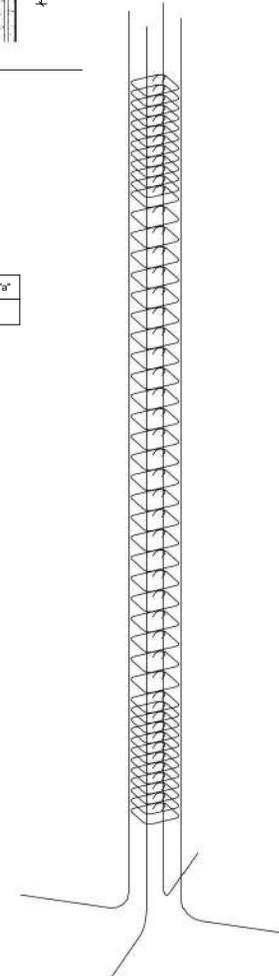
3 Sección Columna
1 : 5



2 Columna en 3D

LONGITUD DE DESARROLLO "a"		
Tipo	Díámetro de barra	Ldc

Metrado de acero	
Tipo	Longitud
1/2"	2638.3 m
3/8"	102.1 m
10 B 500 S	28.5 m



4 Verificación de acero

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CONCRETO COLUMNAS FC=210 kg/cm ²	
RECUBRIMIENTO DE CONCRETO	
COLUMNA	4.0 cm
VIGAS	4.0 cm

Díámetro	EMPALMES		ANCLAJES	
	Le	L1	Lc	Lc
3/8"	0.4	0.3	0.25	
1/2"	0.6	0.5	0.3	
5/8"	0.75	0.6	0.35	
3/4"	0.9	0.7	0.45	

CARGAS VIVAS	
SEGUN USO	200 kg/cm ²
TECHO	50 kg/m ²
CORREDOR	400 kg/m ²

NOTAS
EMPALME EN COLUMNAS DENTRO DEL TERCIO CENTRAL

NOMBRE DEL PROYECTO
DISEÑO ESTRUCTURAL AUTOMATIZADO Y PARAMÉTRICO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO, MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN VISUAL, CUSCO – PERÚ, 2019"

ESPECIALIDAD
ESTRUCTURAS

PLANOS
DETALLE DE PORTICOS

DISTRITO CUSCO	PROVINCIA CUSCO	DEPARTAMENTO CUSCO
-------------------	--------------------	-----------------------

ESPECIALISTA
Bach. Wildor Apaza Chino

ESCALA Como se indica	LAMINA E-2
FECHA 30/10/2024 23:40:22	

ANEXO 9

Código de diseño de vigas

Untitled-1

```
1 # %%
2 #1.Conectamos a ETABS ABIERTO
3 import pandas as pd
4 import numpy as np
5 import comtypes.client
6 import sys
7 import matplotlib.pyplot as plt
8 import os
9 import math
10
11 def connect_to_existing_etabs():
12
13     helper = comtypes.client.CreateObject('ETABsv1.Helper');
14     helper = helper.QueryInterface(comtypes.gen.ETABsv1.cHelper);
15
16     try:
17         myETABSObject = helper.GetObject("CSI.ETABS.API.ETABSObject");
18         print("Conectado exitosamente")
19     except (OSError, comtypes.COMError):
20         print("Ha fallado.")
21         sys.exit(-1);
22
23     SapModel = myETABSObject.SapModel
24     return SapModel,myETABSObject,helper;
25
26 SapModel, myETABSObject, helper = connect_to_existing_etabs()
27
28 # %%
29 #2.Corremos el modelo
30 ret = SapModel.Analyze.RunAnalysis()
31
32
33 # %%
34 #3.Diseño de concreto
35 designConcrete = SapModel.DesignConcrete
36 designConcrete.StartDesign()
37
38 # %%
39 #4. Unidades de trabajo PYTHON
40 tonf_cm_C=12
41 ret=SapModel.SetPresentUnits(tonf_cm_C)
42
43 # %%
44 #5. Vigas a extraer - Datos de entrada
45 vigas = "B1"
46
47     #Colocar una combinacion de carga de 1.25CM + 1,25CV con CG
48
49
50
51
52 # %%
53 #6. Extraemos tabla de Dimensiones de la VIGA
54
55
56 tableKey = "Frame Section Property Definitions - Concrete Rectangular"
57
58
```

```
59 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
60 cols=table[2]
61 noOfRows=table[3]
62 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
63 df= pd.DataFrame(vals)
64 df.columns=cols
65 df
66 df_secciones = df[['Name','Material', 't3', 't2']]
67 df_secciones
68
69
70 # %%
71 #7. Secciones asignadas y longitud de la VIGA
72
73
74 tableKey = "Frame Assignments - Summary"
75
76
77 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
78 cols=table[2]
79 noOfRows=table[3]
80 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
81 df_FAS= pd.DataFrame(vals)
82 df_FAS.columns=cols
83
84
85 df_Resumen = df_FAS[['Label','Length','DesignSect']]
86 df_Resumen
87
88 value_longitud=df_FAS.loc[df_FAS['Label'] == vigas, 'Length'].values[0]
89
90 df_Resumen
91
92
93 # %%
94 #8. Obtener el valor de seccion de la viga seleccionada
95 design_sect_value = df_Resumen.loc[df_Resumen['Label'] == vigas, 'DesignSect'].values[0]
96 design_sect_value
97
98 df_filtrado = df_secciones[df_secciones['Name'] == design_sect_value]
99 df_filtrado
100
101
102
103 # %%
104 value_ancho = float(df_filtrado.loc[df_filtrado['Name'] == design_sect_value, 't2'].values[0])
105 value_alto = float(df_filtrado.loc[df_filtrado['Name'] == design_sect_value, 't3'].values[0])
106 value_tipo = df_filtrado.loc[df_filtrado['Name'] == design_sect_value, 'Name'].values[0]
107 value_concreto = df_filtrado.loc[df_filtrado['Name'] == design_sect_value, 'Material'].values[0]
108
109 value_luz_libre=round(float(value_longitud)-float(value_ancho),2)
110
111
112
113 # %%
114 #9. Extraemos valores de la tabla del material del acero
115
116 tableKey = "Frame Section Property Definitions - Concrete Beam Reinforcing"
117
118
```

```

119 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
120 cols=table[2]
121 noOfRows=table[3]
122 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
123 df_FSPD= pd.DataFrame(vals)
124 df_FSPD.columns=cols
125 df_FSPD
126
127 value_acero = df_FSPD.loc[df_FSPD['Name'] == value_tipo, 'RebarMatL'].values[0]
128
129 #recubrimiento
130 value_recubrimiento_top = float(df_FSPD.loc[df_FSPD['Name'] == value_tipo, 'TopCover'].values[0])*100
131 value_recubrimiento_bottom = float(df_FSPD.loc[df_FSPD['Name'] == value_tipo,
'BotCover'].values[0])*100
132
133 #Peralte
134 value_peralte = value_alto*100 - value_recubrimiento_top
135
136
137
138
139 # %%
140 #Extraemos resistencia del acero
141
142 tableKey = "Material Properties - Rebar Data"
143
144
145 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
146 cols=table[2]
147 noOfRows=table[3]
148 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
149 df_MPRD= pd.DataFrame(vals)
150 df_MPRD.columns=cols
151
152
153 value_acero_resis = df_MPRD.loc[df_MPRD['Material'] == value_acero, 'Fy'].values[0]
154 value_acero_resis2 = round(float(value_acero_resis)/10,2)
155
156
157 # %%
158 #10. Extraemos la resistencia de diseño del concreto
159
160 tableKey = "Material Properties - Concrete Data"
161
162
163 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
164 cols=table[2]
165 noOfRows=table[3]
166 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
167 df_MPCD= pd.DataFrame(vals)
168 df_MPCD.columns=cols
169
170
171 value_concr_res = df_MPCD.loc[df_MPCD['Material'] == value_concreto, 'Fc'].values[0]
172 value_concr_res2 = int(value_concr_res)/10
173
174 # %%
175 #11. Extraemos los coeficientes de diseño
176
177 tableKey = "Concrete Frame Design Preferences - ACI 318-14"

```

```
178
179
180 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
181 cols=table[2]
182 noOfRows=table[3]
183 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
184 df_CFDP= pd.DataFrame(vals)
185 df_CFDP.columns=cols
186 df_CFDP
187
188
189 value_coef_corte = df_CFDP.loc[df_CFDP['MultiMethod'] == 'Step-by-Step - All','PhiShrSeis'].values[0]
190 value_coef_corte = float(value_coef_corte)
191
192
193 # %%
194 #12. Acero POSITIVO y NEGATIVO requerido a Flexion
195
196 tableKey = "Concrete Beam Flexure Envelope - ACI 318-14"
197
198
199 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
200 cols=table[2]
201 noOfRows=table[3]
202 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
203 df= pd.DataFrame(vals)
204 df.columns=cols
205
206 df_seleccion = df[['Label','Location','AsTop','AsBot']]
207
208 df_seleccion['AsTop'] = pd.to_numeric(df_seleccion['AsTop'], errors='coerce')
209 df_seleccion['AsBot'] = pd.to_numeric(df_seleccion['AsBot'], errors='coerce')
210
211 df_seleccion['AsTop'] = df_seleccion['AsTop']*100*100
212 df_seleccion['AsBot'] = df_seleccion['AsBot']*100*100
213
214
215 df_viga = df_seleccion[df_seleccion['Label'] == vigas]
216 df_viga
217
218 # %%
219 df_filtered = df_seleccion[df_seleccion['Location'].isin(['End-I', 'Middle', 'End-J'])]
220 max_values1 = df_filtered.groupby('Location')['AsTop'].max()
221 max_values2 = df_filtered.groupby('Location')['AsBot'].max()
222 valores_df = pd.DataFrame({
223     'Location': max_values1.index, # Índice de 'Location' es el mismo para ambos
224     'Max_AsTop': max_values1.values, # Valores máximos de AsTop
225     'Max_AsBot': max_values2.values # Valores máximos de AsBot
226 })
227
228 valores_df
229
230 # %%
231 AsTop1 = round(df_viga.loc[df_viga['Location'] == 'End-I', 'AsTop'].values[0],2)
232 AsTop2 = round(df_viga.loc[df_viga['Location'] == 'Middle', 'AsTop'].values[0],2)
233 AsTop3 = round(df_viga.loc[df_viga['Location'] == 'End-J', 'AsTop'].values[0],2)
234
235 AsBot1 = round(df_viga.loc[df_viga['Location'] == 'End-I', 'AsBot'].values[0],2)
236 AsBot2 = round(df_viga.loc[df_viga['Location'] == 'Middle', 'AsBot'].values[0],2)
237 AsBot3 = round(df_viga.loc[df_viga['Location'] == 'End-J', 'AsBot'].values[0],2)
```

```

238
239
240
241 # %%
242 #13. Graficamos el acero longitudinal requerido
243
244 import matplotlib.pyplot as plt
245
246 # Dimensiones de la viga
247 length = 300
248 height = 30
249 cover = 3
250 rebar_offset = 5
251 # Posiciones del acero de refuerzo (2 barras longitudinales)
252 rebar_y_positions = [cover, height - cover]
253 # Dibujar la viga (vista longitudinal)
254 fig, ax = plt.subplots()
255 rect = plt.Rectangle((0, 0), length, height, linewidth=2, edgecolor='black', facecolor='none')
256 ax.add_patch(rect)
257 # Dibujar las barras de refuerzo (líneas longitudinales dentro de la viga con recubrimiento en los
extremos)
258 for y in rebar_y_positions:
259     plt.plot([rebar_offset, length - rebar_offset], [y, y], color='red', linewidth=2)
260 # Dibujar los ganchos:
261 hook_length = 7
262 # Gancho para la barra superior (apunta hacia abajo)
263 plt.plot([rebar_offset, rebar_offset], [height - cover, height - cover - hook_length], color='red',
linewidth=2)
264 plt.plot([length - rebar_offset, length - rebar_offset], [height - cover, height - cover - hook_length],
color='red', linewidth=2)
265 # Gancho para la barra inferior (apunta hacia arriba)
266 plt.plot([rebar_offset, rebar_offset], [cover, cover + hook_length], color='red', linewidth=2)
267 plt.plot([length - rebar_offset, length - rebar_offset], [cover, cover + hook_length], color='red',
linewidth=2)
268 #Colocamos valores de acero arriba
269 plt.text(rebar_offset, height + 2, str(AsTop1), fontsize=10, ha='center')
270 plt.text(length / 2, height + 2, str(AsTop2), fontsize=10, ha='center')
271 plt.text(length - rebar_offset, height + 2, str(AsTop3), fontsize=10, ha='center')
272 # Añadir los valores debajo de la viga (abajo)
273 plt.text(rebar_offset, -10, str(AsBot1), fontsize=10, ha='center')
274 plt.text(length / 2, -10, str(AsBot2), fontsize=10, ha='center')
275 plt.text(length - rebar_offset, -10, str(AsBot3), fontsize=10, ha='center')
276 # Configurar los ejes
277 ax.set_aspect('equal', 'box')
278 plt.xlim(-5, length + 5)
279 plt.ylim(-5, height + 5)
280 ax.set_axis_off()
281 plt.title('Vista Longitudinal de Viga')
282 # Mostrar la imagen
283 plt.savefig('viga_acero_requerido.png', format='png')
284 plt.show()
285
286
287 # %%
288 from fractions import Fraction
289 As=Fraction(1,2)
290 As_Can=2
291 As_fin=2*1.29
292 Area_text=f"Utilizaremos {As_Can} varillas de {As} para un area de acero final de {As_fin:.2f} cm²,
tanto para el acero positivo y negativo"

```

```

293 print(Area_text)
294
295 # %%
296 #14. Obtener Cortante de Gravedad
297
298 tableKey = "Element Forces - Beams"
299
300
301 table = SapModel.DatabaseTables.GetTableForDisplayArray(tableKey,GroupName="")
302 cols=table[2]
303 noOfRows=table[3]
304 vals=np.array_split(table[4],noOfRows)
305 df_Vg= pd.DataFrame(vals)
306 df_Vg.columns=cols
307
308
309 df_Cortante = df_Vg[['Beam', 'V2', 'OutputCase']]
310 df_Cortante_Viga = df_Cortante[df_Cortante['Beam']==vigas]
311
312
313 df_Cortante_G = df_Cortante_Viga[df_Cortante_Viga['OutputCase']=='CG']
314 df_Cortante_G
315
316 df_Cortante_G['V2'] = pd.to_numeric(df_Cortante_G['V2'], errors='coerce')
317 df_Cortante_G['V2'] = df_Cortante_G['V2'].abs()
318 value_cortante_G = df_Cortante_G['V2'].max()
319 print(df_Cortante_Viga)
320 value_cortante_G
321
322 # %%
323 #15. Diseño en cortante
324
325 value_C_Whitney=round((As_fin*value_acero_resis2)/(value_coef_corte*value_concr_res2*value_ancho*100),2)
326
327
328 #calculo del momento nominal
329 value_momento_nominal = round((As_fin/10000)*(value_acero_resis2*10)*(value_peralte/100-
(value_C_Whitney/100)/2),3)
330 value_momento_nominal
331
332 #Calculo del diseño en la zona de cofniamiento 2h
333
334 value_momento_probable=1.25*value_momento_nominal*2/value_luz_libre
335
336 value_cortante_ultimo=value_momento_probable+value_cortante_G
337
338
339 #Calculo del cortante ultimo
340
341 value_cortante_diseño=round(value_cortante_ultimo/value_coef_corte,2)
342 print(value_C_Whitney,value_momento_nominal,value_momento_probable,value_cortante_ultimo,
value_cortante_diseño)
343
344
345
346 # %%
347 from fractions import Fraction
348 As_t=Fraction(3,8)
349 As_Can_t=2
350 As_fin_t=2*0.71

```

```

351 Area_text_t=f"Utilizaremos varillas de {As_t} para el acero transversal"
352 print(Area_text_t)
353
354 # %%
355 #Calculo del espaciamiento en zona 2h
356 value_s1=As_fin_t*value_acero_resis2*value_peralte/value_cortante_diseño/1000
357
358 value_s2=round(value_peralte/4,2)
359 value_s3=round(10*As_t*0.0254*100,2)
360 value_s4=round(24*As_t*0.0254*100,2)
361 value_s5=30
362
363 value_corte_espaciamiento_2h = min(value_s2, value_s3, value_s4, value_s5)
364 print("La distancia propuesta es de",value_corte_espaciamiento_2h, "cm")
365
366 # %%
367 #Calculo del espaciamiento en zona de no confinamiento
368 value_cortante_ultimo2=round(value_cortante_ultimo-value_alto*(value_cortante_G*2/value_luz_libre),2)
369 value_cortante_ultimo2
370
371 value_cortante_concreto=round(0.53*math.sqrt(value_concr_res2)*value_ancho*value_peralte/10,2)
372 value_cortante_concreto
373
374 value_cortante_estribo=round(value_cortante_ultimo2/value_coef_corte-value_cortante_concreto,2)
375 value_cortante_estribo
376
377 #Espaciamiento
378
379
380 value_corte_confi_s2=value_peralte/2
381
382 print("La distancia propuesta es de",value_corte_confi_s2, "cm")
383
384
385 # %%
386 #16. Graficamos la sección trasnversal de la viga con el acero requerido.
387 import matplotlib.pyplot as plt
388 import numpy as np
389
390 # Función para crear la imagen de la viga con las barras de acero
391 def dibujar_viga_con_acero(cantidad_abajo, cantidad_arriba, ancho_viga=0.25, alto_viga=0.30,
392 diametro_acero=0.02):
393     # Crear la figura y el eje
394     fig, ax = plt.subplots()
395
396     # Dibujar la viga (rectángulo)
397     rect = plt.Rectangle((0, 0), ancho_viga, alto_viga, linewidth=2, edgecolor='black',
398 facecolor='lightgray')
399     ax.add_patch(rect)
400
401     # Dibujar estribos (líneas alrededor de las barras)
402     stirrup = plt.Rectangle((0.02, 0.02), ancho_viga-0.04, alto_viga-0.04, linewidth=1.5,
403 edgecolor='blue', facecolor='none', linestyle='--')
404     ax.add_patch(stirrup)
405
406     # Calcular las posiciones de las barras de acero
407     # Barras abajo
408     espacio_horizontal_abajo = (ancho_viga - 2 * 0.05) / (cantidad_abajo - 1) if cantidad_abajo > 1
409     else 0
410     posiciones_abajo = [(0.05 + i * espacio_horizontal_abajo, 0.05) for i in range(cantidad_abajo)]

```

```

407
408     # Barras arriba
409     espacio_horizontal_arriba = (ancho_viga - 2 * 0.05) / (cantidad_arriba - 1) if cantidad_arriba > 1
else 0
410     posiciones_arriba = [(0.05 + i * espacio_horizontal_arriba, alto_viga - 0.05) for i in
range(cantidad_arriba)]
411
412     # Dibujar las barras de acero (círculos)
413     for pos in posiciones_abajo + posiciones_arriba:
414         steel_bar = plt.Circle(pos, diametro_acero / 2, color='red')
415         ax.add_patch(steel_bar)
416
417     # Dibujar las dimensiones (ancho y alto)
418     ax.annotate(f'Ancho: {ancho_viga*100:.0f} cm', xy=(ancho_viga / 2, -0.03), xytext=(ancho_viga / 2,
-0.05),
419                 ha='center', va='center', fontsize=10) #, arrowprops=dict(arrowstyle='<->', lw=1.5))
420
421     ax.annotate(f'Alto: {alto_viga*100:.0f} cm', xy=(-0.03, alto_viga / 2), xytext=(-0.05, alto_viga /
2),
422                 ha='center', va='center', fontsize=10, rotation=90)#, arrowprops=dict(arrowstyle='<->',
lw=1.5))
423
424     # Ajustar el rango del gráfico
425     ax.set_xlim(-0.05, ancho_viga + 0.05) # Añadir espacio alrededor de la viga
426     ax.set_ylim(-0.05, alto_viga + 0.05)
427
428     # Quitar los ejes
429     ax.axis('off')
430
431     # Establecer proporciones iguales
432     ax.set_aspect('equal')
433
434     # Mostrar el gráfico
435     plt.savefig('viga_trasversal.png', format='png')
436
437     plt.show()
438
439 # Variables de entrada
440 cantidad_barras_abajo = As_Can # Cantidad de barras de acero en la parte inferior
441 cantidad_barras_arriba = As_Can # Cantidad de barras de acero en la parte superior
442
443 # Llamar a la función para dibujar la viga
444 dibujar_viga_con_acero(cantidad_barras_abajo, cantidad_barras_arriba)
445
446 # %%
447 #17. Extraemos la información con un archivo HTML
448 html_content = f"""
449 <!DOCTYPE html>
450 <html lang="es">
451 <head>
452     <meta charset="UTF-8">
453     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
454     <title>Vista Longitudinal de Viga</title>
455     <style>
456         h1 {{
457             text-align: center; /* Centrando el h1 */
458         }}
459         h2 {{
460             font-size: 22px;
461         }}

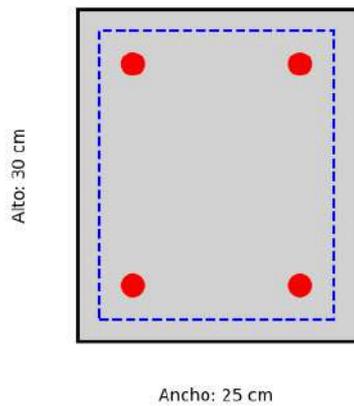
```

```
462     h3 {{
463         font-size: 18px;
464     }}
465     p {{
466         font-size: 18px;
467     }}
468 </style>
469 </head>
470 <body>
471     <h1>DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO</h1>
472     
473     <p>La longitud de la viga es: {value_longitud} m, con una luz libre de: {value_luz_libre} m </p>
474     <p>Concreto: {value_concr_res2} kg/cm2, Acero: {value_acero_resis2} kg/cm2 </p>
475     <p>Recubrimiento: {value_recubrimiento_top} cm</p>
476     <p>Peralte: {value_peralte} cm</p>
477     <h2>1. Diseño a Flexion </h2>
478     
479     <p>{Area_text}</p>
480     <h2>2. Diseño a Corte </h2>
481     <p>Coeficiente de corte = {value_coef_corte}</p>
482     <p>Cortante de gravedad  $V_g = {value_cortante_G}$  tonf</p>
483     <p>Momento Nominal  $M_n = {value_momento_nominal}$  tonf-m</p>
484     <h3>&nbsp;&nbsp;&nbsp;2.1. Diseño a Corte en zona de confinamiento - 2h </h3>
485     <p>&nbsp;&nbsp;&nbsp;Es espaciamiento propuesto es de {value_corte_espaciamiento_2h} cm</p>
486
487     <h3>&nbsp;&nbsp;&nbsp;2.2. Diseño a Corte en zona de no confinamiento </h3>
488     <p>&nbsp;&nbsp;&nbsp;Es espaciamiento propuesto es de {value_corte_confis2} cm</p>
489 </body>
490 </html>
491 """
492
493 # Guardar el HTML
494 with open('viga_con_ganchos.html', 'w', encoding='utf-8') as f:
495     f.write(html_content)
496
497 print("HTML exportado correctamente.")
498
499
500
```

ANEXO 10

Reporte HTML

DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO



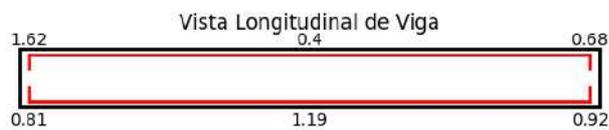
La longitud de la viga es: 2.2 m, con una luz libre de: 1.95 m

Concreto: 210.0 kg/cm², Acero: 4218.42 kg/cm²

Recubrimiento: 4.0 cm

Peralte: 26.0 cm

1. Diseño a Flexion



Utilizaremos 2 varillas de 1/2 para un área de acero final de 2.58 cm², tanto para el acero positivo y negativo

2. Diseño a Corte

Coefficiente de corte = 0.85

Cortante de gravedad $V_g = 2.2456$ tonf

Momento Nominal $M_n = 2.697$ tonf-m

2.1. Diseño a Corte en zona de confinamiento - 2h

Es espaciamiento propuesto es de 6.5 cm

2.2. Diseño a Corte en zona de no confinamiento

Es espaciamiento propuesto es de 13.0 cm