



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

**“USO DE LA METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS BIM PARA
EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL
SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR
DE 4 NIVELES, PEBAS – 2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR (es): Bach. AHUANARI SALINAS, AMPARITO DE JESUS.

: Bach. VALVERDE FASABI, MILLER

ASESOR: ING. KEUSON SALDAÑA FERREYRA, MG.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and flourishes, positioned to the right of the advisor's name.

Pebas – Mariscal Ramón Castilla – Loreto – Perú – 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico inicialmente a Dios, quien es dueño de la sabiduría e inteligencia.

A mi padre que en paz descanse Ananías Valverde, a mi querida madre Reyna Fasabi y mis hermanos quienes son los motores que me impulsaron a seguir adelante durante mi formación personal y profesional.

(Miller Valverde Fasabi)

DEDICATORIA

Al concluir este emocionante capítulo de mi vida, quiero expresar mi profundo agradecimiento y dedicarles a ustedes, mamá y papá, por cada sacrificio invaluable que hicieron en nombre de mi educación, y este logro es un reflejo de su amor incondicional.

A mi querida familia, y amigos en general, sus palabras de ánimo y su amistad hicieron más llevadera la carga de la academia.

A Dios por su inquebrantable amor, por bendecirme con salud y fortaleza para perseverar día a día.

(Amparito de J. Ahuanari Salinas)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a DIOS por prestarnos la vida y la salud hasta nuestros días, por su bendición y protección para poder terminar esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres, quienes nos acompañaron, aconsejaron y motivaron a seguir adelante superando cualquier obstáculo y culminar con éxito este proyecto tomado como un reto y una meta más ya cumplida.

Al Programa Nacional de Beca 18 por apostar y apoyar al talento joven peruano.

A la Universidad Científica del Perú por ser nuestra alma mater y ser parte de nuestra formación profesional, a la Facultad de Ingeniería Civil y docentes que brindaron sus conocimientos para formarnos y prepararnos para una nueva etapa de nuestras vidas.

A nuestro asesor Ing. Keuson Saldaña Ferreyra por su apoyo, asesoría, colaboración y seguimiento en el desarrollo del presente trabajo.

Miller Valverde Fasabi.

Amparito de J. Ahuanari Salinas.

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“USO DE LA METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANÁLISIS
Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS – 2023”**

De los alumnos: **AMPARITO DE JESUS AHUANARI SALINAS Y MILLER VALVERDE FASABI**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **19% de similitud**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 17 de enero del 2024.



Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del Comité de Ética – UCP

Resultados_UCP_Tesis_IngenieriaCivil_AmparitoAhuanari_M...

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	busquedas.elperuano.pe Fuente de Internet	1%
2	pt.slideshare.net Fuente de Internet	1%
3	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
5	www.doccity.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Amparito De Jesus Ahuanari Salinas
Título del ejercicio:	Quick Submit
Título de la entrega:	Resultados_UCP_Tesis_IngenieriaCivil_AmparitoAhuanari_Mil...
Nombre del archivo:	Y_HERRAMIENTAS_BIM_PARA_DISEÑO_ESTRUCTURAL_-_MILLE...
Tamaño del archivo:	11.18M
Total páginas:	186
Total de palabras:	37,806
Total de caracteres:	193,275
Fecha de entrega:	17-ene.-2024 10:39a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega...	2272574991

RESUMEN

Actualmente las investigaciones nacionales sobre el uso de las herramientas BIM en el proceso de análisis y diseño estructural sísmorresistente de edificaciones son escasas y poco difundidas. En Loreto, la investigación sobre este tema aún no ha sido desarrollada; viendo la necesidad de implementar y fomentar el uso de nuevas tecnologías aplicadas a la ingeniería estructural, se desarrolla la presente investigación para el análisis y diseño estructural sísmorresistente de un edificio multifamiliar de 4 niveles en la localidad de Pebas, Loreto.

En la presente investigación se ha desarrollado un proceso general para la elaboración de un proyecto estructural usando las herramientas BIM Revit y Robot Structural por medio de la interoperabilidad a través de un modelo analítico. Se plantea aprovechar la aplicación de esta metodología (BIM), ya que supone una ventaja al reducir tiempo, aumentar la eficiencia, transparencia y eliminar errores en el proceso del análisis y diseño estructural. Para la validación del proyecto usando la herramienta Robot Structural, se generó un modelo en ETABS y se comparó los resultados.

Se determinó el máximo desplazamiento lateral de la estructura (0.0034) en la dirección "Y"; de los resultados del análisis estático, dinámico y modal, se concluye que la estructura es regular y rígida con periodos de vibración de 0.57s, y 0.48s en la dirección del eje "X", "Y" respectivamente.

Todos los análisis y cálculos de diseño del proyecto se realizaron de acuerdo con las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones. Específicamente, NTE E.030 (Diseño sísmo resistente), NTE E.020 (Norma de Cargas), NTE E.060 (Norma para el diseño en concreto armado) y la NTE E.050 (Suelos y Cimentación).

PALABRAS CLAVE: Metodología, herramientas, BIM, análisis, diseño estructural.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N°370-2020-UCP-FCEI de fecha 30 de Agosto de 2020 y modificada con Resolución Decanal N°592-2022-UCP-FCEI de fecha 21 de junio de 2022. La FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Dr. | Presidente |
| • Ing. Ulises Octavio Irigoín Cabrera, M. Sc. | Miembro |
| • Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc. | Miembro |

Como Asesor: Ing. Keuson Saldaña Ferreyra, Mg.

En la ciudad de Iquitos, siendo las 19:30 horas del día martes 12 de marzo del 2024, de manera presencial supervisado por el secretario académico del programa académico de Ingeniería civil de la facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **"USO DE LA METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS – 2023"**.

Presentado por los Sustentantes:

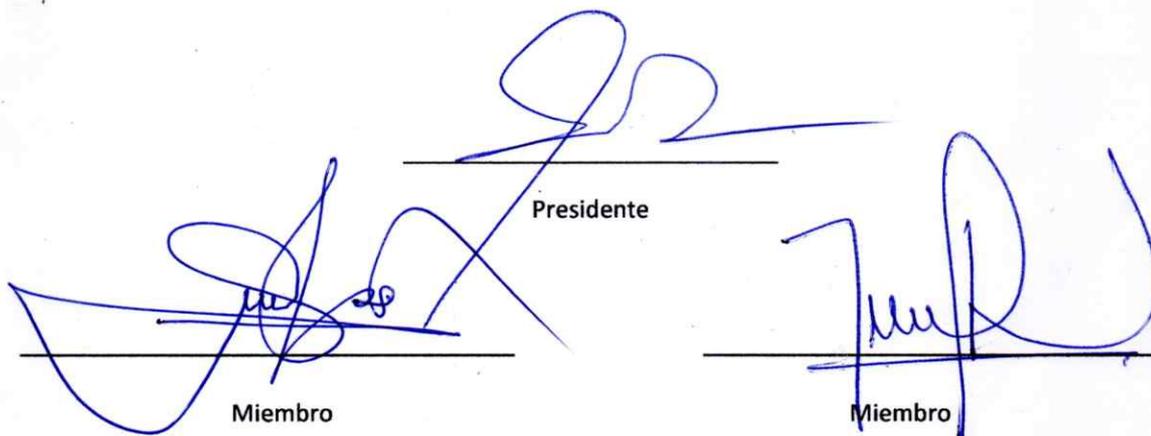
AMPARITO DE JESUS AHUANARI SALINAS Y MILLER VALVERDE FASABI

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

- Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR EXCELENCIA**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Miembro

Presidente

Miembro

HOJA DE APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto publico el día Martes 12 de Marzo del 2024, a las 19:30 Horas, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.



PRESIDENTE DEL JURADO
Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Dr.



MIEMBRO DEL JURADO
Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.



MIEMBRO DEL JURADO
Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc.



ASESOR
Ing. Keuson Saldaña Ferreyra, Mg.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
RESUMEN	xii
ABSTRAC	xiii
1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	12
1.1. Antecedentes del Estudio.	12
1.1.1. A Nivel Internacional.	12
1.1.2. A Nivel Nacional.	15
1.2. Bases Teóricas.	19
1.2.1. Metodología BIM	19
1.2.2. Diseño Sismorresistente de Edificios.	36
1.3. Definición de Términos Básicos.	45
1.3.1. Metodología BIM.	45
1.3.2. Diseño Sismorresistente.	47
2. CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	49
2.1. Descripción del Problema.	50
2.2. Formulación del Problema.	50
2.2.1. Problema General.	50
2.2.2. Específicos:	50
2.3. Objetivos.	51
2.3.1. General	51
2.3.2. Específicos	51
2.4. Justificación de la Investigación.	51
2.5. Hipótesis.	52
2.5.1. General	52
2.5.2. Específico.	52
2.6. Variables	53
2.6.1. Identificación de las Variables	53
2.6.2. Definición Conceptual de las Variables.	53
2.6.3. Operacionalización de las Variables	54
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	55
3.1. Tipo y diseño de investigación.	55
3.1.1. Tipo de Investigación	55

3.1.2.	Diseño de la Investigación.	55
3.2.	Población y muestra. _____	55
3.2.1.	Población.....	55
3.2.2.	Muestra.....	55
3.3.	Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos.	56
3.3.1.	Técnicas de Recolección de Datos:.....	56
3.3.2.	Instrumentos de Recolección de Datos	56
3.3.3.	Procedimiento de Recolección de Datos.	57
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS _____	60
4.1.	Ubicación y Descripción del Proyecto. _____	60
4.2.	Consideraciones Generales para el Diseño Estructural. _____	65
4.2.1.	Normas Empleadas para el Diseño del Proyecto	65
4.2.2.	Propiedades de los Materiales.....	65
4.2.3.	Combinaciones de Cargas para el Diseño.....	65
4.2.4.	Método de diseño	66
4.2.5.	Estudios Básicos	66
4.3.	Estructuración y Pre-dimensionamiento _____	67
4.3.1.	Criterios de Estructuración	67
4.3.2.	Pre-dimensionamiento.	69
4.4.	Metrado de Cargas por Gravedad. _____	75
4.4.1.	Carga Muerta (CM).	75
4.4.2.	Carga viva (CV).....	75
4.4.3.	Resumen del Peso Total del Edificio	76
4.5.	Usos de la Metodología y Herramientas BIM en la Elaboración del Proyecto Estructural. _____	76
4.5.1.	Modelado y Diseño Arquitectónico con Revit - 2020.	76
4.5.2.	Modelado Estructural en Revit e Interacción con Robot Structural previo al Análisis Estructural.	81
4.5.3.	Análisis Estructural con Robot: Modelo Estructural 01 (M1-ARSAP).	89
4.5.4.	Análisis Estructural con ETABS: Modelo Estructural 02 (M2-ETABS).	102
4.5.5.	Análisis Estructural Definitivo, Modelo Estructural M3-ARSAP	106
4.5.6.	Validación de Datos y Resultados del Modelo Definitivo M3-ARSAP.	109
4.6.	Criterios para el Diseño Sismorresistente del Proyecto. _____	114
4.6.1.	Peligro Sísmico	114
4.6.2.	Categoría, Sistema Estructural y Regularidades del Proyecto	117
4.6.3.	Combinaciones de Carga para el Diseño Sismorresistente.	125
4.7.	Análisis Sísmico Estático y Dinámico del Proyecto. _____	127
4.7.1.	Análisis Estático	127
4.7.2.	Análisis Dinámico	130
4.8.	Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad del Proyecto _	136
4.8.1.	Desplazamientos Laterales	136
4.8.2.	Junta de Separación Sísmica.....	138

4.9. Diseño de los Elementos Estructurales del Edificio.	139
4.9.1. Diseño de los Elementos con Robot Structural y Cálculos manuales.	140
4.9.2. Validación de Datos y Resultados de Diseño.	180
4.10. Flujo de Trabajo Colaborativo BIM en el Desarrollo del Proyecto.	181
4.11. Gestión de la Información de un Proyecto Estructural BIM.	186
4.12. Resumen de Resultados	191
5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	192
5.1. DISCUSIÓN	192
5.2. CONCLUSIONES	194
5.3. RECOMENDACIONES	195
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196
Anexos.	
ANEXO 01: Matriz de Consistencia.	200
ANEXO 02: Estudio Mecánica de Suelos	201
ANEXO 03: Metrado de Cargas	206
ANEXO 04: Planos Estructurales del Proyecto	210

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Definición conceptual e indicadores de Variables.	53
Cuadro 2:	Operacionalización de las variables.	54
Cuadro 3:	Características de los materiales empleados	65
Cuadro 4:	Relación de espesores y luces máximas para losas aligeradas.	70
Cuadro 5:	Relación de espesor y luces máximas para losas macizas.	70
Cuadro 6:	Pre-dimensionamiento de vigas.	72
Cuadro 7:	Dimensiones tentativas de columnas pre-dimensionadas.	73
Cuadro 8:	Carga Viva por Nivel según uso del edificio.	75
Cuadro 9:	Resumen del peso total del edificio por niveles	76
Cuadro 10:	Derivas en la dirección "X", sistema estructural "Aporticado"	100
Cuadro 11:	Derivas en la dirección "Y", sistema est. "Muros Estructurales"	100
Cuadro 12:	Derivas en la dirección "X", del modelo optimizado.	102
Cuadro 13:	Derivas en la dirección "Y", del modelo optimizado.	102
Cuadro 14:	Resultados de los Modelos Sísmicos M1 & M2.	105
Cuadro 15:	Resultados de los Modelos Sísmicos M2 & M3.	109
Cuadro 16:	Resultados de Deformaciones M3 vs M2	111
Cuadro 17:	Resultados de esfuerzos en viga seleccionado VP-25X40.	112
Cuadro 18:	Resultados de esfuerzos en columna C-25*50 seleccionado	113
Cuadro 19:	Cálculo de Irregularidad Piso Blando en X-X	120
Cuadro 20:	Cálculo de Irregularidad Piso Blando en Y-Y	120
Cuadro 21:	Cálculo de Irregularidad Piso Débil en X-X	121
Cuadro 22:	Cálculo de Irregularidad Piso Débil en Y-Y	121
Cuadro 23:	Cálculo de Irregularidad de Masa o peso	122
Cuadro 24:	Cálculo de Irregularidad de Geometría Vertical en X-X	122
Cuadro 25:	Cálculo de Irregularidad de Geometría Vertical en Y-Y	123
Cuadro 26:	Cálculo de Irregularidad Torsional, Verificación en X-X	124
Cuadro 27:	Cálculo de Irregularidad Torsional, Verificación en Y-Y	124
Cuadro 28:	Combinaciones de cargas para diseño sismorresistente en Robot.	127
Cuadro 29:	Modos de Vibración, Periodos y Masas Participativas del Proyecto	131
Cuadro 30:	Distribución de las fuerzas laterales por sismo dinámico en X-X	134
Cuadro 31:	Distribución de las fuerzas laterales por sismo dinámico en Y-Y	135
Cuadro 32:	Derivas en la dirección "X" del modelo M3-ARSAP.	137

<i>Cuadro 33: Derivas en la dirección “Y” del modelo M3-ARSAP</i>	138
<i>Cuadro 34: Acero a Utilizar en Columnas del Proyecto</i>	146
<i>Cuadro 35: Datos para el diseño de Vigas</i>	157
<i>Cuadro 36: Metrado de cargas para diseño de vigueta</i>	164
<i>Cuadro 37: Comparación de Resultados, acero en M2-ETABS & M3-ARSAP.</i>	180
<i>Cuadro 38: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del concreto en Columnas según los niveles del proyecto.</i>	189
<i>Cuadro 39: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del concreto en vigas según los niveles del proyecto</i>	189
<i>Cuadro 40: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del concreto en Losas del proyecto</i>	190
<i>Cuadro 41: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del Acero de Refuerzo en cimentación, vigas y columnas del proyecto</i>	190
<i>Cuadro 42: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación de la albañilería en losas aligeradas del proyecto.</i>	190

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	<i>Ciclo de Vida de la Metodología BIM</i>	19
Gráfico 2:	<i>Flujo de Trabajo Tradicional CAD.</i>	21
Gráfico 3:	<i>Posición del campo estructural en el entorno BIM</i>	29
Gráfico 4:	<i>Peso propio aproximado de losas según espesor</i>	41
Gráfico 5:	<i>Sección Transversal de un aligerado unidireccional.</i>	42
Gráfico 6:	<i>Ubicación del Proyecto en la Localidad de PEBAS.</i>	49
Gráfico 7:	<i>Ubicación de lote donde se Proyecta la investigación.</i>	60
Gráfico 8:	<i>Información General del Proyecto</i>	61
Gráfico 9:	<i>Plano de planta Arquitectura de nivel 1.</i>	62
Gráfico 10:	<i>Plano de arquitectura planta típico nivel 2 a 4.</i>	63
Gráfico 11:	<i>Elevación Principal de Arquitectura.</i>	64
Gráfico 12:	<i>Plano planta Estructural, estructuración Inicial del edificio.</i>	74
Gráfico 13:	<i>Plano de planta Nivel 01, Arquitectura – en la plataforma BIM Revit.</i>	77
Gráfico 14:	<i>Plano de planta Típica Nivel 02 a 04, Arquitectura en Revit.</i>	78
Gráfico 15:	<i>Vista Isométrica 3D del modelo arquitectónico en la plataforma Revit.</i>	78
Gráfico 16:	<i>Presentación 3D: Vista del proyecto en la fachada frontal y posterior del modelo arquitectónico, elaborado en Revit, incluye el material de los acabados.</i>	79
Gráfico 17:	<i>Presentación (render) 3D: Vista panorámica del proyecto, modelo arquitectónico que incluye el material de los acabados.</i>	80
Gráfico 18:	<i>Vista 3D del Modelo Estructural en la plataforma BIM Revit.</i>	81
Gráfico 19:	<i>Vista 3D de los modelos vinculados (Arquitectura + Estructura) en la plataforma BIM Revit</i>	82
Gráfico 20:	<i>Vista de modelo físico y su respectivo modelo analítico en BIM Revit</i>	83
Gráfico 21:	<i>Vista 3D, uniones (nodos) del modelo analítico en Revit</i>	85
Gráfico 22:	<i>Procedimiento de exportación del modelo analítico de Revit al programa de cálculo Robot Structural</i>	86
Gráfico 23:	<i>Modelo exportado desde Revit a la Plataforma de Robot Structural.</i>	86
Gráfico 24:	<i>Actualización del Modelo, Robot a Revit (Interoperabilidad)</i>	88
Gráfico 25:	<i>Asignación de diafragma rígido a losas en Robot Structural.</i>	90
Gráfico 26:	<i>Configuraciones para el análisis Modal en Robot Structural.</i>	91
Gráfico 27:	<i>Proceso, Generación del espectro de Diseño en Robot Structural.</i>	92
Gráfico 28:	<i>Fuente: Diseño Propio, Robot 2020.</i>	92
Gráfico 29:	<i>Generación del espectro de Diseño en la dirección X, Y.</i>	93
Gráfico 30:	<i>Conversión de cargas en masa para el análisis.</i>	93

Gráfico 31: <i>Proceso de asignación de unión rígida viga-placa</i>	94
Gráfico 32: <i>Verificación final del modelo en Robot.</i>	95
Gráfico 33: <i>Control del análisis modal, % masas participantes.</i>	95
Gráfico 34: <i>Control del análisis modal, % masas participantes con 25 modos</i>	96
Gráfico 35: <i>Vista 3D, Desplazamiento del centro de masa en la dirección "X"</i>	98
Gráfico 36: <i>Vista Tabla, desplazamiento del centro de masa en la dirección "X"</i>	98
Gráfico 37: <i>Vista 3D del modelo, distorsión angular elástica en la dirección "X".</i>	99
Gráfico 38: <i>Modelo 3D final Optimizado sin Placas</i>	101
Gráfico 39: <i>Control del análisis modal del modelo optimizado.</i>	101
Gráfico 40: <i>Vista del Modelo estructural M2-ETABS en Planta y 3D.</i>	103
Gráfico 41: <i>Vista 3D, modelos M1 y M3, diferencias al asignar excentricidades</i>	107
Gráfico 42: <i>Configuración de excentricidad asignados a vigas del modelo M3.</i>	107
Gráfico 43: <i>Diferencias de M1 y M3 al asignar la excentricidad a vigas.</i>	108
Gráfico 44: <i>Viga VP-25X40 seleccionada para evaluación, resultados de esfuerzos</i>	112
Gráfico 45: <i>Evaluación de Resultados, Columna C-25X50, esfuerzos</i>	113
Gráfico 46: <i>Zonificación Sísmica del Perú</i>	115
Gráfico 47: <i>Factor de Suelos</i>	115
Gráfico 48: <i>Parámetros TP y TL</i>	116
Gráfico 49: <i>Categoría de la Edificación y Factor de Uso</i>	117
Gráfico 50: <i>Sistema Estructural de la Edificación</i>	117
Gráfico 51: <i>Tabla N°08 y N°09 Factores de Irregularidades</i>	118
Gráfico 52: <i>Categoría y Regularidad de la Edificación</i>	119
Gráfico 53: <i>Config. Signos de modos dominantes, combinación de cargas.</i>	125
Gráfico 54: <i>Creación, Combinaciones de Cargas en Robot Structural</i>	126
Gráfico 55: <i>Combinaciones de Cargas en Robot Structural</i>	126
Gráfico 56: <i>Estimación del Peso según categoría de la Edificación</i>	128
Gráfico 57: <i>Aceleración Espectral del Proyecto</i>	132
Gráfico 58: <i>Fuerzas laterales en "X, Y", cortante basal dinámica por piso</i>	134
Gráfico 59: <i>Límites para la distorsión del entrepiso</i>	136
Gráfico 60: <i>Vista 3D, distorsión angular elástica d UX, d UY en "X, Y".</i>	137
Gráfico 61: <i>Cálculo de los desplazamientos y Juntas sísmicas del proyecto</i>	139
Gráfico 62: <i>Diagrama de Interacción, Columnas.</i>	141
Gráfico 63: <i>Disposición de los estribos en columnas</i>	143
Gráfico 64: <i>Longitudes de traslapes en columnas</i>	143

Gráfico 65: Columna C-30X30 sometida a verificación de Diseño	144
Gráfico 66: Configuración de Parámetros para diseño de columnas en Robot.	144
Gráfico 67: Diagrama de Interacción de C-30X30 en Robot Structural	145
Gráfico 68: Reporte de cálculo de C-30X30 de Robot Structural	146
Gráfico 69: Longitudes de desarrollo y ganchos de varillas	150
Gráfico 70: Disposición general de traslapes envigas	150
Gráfico 71: Longitudes de Traslapes en Vigas	151
Gráfico 72: Viga VP-25X40 sometida a verificación de Diseño	151
Gráfico 73: Diagramas de Momentos Flectores y Corte de Viga VP-25X40 sometida a verificación de Diseño	152
Gráfico 74: Resultados de diseño VP-25X40, Diagrama de Momento Flector último y Momento nominal resistente.	153
Gráfico 75: Resultados de diseño VP-25X40, armadura longitudinal teórica y real.	153
Gráfico 76: Disposición de aceros Longitudinales en el tramo centro de vigas.	154
Gráfico 77: Área de acero Longitudinales en vigas.	154
Gráfico 78: Resultados de diseño VP-25X40, Diagrama de Fuerza Cortante.	155
Gráfico 79: Resultados de diseño VP-25X40, armadura teórica acorte (Robot).	155
Gráfico 80: Disposición de los estribos en vigas	156
Gráfico 81: Aceros Max y min según peralte de losa aligerado	163
Gráfico 82: Paño de Losa Aligerada, Vigüeta sometida a verificación de Diseño	164
Gráfico 83: Asignación de Carga Muerta, Carga Viva, Diagrama de momentos, Cortantes sobre vigüeta a diseñar.	165
Gráfico 84: Paño de Losa Maciza sometida a verificación de Diseño	168
Gráfico 85: Capacidad admisible del terreno (proyecto referencial, Pebas)	171
Gráfico 86: Cargas de servicio en la columna C-30x30 para el diseño de Zapata	172
Gráfico 87: Modelo 3D, Escalera en Robot sometida a verificación de Diseño	176
Gráfico 88: Diagrama de Momentos Flectores en Escalera	177
Gráfico 89: Diagrama de Fuerzas Cortantes en Escalera	177
Gráfico 90: Proceso, elaboración de un proyecto estructural usando las herramientas BIM Revit y Robot Structural.	183
Gráfico 91: Vista Isométrica Estructural del Proyecto	186
Gráfico 92: Vista Isométrica, cimentación del proyecto.	187
Gráfico 93: Vista Isométrica, Acero de refuerzo del proyecto	187

RESUMEN

En la presente investigación, referido al análisis y diseño estructural sismorresistente de un edificio multifamiliar de 4 niveles en la localidad de Pebas, Loreto, se ha desarrollado un proceso general para la elaboración de un proyecto estructural usando las herramientas BIM Revit y Robot Structural por medio de la interoperabilidad a través de un modelo analítico.

Se plantea aprovechar la aplicación de esta metodología (BIM), ya que supone una ventaja al reducir tiempo, aumentar la eficiencia, transparencia y eliminar errores en el proceso del análisis y diseño estructural. Para la validación del proyecto se usó la herramienta BIM Robot Structural, y se generó un modelo en ETABS, comparándose los resultados.

Se determinó el máximo desplazamiento lateral de la estructura (0.0034m) en la dirección "Y"; de los resultados del análisis estático, dinámico y modal, se concluye que la estructura es regular y rígida con periodos de vibración de 0.57s, y 0.48s en la dirección del eje "X" y "Y", respectivamente.

Todos los análisis y cálculos de diseño del proyecto se realizaron de acuerdo con las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones: NTE E.030 (Diseño sismo resistente), NTE E.020 (Norma de Cargas), NTE E.060 (Norma para el diseño en concreto armado) y la NTE E.050 (Suelos y Cimentación).

PALABRAS CLAVE: Análisis y diseño estructural sismorresistente; herramientas BIM.

ABSTRAC

In the present investigation, referred to the earthquake-resistant structural analysis and design of a 4-story multifamily building in the town of Pebas, Loreto, a general process has been developed for the elaboration of a structural project using the BIM tools Revit and Robot Structural by means of interoperability through an analytical model.

It is proposed to take advantage of the application of this methodology (BIM), since it is an advantage by reducing time, increasing efficiency, transparency and eliminating errors in the process of structural analysis and design. For the validation of the project, the BIM Robot Structural tool was used, and an ETABS model was generated, comparing the results.

The maximum lateral displacement of the structure (0.0034m) in the "Y" direction was determined; from the results of the static, dynamic and modal analysis, it is concluded that the structure is regular and rigid with vibration periods of 0.57s, and 0.48s in the "X" and "Y" axis direction, respectively.

All the analyses and design calculations of the project were carried out in accordance with the norms of the National Building Regulations: NTE E.030 (Seismic Resistant Design), NTE E.020 (Load Norm), NTE E.060 (Norm for the design of reinforced concrete) and NTE E.050 (Soils and Foundations).

KEY WORDS: Seismic-resistant structural analysis and design; BIM tools.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes del Estudio.

1.1.1. A Nivel Internacional.

- **(Baños, M. y Rosales, C., 2018)**, investigación que realizaron “Diseño estructural de una edificación residencial metálica de 6 plantas sismo-resistente, en la ciudad de Milagro, utilizando la metodología BIM en la modelación 3D”, proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Civil presentado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador. **El objetivo de la investigación fue** diseñar una estructura metálica de uso residencial que sea sismorresistente utilizando la metodología BIM para la realización del modelado 3D y gestión de los datos con la finalidad de agilizar la elaboración de planos, cubicación de materiales y análisis de costo de una manera más rápida, específicamente utilizando el software REVIT y para el cálculo y análisis de la estructura SAP 2000.

En el proyecto de investigación se plantea el diseño de cuatro sistemas estructurales distintos. Los dos primeros modelos se diseñaron con Pórticos Resistentes a Momentos, la diferencia radica en el uso de columnas huecas y columnas rellenas de hormigón. En el tercer modelo se utilizaron arriostramientos y en el cuarto modelo se recurren al uso de disipadores viscosos como sistema de protección sísmica. **Concluyeron que**, la alternativa con menor magnitud de derivas y desplazamientos es el que posee arriostramientos, en comparación con la primera alternativa se tiene una reducción de 20% en las derivas. La implementación de software orientado a la tecnología BIM durante el proceso de diseño y construcción puede optimizar tiempo y recursos al detectar fallas y colisiones antes del proceso constructivo.

- **(Laguna, D; Rubio, J y Bustos, N, 2019)**, investigación que **realizaron** “Influencia del BIM en una estructura de tres niveles”, informe final de práctica social, empresarial y solidaria para optar al título de INGENIERO

CIVIL presentado en la universidad cooperativa de Colombia. **El objetivo de la investigación fue** implementar la metodología BIM en una estructura residencial de tres niveles y hacer uso de las herramientas BIM para modelar una edificación existente y conocer cómo influye el programa en el proceso constructivo, este trabajo se llevó a cabo por medio de dos programas de ingeniería tales como ETABS (análisis y diseño estructural: cálculo de derivas, diseño del espectro elástico para observar el comportamiento dinámico de la estructura cuando se presente un movimiento sísmico) y REVIT (modelado arquitectónico 3D, cuantificación de materiales y generación de planos). **Llegaron a la conclusión que** “al modelar en el software REVIT bajo la metodología BIM se optimizaría los tiempos, evidenciado así ahorros económicos, y correcciones de errores gracias a los niveles de detalles que se pueden obtener visualizando los planos de una manera realista y en 3D rápidamente, asimismo, se puede compartir la gran cantidad información de diferentes áreas de forma ágil, por lo que se evidencia la necesidad de incluir e implementar esta metodología en la ingeniería”

- **(Madsen, 2013).** En su tesis: “Structural modelling and analysis using BIM tools” [Modelado estructural y análisis utilizando herramientas BIM] Tesis (Maestría de ciencias en Ingeniería Civil) Dinamarca, Aalborg University. **Cuyo objetivo fue** de comprobar la interoperabilidad entre los diferentes softwares del diseño estructural, y demostrar cómo estos softwares pueden aplicarse a diversos tipos de diseños estructurales. Muestra las ventajas y limitaciones del BIM. Siendo el principal beneficio la capacidad de poder visualizar en 3D todo el proyecto con todos sus detalles, señalando que todo ingeniero debe saber que: “una imagen en 3D vale más que mil planos. Gracias al BIM el proceso de construcción puede ser estimulado día a día, por lo tanto, puede revelar fuentes de errores potenciales, esto genera da grandes ventajas durante el proceso de negociación con subcontratistas, propietarios y proveedores”

- **(Trejo, 2018).** En su investigación “Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción”, memoria para optar el título de Ingeniero Civil presentado en la Universidad de Chile. **Tiene como objetivo** analizar los eventuales cambios en los procesos de Planificación y Control de alcance, tiempo, costo y calidad en proyectos de ingeniería y construcción con el uso de la metodología BIM en ellos.

Desde el análisis de los resultados, verifica que BIM se ha implementado a escalas distintas en la industria de la construcción, variando en función del tipo o índole del proyecto. **Observó que** BIM se ha adaptado con mayor fuerza en proyectos de edificación, los cuales son más “repetibles” y menos complejos (en gestión) que los mineros, debido a su envergadura y cantidad *stakeholders*. **Dentro de las principales conclusiones** obtenidas, destaca el hecho de que BIM no corresponde a un reemplazo del Project Management, sino que es una herramienta para la disciplina que genera cambios en los procesos de planificación y control de proyectos, guardando relación con el tipo de proyecto en que se implementa. **Recomienda** considerar el uso de BIM desde el comienzo del proyecto, para definir los procesos de planificación y control adecuados para lograr el éxito de este y obtener los beneficios de haber implementado la metodología.

- **(Montoya, 2016).** En su investigación “Optimización de estructuras de naves industriales empleando tecnología BIM”, tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Civil opción estructuras, presentado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes – México. **La investigación tuvo como objetivo** optimizar el desarrollo de proyectos de naves industriales, haciendo una comparativa entre el método “tradicional” con el propuesto empleando la tecnología BIM, optimizar el diseño, analizar y elaborar proyectos de naves industriales usando la tecnología BIM, utilizar un interfaz (software) para el cálculo estructural con la finalidad de reducir tiempo u minimizar errores, realizar la revisión de los

elementos principales de la estructura mediante análisis de cargas gravitacionales y fuerzas por viento. **Llego a la conclusión** que la interoperabilidad entre Revit y los softwares de análisis estructural: Robot Analysis Professional, SAP2000 y STAAD.PRO tienen diferentes aplicaciones para el intercambio de información de manera eficiente, optó por utilizar la interfaz que existe entre Revit y robot porque facilita el diseño iterativo y con mayor eficiencia de intercambio de datos. Así mismo logró reducir el tiempo de desarrollo del proyecto a la mitad de lo que se llevaría hacerlo de la manera “tradicional”.

1.1.2. A Nivel Nacional.

- **(Afuso, 2017)**. En su tesis “Diseño estructural de un edificio de concreto armado de cinco pisos y tres sótanos ubicado en el distrito de Barranco” en el diseño del edificio empleó adecuados criterios de estructuración en los elementos estructural realizando el modelamiento del análisis sísmico a través del software ETABS. Concluyó lo siguiente: “en el análisis se desarrolló dos modelos adicionales. En el primer modelo se incrementaron las áreas de las columnas más deformadas y en el segundo modelo se restringieron los desplazamientos verticales en los nudos. Ambos modelos dieron resultados similares que se utilizaron en el diseño. Los resultados del análisis sísmico indican que se trata de un edificio rígido, cuya deriva máxima es de 0.005, valor claramente menor al máximo permitido por la norma peruana.” Esta investigación Utiliza una metodología de análisis sísmico tradicional, con procedimientos repetitivos de comprobación, pero muy confiables por ser riguroso y detallado en los cálculos”.

- **(Chambilla, 2016)**. En su investigación “Análisis, Diseño Estructural e Instalaciones Sanitarias de un Edificio de Departamentos de 05 Niveles y 01 Semisótano, utilizando Plataforma BIM, en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil presentado en la Universidad Católica de Santa María – Arequipa. **El**

objetivo de la investigación fue desarrollar el análisis, diseño estructural e instalaciones sanitarias de un edificio de 336.55m² utilizando la plataforma BIM (Building Information Modeling) en la ciudad de Arequipa. Los análisis y cálculos de diseño del edificio se hicieron de acuerdo con las normas del R.N.E (NTE E.030 – 2016, Diseño sismo resistente). Los análisis estáticos y dinámicos se realizó mediante el uso del programa ETABS 2015. En esta tesis se implementó al edificio una nueva tecnología para contribuir a las nuevas exigencias del mercado de la ingeniería y construcción cual es la plataforma BIM. **Llegó a la conclusión que** la Plataforma BIM, con el software REVIT 2015, ayudó a realizar modelos BIM-3D en Arquitectura, Estructura e Instalaciones Sanitarias, extraer información del proyecto como los metrados de acero, concreto, tuberías, etc. **y**, con la ayuda del software AUTOCAD NAVISWORKS 2015, se realizó recorridos virtuales, coordinación de las especialidades para encontrar interferencias en el proyecto y finalmente se logró realizar un modelo 4D (video de proceso constructivo), identificando en la simulación la actividad que se realiza (encofrado, acero, concreto y albañilería).

- **(Domínguez, N y Moreno, A. 2018)**; investigación que realizaron “Diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles bajo la metodología BIM en la provincia de Pomabamba Ancash, 2018” tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, presentado en la Universidad Cesar Vallejo. **El objetivo de la investigación fue** realizar el diseño sismorresistente de un edificio de siete niveles haciendo uso de la metodología y herramientas BIM para la creación del modelo 3D, el cual integra información de las disciplinas de arquitectura y estructura, información que serán aprovechables en la fase de construcción, mantenimiento y operación del inmueble, también elaboraron los cálculos y comprobaciones que aseguraron que los resultados, en este caso los análisis estáticos, sísmicos y diseño de los aceros de los elementos estructurales sean confiables, económicos y cumplan los

requisitos mínimos establecidos por las normas utilizadas como: E.020, E.030, E.050, E0.60. y la norma ACI-218-2011. **Llegaron a la conclusión que** “las herramientas utilizadas para el desarrollo de la investigación (Autodesk Robot Structural y el Revit 2018), permitieron realizar el diseño y cálculos de manera más automática, cuidando que cumplan las normas respectivas y los criterios económicos” y que “el desarrollo realizado bajo la metodología BIM, ayudó fundamentalmente a actualizar y agilizar los cálculos por la forma de trabajo colaborativo de las disciplinas de arquitectura y estructura.

- **(Poclin, 2014)**, en su tesis “Evaluación del diseño del Hospital 11-2 de Jaén con el uso de tecnología BIM” busca las incompatibilidades existentes en el proyecto y, a partir de los planos de arquitectura e ingeniería realiza el modelado BIM-3D; esto le ayudó a determinar problemas de compatibilidad en elementos estructurales y arquitectónicos. Un problema potencial en la futura ejecución, y generando gasto de tiempo y de recursos, concluyendo que es mejor el manejo de la nueva tecnología del BIM que el modelo tradicional, además con la compatibilización de planos de arquitectura e ingeniería del Hospital 11-2 de Jaén, mediante modelos BIM-3D permitió identificar conflictos entre elementos estructurales y no estructurales tales como, muros con placas, ductos de HVAC con tuberías de agua, entre otros.

- **(Saavedra, 2017)**, en su tesis “Diseño con CYPECAD para la gestión estratégica de proyectos en edificaciones” para optar el título de Ingeniero Civil, presentado en la Universidad Cesar Vallejo. **La tesis tuvo como** objetivo, contribuir con la Gestión Estratégica de Proyectos en Edificaciones de cinco niveles diseñando con el software CYPECAD en la empresa INMOBILIARIA CAPELLI S.A.C. – Chiclayo; **identificó como problema** la utilización del tiempo – costos y calidad en la elaboración de planos, memorias de cálculo, análisis - diseño estructural y por consiguiente en la confiabilidad técnica – ingenieril. Realizó el

análisis estructural de la edificación tanto estático y dinámico. Se infiere que diseñando con el software CYPECAD, se resuelve de manera significativa el problema de la gestión estratégica de proyectos en la INMOBILIARIA CAPELLI S.A.C. **Llegó a la conclusión que**, la aplicación del software CYPECAD en el diseño de un edificio de cinco niveles aporta metodología en el análisis y diseño estructural, elaboración de memoria de cálculo y planos; asimismo, adiciona confiabilidad de resultados, reduciendo tiempo y costos, asegurando así calidad, en el diseño y en la posterior ejecución de obras en edificaciones. **Obtuvo como resultado** la disminución en el diseño de 157.39 horas, significando en costos 1871.67 nuevos soles; garantizando calidad en la posterior ejecución – residentado y supervisión de edificaciones.

- **(Guillermo, 2019)** en su tesis “Modelamiento y análisis estructural del hospital challhuahuacho, bloque “A” mediante el software CYPECAD” para optar el grado académico de bachiller en Ingeniería Civil, presentado en la Universidad Peruana Unión. **La tesis tuvo como objetivo**, realizar un modelamiento del Hospital Challhuahuacho de su bloque “A”, utilizando el software CYPECAD para su interpretación de datos. Para ello realizó el pre dimensionamiento de los diferentes elementos estructurales y, para el análisis sísmico consideró los parámetros de la norma peruana E.030 diseño sismorresistente de acuerdo a la zona de estudio.

Habiéndose realizado una búsqueda exhaustiva, en el Repositorio Académico y la biblioteca local de la Universidad Científica del Perú (UCP), no se encontró estudios que se hayan realizado con relación a los objetivos y variables que se plantea en la presente investigación; esta situación justificó la importancia y la necesidad de su ejecución que contribuirá en ampliar el conocimiento del tema planteado.

1.2. Bases Teóricas.

1.2.1. Metodología BIM

El objetivo en este apartado es explicar sobre la metodología BIM y las herramientas del mismo, detallar en que consiste, ver cuál es su flujo de trabajo, así como los beneficios que aporta.

1.2.1.1. ¿Qué es la Metodología BIM?

BIM: es el acrónimo de "Building Information Modeling", que se podría traducir como (Modelado de Información del edificio) (Coloma Picó, 2008). Para (Pérez, L., 2019), es una metodología colaborativa que consiste en la elaboración de un modelo 3D, en el cual se centraliza toda la información necesaria para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Precisa que BIM pretende formar parte de todo el ciclo de vida desde el diseño, construcción y mantenimiento del edificio.

“El modelado de la información de la construcción, es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Es un recurso de conocimiento de información compartida sobre una instalación que forma una base confiable para las decisiones durante su ciclo de vida; definido desde su concepción hasta su demolición”. (National BIM Standard- United States, 2020) (Traducción).

Gráfico 1: Ciclo de Vida de la Metodología BIM



(Fuente: www.advenser.ae - 2019)

1.2.1.2. Diferencias fundamentales entre CAD y BIM

Para comprender la diferencia entre CAD y BIM es necesario definir de que trata un “**elemento paramétrico**”.

Según (Eastman, Chuck, 2011):

- Consiste en definiciones geométricas que a su vez tienen información y reglas añadidas, por ejemplo, una línea que gráficamente representa una viga, tiene a su vez información referente a su sección, material, peso, cargas actuantes sobre la misma, así como grados de libertad por nodo, estabilidad en los apoyos, etc.
- Las reglas que rigen estos objetos paramétricos modifican automáticamente la geometría del objeto al integrarse al modelo, por ejemplo, al insertar una pared en el modelo esta se ajustará a la separación entre elevaciones.
- Cada objeto tiene la capacidad de vincular o recibir, conjuntos de atributos.

(Pérez, L., 2019), menciona que básicamente la diferencia entre BIM y CAD es que el primero hace uso de estos elementos (paramétricos) para su funcionamiento y el segundo no, definiendo así los modelos que no son BIM como:

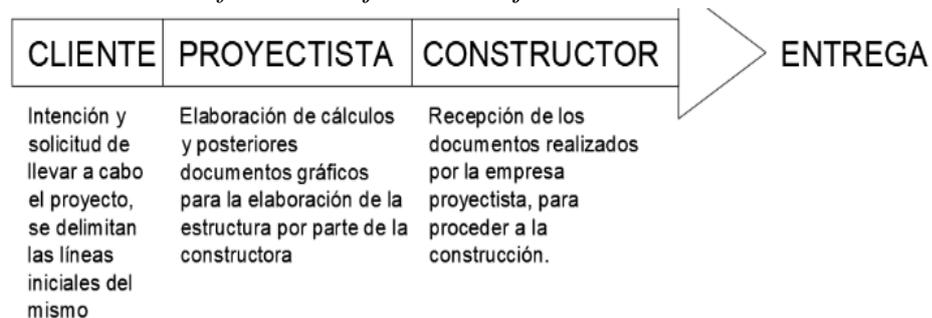
- Modelos que solo contengan datos geométricos tridimensionales, estos solo garantizan una visualización del elemento, así como del modelo como un todo, mas no brindan información para la integración y análisis de éste.
- Modelos que definan objetos, mas no tengan una función paramétrica, en este caso un sólido solo es un sólido, aunque se asemeje a una sección no tiene capacidad de calcular, volumen, peso o rigidez, etc. Igual cada modificación, requiere trabajo en cada una de las vistas, el cambio no es directo, no están necesariamente conjugadas todas las vistas.

1.2.1.3. Flujo de trabajo BIM vs flujo de trabajo CAD.

(Pérez, L., 2019), menciona que el flujo de trabajo en la metodología CAD,

es el método de diseño tradicional que se ha utilizado en las últimas décadas, que aún está vigente y que actualmente convive con la metodología BIM, es la evolución de los métodos antiguos de dibujo con tinta sobre el papel en que los planos se representaban en plantas de dos dimensiones, alzados e isométricos. La metodología no varía significativamente, solo se modificó su forma de elaboración con la existencia del ordenador.

Gráfico 2: Flujo de Trabajo Tradicional CAD.



(Fuente: Pérez, L. - 2019)

Para la elaboración de este producto final, se crean equipos de trabajo generalmente bien delimitados en los que cada grupo trabaja individualmente, por ejemplo, un grupo realiza los dibujos arquitectónicos, otro los estructurales, otros los de instalaciones y así sucesivamente. Esta metodología que revolucionó el mundo de la construcción a partir de los años 70 aproximadamente, si bien conlleva a la realización satisfactoria de los documentos necesarios para elaborar una edificación, es ineficiente debido a que en el proceso se trabaja con equipos independientes y la ocurrencia de interferencias o modificaciones por omisión es alta y realizar estos cambios en los documentos ya elaborados acarrea mucho tiempo y no siempre es exitoso.

Por el contrario, la metodología BIM, consiste en un proceso colaborativo en el que todas las partes que conforman el proyecto trabajan bajo un mismo modelo, esto permite mayor comunicación entre disciplinas eliminando o disminuyendo al máximo los problemas referidos a interferencias, así mismo realizar cambios es más eficiente ya que al

realizar la modificación en el modelo, automáticamente se actualizan los documentos obtenidos de éste. Así mismo, esta filosofía permite incluir al cliente, resto de disciplinas y constructor, en la revisión y verificación del modelo.

1.2.1.4. Beneficios de la Metodología BIM.

(Eastman, Chuck, 2011), presenta los beneficios de la metodología en cada una de las cuatro etapas existentes, pre diseño (básico y conceptual), diseño (detallado), construcción y fabricación y finalmente post construcción (seguimiento y mantenimiento).

➤ Pre diseño (Básico y conceptual)

- Esta metodología permite realizar una estimación de costos, así como analizar la viabilidad del proyecto con bastante proximidad, antes de invertir tiempo de trabajo y recursos en un proyecto detallado. Lo que permite al propietario del proyecto tomar decisiones con mayor seguridad, modificar algunas situaciones o simplemente posponerlo, esto en función de su presupuesto y la calidad de obra que desea obtener.
- **Aumento de la calidad del proyecto de detalle**, ya que en esta etapa se puede profundizar en los detalles iniciales, a modo de definir claramente cómo abordar el proyecto y verificar intercepciones de gran relevancia con premura.

➤ Etapa de diseño (Detallado)

Reducción de horas hombre trabajadas, de manera que, al trabajar con un modelo compuesto de elementos paramétricos, se construye un modelo 3D donde se realiza el detallado de la estructura y todos los documentos 2D (planos) son extraídos del modelo automáticamente, si existe algún cambio durante el proyecto solo se modificará el modelo sin necesidad de que el usuario deba gestionar otros cambios.

- **Facilidad para realizar modelos en proyectos interdisciplinarios**,

elaborando uno o más modelos 3D coordinados, esto reduce los errores por omisión o descoordinación entre disciplinas, así como permite verificar intercepciones, obstrucciones u otro tipo de inconvenientes entre disciplinas.

- **Capacidad de extraer en cualquier etapa del diseño, la cantidad de material utilizado y vinculándolo con un precio unitario poder realizar cálculos métricos y tener una estimación de costos precisa.** Esto permite observar y comparar el impacto económico que conlleva cada decisión que se tome sobre la estructura como pueden ser kilos de acero, metros cúbicos de hormigón, metros cuadrados de pared, superficie de pintura y de encofrado, pernos o cualquier elemento que componga la estructura.
- **Posibilidad de vincular el modelo a softwares de análisis energético,** evaluando la eficiencia de los elementos térmicos internos, eficiencia de iluminación entre otras. Lo que permite evaluar y diseñar una estructura que sea no solo de bajo costo inicial, sino que se pueda proyectar pensando en el mantenimiento de la estructura en términos energéticos y sus costes asociados.
- **Interacción fluida entre los softwares de diseño arquitectónico, cálculo estructural y los de diseño de estructuras,** lo que permite un flujo de trabajo entre arquitectos e ingenieros estructurales, en el que se puede verificar el comportamiento estructural bajo el diseño geométrico propuesto.

➤ **Etapas de construcción y fabricación.**

- **Capacidad de vincular el diseño con la planificación de la construcción,** con un modelo 4D (un modelo que involucre la variable tiempo), permitiendo así simular el proceso constructivo en cada una de sus etapas.
- **Al vincular el modelo con el proceso constructivo,** se pueden ver con anterioridad ciertas consideraciones que se deben tomar en cuenta para llevar a buen término la construcción; y, también visualizar cómo

puede afectar un suceso puntual el esquema planteado de construcción.

- **Facilitar** el proceso de fabricación de piezas constructivas ya que, al modelar la estructura en su totalidad, se pueden extraer planos en los que se observen planchas metálicas, agujeros en perfiles metálicos, dimensiones de encofrados entre otros o desde un punto de vista más avanzado utilizar modelos 3D para impresiones 3D de polímeros o piezas específicas.
- **Vincular** el modelo con todo el proceso del proyecto, que se compone básicamente de tres etapas: ingeniería, procura y construcción.

➤ **Etapas posteriores a la construcción.**

- **Al** existir un modelo que posee la geometría y características reales se mejora la capacidad de operar las instalaciones, y si a este modelo se le realiza un proceso de realidad virtual aumentada se puede conocer más información sobre cada elemento importante que compone la estructura, recorrer la estructura desde su interior e incluso simular procesos de evacuación o tránsito de personas en general.

1.2.1.5. Globalización de la Metodología BIM

(Pérez, L., 2019), en su tesis de maestría, “Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil” explica los factores que han propiciado este proceso de globalización, indicando cuáles son las herramientas que permiten que, una misma metodología sea implementada a nivel mundial. Para responder a estas incógnitas, empieza por definir qué es OpenBIM y cuáles son los organismos que regulan este tipo de archivos.

Ningún software individual puede admitir todas las tareas asociadas con el diseño y la producción de una estructura compleja. Ya que este trabajo

requiere de múltiples expertos y aplicaciones para cada especialidad, nace la necesidad de tener interoperabilidad entre distintos programas.

Éste tradicionalmente ha dependido de formatos basados en archivos de intercambio, como DXF por sus siglas en inglés (Drawing Exchange Format) formato para el intercambio de dibujo o IGES, ambos solo permiten el intercambio de geometría, utilizados principalmente en trabajos CAD 2D y 3D.

Debido a que en BIM se manejan elementos paramétricos, que contienen geometría e información, los archivos mencionados no son de utilidad para el correcto intercambio de información. Por ello, el tipo de archivo utilizado principalmente en el mercado es IFC (Industry Foundation Classes). Éste representa la geometría, relaciones, procesos, material y otras propiedades. A los proyectos desarrollados en softwares con la capacidad de trabajar bajo estos archivos se dice que hacen uso de OpenBIM. Uno de los principales impulsores de difundir OpenBIM es la organización buildingSMART international, a través de la creación y mantenimiento de estándares abiertos (IFC). (buildingSMART/history., 2020)

1.2.1.6. Estado de la Metodología BIM a nivel mundial

(Pérez, L., 2019), estudió el estado de esta metodología a nivel mundial, dando a conocer los lineamientos y propuestas que se han seguido en los países con un grado de éxito elevado. Sobre estos países expuso el desarrollo con respecto al marco legal, mencionando principalmente las normativas que rigen el uso de BIM, guías de diseño y fechas donde se formaron organizaciones vinculadas al BIM que han propiciado su desarrollo. Abarcó el análisis detalladamente de los países que tienen una ruta de adopción definida y que ya han presentado avances y éxitos en el tema.

Para la presente investigación se toma en cuenta el estado de la metodología en América y Europa.

1.2.1.6.1. América (Norte y Sur)

➤ Estados Unidos de América:

Es uno de los países que se ha mantenido a la vanguardia en el uso de la metodología BIM en el año 2003 la administración de servicios generales (GSA), a través del servicio de Edificios Públicos (PBS), estableció el programa nacional 3D-4D BIM, con la intención de lograr una adopción estratégica e incremental de las tecnologías 3D, 4D y BIM. En el año 2007 la misma organización exige la utilización de la metodología BIM en proyectos públicos. (McAuley, Barry, Alan Hore, and Roger West. , 2017).

Actualmente la normativa que rige el uso del BIM en este país es la Norma Nacional BIM (national BIM standard) realizada en asociación con el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción y buildingSMART, cuya función es la de proporcionar una normativa que aliente nuevas prácticas beneficiosas en todos los miembros que conforman el proyecto BIM, proporcionando un marco para todo el proceso colaborativo, ética entre profesionales y un sistema para una práctica integrada dentro de sistemas openBIM.

➤ Chile.

En este país el referente en sistemas BIM es el BIM fórum Chile formado en 2015, órgano que sesiona bajo la coordinación de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (bimforum Chile, 2020). Sus principales objetivos son proponer guías de buenas prácticas del uso del BIM, recopilar conocimientos, promover alianzas y articulaciones entre entidades nacionales e internacionales.

Actualmente no existe una normativa de uso general u obligatorio que regule el uso del BIM en Chile, sin embargo, lo estipulado en el acuerdo público-privado Plan BIM de 2016 se negocia hacer de la metodología

BIM un requisito para 2020, prorrogable hasta 2025.

Este es un plan a 10 años en el primer periodo (2016-2020) se exigirá gradualmente BIM para proyectos públicos hasta que en 2020 sea un requisito obligatorio y de (2020-2025) el mismo proceso, pero con proyectos privados.

➤ **Perú**

En el Perú a través del (Decreto Supremo N° 289-2019-EF, 2019), publicado en el Diario Oficial "El Peruano", el 9 de setiembre de 2019, se aprueba las disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública, así como para la elaboración del Plan BIM Perú que debe definir la estrategia nacional para la implementación progresiva de la adopción y uso de BIM.

Se presenta extractos resumidos de los siguientes artículos:

Artículo 3. Principios para la adopción y uso de BIM

La adopción y uso de BIM en los procesos de inversión pública se rige por los siguientes principios: **Eficiencia** (ahorrar en el uso de los fondos públicos), **Calidad** (ejecución infraestructura pública), **Colaboración** (entre los diversos agentes involucrados en el desarrollo de una infraestructura pública), **Transparencia** (con la información y decisiones que se tomen), **Coordinación** (sector público, sector privado y la academia).

Artículo 4. Criterios y articulación para la incorporación de BIM.

Para la incorporación de BIM en los procesos de inversión pública se aplican los siguientes criterios:

1. **Progresividad:** Su incorporación se efectúa de manera progresiva y ordenada a fin de que los requerimientos BIM sean comunes y homogéneos de acuerdo a las características y complejidad de la infraestructura pública.
2. **Condiciones de la organización:** Se toma en cuenta la experiencia

en el uso de BIM, así como los recursos técnicos y humanos con que se cuenta para su adopción y la gestión de la información generada.

3. **Integralidad:** Se orienta a incorporar información de la infraestructura pública desde sus fases iniciales a fin de asegurar la trazabilidad e idoneidad de la información para su posterior utilización en las demás fases del ciclo de inversión.

4. **Características de la infraestructura:** Se considera la complejidad de la infraestructura pública, el monto de inversión, así como su modalidad de ejecución a fin de que la incorporación de BIM genere mayor eficiencia en el uso de los fondos públicos destinados a la inversión.

Artículo 5. Aprobación e implementación del Plan BIM Perú, tiene como propósito reducir los sobrecostos y atrasos en la ejecución de infraestructura pública, hacer más eficiente su operación y mantenimiento, así como propiciar la transparencia en los procesos de inversión pública.

Actualmente no existe una normativa de uso general u obligatorio que regule el uso del BIM en Perú, sin embargo, según el (D.S N° 237-2019-EF , 2019) que aprueba el “Plan de competitividad y productividad 2019-2030”, el objetivo prioritario 1: “Dotar al País de infraestructura económica y social de calidad” y medida de política 1.2: Plan BIM, marca los hitos para la adopción del BIM en el país, donde especifica que a partir de Julio del año 2030, la metodología BIM será de uso obligatorio en todo el sector público.

1.2.1.6.2. Europa

➤ Reino Unido

El Reino Unido es considerado uno de los países líderes en la implementación de la metodología BIM, debido a la publicación en 2011 de la estrategia de construcción, donde se introduce el mandato de la

utilización de uso obligatorio como mínimo de BIM a nivel 2 en todos los proyectos públicos, a partir de abril de 2016. Tras la publicación de este plan de implantación, nace el BIM Task Group, grupo financiado por el gobierno cuya función era la de impulsar la adopción de BIM en todo el gobierno, fortaleciendo al sector público para cumplir con las metas establecidas para 2016 (McAuley, Barry, Alan Hore, and Roger West. , 2017).

1.2.1.7. Metodología BIM para el Diseño de Estructuras (S-BIM).

Existen diferentes formas y metodologías para realizar un proyecto relacionado al diseño de estructural de un edificio, las más eficientes son los que siguen la metodología del BIM, por su filosofía de reducción de tiempo y costo en generar proyectos de mayor calidad.

S-BIM es el similar a BIM, con la particularidad de que todo lo que implica BIM, la referimos únicamente a la especialidad de estructuras que contiene la información necesaria para que, con ayuda de la interoperabilidad, se logre realizar un análisis estructural e interpretación de resultados de manera adecuada. Esto último, es una de las visiones que BIM nos presenta y es de gran interés para los ingenieros estructurales.

Gráfico 3: Posición del campo estructural en el entorno BIM



Fuente: Murcio Juarez, 2013

➤ **Ventajas del Uso BIM en la Ingeniería Estructural.**

Pensando en el proceso de diseño estructural y conociendo los beneficios de la metodología BIM en general, se ha identificado algunas posibles ventajas que puede traer el uso de BIM en esta especialidad.

- ✓ Diseño y modelado de estructuras de manera más rápida.
- ✓ Permite extraer información precisa de los componentes estructurales y evitar pérdidas de datos y re-trabajo.
- ✓ Tomar decisiones informadas con datos de análisis precisos.
- ✓ Documentación de la construcción coordinada y ahorro de tiempo en la creación de los mismos (planos, memorias, etc.)
- ✓ Generación sencilla de cuadros y reportes (metrados, presupuesto)
- ✓ Minimizar en gran proporción errores u omisiones, gracias a que se puede verificar los resultados más detallada y de forma instantánea.
- ✓ Posee un flujo de trabajo y detallado flexible que facilita la colaboración entre miembros del equipo de trabajo de la especialidad.

Según, (HARDIN, Brad y MCCOOL, Dave., 2015, p.145). “La promesa de BIM es construir una estructura prácticamente antes de físicamente haberlo construido. Esto permite a los participantes del proyecto diseñar, analizar, secuenciar y explorar un proyecto a través de un entorno digital donde es mucho menos costoso hacer cambios que en el momento de la ejecución del proyecto, donde los cambios son exponencialmente más costosos. Hoy, esta promesa se está convirtiendo en realidad. Una serie de softwares BIM, dispositivos móviles en las aplicaciones están entregando resultados que mitigan el riesgo en la construcción”.

1.2.1.8. Plan de Gestión BIM en Proyectos Estructurales

Es la secuencia, intercambio de información y protocolos optados para la realización de proyectos estructurales. El plan de gestión BIM ayuda a realizar el monitoreo, control y un adecuado flujo de trabajo al momento de realizar proyectos, en especial proyectos de índole estructural.

“Para la realización de planes de gestión BIM es necesario la creación de guías que ayudarán a proponer un project charter en el que se recopilan los requisitos del proyecto BIM, se identifican los stakeholders (interesados), se determina el alcance a través de los BIM goals (metas BIM), se identifican los BIM uses (usuarios) a lo largo del ciclo de vida del proyecto (planificación, diseño, construcción y operación), se proponen unos entregables BIM y unas fichas para su verificación de calidad, se estudian los procesos etc. Se debe de tener en cuenta que, además del entregable, físico, tenemos uno o varios entregables virtuales en función de las necesidades y requisitos demandados por stakeholders del proyecto” (HARDIN, Brad y MCCOOL, Dave., 2015, p.136).

1.2.1.9. Interoperabilidad de Programas BIM y Flujo de Información para el Diseño Estructural.

Una de las partes más importantes dentro del proceso de elaboración de un proyecto de estructuras, es el análisis. En esta parte, BIM nos ha presentado un concepto que es necesario utilizar para aprovechar mejor sus ventajas. Este concepto es la interoperabilidad.

Para el análisis estructural, se utilizan herramientas EF y para el desarrollo BIM de nuestro proyecto de estructuras se debe utilizar otras herramientas S-BIM o plataformas que nos ayuden con esto. Esto crea la necesidad de la utilización de la interoperabilidad Plataforma-Herramienta o Herramienta-Herramienta en esta etapa de análisis estructural. A continuación, presentamos algunos conceptos que nos ayudan a entender más sobre esta interoperabilidad particular, que representa el flujo de información para el análisis de un modelo S-BIM (Nielsen & Madsen, 2010).

- **ADD-ON Tools:** Denominaremos así a la herramienta que permite obtener resultados analíticos de manera directa del modelo S-BIM por medio de herramientas propias de la aplicación. Como ejemplo, tenemos las herramientas de extensión de Revit. Estas herramientas tienen

ciertas limitaciones ya que no trabajan con cálculos muy complejos y generalmente realizan cálculos en solo dos dimensiones.

- **Direct Link:** Mediante este método, considerado también una herramienta S-BIM, podemos analizar y diseñar una estructura en una Herramienta EF a partir de una herramienta S-BIM o plataforma de manera directa. Esto es, mediante una exportación/importación por medio de una extensión u opción de la aplicación S-BIM. Este tipo de transferencia de información, depende de la aplicación utilizada, es decir, si los desarrolladores de la misma la vincularon con una Herramienta EF específica o no.
- **Indirect Link:** Este método, también considerado una herramienta, se basa en una interoperabilidad más general que en el caso anterior. Aquí la exportación/importación, se realiza a través de un formato estandarizado como por ejemplo el IFC, que es legible tanto para las herramientas S-BIM como para la Herramienta EF, pudiéndose utilizar diferentes aplicaciones sin importar su desarrollador o las opciones de las que dispone. Esta herramienta es la recomendada por la visión que presenta BIM para realizar cualquier tipo de interoperabilidad, pero por utilizar un formato estándar presenta mayor cantidad de errores en la transferencia de información, por lo que la herramienta está en constante evolución.

El concepto de interoperabilidad se relaciona con el traspaso de datos entre programas computacionales. Existe diferentes herramientas BIM para el diseño estructural, estos utilizan diferentes lenguajes de programación, nativos o externas, sus extensiones y formatos no son, por lo general, compatibles con otros programas que realizan los mismos trabajos ingenieriles. El formato llamado IFC (Industry Foundation Classes) está creado para facilitar la interoperabilidad entre los distintos softwares BIM que existen en el mercado.

En el caso específico de esta tesis, para la edificación en estudio se utiliza el Direct Link, por presentar una mejor transferencia de datos en investigaciones previas (Nielsen & Madsen, 2010). Las herramientas escogidas para esta tarea son: Autodesk Revit y Robot Structural (ARSAP)

1.2.1.9.1. Herramientas S-BIM utilizados para el Proyecto.

A continuación, se desarrolla cada uno de los softwares que se utilizara en esta investigación, basados en la información de la marca comercial.

➤ AUTODESK.

Esta es una de las marcas comerciales de softwares con mayor reconocimiento a nivel mundial, por su trascendencia y por tener el software CAD más utilizado en el mundo, AutoCAD cuya primera versión se realizó en 1982, actualmente sigue vigente y siendo utilizada por la mayoría de las empresas.

Finalmente, por tener una herramienta tan popular y de calidad probada se puede llegar a la conclusión de que esta casa tiene la confianza plena del mercado por lo cual sus softwares BIM son los más populares hoy en día. Además, no solo tienen la herramienta de modelaje BIM, si no que tienen una serie de software que complementando el modelo pueden cumplir a cabalidad todos los requerimientos de un proyecto con altos niveles de especificación BIM.

Hablando específicamente de REVIT este se deriva en 3 softwares adaptados para cada necesidad (AUTODESK, 2020)

- **REVIT ARQUITECTURA:** Diseñado con la intención de permitir la elaboración del diseño y posterior documentación con tablas de planificación, vistas, renderizaciones, entre otras. Analizar la estructura optimizando el rendimiento de la construcción, llevando a cabo estimaciones de costes, rendimiento de vida útil, entre otras

consideraciones. Facilitar la visualización con renders fotorrealista e incluso incursionar en realidad virtual y, por último, quizás su función más importante permite la coordinación multidisciplinaria sobre un mismo modelo.

- **REVIT ESTRUCTURA:** tiene un esquema de trabajo similar al de arquitectura, sólo que, complementado para el diseño estructural, permitiendo así el modelado de refuerzos de hormigón, diseño de acero, documentación de diseño para acero y hormigón. Y por último su función de mayor utilidad su capacidad de vincularse con software de análisis estructural permitiendo ir desarrollando el modelo, conforme se va desarrollando el cálculo por ejemplo con ROBOT Structural un software producido por esta casa.

En el proyecto de vivienda de la presente tesis, se utiliza Revit para el modelado de 2 especialidades, como son las especialidades de Arquitectura y Estructuras de edificio. Se utilizó el modelado de arquitectura para tener clara la distribución de los ambientes y poder estructurar de manera adecuada la edificación. También se usó Revit para la generación de la documentación que requiere el proyecto estructural.

- **ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL (ARSAP),** es una herramienta avanzada de análisis estructural que permite realizar análisis lineales y no lineales de los modelos de construcción, puentes y otros tipos de estructuras industriales.

Con esta herramienta se puede definir una amplia gama de tipos de análisis avanzados como análisis estáticos, modales, sísmicos, espectrales, armónicos y de historial de tiempo.

Robot (ARSAP) fue particularmente elegido para esta tesis por la interoperabilidad que posee con Revit por ser de la misma casa de Autodesk. Según algunas investigaciones previas, el Link directo entre

Revit Structure y ARSAP es el que contiene menor cantidad de errores o datos faltantes a la hora de realizar el intercambio de información entre una Herramienta EF y una aplicación BIM (Nielsen & Madsen, 2010).

➤ **CSI (Computers and Structures, Inc.)**

CSI es una compañía de software estructural y de ingeniería sísmica fundada en 1975. Algunos programas de análisis estructural y diseño producidos por CSI son: SAP2000, CSiBridge, ETABS, SAFE, PERFORM-3D, y CSiCOL.

Para el presente proyecto se usará ETABS para validar los resultados obtenidos con ARSAP.

- **ETABS:** es el software de análisis y diseño estructural más utilizado en el país para realizar análisis de edificaciones. La característica principal de ETABS es la de poder realizar modelos de edificios complejos con técnicas simples de modelado. En ETABS se puede realizar un análisis estático debido a cargas verticales y laterales aplicadas por el usuario. El programa tiene también opciones de generación de cargas laterales de sismo y viento según distintos códigos, En esta última versión se incluyó la norma E.030 de Perú para la generación del espectro de sismo. Además del análisis modal ETABS nos permite realizar análisis espectral, análisis lineal y no lineal de tiempo historia y análisis pushover.

En nuestro país, el uso de ETABS, SAP2000 y otros softwares de CSI son muy difundidos, por lo que, la manera de trabajo de este software ha sido evaluada en distintas ocasiones llegando a una aceptación general de sus resultados, obviamente con las consideraciones debidas que tenga el ingeniero estructural. En el proyecto que se estudia, el uso de ETABS será con el fin de evaluar el desempeño estructural del edificio y para validar resultados de la otra aplicación BIM utilizada (ARSAP).

1.2.2. Diseño Sismorresistente de Edificios.

Para (AWAD, 2012 pág. 25), la seguridad de una edificación es el factor más importante, y que está relacionado con la capacidad de la estructura para resistir las cargas o sollicitaciones máximas posibles que puedan ocurrir durante su vida útil, sin incurrir en daños excesivos o en colapso parcial o total de la edificación.

La configuración de una edificación, y sus detalles arquitectónicos y estructurales, son factores determinantes en su comportamiento e influyen en la manera como las fuerzas sísmicas se distribuyen en su altura, en la intensidad de esas fuerzas y en la interacción entre los miembros.

Recomienda que los arquitectos e ingenieros responsables de la creación de una edificación deben comunicarse e interactuar desde el anteproyecto, durante la construcción y hasta la aceptación de la obra para lograr un diseño sismo resistente efectivo y al mismo tiempo un sistema estructural adecuado que permita la funcionalidad y estética arquitectónica de la edificación.

Para (BOZZO, 2004 pág. 256). “Los criterios actuales de diseño sismorresistente requieren que la estructura soporte un sismo severo sin que llegue al colapso, aunque puedan producirse daños locales importantes. Para ello la estructura se diseña y construye proporcionándole detalles que permitan las deformaciones inelásticas esperadas durante un sismo severo, sin pérdida significativa de resistencia”. Este tipo de diseño es llamado diseño sismorresistente de una estructura; busca que el edificio resista y no colapse en el momento que se produzca un evento sísmico.

La norma de diseño sismorresistente (E.030, 2018, p.7), del Reglamento Nacional de Edificaciones, presenta las consideraciones generales para el diseño resistente de las edificaciones, menciona que: Toda edificación y cada una de sus partes serán diseñadas y construidas para resistir las sollicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma (E-030), siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados.

1.2.2.1. Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

Según la norma (E.030, 2018, p.6), La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

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

En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- a. 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.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N.º 5, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

1.2.2.2. Concepción Estructural Sismorresistente

La norma (E.030, 2018, p.6), indica que para la concepción estructural sismorresistente debe tomarse en cuenta la importancia de los siguientes aspectos:

- Simetría, tanto en la distribución de masas como de rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia adecuada frente a las cargas laterales.
- Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación.
- Ductilidad, entendida como la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico.
- Deformación lateral limitada.

- Inclusión de líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural).
- Consideración de las condiciones locales.
- Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

1.2.2.3. Definición de análisis sísmico.

El análisis sísmico es esencial para poder diseñar una estructura. Comienza con la incorporación de fuerzas sísmicas en un modelo matemático y termina con el cumplimiento de las derivas de la estructura y la obtención de los esfuerzos sísmicos en la misma.

Siguiendo los lineamientos proporcionados por el reglamento nacional de edificaciones específicamente el ítem; norma E.030, da a conocer los requerimientos mínimos establecidos para la realización del análisis sísmico (VALDERRAMA, 2016 pág. 56)

Por otro lado, es importante definir el concepto de Rigidez. Para (SALAZAR, 2007 pág. 40). “propiedad mecánica de los materiales con la característica de oponerse a la deformación”. Por otra parte, el esfuerzo es el “conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo tendiendo a deformarlo, representada como la relación de la fuerza aplicada sobre el área de la sección sobre la que actúa” (SALAZAR, 2007 pág. 18)

La norma de diseño sismorresistente (E.030, 2018., p. 9) define Las Derivas como el “Desplazamiento de entre piso, o calificada como distorsión de entre piso, esta se calcula como el promedio de las distorsiones en los extremos de los entrepisos”.

1.2.2.3.1. Procedimientos de Análisis Sísmico (E-030, 2018)

La norma menciona que, deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes:

- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes (numeral 4.5).
- Análisis dinámico modal espectral (numeral 4.6).

El análisis se hará considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

1.2.2.4. Estructuración y Pre-dimensionamiento de Proyectos.

1.2.2.4.1. Estructuración.

La estructuración es el primer paso importante para obtener una buena estructura, consiste en ubicar los elementos estructurales (columnas, placas, vigas, losas, etc.) en el plano de arquitectura del edificio para así obtener una estructura que cumpla con las solicitudes por cargas de gravedad y sísmicas en nuestra norma E-030.

Estructurar un edificio significa tomar decisiones en conjunto con los otros profesionales que intervienen en la obra (Arquitecto, Ingenieros de Instalaciones, etc.) acerca de la disposición y características que deben tener los diferentes elementos estructurales, de manera que el edificio tenga un buen comportamiento durante su vida útil; esto es, que tanto las cargas permanentes (peso propio, acabados, etc.) como las eventuales (sobre-carga, sismo, viento, etc.), se transmitan adecuadamente hasta el suelo de cimentación. (ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ, 1998)

En este proceso se busca los siguientes objetivos (ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ, 1998 pág. 225).

1. **Economía.** Deberá colocarse los elementos estructurales estrictamente indispensables; por ejemplo, se sabe que las placas son los mejores elementos sismorresistentes, sin embargo, no deben emplearse en gran cantidad porque son costosas. Por otro lado, si en un edificio de mediana altura (hasta de 5 pisos) abundasen los tabiques de albañilería, será conveniente convertirlos en muros estructurales.
2. **Estética.** En lo posible deberá respetarse la arquitectura del edificio.
3. **Funcionalidad.** La estructura no debe restar el carácter funcional al que los ambientes están destinados. Por ejemplo, si un edificio tiene cocheras en su parte baja, los elementos estructurales verticales no deben estorbar el paso de los vehículos. Así mismo, si un edificio está

destinado a prestar servicios vitales (hospital, posta médica, estación de bomberos, etc.), deberá seguir funcionando después que se produzca un sismo severo, de lo contrario, no se podrá atender a los heridos o sofocar los incendios que generalmente ocurren después de un gran terremoto.

4. **Seguridad.** Sobre los tres objetivos anteriores el que debe primar es el de seguridad, a fin de que el edificio sea capaz de soportar todo tipo de sollicitación, sin que se produzca de ninguna manera el colapso. Al respecto, en nuestra Norma Sísmica se especifica: que los sismos leves no deben originar ningún daño; que los sismos moderados pueden causar daños en los elementos no estructurales (tabiques, acabados etc.) y daños leves en los elementos estructurales; mientras que los terremotos severos pueden producir grandes daños en los elementos estructurales, pero que no comprometan la seguridad del edificio.

1.2.2.4.2. Pre-dimensionamiento.

El Pre-dimensionamiento de elementos estructurales es un planteamiento preliminar de las dimensiones de la estructura en el cual utiliza parámetros y normas establecidas para su posterior cálculo estructural y verificación final. El pre dimensionamiento de los elementos estructurales se realiza según las luces y las cargas que soportan, cumpliendo con las recomendaciones de la norma (NORMA E.060, 2009) y del libro: "Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado", (BLANCO BLASCO, 1994)

➤ Pre-dimensionamiento de losa de piso.

El pre-dimensionamiento de una losa consiste en determinar un peralte que sea capaz de resistir las cargas verticales que soporte, que evite las deflexiones excesivas y, además, que garantice el comportamiento de la losa como diafragma rígido.

Uno de los sistemas de techado más empleado en nuestro medio es la **losa aligerada** unidireccional (armada en un sentido), esto se debe a que es un sistema económico, liviano (propiedad necesaria para reducir las fuerzas sísmicas), donde los ladrillos aligerados (bloques con huecos tubulares) proporcionan acústica, termicidad y sirven además para darle forma (encofrado) a las viguetas de concreto armado; pero, para efectos del diseño estructural, se desprecia la participación de los bloques tanto en la rigidez como en la resistencia del aligerado (ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ, 1998 pág. 226).

Para pre dimensionar las losas aligeradas existen dos métodos: método práctico y mediante tabla:

Método práctico: el espesor de la losa estará en función de la separación entre los apoyos.

$$h = L / 25, \text{ Donde:}$$

L = luz mayor

h = Altura del aligerado

Mediante tabla (Norma E.020, 2006), peso unitario.

Dependiendo de las luces de los ambientes y de las cargas existentes, los aligerados tienen un peralte $t = 13, 17, 20, 25, 30$ cm, que incluye una losa superior de 5 cm de espesor.

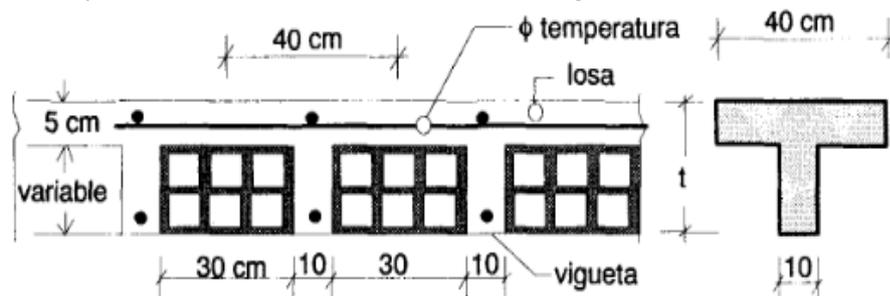
Gráfico 4: Peso propio aproximado de losas según espesor

Con vigueta 0,10 m de ancho y 0,40 m entre ejes		
Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior en metros	Peso propio kPa (kgf/m ²)
0,17	0,05	2,8 (280)
0,20	0,05	3,0 (300)
0,25	0,05	3,5 (350)
0,30	0,05	4,2 (420)

Fuente: NTP, E.020 – Cargas.

Por otro lado, los bloques tienen dimensiones en planta de 30x30 cm, y tradicionalmente se emplean viguetas con nervios de 10 cm de espesor, lo que hace que estas viguetas se repitan modularmente cada 40 cm; sin embargo, dependiendo de las características que tengan los ambientes (luces, sobrecargas, etc.), estas medidas pueden modificarse (ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ, 1998).

Gráfico 5: Sección Transversal de un aligerado unidireccional.



Fuente: San Bartolomé – 1998.

- **Vigas:** Las vigas son miembros estructurales horizontales que transmiten las cargas, provenientes de las losas, a las columnas. “Las vigas se diseñan en principio para resistir momentos de flexión, sin embargo, si una viga es corta y soporta grandes cargas, la fuerza cortante interna puede llegar a ser bastante grande y debilitar el diseño de la viga” (HIBBELER, 2011 pág. 256)

Por otra parte, las vigas peraltadas poseen más rigidez y funcionan mejor estructuralmente, se prefiere que estas tengan menos altura para así maximizar la altura entre pisos.

Por lo general las vigas se pre dimensionan considerando un peralte del orden de 1/10 o 1/12 de la luz libre, el cual incluye el espesor de la losa (BLANCO BLASCO, 1994):

$$h = L / 12 \text{ o } b=12/2, \text{ Donde:}$$

L= luz mayor en el eje

h= Altura de la viga (peralte).

- **Columnas:** Las columnas son elementos estructurales verticales que soportan cargas provenientes de las losas y distribuyen estas cargas

a los cimientos de la estructura. “Las columnas son elementos utilizados para resistir básicamente solicitaciones de compresión axial, aunque, por lo general, ésta actúa en combinación con corte a flexión o torsión ya que en las estructuras de concreto armado, la continuidad del sistema genera momentos flectores en todos sus elementos.

Según las recomendaciones del ingeniero Antonio Blanco (1994) se puede dimensionar una columna mediante:

$$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0.45 * f'c} \text{ para columnas centradas}$$

$$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0.35 * f'c} \text{ para columnas excentricas y esquinadas}$$

Donde:

A_{col} = área transversal de la columna (cm²)

$P_{servicio}$ = carga vertical en servicio (ton)

$P_{servicio} = P \times Atrib \times Npisos$

Edificios categoría A → $P = 1500 \text{ kg/m}^2$

Edificios categoría B → $P = 1250 \text{ kg/m}^2$

Edificios categoría C → $P = 1000 \text{ kg/m}^2$

$f'c$: resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²)

- **ZAPATAS:** “Las zapatas se diseñan considerando que la presión actuante sea menor a la presión admisible. Todos los métodos para calcular las presiones actuantes sobre el suelo toman en cuenta que el suelo no soporta tracciones. Se determina las presiones sobre el suelo, con el Método de Meyerhoff. El cual considera que el suelo se plastificara ante cargas axiales y de momentos, teniendo una presión constante sobre un área menor al área inicial de la zapata, cuyo centroide coincida con la resultante de la carga” (RUEDA Rocca, 2008 pág. 55).

1.2.2.5. Metrado de Cargas en Edificaciones.

Es un tipo de técnica el cual halla las cargas actuantes en los elementos estructurales por medio del metrado de las dimensiones en unidades cúbicas de todos los elementos estructuras, multiplicado por el peso sísmico de estas.

(CONTRERAS, 2011 pág. 88), menciona los siguientes tipos de metrados de cargas para el diseño de estructuras:

- 1.- Metrado de cargas para hallar el peso total de la estructura y calcular la fuerza horizontal "FI" por sismo.
- 2.- Metrado de cargas para hallar el peso total de la estructura y calcular el ancho de las zapatas y cimentaciones.
- 3.- Metrado de cargas para hallar el peso total de la estructura y hacer el Análisis Estructural: b) Por lo general se trabaja por metro de longitud y luego se halla el peso total. c) Se trabaja teniendo en cuenta el ancho tributario que reciben los elementos estructurales.

Según la norma (Norma E.020, 2006 pág. 2), menciona: “Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su norma de diseño específica”

En todo proyecto estructural es necesario conocer las cargas o pesos del edificio y la carga sumada que soportará en su vida útil como el peso de las personas, muebles, equipo, aparatos, etc. Estas cargas son las llamadas carga muerta (CM) y carga viva (CV) respectivamente.

1.2.2.6. Estudio Mecánica de Suelos.

La norma (Norma E.050, 2018) de Suelos y Cimentaciones, establece los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (**EMS**), con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Los **EMS** se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad

y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos.

Indica que la información del **EMS** es válida solamente para el área y tipo de obra indicadas en el informe. Los resultados e investigaciones de campo y laboratorio, así como el análisis, conclusiones y recomendaciones del **EMS**, sólo se aplicarán al terreno y edificaciones comprendidas en el mismo. No podrán emplearse en otros terrenos, para otras edificaciones, o para otro tipo de obra.

“La finalidad de los estudios de mecánica de suelos es determinar las principales características, propiedades y parámetros geotécnicos del terreno de fundación, para que, con estos datos, se pueda hallar la capacidad portante, mediante el método más adecuado según y aplicando los criterios de la norma E.050” (Chambilla, 2016)

1.3. Definición de Términos Básicos.

1.3.1. Metodología BIM.

- Definiciones presentadas en el artículo 2 del D.S N°289-2019-EF (que aprueba disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública).
 - ✓ **BIM** (Building Information Modeling): Es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten formular, diseñar, construir, operar y mantener una infraestructura pública de forma colaborativa en un espacio virtual.
 - ✓ **Plan BIM Perú:** Es el documento de política que define la estrategia nacional para la implementación progresiva de la adopción y uso de BIM en los procesos de inversión de las entidades y empresas públicas, de manera articulada y concertada, y en coordinación con el sector privado y la academia.
 - ✓ **Estándar BIM:** Es el conjunto de acuerdos sobre cómo compartir e intercambiar información de manera estructurada y consistente entre todos los agentes involucrados en el desarrollo de una infraestructura

pública, a lo largo del ciclo de inversión, fomentando el trabajo colaborativo e interdisciplinario.

- ✓ **Modelo BIM:** Es la representación digital de los elementos de una infraestructura pública que incluye su geometría e información. Un modelo BIM puede generarse y/o gestionarse durante cualquier etapa y/o fase del ciclo de inversión.
- ✓ **Nivel de información o desarrollo:** Son los grados de profundidad que puede tener tanto la información geométrica como no geométrica contenida en los elementos de los modelos BIM, según el estado de avance de la información de los modelos en que se requiera.
- ✓ **Plan de Ejecución BIM:** Es el documento en el que se define cómo serán llevados a cabo los aspectos del modelado y gestión de la información de una infraestructura pública en particular.
- **BIM-30:** =Arquitectura+ Estructura+ Instalaciones. Representa la geometría del edificio y es una colección de objetos. Una manera perfecta de visualizar que el producto final se verá tal y como lo hemos diseñado.
- **BIM Manager:** Persona con conocimientos BIM capaz de gestionar toda la información recibida e integrada dentro de la aplicación.
- **CAD:** La sigla CAD proviene del inglés Computer Aided Design que significa Diseño Asistido por Ordenador, pero que su significado real es Dibujo Asistido por Computadora. El proceso normal de desarrollo de un proyecto en CAD se inicia con el dibujo de los planos, para luego quizá desarrollar un modelo 3D únicamente con fines de visualización para finalmente construir el proyecto con las instrucciones no necesariamente bien compatibilizadas de los planos CAD.
- **Incompatibilidad:** El calificativo "incompatibilidad", es un término muy usado en la industria de la construcción para referirse a la incoherencia de cierta información proporcionada por los planos o especificaciones técnicas cuando estos documentos tienen inconsistencias, errores y omisiones. Frecuentemente, estas deficiencias de diseño son identificadas cuando se comparan los distintos planos del proyecto, sean o no planos de la misma especialidad.

- **Interferencias:** Son deficiencias encontradas en los planos, que al no ser detectadas a tiempo generan en obra (campo) una interrupción espacial debido a la ubicación de un elemento sólido que impide la correcta instalación, montaje o construcción de algún otro elemento.
- **Interoperabilidad:** Intercambio de información digital entre los modelos de BIM.
- **Planos:** Compendio de instrucciones que permiten la construcción o fabricación de un diseño.

1.3.2. Diseño Sismorresistente.

- *Conceptos estructurales presentando por el Ing. Contreras, Genaro en su libro "Diseño de estructuras aporticadas de concreto armado" (2011, p.22)*
 - ✓ **Estructura:** Se llama así a un conjunto de elementos resistentes que colaboran entre sí para soportar fuerzas o cargas manteniendo en todo momento su equilibrio, es decir todas las fuerzas que actúan sobre la estructura se compensan mutuamente.
 - ✓ **Fuerza:** Es toda causa física capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. Al aplicar una fuerza a un cuerpo se produce otra fuerza igual y de sentido contrario llamada reacción.
 - ✓ **Cargas:** Toda estructura soporta cargas siendo estas de dos tipos:
 - a) Cargas muertas o permanentes: Son las que se deben al peso propio de la edificación, incluyendo la estructura resistente y los elementos no estructurales tales como tabiques y acabados.
 - b) Cargas vivas o sobre cargas de servicio: Son las cargas de personas, muebles, equipos, etc. Su magnitud es determinada considerando los estados de carga más desfavorables, de acuerdo al uso de edificación.
 - c) Cargas ocasionales: Son aquellas cuya presencia es eventual como la nieve, el viento y el sismo.
- **Esfuerzos:** Se denomina así a las fuerzas interiores que se generan en un cuerpo que está bajo la acción de una carga. Por la dirección y el sentido de las fuerzas sobre un elemento estructural estas generan esfuerzos de:
 - a) Compresión. b) Tracción. c) Corte. d) Flexión. e) Torsión.

- **Desempeño estructural:** Es una expresión del objetivo de comportamiento que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico, debe estar basada en las características de ocupación de la edificación, los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, la importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural. **(SEAOC, 1995).**
- **Espectro de capacidad:** Es la gráfica de la aceleración espectral (SA) frente a la relación de desplazamiento espectral (So) basado en la curva de capacidad. **(FEMA 274, 1997).**
- **Espectro de Respuesta:** Es el espectro de respuesta reducido utilizado para representar el movimiento del suelo en un sismo en el método de espectro de capacidad. **(ATC-40, 1996).**
- **Nivel de desempeño:** Estado limite los daños o condición descrita por el daño físico dentro del edificio, la amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes debido a los daños del edificio, y del servicio post-terremoto del edificio. **(ATC-40, 1996).**
- **Sistemas estructurales marcos o pórticos:** Este sistema conjuga elementos tipo viga y columna. Su estabilidad está determinada por la capacidad de soportar momentos en sus uniones. Pueden ser planos y espaciales.
- **Carga de servicio** — La carga (sin amplificar), **(RNE E.060, 2009)**
- **Carga *amplificada o factorizada*** — La carga, multiplicada por los factores de carga apropiados, que se utiliza para diseñar los elementos utilizando el método de diseño por resistencia de esta Norma. **(RNE E.060, 2009)**
- **Módulo de *elasticidad*** — Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. **(RNE E.060, 2009)**

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las investigaciones nacionales sobre el uso de las herramientas BIM en el proceso de análisis y diseño estructural sismorresistente de edificaciones son escasas y poco difundidas. En Loreto, la investigación sobre este tema aún no ha sido desarrollada; viendo la necesidad de implementar y fomentar el uso de nuevas tecnologías aplicados a la ingeniería estructural, se desarrolla la presente investigación para el análisis y diseño estructural sismorresistente de un edificio multifamiliar de 4 niveles en la localidad de Pebas, Loreto.

En este contexto se plantea el desarrollo de la presente investigación en la localidad de Pebas, Provincia de Mariscal Ramón Castilla – Loreto, para proyectar una edificación segura, aplicando y usando las herramientas BIM y las normas correspondientes al diseño estructural sismorresistente.

Gráfico 6: Ubicación del Proyecto en la Localidad de PEBAS.



Fuente: Google Maps – 2020.

2.1. Descripción del Problema.

Existen proyectos de construcción de edificios con grados de construcción complejas y con mayores exigencias, por parte de los clientes. Superando la capacidad de las empresas constructoras en la realización de estos tipos de proyectos en las etapas de diseño y ejecución, generando retrasos en las fechas programadas y gastos superiores planteados inicialmente debido, principalmente a las metodologías tradicionales de trabajo, los cuales son deficientes especialmente en el diseño estructural.

La utilización de entregables, elaborados con las metodologías tradicionales, traen consigo limitada información que acarrear conflictos con las demás disciplinas en el momento de la ejecución, impidiendo culminar el proyecto en la fecha programada y no alcanzar los objetivos planteados.

Por lo que, en la presente investigación, surge la necesidad de diseñar un edificio multifamiliar sismorresistente con una nueva metodología (BIM), usando las herramientas modernas de modelado, análisis y diseño estructural que sean eficientes y agilicen el proceso del diseño estructural, buscando reducir tiempo, aumentar la eficiencia y la transparencia al realizar este proceso.

2.2. Formulación del Problema.

2.2.1. Problema General.

✓ ¿De qué manera la Metodología y las herramientas BIM agilizan el proceso de diseño estructural sismorresistente de un edificio multifamiliar de 4 niveles, en la localidad de PEBAS – 2023?

2.2.2. Específicos:

✓ ¿Cómo usar la herramienta BIM (Revit) para elaborar un modelo 3D físico del proyecto y extraer información relevante del edificio multifamiliar de 4 niveles?

- ✓ ¿Cómo aprovechar la herramienta de la metodología BIM (Robot Structural Analysis Professional) para agilizar el procedimiento del análisis modal, estático y dinámico en el diseño del edificio multifamiliar de 4 niveles?
- ✓ ¿De qué manera las herramientas BIM Revit y Robot permiten generar un modelo analítico y trabajar bidireccionalmente con un flujo de información interoperable en la realización del proyecto estructural?

2.3. Objetivos.

2.3.1. General

- ✓ Determinar de que manera la Metodología y herramientas BIM agilizan el Análisis y Diseño Estructural Sismorresistente de un edificio multifamiliar de cuatro niveles en la localidad de PEBAS – 2023.

2.3.2. Específicos

- ✓ Determinar bajo qué consideraciones la herramienta BIM (Revit) se usa para elaborar un modelo 3D físico del proyecto que permita extraer información relevante del edificio multifamiliar de 4 niveles.
- ✓ Identificar en qué medida la herramienta de la metodología BIM (Robot Structural Analysis Professional) se puede aprovechar para agilizar el procedimiento del análisis modal, estático y dinámico en el diseño del edificio multifamiliar de 4 niveles.
- ✓ Examinar de qué manera las herramientas BIM Revit y Robot permiten generar un modelo analítico y trabajar bidireccionalmente con un flujo de información interoperable en la realización del proyecto estructural.

2.4. Justificación de la Investigación.

- **Justificación técnica.** El diseño estructural sismorresistente de un edificio es fundamental para la seguridad y estabilidad en un eventual evento sísmico. La forma de realizar este tipo de diseño estructural, es basándose en métodos matemáticos y herramientas computacionales que ayuden a simular y a resolver problemas, de índole estructural. Por otra parte, es importante elegir las herramientas y la metodología de

diseño adecuadamente para conseguir eficiencia en la realización del proyecto.

La mayoría de los procesos de diseño estructural son muy operativos y rutinarios. En este proyecto se busca aplicar una nueva forma de trabajar, llamada metodología BIM, que integra soluciones de flujo de trabajo eficientes, mejora el intercambio de la información digital a través de programas BIM, evitando así perder información durante todas las fases del ciclo de vida del proyecto.

Esta metodología (BIM) y las herramientas que posee, ayudan con la gestión de datos del proyecto; ya que se cuenta con la facilidad de insertar, extraer, actualizar o modificar información en el proceso del diseño de la estructura, generando mayor rapidez en el diseño estructural del edificio y optimizar el proceso constructivo en el momento de la ejecución. La información que brindará BIM en esta investigación, estará a disposición en el momento de la ejecución del edificio diseñado.

- **Relevancia Social.** La metodología planteada (usos de herramientas BIM) para el análisis y diseño estructural sismorresistente servirá de referencia a trabajos futuros que deseen implementar, agilizar y solucionar los problemas que actualmente presentan los proyectos de edificaciones con el diseño sismorresistente tradicional.

2.5. Hipótesis.

2.5.1. General

- ✓ El uso de la Metodología y Herramientas BIM agiliza el proceso de diseño estructural sismorresistente y asegura la calidad de la información para la construcción futura del edificio multifamiliar de 4 niveles en la localidad de Pebas – 2023.

2.5.2. Especifico.

- ✓ La elaboración del modelo físico BIM 3D con la herramienta Revit optimiza los recursos en la elaboración de los metrados y planos, ayuda

a comprender la distribución arquitectónica y estructural del edificio multifamiliar de 4 niveles.

- ✓ El uso de la herramienta BIM (Robot Structural Analysis Professional), agiliza el análisis modal, estático y dinámico de la estructura del edificio multifamiliar de 4 niveles.
- ✓ La elaboración de un modelo analítico con las herramientas BIM Revit y Robot permite trabajar de forma bidireccional y coordinada por medio de la interoperabilidad directa, la cual agiliza el proceso de desarrollo del proyecto estructural.

2.6. Variables

2.6.1. Identificación de las Variables

- ✓ Objeto de estudio: EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES

a) Variable Independiente: Metodología BIM

b) Variable Dependiente: Diseño estructural Sismorresistente

2.6.2. Definición Conceptual de las Variables.

En el siguiente cuadro se detalla la definición conceptual y operacional de las variables que presenta la investigación.

Cuadro 1: Definición conceptual e indicadores de Variables.

Variable	Definición Conceptual	INDICADOR
V. Independiente: METODOLOGÍA BIM	Es el conjunto de metodologías de trabajo y herramientas, caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar. (Almonacid, Kliver, Julissa, 2015)	Software BIM: REVIT & ROBOT STRUCTURAL
		Software BIM "Direct Link"
		Procedimientos de Comunicación
		Colaboración y Coordinación
		Modelo paramétrico BIM estructuras.
V. Dependiente: Diseño Estructural Sismorresistente	Es el diseño basado en la aplicación, únicamente, de cargas sísmicas en el modelado, y aplicación de criterios sismorresistentes al análisis, y diseño de estructuras con el fin de resistir carga sísmica, los cuales puedan ser, leves o severas, existe diferentes métodos de diseño, dependiendo de	Capacidad portante del suelo.
		Luces, dimensionamiento de las losas, vigas, columnas y zapatas
		Carga muerta y carga viva
		Cortante Basal estático y dinámico

	las consideraciones de resistencia que se desee alcanzar.” (Bertero y Bozorgnia, 2013).	Rigidez, Deriva y Desplazamiento
		Espectro de respuesta sísmico
		Documentación y reportes.

Fuente: Elaboración Propia

2.6.3. Operacionalización de las Variables

Cuadro 2: Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Var. Independiente: (x) METODOLOGÍA BIM	Busca optimizar el proceso de trabajo en la realización de las fases de conceptualización, diseño, ejecución y mantenimiento de un proyecto. Su principal objetivo es representar la estructura con información, en una base de datos e integrar las disciplinas que sean consideradas en el proyecto. La metodología ayuda y potencia el flujo de trabajo colaborativo entre las disciplinas que participan en el proyecto. Se busca mejorar el diseño estructural aplicando la metodología BIM para minimizar errores de coordinación.	Herramientas informáticas BIM	Software BIM: Revit, Robot Structural Analysis Professional.	Nominal
		Interoperabilidad de Programas BIM para el análisis estructural.	Software BIM compatibles "Direct Link"	
		Flujo de Trabajo BIM	Procedimientos de Comunicación, Colaboración y Coordinación Modelo paramétrico BIM de las disciplinas de arquitectura y estructura	
Var. Dependiente: (y) DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE	La principal función de un diseño estructural sismorresistente es generar estabilidad estructural ante eventos sísmicos en una estructura por medio del buen diseño estructural y el adecuado uso de los materiales. La forma de realizar un adecuado diseño sismorresistente es, inicialmente, realizar el pre dimensionamiento, metrado de cargas, análisis estático y dinámico con la norma E.030. El cálculo de acero según los códigos ACI 316, y la norma peruana E-060	Estudio de mecánica de suelos	Capacidad portante	Intervalo
		Estructuración y Pre-dimensionamiento	Luces, dimensionamiento de las losas, vigas, columnas y zapatas	
		Metrado y combinación de cargas	Carga muerta y carga viva	
		Análisis estructural por cargas de gravedad y cargas sísmicas	Cortante Basal estático y dinámico	
			Rigidez, Deriva y Desplazamiento Espectro de respuesta sísmica.	
		Cálculos de aceros en la estructura	Documentación, reportes y planos en detalles	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

3.1.1. Tipo de Investigación

✓ Cuantitativa

En la presente investigación se realiza la simulación y se observa el comportamiento de la estructura ante cargas sísmicas analizando los resultados obtenidos.

✓ Nivel: Descriptivo – Aplicado

En el proyecto de investigación se describe las características encontradas del análisis sismorresistente basada en una metodología de trabajo (BIM), buscando resolver un problema latente y prioritario encontrado en la rama de la ingeniería estructural: Propuesta de diseño estructural.

3.1.2. Diseño de la Investigación.

Atendiendo al tipo de investigación seleccionada se utilizó un diseño no experimental.



Donde:

Mi: Diseño Sismorresistente (aplicando Metodología BIM)

Xi: Edificio multifamiliar de 4 niveles.

Oi: Resultado

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población.

En esta investigación la población corresponde de igual forma con la muestra.

3.2.2. Muestra

En la presente investigación se selecciona el muestreo por conveniencia, esto debido a que no conocemos a todos los individuos que forman la población y por

lo tanto no se conoce la probabilidad de selección de cada individuo. Por lo mencionado, **la muestra de estudio es la vivienda ubicada en la CA. Víctor Rodríguez Erazo**, de la localidad de Pebas, distrito de Pebas, provincia de Mariscal Ramón Castilla - Región Loreto.

3.3. Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos.

3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos:

Las técnicas que se utilizaron en esta investigación son para:

- ✓ El estudio de Mecánica de suelos para Cimentación E-050-2018
- ✓ El análisis sísmico mediante la norma Peruana E.030 -2018
- ✓ El diseño estructural del edificio bajo la norma E.060 concreto armado.
- ✓ Metodología BIM para la elaboración del Diseño Estructural Sismorresistente de un edificio.

Así mismo se usa:

Técnica **de Gabinete o Investigación Documental**: está fundamentada en artículos, libros, normas, códigos relacionados a las variables, que sirvieron para estructurar el marco teórico de la investigación.

Técnica **Campo**: Se utilizó herramientas que permiten el recojo de información pertinente como estudios básicos.

- **Estudio mecánica de suelos**: Con la finalidad de obtener datos geotécnicos como la capacidad portante del suelo que sirve para el diseño estructural de edificio.

3.3.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Se utilizó una ficha de recolección de datos para el análisis según indicadores para cada parte del desarrollo del proyecto de investigación.

Las listas correspondientes como instrumentos son:

- ✓ Ficha técnica de resultados de mecánica de suelos.
- ✓ Software; Revit, Robot Structural Analysis Professional
- ✓ Microsoft (Word y Excel)

- ✓ Norma Técnica E030 "Diseño Sismorresistente"
- ✓ Norma Técnica E060 "Concreto Armado"

3.3.2.1. Validez y Confiabilidad de los Instrumentos.

- ✓ En el proyecto el estudio de mecánica de suelos y su respectiva ficha técnica, es validada por el especialista encargado del laboratorio GEO_CONCRET. El estudio cumple con la norma E-050 estudio de mecánica de suelos.
- ✓ De la misma manera el plano de arquitectura, es revisado por un arquitecto.

3.3.3. Procedimiento de Recolección de Datos.

La investigación se desarrolla de la siguiente manera:

➤ **Revisión y Análisis Bibliográfico.**

Se procedió a la revisión y análisis de fichas bibliográficas, comentarios, libros e investigaciones anteriores respecto a las variables de la investigación planteada, para así, estructurar el marco teórico de la investigación.

➤ **Estructuración y pre dimensionamiento del edificio**

Una vez obtenido los datos geotécnicos del lugar en estudio, mediante las fichas técnicas de mecánica de suelos, y resuelta el plano arquitectónico. Como primer paso: se realiza la estructuración y pre dimensionamiento de los sistemas estructurales, como las vigas, columnas, losas y zapatas. Esto se desarrolla mediante el modelo arquitectónico establecido.

➤ **Modelamiento BIM 3D.**

Tomando en cuenta los niveles proyectados iniciamos con el modelamiento 3D con la herramienta REVIT de la Especialidad de Arquitectura que definirá luego la especialidad de Estructura, de esta manera simulamos el flujo de trabajo que se realiza y el tipo de comunicación que existe entre ellos. El modelo tridimensional solo contendrá información base.

3.3.3.1. Procesamiento y Análisis de Datos.

Una vez realizado el modelo arquitectónico en REVIT, con la cual se definió el modelo estructural en la misma plataforma (REVIT), se realiza el **traslado del modelo** al programa **Robot Structural Analysis Professional** en el cual definiremos los elementos estructurales del edificio para luego, con la ayuda de esta herramienta BIM **realizar el análisis sísmico** aplicando la norma E.030-2018. Esto implica realizar primero el metrado de carga, posteriormente se calcula el peso sísmico efectivo. Se incorpora las cargas que intervendrán y se generan las combinaciones respectivas. Se realiza el **análisis estático** y se generan los modos de vibración (análisis modal). Se realiza el cálculo del cortante estático en la base y consecutivo se generan e insertan al programa los espectros de diseño. Se evalúa las irregularidades en planta y elevación, y seguido el cálculo del cortante dinámico, verificación de los desplazamientos y derivas de piso, luego se efectúa el escalamiento de fuerzas, por último, el cálculo del periodo fundamental de vibración.

- **Validación del modelo estructural y Resultados de Robot:** para validar los resultados que se obtienen con Robot Structural se desarrolló un modelo paralelamente en ETABS con las mismas características de materiales y estructuración del proyecto original, luego de analizar (modelo Etabs) se comparó los resultados obtenidos de este con Robot, de la cual se pudo notar que los resultados de Robot inicialmente no eran similares al de ETABS por lo que se tuvo que aplicar algunas consideraciones y criterios de análisis estructural particular para crear un tercer modelo (optimizado) cuyos resultados se asemejaron a los de ETABS, con la cual podemos validar el uso de Robot para el análisis y diseño estructural del proyecto.

- **Integración de Especialidades.** A continuación, luego de validar el modelo de Robot con Etabs se realiza el retorno del modelo a Revit, para gestionar la información estructural del edificio. Donde se procede a integrar las especialidades que abarcan el Proyecto (ARQ. & EST.), simulando de esta

manera la **interrelación** que existe entre ellas en la obra de edificación, de esta manera obtendremos la edificación construida de forma virtual.

Al realizar un modelamiento 3D de las diferentes especialidades se busca dar solución a las diferentes incompatibilidades que existen entre los planos de una misma especialidad ya sean trazos dobles, deficiencias y falta de información en los detalles de cada elemento proyectado.

- **Documentación del Cálculo Estructural.** Una vez resueltas las interferencias, el modelo estructural tridimensional se traslada, nuevamente, al programa ROBOT STRUCTURAL y se vuelve a realizar el diseño sísmico (de ser necesario), pero de manera automática, observando con criterio y revisando que cumplan con todo el parámetro permisible de las normas utilizadas. En este proceso se obtiene las dimensiones finales de la estructura, se calcula las áreas de acero y la generación de la documentación respectiva a las memorias de cálculo de los elementos estructurales de la subestructura y la superestructura con la norma E.060 y el ACI-318-2011.
- **Cuantificación de Metrados y Elaboración de Planos.** Una vez generado la documentación (reportes del análisis realizado en ROBOT), el modelo se retorna al programa Revit para la generación de los planos estructurales, la cuantificación de los metrados y las renderizaciones finales del proyecto.

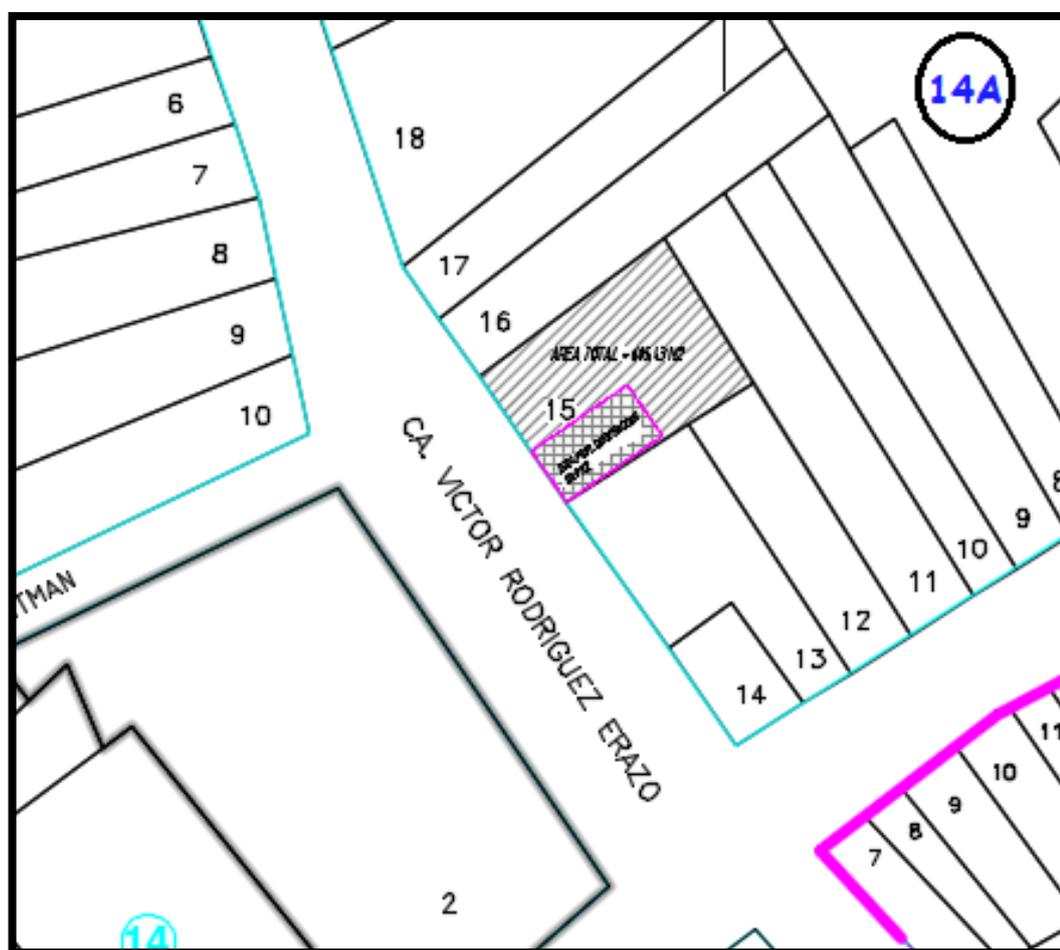
Al ser BIM un modelado con la gestión de la información permite añadir a cada elemento que se modela parámetros inteligentes que se actualizarán automáticamente si el modelo sufre modificaciones que son necesarias en la ejecución de obra. Son gracias a estos parámetros que el modelo automáticamente genera cuantificaciones de longitud, área, volumen, cantidad y demás mediciones, así es como nos permite tener el metrado de elementos modelados en la construcción virtual 3D.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Ubicación y Descripción del Proyecto.

Se proyecta un edificio de vivienda multifamiliar de 4 pisos, ubicado en la localidad de Pebas, distrito de Pebas, Provincia de Mariscal Ramón Castilla, Departamento de Loreto. El área de terreno total cuenta con 605.43 m², el área techada (proyectada para la construcción) es de 120.0 M², en las siguientes imágenes se presenta el plano de ubicación, el plano en planta del primer nivel y su elevación principal.

Gráfico 7: Ubicación de lote donde se proyecta la investigación.



Fuente: Catastro MDP – 2020.

La Infraestructura consta de 4 niveles, y se detalla como sigue:

- **El piso 01** cuenta con un dormitorio principal (incluye SS. HH) + 01 dormitorio simple acondicionados para el confort de los que habitan en dicho nivel, así mismo cuenta con un ambiente para sala – comedor, un área para cocina, un

SS. HH, dos espacios para áreas verdes (jardín), un patio para lavandería, un pasadizo (HALL) ubicado estratégicamente para la circulación, una escalera de acceso al siguiente nivel (piso 2) y un área como local de ventas o de comercio.

- **El segundo, tercer y cuarto nivel** son departamentos multifamiliares, estos cuentan con un dormitorio principal (incluye SS. HH) + 02 dormitorios simples, un ambiente para sala – comedor, un área para cocina, un área para lavandería, un SS. HH, un pasadizo (HALL) ubicado estratégicamente para la circulación, una escalera de acceso al siguiente nivel, un balcón acondicionado con maceteros. En la siguiente tabla se detalla la información del proyecto.

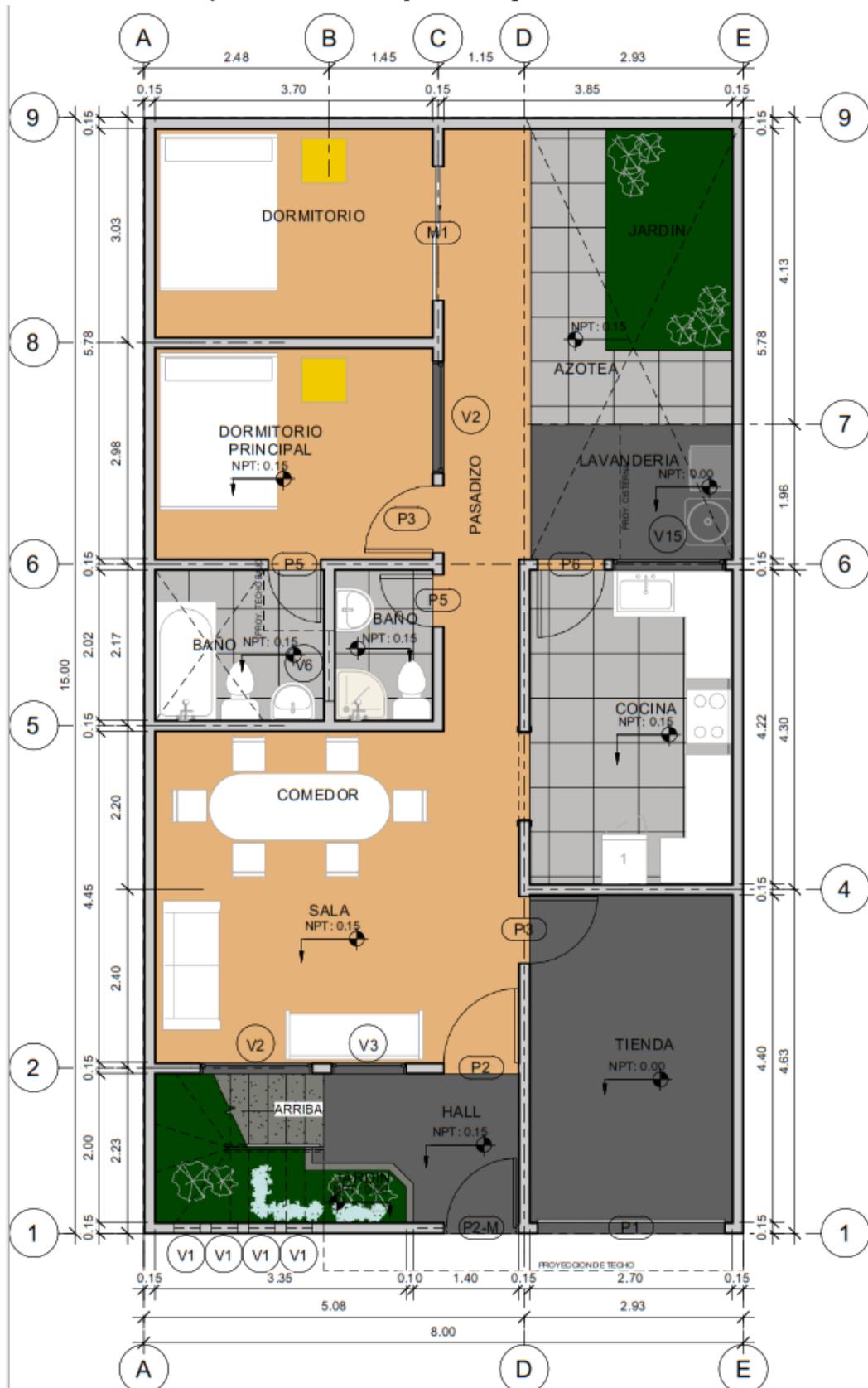
Gráfico 8: Información General del Proyecto

Tipo de proyecto:	“VIVIENDA MULTIFAMILIAR”
Ubicación del proyecto:	Departamento de Loreto, Provincia de Mariscal Ramón Castilla, Distrito de Pebas, Localidad de Pebas.
Etapas del proyecto:	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.
Área del terreno aproximada:	605.43 m ²
Área total construida:	120.00 m ²
N.º de pisos:	4
N.º de departamentos:	4 (01 por cada piso)
Altura promedio de entepiso:	2.75 m

Fuente: Elaboración Propia.

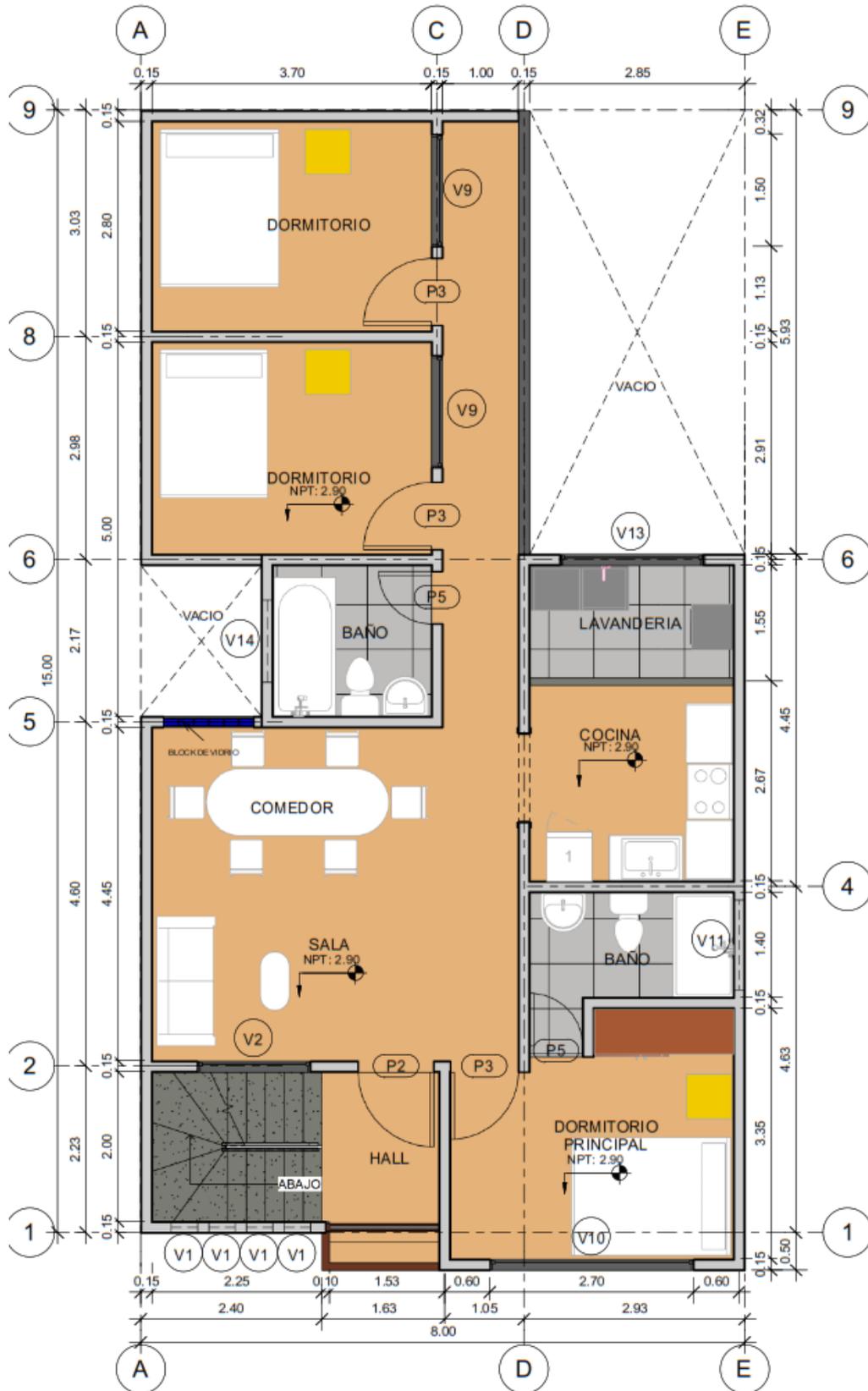
A continuación, se presenta la distribución arquitectónica por niveles de la edificación realizado en la plataforma BIM: Revit 2020.

Gráfico 9: Plano de planta Arquitectura de nivel 1.



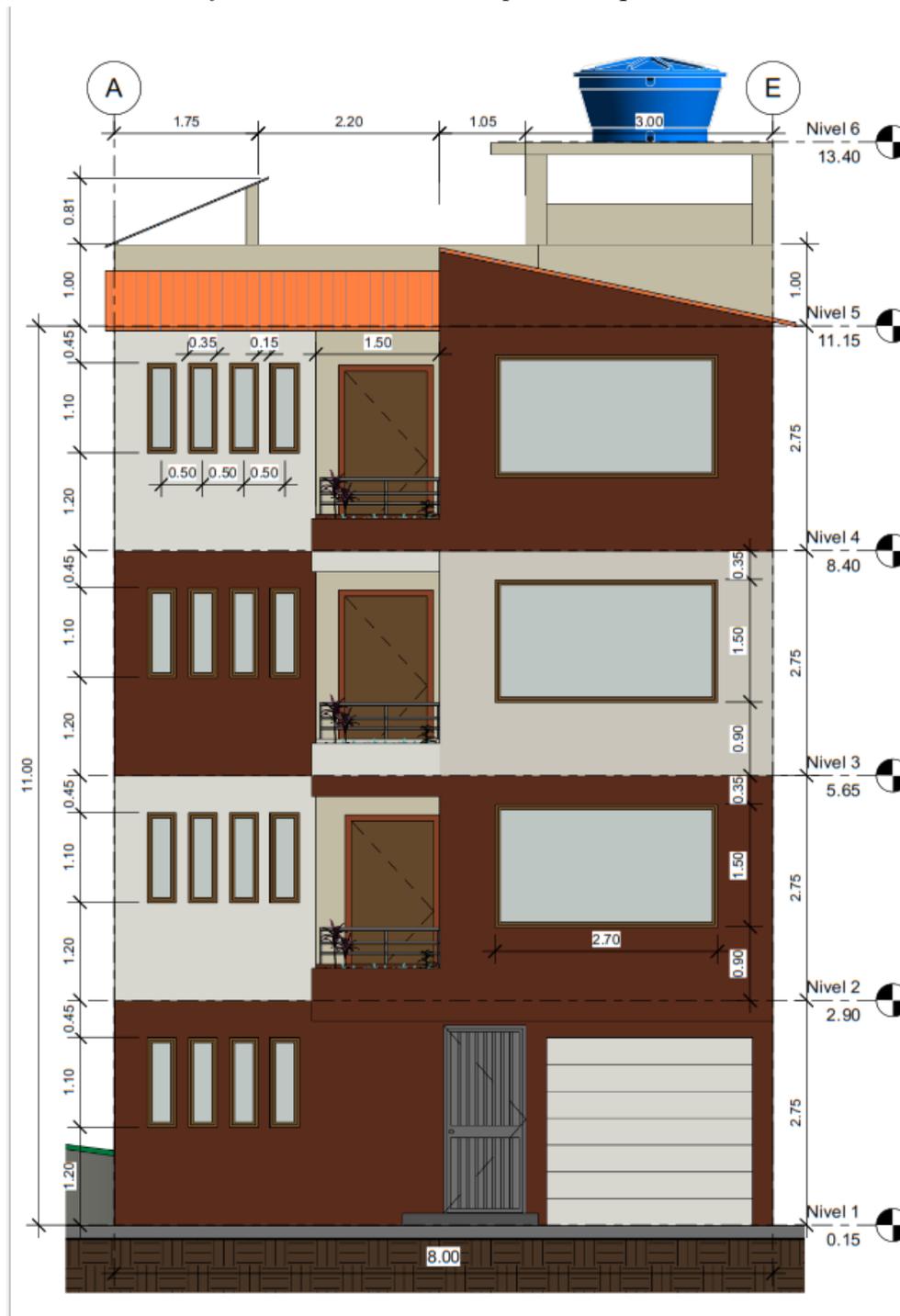
Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020.

Gráfico 10: Plano de arquitectura planta típico nivel 2 a 4.



Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020.

Gráfico 11: Elevación Principal de Arquitectura.



Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020.

En los siguientes capítulos se presenta el desarrollo del diseño estructural sismorresistente, en base al modelo arquitectónico elaborado y se desarrolla el modelado de estructuras con el programa Revit para ser transportado al programa Robot Structural Analysis Professional.

4.2. Consideraciones Generales para el Diseño Estructural.

4.2.1. Normas Empleadas para el Diseño del Proyecto

El diseño del proyecto está basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), del cual se usaron las siguientes Normas Técnicas:

- Norma Técnica E.020 Cargas
- Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (2018)
- Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones
- Norma Técnica E.060 Concreto Armado

4.2.2. Propiedades de los Materiales

En la siguiente tabla se detallan las propiedades, características de los materiales empleados para el análisis y diseño de los elementos estructurales.

Cuadro 3: Características de los materiales empleados

Resistencia a Compresión del Concreto ($f'c$)	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Peso específico del concreto (γ_c)	$\gamma_c = 2,400 \text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidad del concreto ($E'c$) (Concreto convencional: piedra chancada, arena, cemento, agua y otros).	$E'c = 15000\sqrt{f'c}$ $E'c = 217,370.6512 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de Poisson (ν)	$\nu = 0.20$
Módulo de Corte (G_c)	$G_c = 90,571.10467 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia del acero en fluencia (f_y)	$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad del acero (E)	$E = 2'000,000 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia

El módulo de corte, G_c se calcula mediante la siguiente relación:

$$G_c = \frac{E}{2(\nu + 1)} \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]$$

4.2.3. Combinaciones de Cargas para el Diseño

Las combinaciones de las cargas para obtener la resistencia requerida (mínimo valor de la resistencia de diseño) se encuentran definidas en la NTE.060:

“Concreto Armado”, a continuación, se muestran las combinaciones que se utilizaron para el diseño del edificio:

- $U = 1.4CM + 1.7CV$
- $U = 1.25(CM + CV) + CS$
- $U = 1.25(CM + CV) - CS$
- $U = 0.9CM + CS$
- $U = 0.9CM - CS$

Donde:

U: Resistencia Requerida.

CM: Carga Muerta.

CV: Carga Viva.

CS: Carga de Sismo.

4.2.4. Método de diseño

El diseño del edificio se realiza mediante el “Reglamento Nacional de Edificaciones” (RNE), el cual se subdivide en capítulos o normas.

El método de diseño utilizado es el “Método de Diseño por Cargas Últimas”. Este método se caracteriza por amplificar las cargas actuantes en la estructura y estudia las condiciones del elemento a diseñar en su etapa última que es el momento cuando se inicia la falla.

4.2.5. Estudios Básicos

4.2.5.1. Topografía del Terreno

La topografía en la zona del proyecto no constituye un problema en el diseño estructural de la cimentación, ya que el terreno es relativamente plano sin relieves pronunciados importantes.

4.2.5.2. Estudio de Mecánica de Suelos

El estudio mecánica de suelos es de gran importancia para realizar cualquier proyecto estructural. Este, es un estudio particular para cada proyecto y sus

alcances van de acuerdo a distintos factores, como: la ubicación del edificio, tipo de suelo, uso del edificio, cantidad de niveles proyectados, entre otros.

El estudio mecánica de suelos nos brinda uno de los parámetros más importante para el diseño de cimentaciones, este es el valor de la capacidad portante o admisible del suelo. Para el diseño de las cimentaciones (zapatas) de este proyecto, se utilizaron como referencia los resultados del EMS realizado por el laboratorio de suelos, concreto y asfalto "GEO_CONCRET" de la ciudad de Iquitos en el año 2017. Dicho estudio se realizó para un proyecto de infraestructura educativa, en la zona de Pebas (ubicado a unas cuadras de este proyecto), la cual concluye que la capacidad portante del suelo es de 0.86 kg/cm².

En el anexo 01 se presenta de manera más detallada los resultados de este estudio, de la cual extraemos los resultados relevantes para realizar el diseño estructural de la cimentación del presente proyecto.

4.3. Estructuración y Pre-dimensionamiento

4.3.1. Criterios de Estructuración

La estructuración es el primer paso para un diseño estructural y la parte más subjetiva en la cual la experiencia del ingeniero juega un papel muy importante. La estructuración consiste en definir y ubicar en forma adecuada los elementos estructurales como los elementos lineales (viga y columnas) y elementos planos (muros y losas), con base al proyecto arquitectónico.

Al realizar una buena estructuración podríamos predecir el comportamiento de la estructura principalmente frente a las acciones sísmicas. Una mala distribución de los elementos estructurales presentara problemas, independientemente de la precisión de los cálculos.

De todos los problemas que puede causar por una mala distribución de los elementos estructurales, es el de la torsión (momento torsor) y este fenómeno es el más perjudicial, el que causa mayor daño a nuestra edificación.

Para que nuestra estructura tenga un buen comportamiento ante movimientos sísmicos se debe cumplir los siguientes criterios:

La estructuración consiste en brindarle al edificio cierta rigidez en ambos sentidos, de modo que el edificio tenga un buen comportamiento ante un sismo.

- La estructura presenta una simetría en planta y elevación, esto ayudó a tener mayor control en los desplazamientos máximos permisibles según la norma E030-2018.
- En la dirección x-x se consideró el tipo de sistema estructural de pórticos, donde los momentos en columnas deben ser mayores a los de las vigas, ya que es muy conveniente que las rótulas plásticas se produzcan en las vigas que son elementos que contribuyen menos en la estabilidad de la estructura.
- En la dirección y-y inicialmente se consideró un sistema estructural de muros estructurales (PLACAS) los cuales agregan mayor rigidez a la estructura en su conjunto, luego del análisis estructural se ha determinado que podemos prescindir de ellas, que dando finalmente con el sistema estructural de pórticos también para esta dirección.
- Se realiza la estructuración con simplicidad sin alterar la rigidez del edificio en coordinación con arquitectura.

✓ **Aplicación de estructuración en el edificio**

En el caso del edificio a diseñar se establecieron dos direcciones "X" e "Y", los cuales son perpendiculares entre sí. Para la estructuración del edificio se tuvieron las siguientes consideraciones:

- **Columnas.** Para definir las columnas de la estructura, es necesario verificar que estas sean continuas en todas las plantas de arquitectura, desde los niveles superiores hasta la cimentación. Estos elementos se encargarán de transmitir todas las cargas del edificio hacia el suelo.
- **Vigas.** Las vigas nos ayudan a conectar los elementos verticales y generar pórticos, su función es transferir las cargas en las losas hacia los elementos

verticales y aumentar la rigidez del edificio, en el caso de las vigas peraltadas. Para colocar las vigas peraltadas, es necesario observar las plantas de arquitectura y ver qué zonas son las adecuadas.

En casos donde se requiera conectar elementos verticales pero la arquitectura lo impide, se colocan vigas chatas.

- **Losas.** Los techos están conformados por losas aligeradas para lograr formar el diafragma rígido. Se puede asumir la hipótesis de diafragma rígido, pues no existe discontinuidad en la planta. Se usó losa maciza en el hall de escaleras y en el resto de casos se utilizó losa aligerada.

4.3.2. Pre-dimensionamiento.

El Pre-dimensionamiento de los elementos estructurales nos ayuda a tener una primera referencia sobre las dimensiones de las losas, vigas, columnas y otros elementos y lograr una primera comparación con los planos de arquitectura.

A continuación, se aplicarán las recomendaciones que plantea el Ing. Antonio Blanco Blasco en su libro “Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado – 1994” para predimensionar los elementos de la estructura del edificio. Estas recomendaciones son brindadas para edificios usuales, en donde no existe un exceso de carga viva, y para zonas sísmicas como es el caso de nuestro país. Estas dimensiones deberán ser ajustadas en el diseño final de cada elemento de acuerdo a las solicitaciones reales.

4.3.2.1. Pre-dimensionamiento de losa aligerada

La geometría de una losa aligerada típica en nuestro medio son viguetas convencionales de 10 centímetros de espesor con un espaciamiento libre de 30 centímetros, una losa superior de 5 centímetros y bloques ladrillo o tecnopor, cuyo tamaño dependerá del espesor del aligerado.

Las recomendaciones del Ingeniero Antonio Blanco estiman el espesor de las losas en base a la luz libre de los paños. El siguiente dimensionamiento será válido si se tienen sobrecargas normales, como máximo de 300 a 350 kg/m, y

si no se cuenta con gran cantidad de tabiquería en dirección perpendicular al armado de las losas.

Cuadro 4: Relación de espesores y luces máximas para losas aligeradas.

h(m)	Luz máxima recomendada
0.17	$l_n \leq 4 \text{ m}$
0.20	$4 \leq l_n \leq 5.5$
0.25	$5 \leq l_n \leq 6.5$
0.30	$6 \leq l_n \leq 7.5$

Fuente: Ing. Blanco, 1994.

La luz más desfavorable con la que se debe predimensionar la losa aligerada del proyecto es de $L=4.50$ metros, por lo que asumiremos una **losa aligerada de 20** centímetros de espesor según la relación de la tabla anterior.

4.3.2.2. Pre-dimensionamiento de Losa Maciza.

En la edificación se tiene losa maciza en la zona de escalera. Como en el caso de las losas aligeradas, las recomendaciones tomadas del libro del ingeniero Antonio Blanco (1994) estiman el espesor de las losas en base a las luces de los paños.

Cuadro 5: Relación de espesor y luces máximas para losas macizas.

h(m)	Luz máxima recomendada
0.12 o 0.13	$l_n \leq 4 \text{ m}$
0.15	$l_n \leq 5.5$
0.20	$l_n \leq 6.5$
0.25	$l_n \leq 7.5$

Fuente: Ing. Blanco, 1994.

En el paño de escalera tiene una luz libre de 2.15 metros, por lo que se *podría* usar una losa de 12/15 centímetros, **por criterio técnico elegiremos una losa maciza de espesor $e=0.20\text{m}$**

4.3.2.3. Pre-dimensionamiento de Vigas

- Vigas peraltadas (Principales)

Según la recomendación del libro del ingeniero Antonio Blanco (1994), plantea un peralte de aproximadamente 1/10 ó 1/12 de la luz libre. Así mismo recomienda es que las vigas principales deberán tener un ancho mínimo de 25cm o variar entre 30% y 50% de la altura de la viga.

La luz máxima entre las vigas principales en la dirección "X" es de 4.50 metros, entonces se tendrá un peralte:

$$h_{vp} = \frac{L}{10} = \frac{4.50}{10} = 0.45 \text{ m}$$

$$h_{vp} = \frac{L}{12} = \frac{4.50}{12} = 0.375 \text{ m}$$

La altura de viga principal debería estar entre 37 a 45 centímetros. Sin embargo, debido a criterios técnicos se tomará un peralte de **0.40 cm**

Para la base o ancho de viga tomaremos el 50% del peralte elegido:

$B = 0.50 * 0.40 = 0.20m$, **por criterios técnicos la base de vigas principales será de B=0.25 m**. Por lo tanto, todas las **vigas principales** tendrán un **peralte de 0.40 m** y un **ancho de 0.25 m**.

- Vigas Secundarias

La luz máxima para la viga secundaria en la dirección "Y" es de 2.93 metros de longitud. Entonces se obtiene un peralte:

$$h_{vp} = \frac{L}{10} = \frac{2.93}{10} = 0.293 \text{ m}$$

$$h_{vp} = \frac{L}{12} = \frac{2.93}{12} = 0.24 \text{ m}$$

Tomaremos una altura de 30 centímetros para el peralte de la viga secundaria con un **ancho de B=0.25m**, por lo tanto, todas las **vigas secundarias** tendrán un **peralte de 0.30m**, y un **ancho de 0.25m**, al igual que las vigas principales se verificarán si cumplen con el diseño.

En el siguiente cuadro se muestran las medidas de las vigas principales y secundarias pre dimensionadas.

Cuadro 6: Pre-dimensionamiento de vigas.

VIGAS	LUZ MÁXIMA	Peralte (h)	Base (b)
Principales (VP)	4.50	0.40	0.25
Secundarias (VS)	2.93	0.30	0.25

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2.4. Pre-dimensionamiento de Columnas.

Se debe considerar los efectos de la carga axial y del momento flector al momento de dimensionar una columna. En algunos casos en donde hay gran número de pisos, la carga axial es mucho más importante que los momentos, es ahí donde se puede dimensionar una columna con un esfuerzo debido a la compresión del orden de $0.45f'c$.

Según las recomendaciones del ingeniero Antonio Blanco (1994) se puede dimensionar una columna mediante:

$$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0.45 * f'c} \text{ para columnas centrales}$$

$$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0.35 * f'c} \text{ Para las columnas exteriores y esquineras}$$

Donde:

A_{col} = área transversal de la columna (cm²)

$P_{servicio}$ = carga vertical en servicio (ton)

$P_{servicio} = P \times Atrib \times Npisos$

Edificios categoría A → $P = 1500 \text{ kg/m}^2$

Edificios categoría B → $P = 1250 \text{ kg/m}^2$

Edificios categoría C → $P = 1000 \text{ kg/m}^2$

$f'c$: resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²)

La edificación es de categoría "C, viviendas" **P = 1000 kg/m²**

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de las dimensiones tentativas de los tipos de columnas, considerando aquellos que tienen un mayor de área tributaria.

Cuadro 7: Dimensiones tentativas de columnas pre-dimensionadas.

COLUMNA		CARGA DE SERVICIO			Área mín. requerida (cm ²)	DIMENSIONES TENTATIVAS		
Tipo	Ubicación	Área tributaria (m ²)	N° Pisos	Pserv. (kg)		Secc. a utilizar		Área real (cm ²)
						B (cm)	H (cm)	
C1	(1, A)	7.00	4	28,000.00	296.30	25	50	1,250.00
C2	(1, C)	3.40	4	13,600.00	185.03	25	25	625.00
C3	(1, B)	5.30	4	21,200.00	288.44	30	30	900.00

Fuente: Elaboración Propia.

Estas secciones serán verificadas si cumplen con el diseño, y, si resisten a las solicitaciones expuestas mediante el análisis sísmico en los capítulos posteriores.

4.3.2.5. Pre-dimensionamiento de Escalera

Según el Reglamento Nacional de Edificación, para dimensionar una escalera menciona lo siguiente:

$$2cp + 1p = 60@64 \text{ cm}$$

Donde:

Cp: contrapaso

P: paso

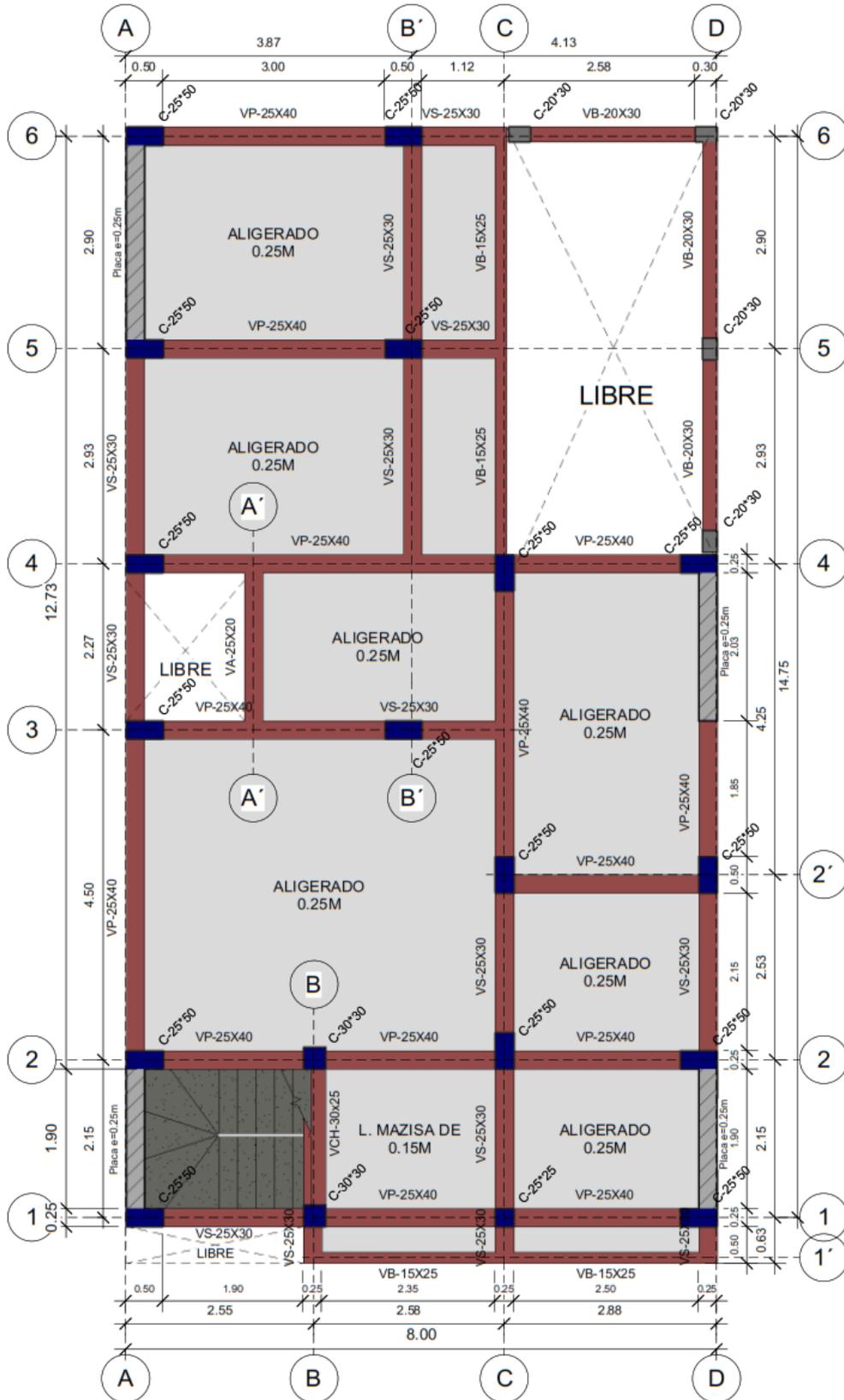
Tomaremos 16 pasos de 25 cm de ancho y el contra paso será $(275/15) = 18.33 = 18.33 \text{ cm}$

Se verifica:

$$2x 18.33 + 25 = 61.67 \text{ cm} < 64 \text{ cm ok!}$$

A continuación, se presenta un plano de planta estructural de los pisos típicos donde se muestra la ubicación de los elementos pre-dimensionadas anteriormente.

Gráfico 12: Plano planta Estructural, estructuración Inicial del edificio.



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

4.4. Medrado de Cargas por Gravedad.

La estimación del medrado de carga por gravedad (PP), carga viva (CV) y carga muerta (CM) se realiza de acuerdo con la norma E.020 los cuales serán ingresados en el programa Robot Structural. El detalle de los medrados se encuentra en el anexo N°-03.

4.4.1. Carga Muerta (CM).

Son aquellas cargas que actúan durante toda la vida de la estructura sin sufrir cambios. Todas las tabiquerías distribuidas en la edificación se tomarán como tabiquería móvil uniformemente repartida por m² para simplificar el análisis, pero pertenecerá a CM.

Para nuestro modelo se consideró los siguientes datos:

Pesos Unitarios:

- Concreto Armado 2400 Kg/m³
- Albañilería con Tarrajeo 1800 Kg/m³

Medrado de Cargas Muertas:

- Aligerados (h=20 cm) 300 Kg/m²
- Losa Maciza (h=20 cm) 480 Kg/m²
- Piso Terminado h=5cm 100 Kg/m²
- Acabado cielo raso h=1cm 20 Kg/m²

4.4.2. Carga viva (CV)

Cuadro 8: Carga Viva por Nivel según uso del edificio.

NIVELES	DESCRIPCION - USO PARA (CV)	S/C (kg/m²)	S/C (tn/m²)
Nivel 1	Vivienda Multifamiliar	200.000	0.200
Nivel 2	Vivienda Multifamiliar	200.000	0.200
Nivel 3	Vivienda Multifamiliar	200.000	0.200
Nivel 4	Azotea	100.000	0.100
-	Escalera y hall	200.000	0.200
NORMA E.020 - CARGAS			

Fuente: Elaboración Propia, NTP E.020

4.4.3. Resumen del Peso Total del Edificio

Se presenta en el cuadro siguiente el resumen del metrado de carga total del edificio según las consideraciones de Carga Muerta y Viva que determina la norma E.020. El programa Autodesk Robot Structural también nos proporciona el peso propio del edificio que luego compararemos con el cálculo manual.

Cuadro 9: Resumen del peso total del edificio por niveles

NIVELES	CM PP (tn)	CM P. TAB + ACA. (tn)	Área de Piso (m2)	CV (tn)	C. TOTAL (tn)
Nivel 1	63.00	40.15	77.00	15.40	118.55
Nivel 2	59.23	40.06	77.00	15.40	114.69
Nivel 3	59.23	37.58	77.00	15.40	112.21
Nivel 4	68.57	15.20	77.00	15.40	99.17
TOTAL	250.03	132.99	308.00	61.60	444.62
PESO TOTAL DEL EDIFICIO					444.62 ton

Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Usos de la Metodología y Herramientas BIM en la Elaboración del Proyecto Estructural.

En este apartado se detallará el procedimiento y la forma de desarrollar un proyecto estructural haciendo uso de las herramientas BIM, entendiéndose y aplicando la metodología de trabajo coordinado entre las disciplinas de arquitectura y estructura. Cabe mencionar que la arquitectura se toma como referencia para compatibilizar y diseñar la estructura.

4.5.1. Modelado y Diseño Arquitectónico con Revit - 2020.

El modelado del proyecto consiste en realizar una construcción virtual 3D del proyecto, es decir, que el modelo de Revit es una versión virtual del diseño de construcción. Por lo que el modelo no solo describe la geometría de los elementos del proyecto, sino que también captura el propósito del diseño y las relaciones lógicas entre los elementos que forman el modelo (parámetros).

Una vez realizado el modelo se puede gestionar y/o administrar información relevante del proyecto, como vistas de modelo 2D (planos, selecciones, alzados, etc.) y cortes en sección del modelo 3D.

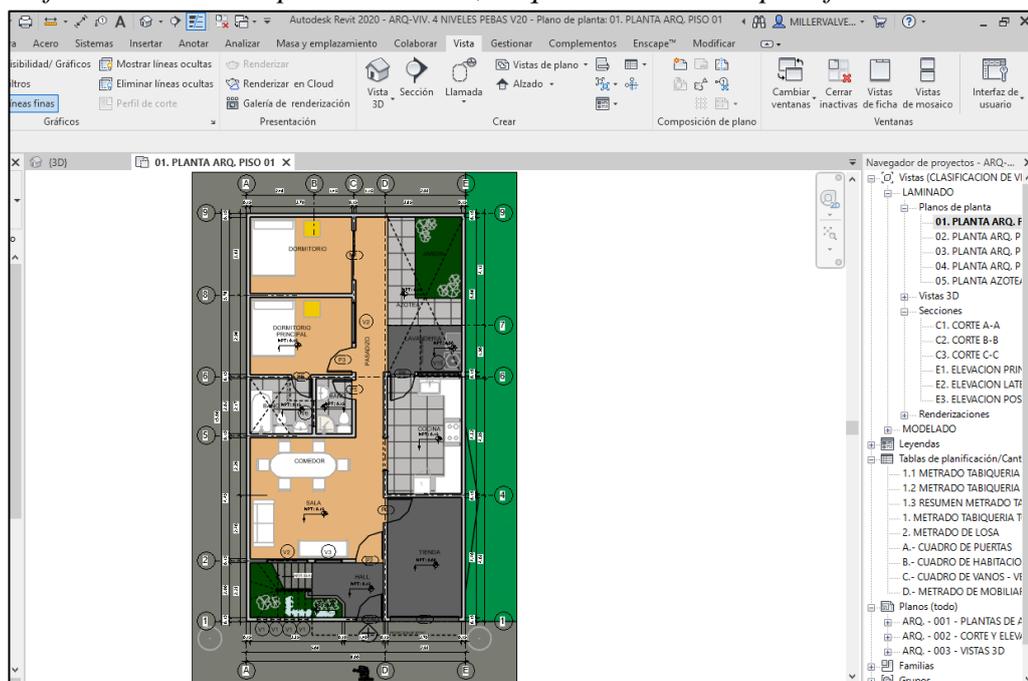
Los cambios realizados en una vista resultan visibles automáticamente en el resto de vistas del modelo: las vistas están siempre sincronizadas. El modelo 3D se utiliza para crear las vistas 2D que componen el conjunto de documentos para la impresión (planos, metrados, costos, etc.)

El modelo de arquitectura del edificio de cuatro niveles se elaboró con el programa REVIT en la versión 2020 bajo el enfoque de la metodología BIM, esto quiere decir que en el modelo 3D se consideró parámetros y criterios de modelación, con el fin de gestionar información 2D como planos, cuantificación de materiales y la generación de vistas (Renders 3D).

El modelo de arquitectura fue enlazado con el modelo de estructura para compatibilizar ambas especialidades y de esta manera detectar interferencias en esa etapa (DISEÑO) y así evitar sobre costos en la etapa de EJECUCION de la obra.

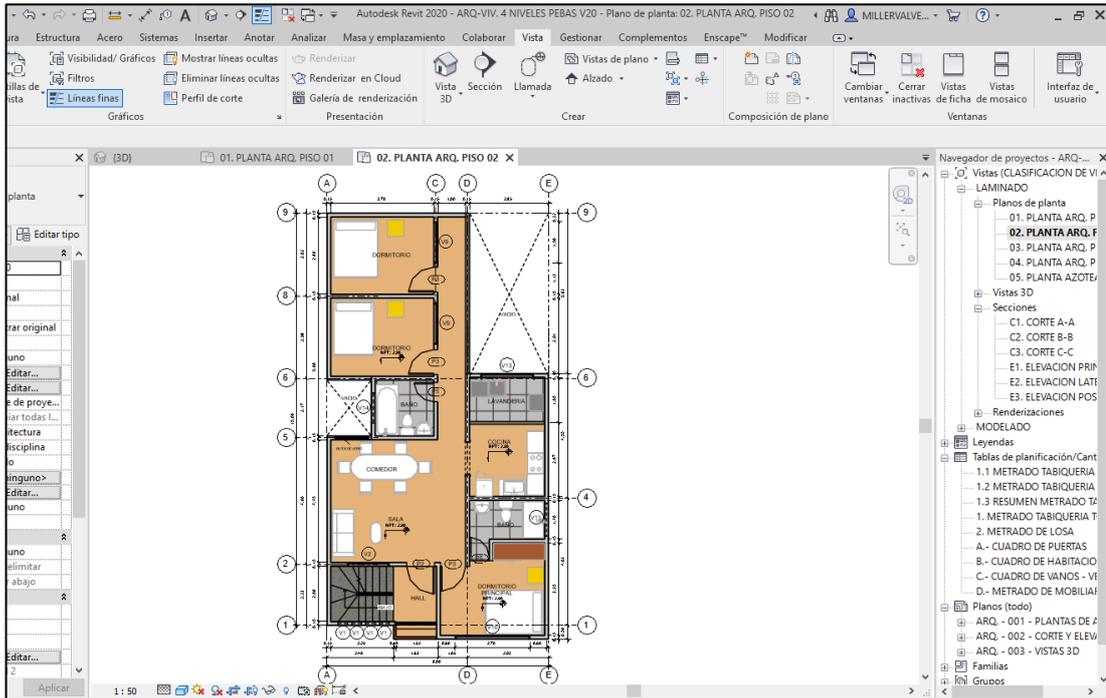
A continuación, se presenta el modelo tridimensional arquitectónico. El cuál es la base para el modelado del diseño estructural en la misma plataforma y que es exportable al programa Robot Structural Analysis Professional (versión 2020) para su análisis estructural.

Gráfico 13: Plano de planta Nivel 01, Arquitectura – en la plataforma BIM Revit.



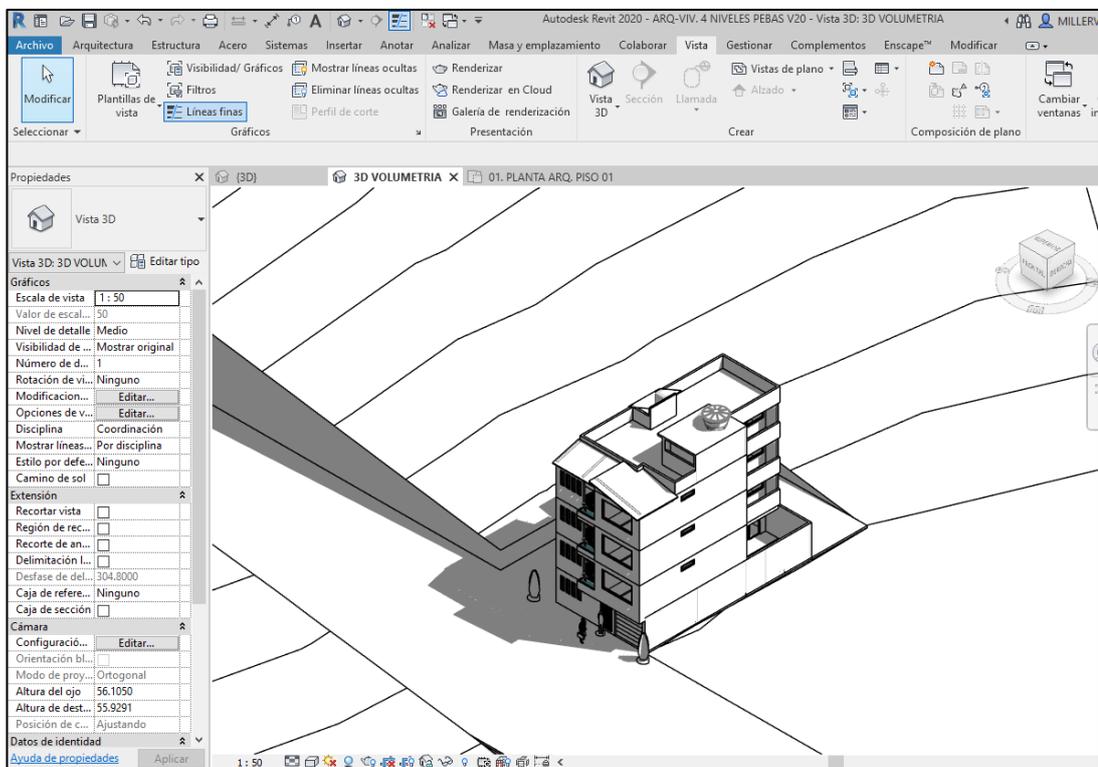
Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

Gráfico 14: Plano de planta Típica Nivel 02 a 04, Arquitectura en Revit.



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

Gráfico 15: Vista Isométrica 3D del modelo arquitectónico en la plataforma Revit.



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

Estos modelos arquitectónicos de presentación son preliminares, estos serán, si fuese el caso modificados y actualizados de manera automática por el programa BIM. Los acabados arquitectónicos del edificio ya están definidos.

En coordinación con el encargado del diseño estructural se definirán los elementos estructurales visibles en la arquitectura y otros aspectos relevantes de las especialidades arquitectura y estructuras.

En la siguientes imágenes se presentan vistas 3D llamados render que es una imagen digital que se crea a partir de un modelo o escenario 3D cuyo objetivo es dar una apariencia REALISTA desde cualquier perspectiva del modelo.

Gráfico 16: Presentación 3D: Vista del proyecto en la fachada frontal y posterior del modelo arquitectónico, elaborado en Revit, incluye el material de los acabados.



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

Gráfico 17: Presentación (render) 3D: Vista panorámica del proyecto, modelo arquitectónico que incluye el material de los acabados.



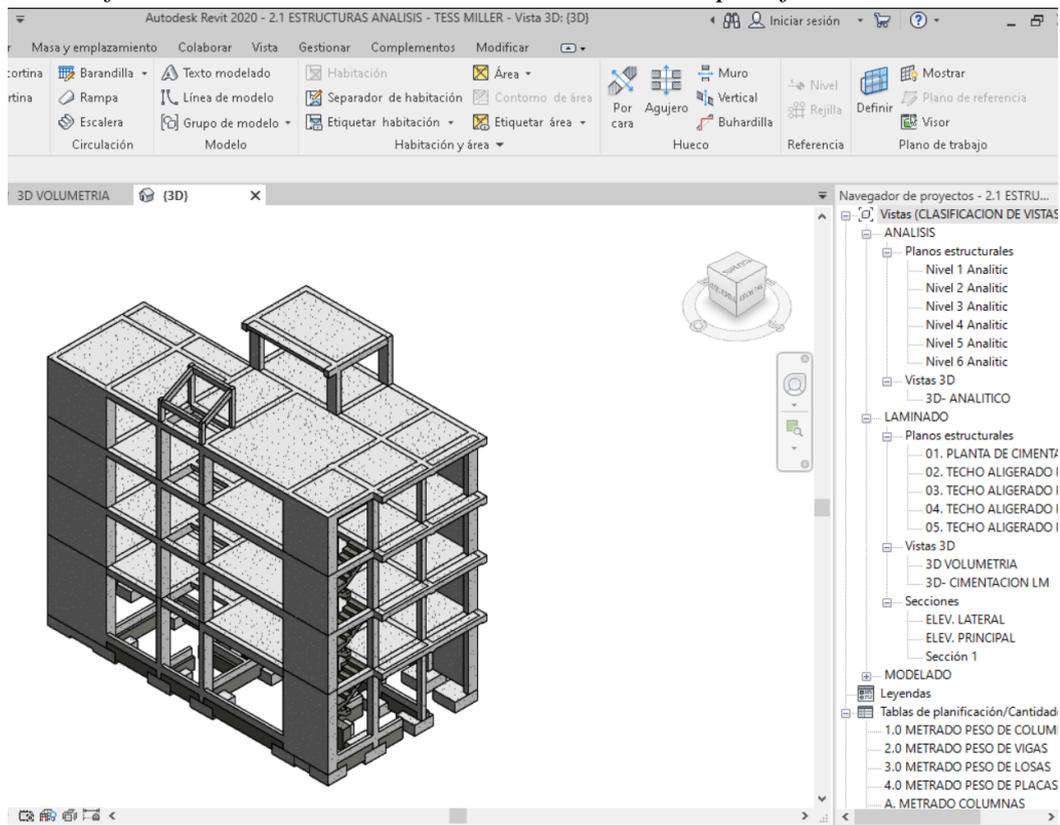
Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

4.5.2. Modelado Estructural en Revit e Interacción con Robot Structural previo al Análisis Estructural.

Una vez (previamente) pre-dimensionado los elementos estructurales del edificio se realiza el modelado con la herramienta BIM Revit Structure, estos elementos estructurales (columnas, vigas, losas, cimentaciones) se modelan considerando parámetros (dimensiones y material estructural) que pueda aportar luego en la generación de metrados y determinar de manera automatizada el peso propio y la carga muerta (CM) a través de estos parámetros.

A continuación, se presenta el modelo (inicial) estructural del proyecto.

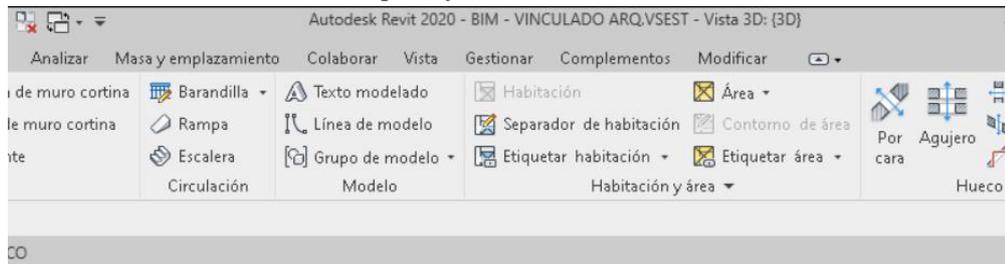
Gráfico 18: Vista 3D del Modelo Estructural en la plataforma BIM Revit.



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

Luego, el modelo de estructuras se vincula al modelo arquitectónico para tener una visión panorámica real del edificio y de esta manera ambas disciplinas están sincronizadas.

Gráfico 19: Vista 3D de los modelos vinculados (Arquitectura + Estructura) en la plataforma BIM Revit



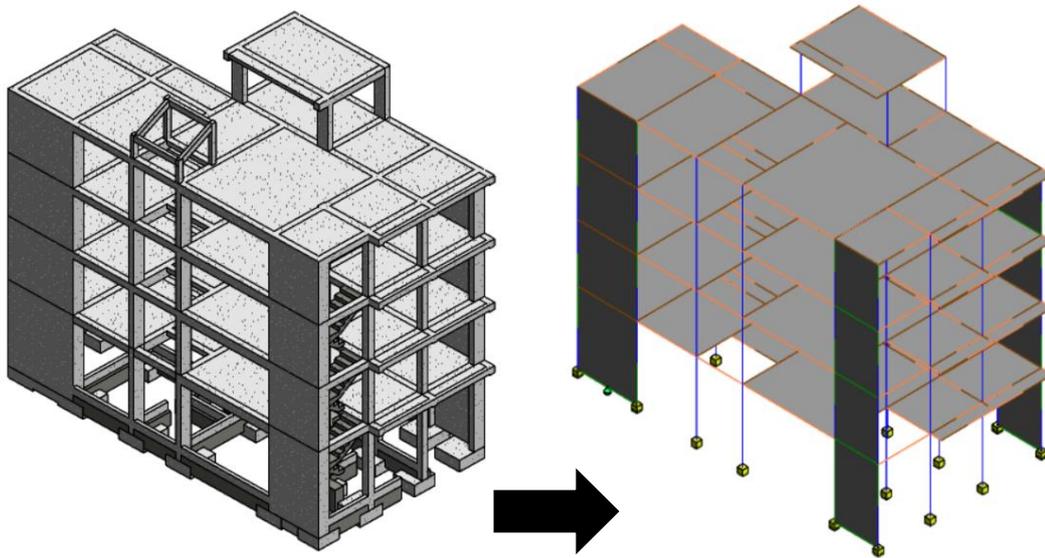
Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

4.5.2.1. Creación del Modelo Analítico

Un modelo analítico es una representación 3D simplificada del modelo físico (real), el cual sirve para el análisis estructural, el objetivo del modelo analítico es simplificar el análisis de la estructura complicada (compleja). El modelo analítico representa con la mayor precisión posible y práctica el comportamiento característico de las estructuras de interés para el analista, está formado por los componentes, la geometría, las propiedades de materiales y las cargas estructurales que constituyen un sistema de ingeniería estructural.

El modelo físico lleva todas las características presentables del proyecto: planos, especificaciones técnicas, materiales, etc. El modelo físico es representado por elementos sólidos y de anotación con información paramétrica, mientras que el modelo analítico es representado por elementos simples tipo línea y área. El modelo analítico, se va formando a la par con el modelo físico y está siempre relacionado con este. La utilización de este modelo analítico tiene como fin el cálculo o análisis estructural, por lo que debe considerarse únicamente para este fin, el modelo analítico tiene la función principal de servir como base para la transferencia de información a cualquier aplicación de análisis.

Gráfico 20: Vista de modelo físico y su respectivo modelo analítico en BIM Revit



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

4.5.2.2. Consideraciones de Interoperabilidad y Modelado

Previa a la exportación desde la herramienta BIM REVIT a ROBOT Structural se debe tener en cuenta que:

- ✓ Los elementos estructurales (columnas, vigas, placas) del modelo analítico deben estar perfectamente alineado con sus ejes. Para alinear las losas no usar ajuste manual, es mejor hacerlo por proyección seleccionando el borde a alinear.

- ✓ Los muros (placas) se modelan de eje a eje de las columnas y luego cambiar el orden de unión (mejora el modelo analítico).
 - ✓ Los ejes (rejillas) deben estar ubicados tales que pasen por el centro de la estructura (columnas, vigas), se debe crear ejes para todos los elementos estructurales: vigas, columnas y placas.
 - ✓ En Revit se debe configurar el material estructural de los elementos con sus respectivas propiedades físicas y mecánicas para que Robot Structural los pueda reconocer correctamente.
 - ✓ Solo se deben exportar a Robot los niveles de uso estructural, los demás niveles se deben desactivarlos en Revit.
 - ✓ No es conveniente ni necesario modelar los apoyos en Revit, ya que Robot ofrece la mejor opción para asignarlos en el proceso del análisis.
 - ✓ La base (nivel de cimentación) del proyecto establecido en Revit debe coincidir con el nivel (cimentación) en Robot para el análisis, es decir que en el modelo analítico los elementos: muros y columna deben estar anclados a este nivel de arranque (para nuestro caso 60cm abajo del NPT).
- La asignación de cargas puede realizarse de dos maneras, una es haciéndolo desde Revit, y la otra desde ARSAP (Robot). Para escoger desde que herramienta ingresaremos nuestras cargas al modelo, debemos tener en cuenta lo siguiente:
- ARSAP tiene una gran facilidad para poder reconocer elementos y así poder asignar cargas. Por lo que podríamos decir que ARSAP es una herramienta más eficiente para la asignación de cargas.
 - En ARSAP existe una variedad de tipos de cargas mientras que en Revit solamente existen 6, lo que trae cierta incompatibilidad. Si asignamos tipos de carga en ARSAP que no sean compatibles en Revit, este no las reconocerá o las asignará de una manera diferente a la pensada y va a dificultar la transferencia de información de regreso.
- ✓ Al crear cualquier carga sísmica dinámica en ARSAP y regresarla a Revit, este reconoce estos casos de carga como lineales y no como asignaciones

modal o espectral. Esto al momento de la transferencia de información provocará algunos mensajes de advertencia, sin embargo, dichos mensajes pueden ser ignorados, ya que en ARSAP, que es el software de cálculo, se va a mantener la carga dinámica.

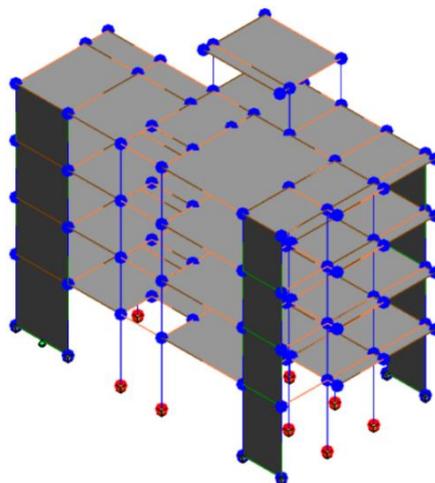
- ✓ Para retornar la información desde ARSAP a Revit es recomendable hacerlo sin resultados calculados, ya que el hacerlo, puede causar errores de transferencia de información.

4.5.2.3. Exportación del Modelo de Revit a Robot Structural

Además de tener en cuentas las consideraciones de interoperabilidad y antes de exportar el modelo de Revit hacia la herramienta BIM de estructuras Robot Structural, se debe de verificar que los nodos o las conexiones entre los elementos sea precisa y no debe de tener desfase de ningún modo ya que al momento de la exportación esos errores se verán reflejados en Robot Structural.

Para detectar las conexiones se creó un filtro en Revit para identificar los nodos no conectados de color rojo y los conectados en color azul. Una vez que el modelo analítico esta corregido, se procede a exportarlo de Revit a robot a través de un link de enlace directo.

Gráfico 21: Vista 3D, uniones (nodos) del modelo analítico en Revit

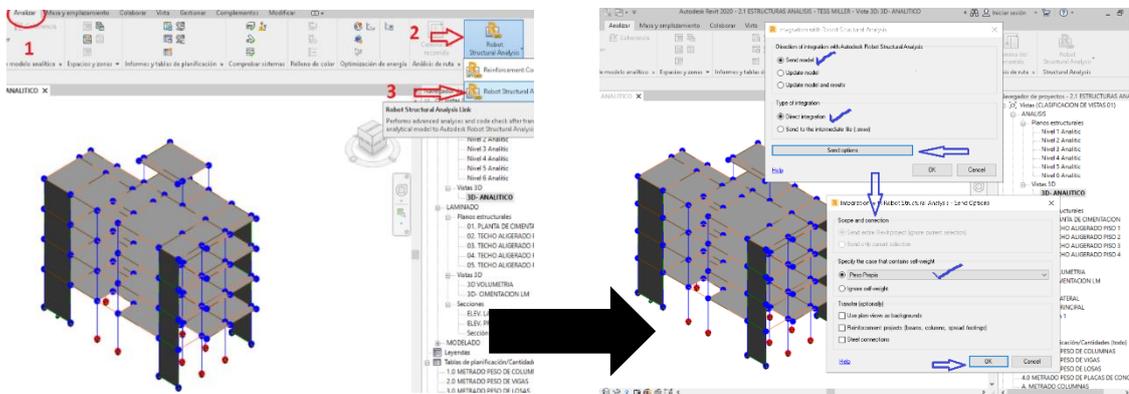


Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

En la imagen anterior se puede apreciar que toda la estructura del edificio esta correctamente unido por los nodos de color azul excepto los nodos de la cimentación (zapatas) nodos de color rojo ya que estas interactúan directamente con la superficie del suelo, y que será analizada a detalle en la herramienta Robot Structural.

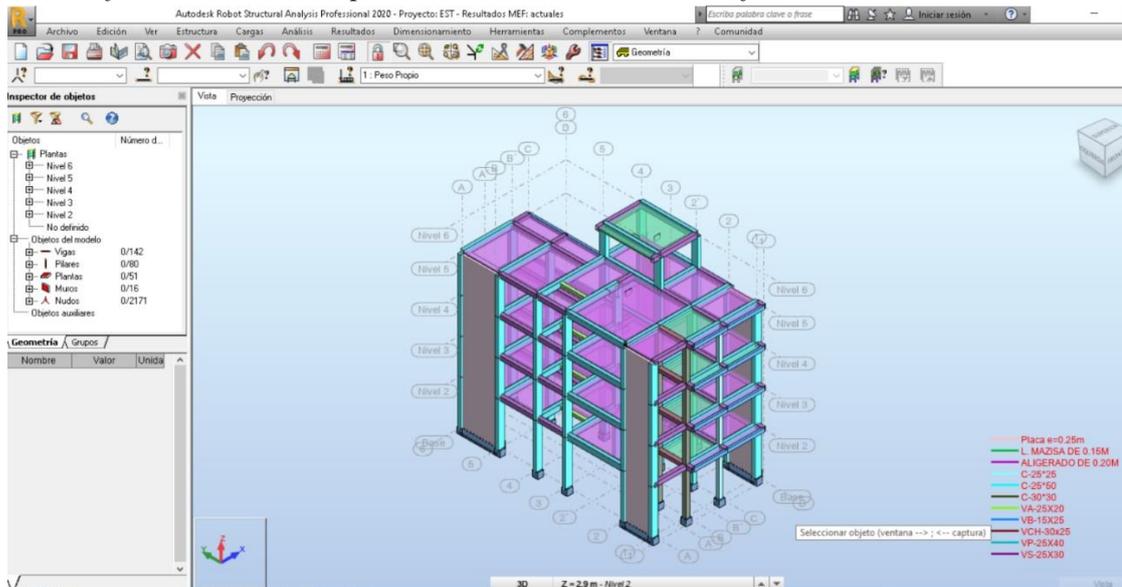
Una vez configurado los nodos y las demás consideraciones de interoperabilidad se procede a la exportación desde Revit a Robot Structural, como se muestra a continuación.

Gráfico 22: Procedimiento de exportación del modelo analítico de Revit al programa de cálculo Robot Structural



Fuente: Diseño Propio, Revit 2020.

Gráfico 23: Modelo exportado desde Revit a la Plataforma de Robot Structural.



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural 2020.

***Comentario:** La exportación desde Revit a Robot se realiza teniendo las mismas versiones instaladas, de lo contrario no se podrá exportar el modelo.

4.5.2.3.1. Verificación del Modelo en Robot Structural

Una vez exportado el modelo desde Revit, en Robot Structural lo primero que se hace es revisar el modelo teniendo en cuenta lo siguiente:

A. Revisar la conectividad de los nodos en los elementos de la estructura (activar numeración de nodos en Robot). Se recomienda verificarlo piso por piso y de presentar nodos duplicados se tiene que revisar el modelo analítico de Revit y corregirlo para volver a exportarlo a Robot y proseguir con el análisis.

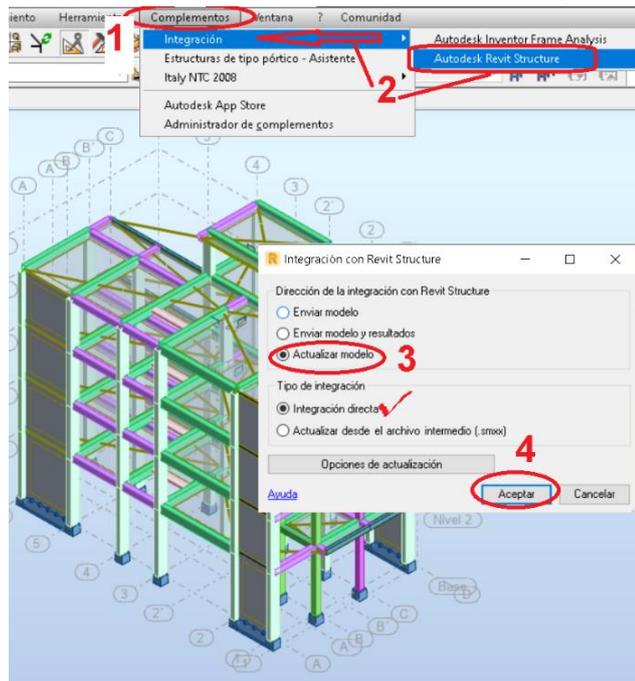
B. Revisar el mallado local, con esta revisión se puede visualizar si el modelo tiene algún error de desface de elementos (vigas, columnas, losas), también nos puede mostrar si las uniones de los elementos están contactadas perfectamente en el modelo analítico (Revit) de la cual exportamos.

Como se mencionó desde un inicio el flujo de trabajo es bidireccional entre Revit y Robot, una vez hecho la verificación del modelo en Robot Structural, de presentarse algún error de modelado tendremos que corregirlo desde la herramienta Revit y volver a exportar, y cuando el modelo no presente errores de ningún tipo procederemos con el análisis estructural del proyecto.

4.5.2.4. Actualización del Modelo desde Robot Structural a Revit.

Una vez que el modelo se haya verificado según el paso anterior, en Robot Structural, se procedió a Colocar las cargas, los apoyos, generación del espectro de diseño, etc. Toda información que se haya agregado en Robot Structural, podemos actualizarlo en Revit, para tener un modelo compatibilizado entre ambas herramientas BIM, en la siguiente imagen se muestra este procedimiento.

Gráfico 24: Actualización del Modelo, Robot a Revit (Interoperabilidad)



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural 2020.

El modelo actualizado en Revit con todas las cargas, apoyos y demás asignaciones es el archivo único que nos permitirá exportar a cualquier programa que realiza un análisis estructural como es el ETABS, SAP2000, CYPECAD, etc.

- Cuando se vuelve a exportar o actualizar el modelo desde Revit a Robot Structural se tiene que volver a:
 - a. Asignar a las losas el diafragma rígido, el proceso de creación y asignación se muestra en el ítem 4.5.3.2 “Asignación de diafragmas rígidos a las losas”.
 - b. Cambiar, actualizar el tipo de análisis modal y volver generar los espectros de diseño como se muestra en el ítem 4.5.3.6 “Generación del espectro de diseño”.
 - c. Realizar la conversión de cargas (PP, CM y CV) en masa de participación para el análisis, (ítem 4.5.3.7 Conversión de Masas).
 - d. En caso de considerar placas, asignar unión rígida en nodos que interactúan una viga y una placa (ver ítem 4.5.3.8).

4.5.3. Análisis Estructural con Robot: Modelo Estructural 01 (M1-ARSAP).

Una vez que el modelo analítico, exportado desde Revit no tenga ninguna observación (error de modelado, etc.) y hecho la verificación previa mencionando anteriormente, iniciamos el proceso de análisis del proyecto en Robot Structural.

Este primer modelo denominado **M1-ARSAP** se analiza directamente una vez exportado el modelo analítico de Revit, sin realizar algunos ajustes especiales, como aplicar excentricidades a las vigas, asignación de brazos rígidos viga-columna, entre otros; las cuales hacen variar los resultados del análisis en general. Para validar el modelo estructural adecuadamente se comparará los resultados con otro modelo estructural denominado M2-ETABS, ya que ETABS es una herramienta potente, utilizado y aceptado en nuestro medio.

Finalmente se creará un tercer modelo denominado M3-ARSAP la cual contendrá los resultados del análisis con los ajustes necesarios que conllevan a asimilarlos con el M2-ETABS, de esta manera se validará el análisis estructural usando la herramienta BIM Robot Structural.

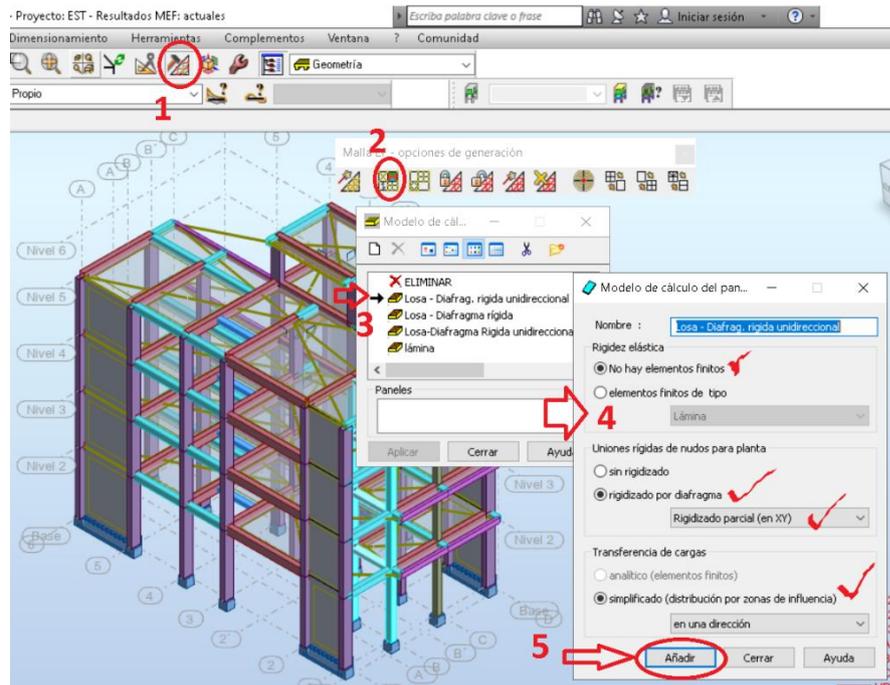
4.5.3.1. Asignación de apoyos

Se asigna apoyos, para las columnas apoyo fijo (empotrado) y para las bases de los muros un apoyo articulado.

4.5.3.2. Asignación de diafragma rígido a losas

En el modelo de Revit para las losas aligeradas y macizas no se consideró material (propiedades físicas / mecánicas) ya que estos serán analizados en Robot Structural como diafragmas rígido, es decir que consideraremos a las losas como un cuerpo rígido que se mueve y no cambia su forma en planta cuando se somete a cargas laterales; por lo que debemos agregar la carga muerta de 300 kg/m² para aligerado de 0.20m y 480 kg/m² para las losas macizas como peso propio.

Gráfico 25: Asignación de diafragma rígido a losas en Robot Structural.



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural 2020.

En la Figura anterior, se define el modelo de cálculo para las losas. Este modelo contempla un elemento que no es un elemento finito y funciona como transmisor de cargas a los elementos con los que colinda.

4.5.3.3. Asignación de Cargas

Asignar las cargas principales como son la carga muerta (CM), la carga viva (CV):

- ✓ Primero se debe activar el peso propio de la estructura en Robot – (seleccionar en panel casos de carga: PESO PROPIO y activar SIMBOLOS DE CARGAR en la barra inferior, si la estructura se resalta en color rojo es porque el programa Robot ya está considerando el peso propio de la estructura, en caso contrario para activarlo ir a – carga – peso y masa – activar.

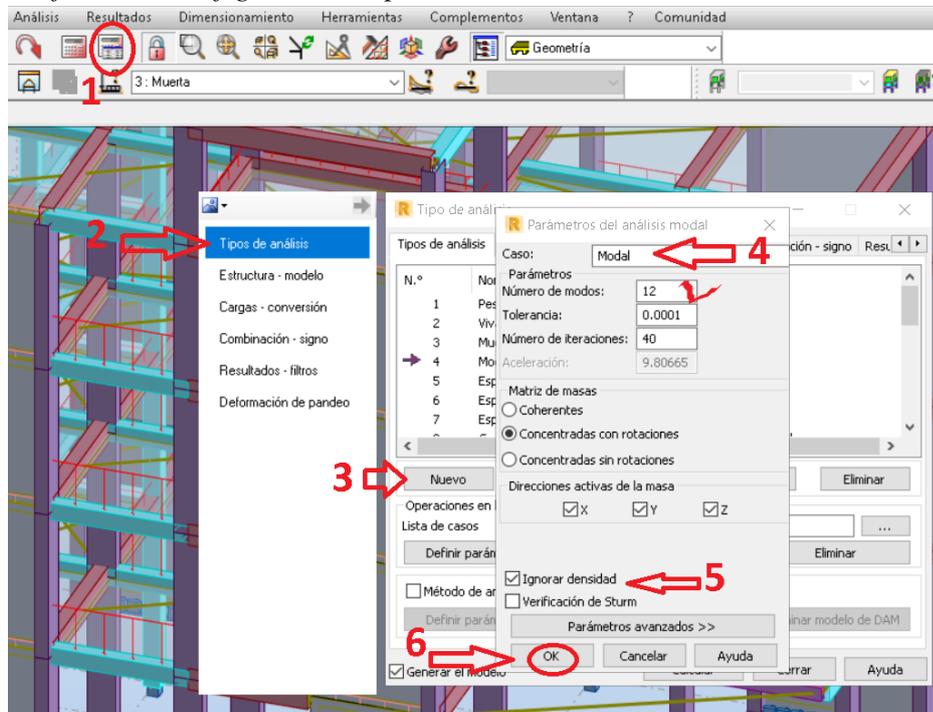
Como se mencionó anteriormente también agregamos la carga muerta de 300 kg/m² para aligerado de 20cm y 480 kg/m² para las losas macizas como peso propio, puesto que las losas no tienen configurado un material estructural ni espesor real.

- ✓ Agregar CARGA MUERTA al modelo, para acabado de piso terminado se agrega 100kg/m² como CARGA MUERTA. Para la tabiquería (CM) es recomendable agregar carga por metro lineal y cargarlos en las vigas, se calcula del producto del peso específico de albañilería (1800 a 1900kg/m³), espesor y altura de los muros.
- ✓ Agregar Carga Viva, la carga viva o sobrecarga para una vivienda multifamiliar es de 200 kg/m² según norma E.020, azotea 100kg/m² como ya vimos en el apartado 4.4 (metrado de cargas por gravedad).

4.5.3.4. Parámetros para el Análisis Modal.

Creamos el tipo de análisis modal y activamos el check en ignorar la densidad, para que al momento de calcular el peso sísmico de la edificación también se agregue el peso propio del mismo. Se colocan 3 nodos por piso aproximadamente en tentativa, luego del análisis podemos verificar si cumple esa condición (el proyecto es de 4 pisos lo que nos da 12 nodos para un primer análisis con el programa Robot).

Gráfico 26: Configuraciones para el análisis Modal en Robot Structural.



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural 2020.

4.5.3.5. Generación del Espectro de Diseño

El espectro de diseño inicialmente lo generamos con una hoja de cálculo en Excel considerando los datos sísmicos según la zonificación que considera la norma E.030, luego lo definimos en base a un formato (archivo) block de notas para poder cargarlo a Robot Structural la cual nos servirá para los siguientes procesos del análisis estructural.

Este apartado se desarrolla detalladamente en el ítem 4.7 “Análisis sísmico estático y dinámico del proyecto”.

Gráfico 27: Proceso, Generación del espectro de Diseño en Robot Structural.

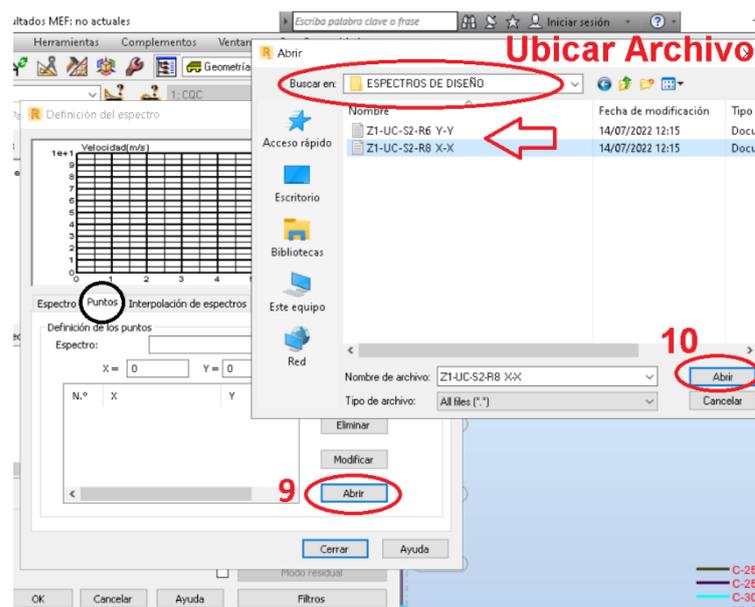
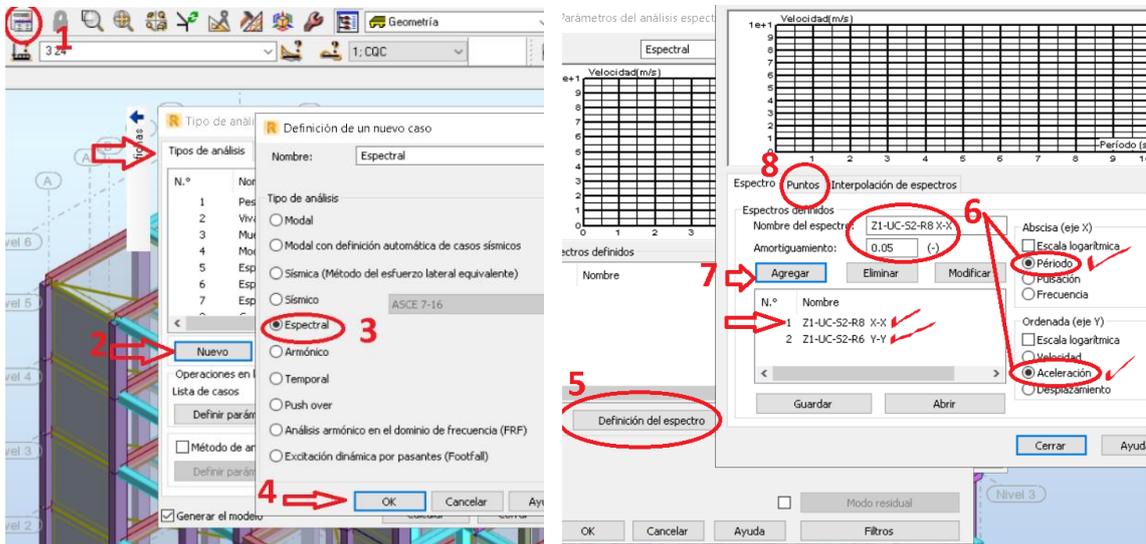
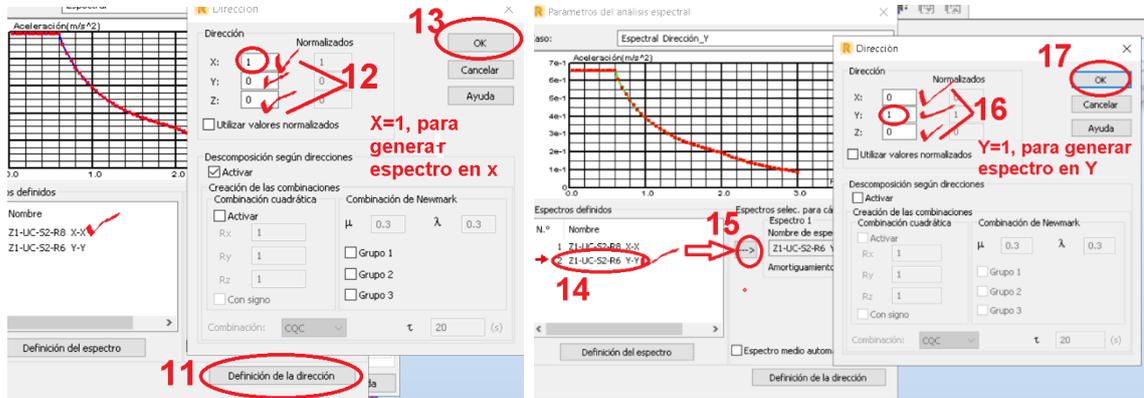


Gráfico 28: Fuente: Diseño Propio, Robot 2020.

Una vez cargado los archivos externos del espectro de diseño, generamos los espectros de diseño para cada dirección de análisis en el mismo programa Robot Structural.

Gráfico 29: Generación del espectro de Diseño en la dirección X, Y.

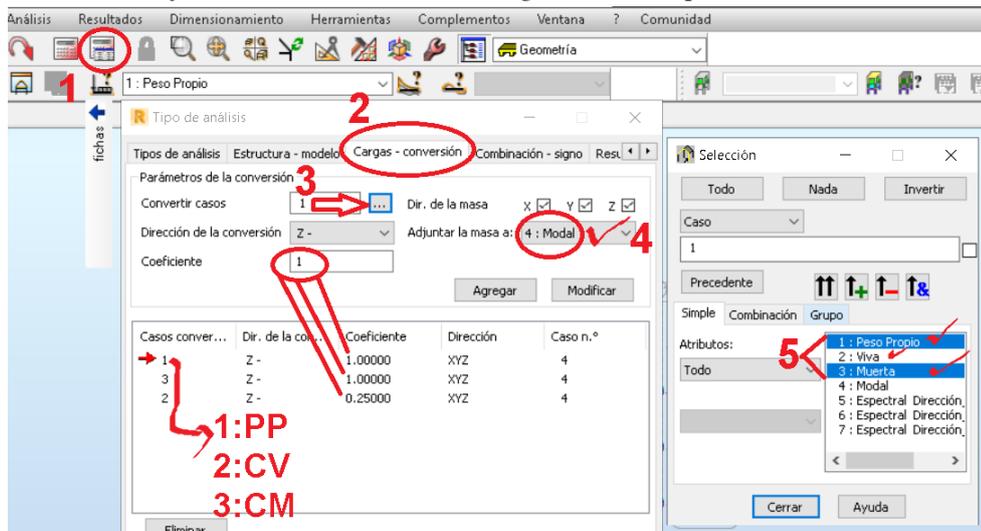


Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

4.5.3.6. Conversión de Masas.

Luego de realizar el espectro de diseño, debemos definir que cargas se van a convertir en masas para que Robot pueda identificarlos y realizar el cálculo del peso sísmico según normativa y peso total, al realizar este procedimiento se calculara el peso sísmico de la edificación que la norma E.030-2018 define: “El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva según la categoría de las edificaciones”.

Gráfico 30: Conversión de cargas en masa para el análisis.



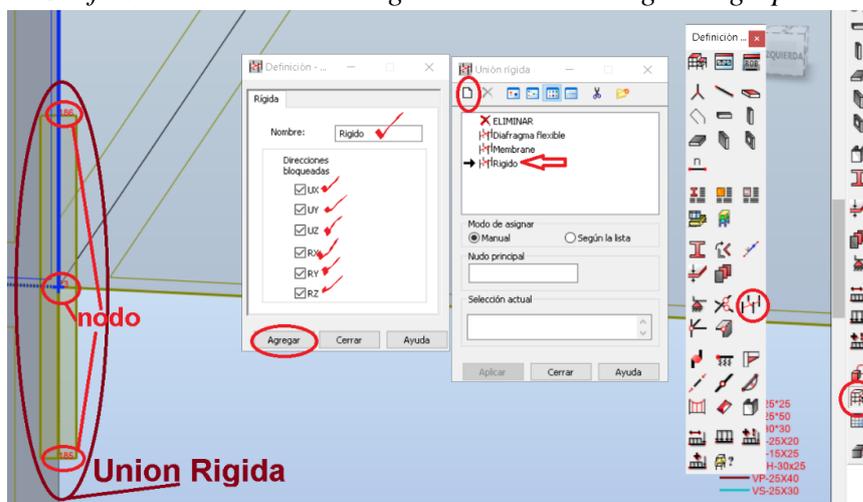
Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

Para edificaciones de la categoría “C”, la carga muerta (CM) y el peso propio (PP) se convierte un 100% en masa y solo un 25% de la carga viva (CV) en masa según la norma E.030-2018.

4.5.3.7. Asignación de Unión Rígida Viga – Placa en Robot.

Las vigas que interactúan con las placas al conectarse con estas en los nodos tienen una zona muy rígida la cual robot no lo modela por defecto, por lo que se tiene que definir una unión rígida (totalmente rígido) y asignarlos manualmente en la interacción viga-placa.

Gráfico 31: Proceso de asignación de unión rígida viga-placa



Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

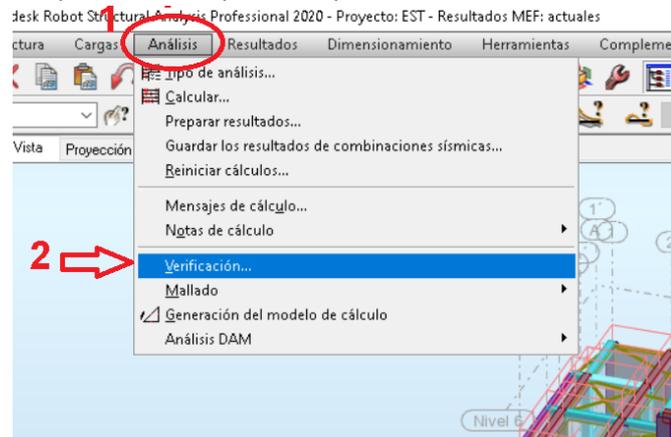
Al realizar un análisis estructural en Robot sin asignar la unión rígida viga–placa, las vigas que interactúan en esa unión presentarían valores de momentos flectores muy bajos, lo cual no sería el correcto, ya que en esa unión realmente existen momentos relevantes que afectarían el diseño de los elementos, y, por otro lado, también esa idealización de unión rígida viga-placa reduce los desplazamientos por sismo.

*Comentario: En el proyecto inicialmente se consideraron placas en la dirección “Y”, luego del análisis y los controles respectivos se ha llegado a la conclusión que dichas placas no eran necesarias para cumplir con los requisitos de diseño, por lo que se eliminaron para del proyecto final, buscando optimizar el modelo.

4.5.3.8. Chequeo final del Modelo en Robot Structural.

Antes de correr el programa Robot Structural para calcular la estructura, se realiza un chequeo en la barra ANALISIS-VERIFICACION de Robot Structural, luego de estos pasos ya se puede analizar y calcular el modelo.

Gráfico 32: Verificación final del modelo en Robot.



Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

4.5.3.9. Verificación de Resultados obtenidos en Robot Structural

Luego de correr el modelo se tiene que verificar los resultados, según los criterios establecidos en la norma E.030-2018.

4.5.3.9.1. Control del Análisis Modal y de masas participantes.

Este resultado lo podemos verificar mediante una table que Robot Structural nos proporciona, activando la tabla de modos propios estando seleccionado en la barra de casos de carga modal.

Gráfico 33: Control del análisis modal, % masas participantes.

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)
4/ 1	1.71	0.59	84.65	0.00	0.00	84.65	0.00
4/ 2	3.51	0.28	84.66	9.07	0.01	0.01	9.07
4/ 3	4.24	0.24	84.67	72.02	0.01	0.01	62.95
4/ 4	5.54	0.18	93.83	72.03	0.01	9.16	0.01
4/ 5	8.49	0.12	95.21	72.03	0.11	1.37	0.00
4/ 6	10.10	0.10	95.73	72.04	0.15	0.53	0.01
4/ 7	11.02	0.09	95.74	75.48	0.15	0.01	3.45
4/ 8	12.42	0.08	97.56	75.49	0.55	1.82	0.01
4/ 9	14.57	0.07	97.58	75.50	20.06	0.01	0.01
4/ 10	15.14	0.07	97.58	75.50	20.06	0.00	0.00
4/ 11	15.72	0.06	97.60	75.50	21.77	0.02	0.00
4/ 12	16.02	0.06	97.60	75.50	21.78	0.00	0.00
4/ 13	16.32	0.06	97.64	75.50	21.87	0.04	0.00
4/ 14	16.50	0.06	97.64	75.51	22.11	0.00	0.01
4/ 15	16.69	0.06	97.68	75.51	22.70	0.04	0.00

Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

Según la figura anterior podemos observar y controlar que los modos más importantes sean los tres primeros periodos, el periodo 0.59s tiene un 84.65% de masa participante en la dirección "X". Mientras que el modo más importante en "Y" es el tercero con un periodo de 0.25s que representa un 62.95% de masa participante. Estos valores nos indican que la estructura es regular, ya que los porcentajes de masas participantes se centran en los primeros modos de vibración (primer y tercer modo).

Este apartado se desarrolla detalladamente en el ítem 4.7 "Análisis Sísmico Estático y dinámico" según la normativa vigente.

Lo más importante es verificar que los modos acumulados en ambas direcciones lleguen a más del 90%, si una de las direcciones no llega a más del 90% se tiene que incrementar los números de modos de vibración. Se observa que (con los 15 modos ingresados en el primer análisis) en la dirección "X" ya pasamos el 90% pero en "Y" tenemos 75.51% de masas participantes por lo que debemos incrementar los modos de vibración en el caso de cargas para el análisis modal.

En la barra tipo de análisis-modal, aumentamos los números de modos a 25 y volvemos a correr el modelo en Robot.

Gráfico 34: Control del análisis modal, % masas participantes con 25 modos

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)
4/ 1	1.70737	0.58570	84.82503	0.00014
4/ 2	3.51614	0.28440	84.83425	6.74503
4/ 3	4.23459	0.23615	84.83978	72.33835
4/ 4	5.54419	0.18037	94.03123	72.34302
4/ 5	8.49092	0.11777	95.40739	72.34311
4/ 6	10.11184	0.09889	95.93772	72.34695
4/ 7	11.02760	0.09068	95.94636	75.76340
4/ 8	12.42039	0.08051	97.76452	75.77318
4/ 9	14.57324	0.06862	97.77752	75.77933
4/ 10	15.14329	0.06604	97.78140	75.78571
4/ 11	15.72657	0.06359	97.80606	75.78577
4/ 12	16.02472	0.06240	97.80754	75.78579
4/ 13	16.31791	0.06128	97.84556	75.78585
4/ 14	16.50419	0.06059	97.84561	75.79216
4/ 15	16.68982	0.05992	97.88128	75.79230
4/ 16	16.87461	0.05926	97.88610	75.85256
4/ 17	18.39364	0.05437	98.02383	75.86608
4/ 18	18.81745	0.05314	98.03610	76.03546
4/ 19	19.12590	0.05229	98.19988	76.09923
4/ 20	19.25130	0.05194	98.22477	76.11235
4/ 21	19.75041	0.05063	98.44178	76.25329
4/ 22	19.92915	0.05018	98.44269	84.27493
4/ 23	19.95361	0.05012	98.44305	92.53007
4/ 24	20.16145	0.04960	98.45290	92.72133
4/ 25	20.43111	0.04894	98.46313	92.74855

Fuente: Robot Structural 2020

Luego de correr por segunda vez el modelo vemos que las masas participantes superan el 90% en ambas direcciones (en "X" 98.46% y en "Y" 92.74%) por lo que podemos seguir realizando los siguientes controles.

Al verificar en los primeros modos de vibración una importante participación de masas mayor al 60% o 70%, se puede intuir que la estructura se está comportando de una manera bastante regular.

Lo ideal en una estructura (rígida) de 04 pisos, los periodos de vibración deberían rondar entre 0.30s a 0.45s (aproximadamente 0.1seg por piso), en el caso de la estructura que se está analizando, se observa que se tiene un valor de 0.58s de periodo máximo, este indica que la estructura es bastante flexible en el eje "X", además nos está indicando que tendrá mayor desplazamiento en la dirección "X".

En el caso del eje "Y" el modo más importante es el tercero con un periodo bajo de 0.23s (menor a lo ideal 0.40s) lo que nos indica que el comportamiento del edificio en la dirección "Y" es bastante rígido lo cual hará que el edificio se desplace muy poco.

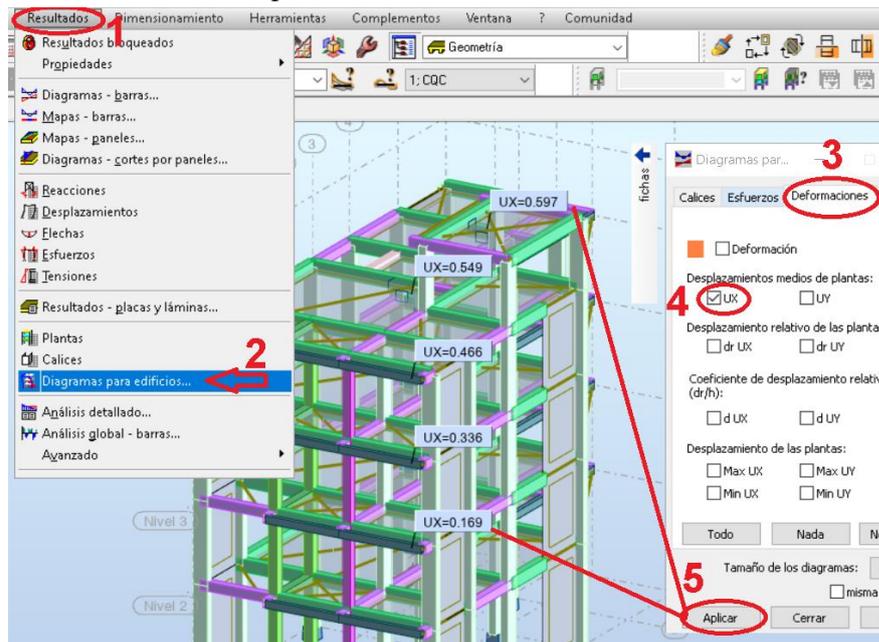
4.5.3.9.2. Control de derivas o distorsiones

El control de las derivas se desarrolla a detalle en el ítem 4.8.1 "Desplazamientos Laterales" según la norma E.030-2018.

Robot Structural nos ofrece muchas facilidades a la hora de ver resultados para realizar los diferentes verificaciones, primero podríamos observar los desplazamientos de los nodos en la dirección "X" e "Y" respectivamente en una vista 3D o elevación.

Una de las opciones que nos ofrece Robot Structural para verificar los desplazamientos del centro de masa por niveles es a través de una vista 3D en el modelo, para ello debemos estar visualizando el caso de carga "Espectral Dirección_X", en el panel diafragma para edificios activar (check) "desplazamientos medios de planta (UX)" como se muestra a continuación.

Gráfico 35: Vista 3D, Desplazamiento del centro de masa en la dirección "X"



Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

Otra forma de verificar los desplazamientos del centro de masa en Robot Structural es a través de tablas, en la vista del modelo hacer click derecho y elegir la opción "tablas" esta nos mostrara muchas opciones para ver información o datos a través de tablas, en el caso para verificar los desplazamientos activar check en la opción "plantas" como se observa en la siguiente imagen.

Gráfico 36: Vista Tabla, desplazamiento del centro de masa en la dirección "X"



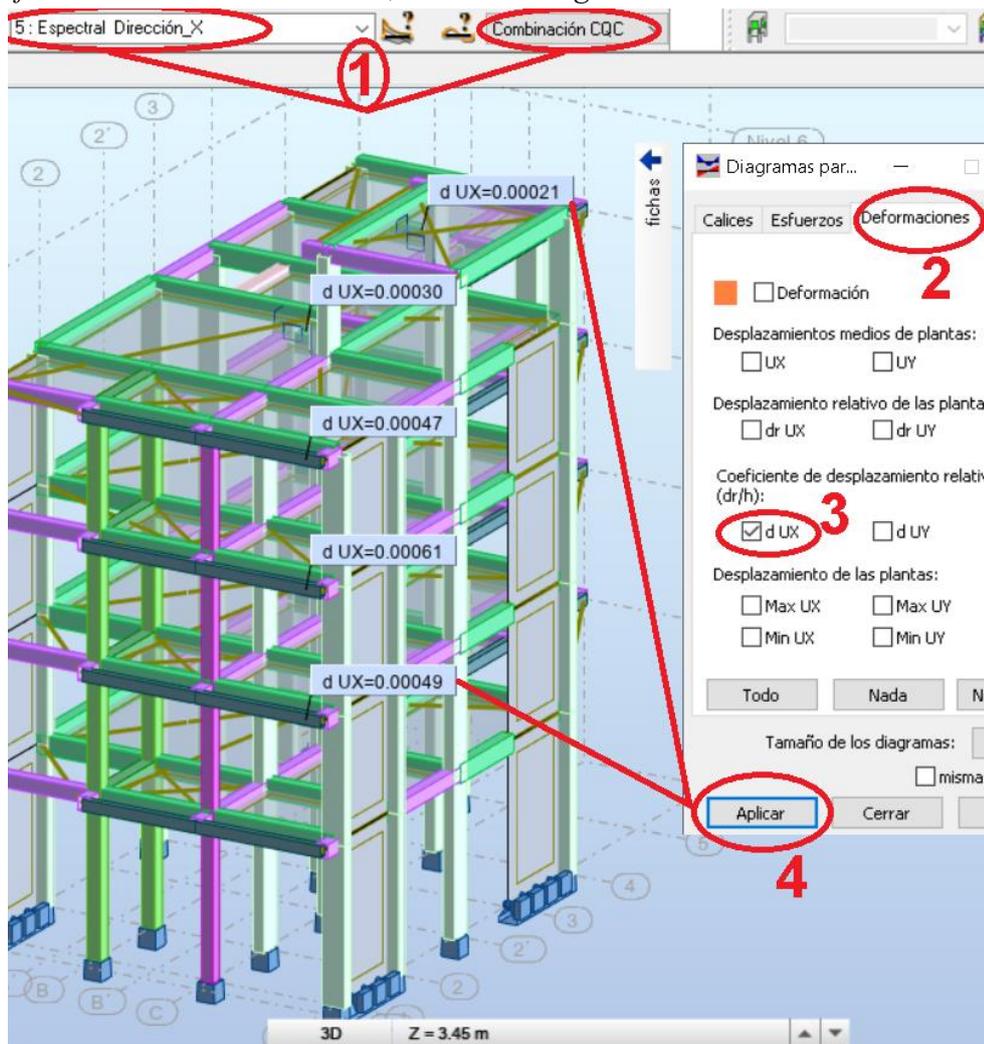
Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

Para verificar las derivas (distorsión angular elástica) por piso, en el modelo de Robot nos ubicamos en el caso de carga “espectral dirección “X” y combinación CQC, al activar check en d UX nos muestra la distorsión angular elástica por piso.

La norma E.030 nos indica que la deriva (distorsión angular inelástica) para estructuras de concreto armado no puede ser mayor a 0.007 y que esta se calcula del producto $0.75 \cdot R$ para estructuras regulares.

Para hacer una verificación rápida y determinar la deriva (según la E.030) tomaremos el mayor valor de la distorsión elástica de los 4 pisos (0.00061), y multiplicaremos por 0.75 (para estructuras regulares) luego por $R_0=8$, es decir, $0.00061 \cdot 0.75 \cdot 8 = 0.0036 < 0.007$ cumple con la E.030.

Gráfico 37: Vista 3D del modelo, distorsión angular elástica en la dirección “X”.



Fuente: Diseño propio, Robot Structural 2020

En las siguientes tablas se calcula las derivas (distorsión angular inelástica según la norma E.030) para cada piso y en cada dirección de análisis.

Cuadro 10: Derivas en la dirección "X", sistema estructural "Aporticado"

Calculo de la deriva en "X" con el analisis Espectral Direccion_X y R=8						
Planta	Desplazamiento por piso UX (cm)	Desplazamiento relativo drUX (cm)	Altura (cm)	Distorsion angular elástica dUX	Distorsion angular inelastica / deriva (Δ)	$\Delta \leq 0.007$, Limite distorsion angular para estructuras de Concreto armado E.03-18
Base	0					Cumple
Primer piso	0.169	0.169	345	0.00049	0.0029	Cumple
Segundo	0.336	0.167	275	0.00061	0.0036	Cumple
Tercero	0.466	0.130	275	0.00047	0.0028	Cumple
Cuarto	0.549	0.083	275	0.00030	0.0018	Cumple

Nota: Para estructuras regulares, el desplazamiento lateral (distorsion, deriva) se calcula del producto $0.75 \cdot R$ - según E.030

Fuente: Diseño propio

Cuadro 11: Derivas en la dirección "Y", sistema est. "Muros Estructurales"

Calculo de la deriva en "Y" con el analisis Espectral Direccion_Y y R=6						
Planta	Desplazamiento por piso UY (cm)	Desplazamiento relativo drUY (cm)	Altura (cm)	Distorsion angular elástica dUY	Distorsion angular inelastica / deriva (Δ)	$\Delta \leq 0.007$, Limite distorsion angular para estructuras de Concreto armado E.03-18
Base	0.000					Cumple
Primer piso	0.020	0.020	345	0.00006	0.0003	Cumple
Segundo	0.049	0.029	275	0.00011	0.0005	Cumple
Tercero	0.084	0.035	275	0.00013	0.0006	Cumple
Cuarto	0.120	0.036	275	0.00013	0.0006	Cumple

Nota: Para estructuras regulares, el desplazamiento lateral (distorsion, deriva) se calcula del producto $0.75 \cdot R$ - según E.030

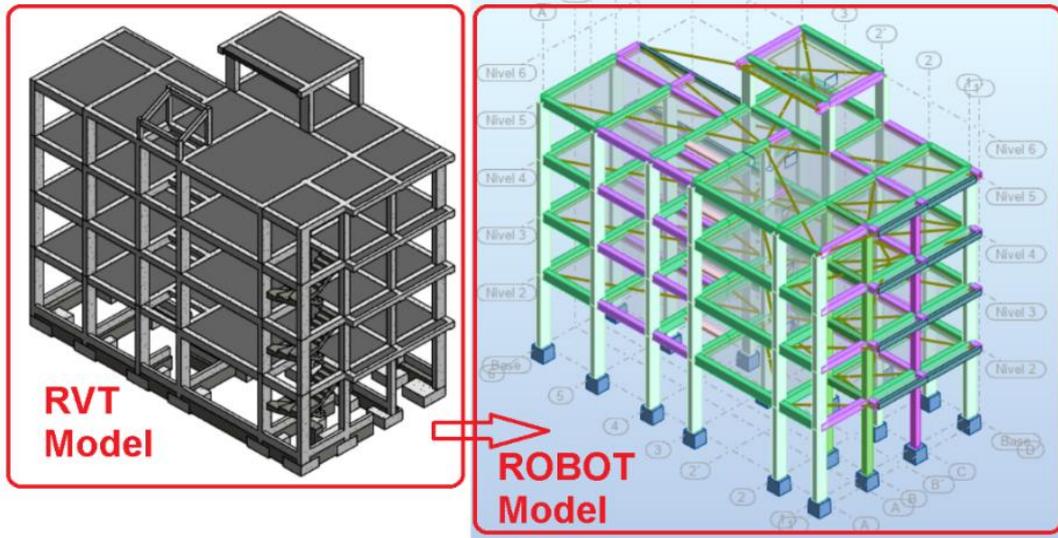
Fuente: Diseño propio

***Comentario:** El mayor valor de la distorsión angular inelástica (deriva) en la dirección "Y" es 0.0006, un valor muy bajo con respecto a la deriva que indica la norma E.030 (0.007), lo que nos indica que en este eje la estructura se encuentra sobredimensionado por lo que sería recomendable redimensionar con secciones menores de Col., Vigas, o placas para optimizar el proyecto.

4.5.3.10. Optimización Estructural del Proyecto M1-ARSAP.

Según los controles realizados anteriormente (control de las derivas), se ha podido apreciar que la estructura en el eje "Y" con el sistema estructura "Muros Estructurales" se encuentra sobredimensionado por lo que optimizamos el modelo quitando primero ocho placas, se volvió analizar y se ha podido observar que se podía optimizar quitando todas las placas, haciéndole de esta manera un sistema aporticado para ambas direcciones.

Gráfico 38: Modelo 3D final Optimizado sin Placas



Fuente: Elaboración Propia, Revit, Robot Structural.

Del modelo optimizado tenemos los siguientes resultados:

Gráfico 39: Control del análisis modal del modelo optimizado.

IA45 47A66 4: Modal 1.15; CQC

Caso/Modo	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)
4/ 1	0.66367	0.14043	89.07520	0.00002	0.14043	89.07520
4/ 2	0.58584	82.34587	89.32035	0.00443	82.20544	0.24515
4/ 3	0.52543	87.14858	89.46345	0.00614	4.80271	0.14310
4/ 4	0.21167	87.16378	97.60367	0.00652	0.01520	8.14022
4/ 5	0.18519	96.11601	97.61166	0.01121	8.95223	0.00799
4/ 6	0.16564	96.18499	97.61248	0.02424	0.06898	0.00082
4/ 7	0.12083	96.29501	99.24094	0.03846	0.11002	1.62846
4/ 8	0.11929	97.60600	99.44163	0.08407	1.31100	0.20069
4/ 9	0.10164	98.03343	99.45103	0.10946	0.42742	0.00940
4/ 10	0.09487	98.03475	99.45108	0.17493	0.00132	0.00004
4/ 11	0.09061	98.23170	99.57253	0.17901	0.19695	0.12145
4/ 12	0.08539	99.40486	99.64866	0.37196	1.17316	0.07614
4/ 13	0.08053	99.47018	99.95634	0.57324	0.06532	0.30768
4/ 14	0.07090	99.47026	99.97648	1.87095	0.00008	0.02014
4/ 15	0.06837	99.48487	99.97666	24.01009	0.01461	0.00017

Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural.

Según la figura anterior podemos observar que los modos más importantes son los dos primeros, el primero periodo es de 0.66s en la dirección "Y" que tiene un 89.07% de masa participante y en la dirección "X" corresponde un periodo de 0.58s con 82.20% de masa participante, además se observa que el valor acumulado de masas participantes pasa el 90% en ambas direcciones cumpliendo así la exigencia de la norma E.030-2018.

Cuadro 12: Derivas en la dirección "X", del modelo optimizado.

Calculo de la deriva en "X" con el analisis Espectral Direccion_X y R=8						
Planta	Desplazamiento por piso UX (cm)	Desplazamiento relativo drUX (cm)	Altura (cm)	Distorsion angular elástica dUX	Distorsion angular inelastica / deriva (Δ)	$\Delta \leq 0.007$, Limite distorsion angular para estructuras de Concreto armado E.03-18
Base	0.000					Cumple
Primer piso	0.164	0.164	345	0.00048	0.0029	Cumple
Segundo	0.323	0.159	275	0.00058	0.0035	Cumple
Tercero	0.446	0.123	275	0.00045	0.0027	Cumple
Cuarto	0.522	0.076	275	0.00028	0.0017	Cumple

Nota: Para estructuras regulares, el desplazamiento lateral (distorsion, deriva) se calcula del producto 0.75^*R - según E.030

Fuente: Diseño propio

Cuadro 13: Derivas en la dirección "Y", del modelo optimizado.

Calculo de la deriva en "Y" con el analisis Espectral Direccion_Y y R=8						
Planta	Desplazamiento por piso UY (cm)	Desplazamiento relativo drUY (cm)	Altura (cm)	Distorsion angular elástica dUY	Distorsion angular inelastica / deriva (Δ)	$\Delta \leq 0.007$, Limite distorsion angular para estructuras de Concreto armado E.03-18
Base	0.000					Cumple
Primer piso	0.225	0.225	345	0.00065	0.0039	Cumple
Segundo	0.408	0.183	275	0.00067	0.0040	Cumple
Tercero	0.543	0.135	275	0.00049	0.0029	Cumple
Cuarto	0.621	0.078	275	0.00028	0.0017	Cumple

Nota: Para estructuras regulares, el desplazamiento lateral (distorsion, deriva) se calcula del producto 0.75^*R - según E.030

Fuente: Diseño propio

El mayor valor de las deriva en ambas direcciones es de 0.004 la cual es menor a la deriva que indica la norma E.030 (0.007), por lo que estamos cumpliendo el control aplicando dicha norma y podemos seguir desarrollando los pasos siguientes del análisis.

4.5.4. Análisis Estructural con ETABS: Modelo Estructural 02 (M2-ETABS).

Como se mencionó anteriormente, se considera este segundo modelo M2-ETABS en el desarrollo del presente proyecto con el fin de evaluar el desempeño estructural del edificio y para validar resultados de la otra aplicación utilizada (Robot Structural); ya que, en nuestro país el uso de ETABS es muy difundido, y fue evaluada en distintas ocasiones llegando a una aceptación general de sus resultados, obviamente con las consideraciones debidas que tenga el ingeniero estructural.

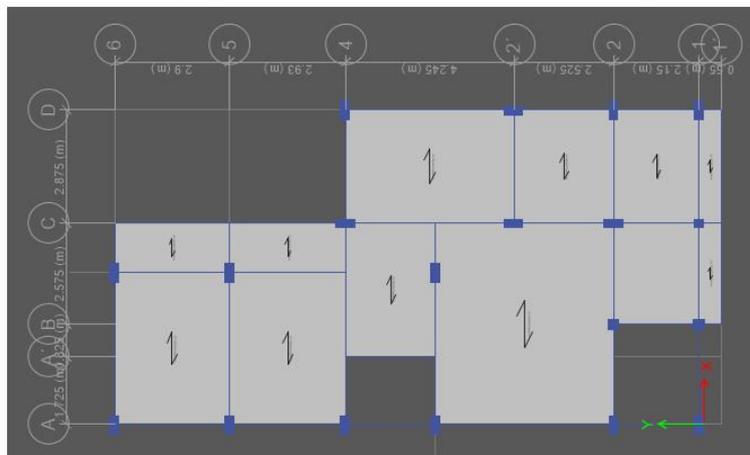
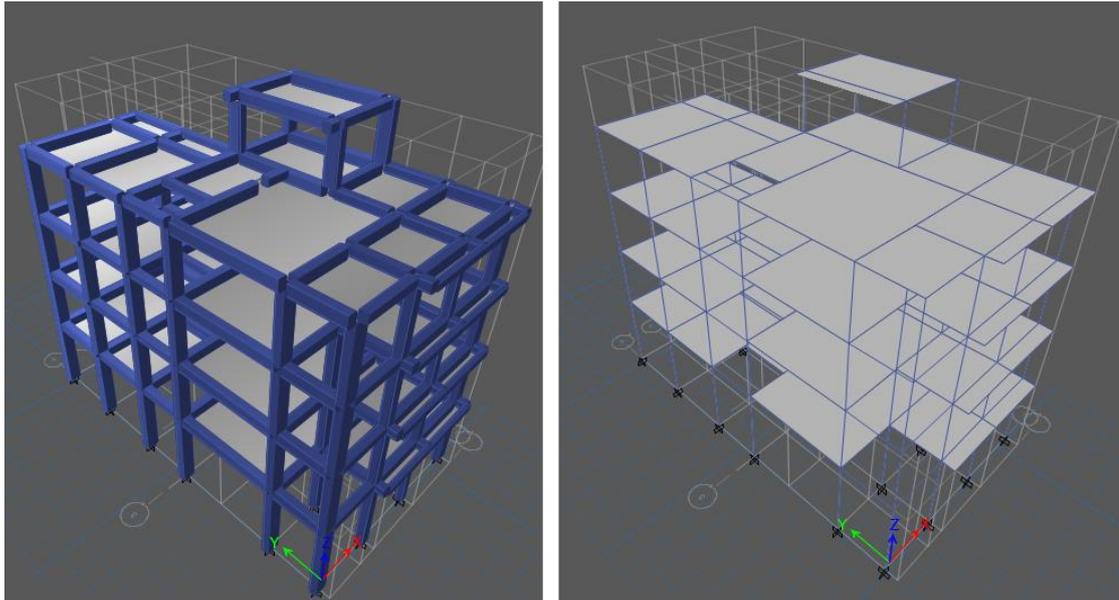
En este apartado se presenta de manera general los principales parámetros y el proceso del análisis realizado con este modelo, ya que solo nos servirá para validar los resultados de la herramienta BIM (Robot) en estudio.

4.5.4.1. Parámetros Considerados para el modelo M2-ETABS:

- Material para los elementos estructurales: Concreto $f'c=210$ kg/cm
- Propiedades geométricas (sección de columnas, vigas, losas) para los elementos estructurales de la edificación.
- Idealización de las losas aligeradas y macizas como diafragmas rígidos.

A continuación, se presenta el modelo realizado en ETABS en su versión 2016.

Gráfico 40: Vista del Modelo estructural M2-ETABS en Planta y 3D.



Fuente: Elaboración Propia, Etabs 2016.

4.5.4.2. Proceso del Análisis Estructural del Modelo M2-ETABS.

Luego de haber definido el material estructural, creados las secciones de los elementos, y haber modelado el proyecto como se muestra en la imagen anterior se procedió a:

- ✓ Definir los casos de carga para determinar el peso sísmico y peso total de la edificación basados en la Norma E-0.30-2018.
- ✓ Definir el espectro para el análisis sísmico dinámico: Análisis modal-espectral según normativa para la zona sísmica.
- ✓ Asignación de cargas muertas y cargas vivas. Entre las cargas muertas, se agregó el peso propio de los elementos estructurales, los que son calculados por el software automáticamente, también se agregó cargas de tabiquería, piso terminado sobre las losas. Por otro lado, las cargas vivas fueron ingresadas según lo indicado en la norma técnica E.020.
- ✓ Asignación de los diafragmas rígidos a las losas. Estos fueron definidos y asignados para cada nivel con la finalidad de que la estructura tenga un comportamiento deseado, con esta asignación ETABS calcula el centro de masa para cada nivel.
- ✓ Asignación de los apoyos empotrados en cada punto de la base de las columnas.
- ✓ Asignación de brazos rígidos en las uniones viga-columna, lo que significa que se considerara una zona rígida en esa conexión para calcular los esfuerzos con un desplazamiento uniforme.

Con estas consideraciones se tienen los siguientes resultados del análisis sísmico estático y dinámico del proyecto, la cual compararemos con los resultados obtenidos del modelo estructural M1-ARSAP definido anteriormente.

4.5.4.3. Síntesis Comparación de Resultados de los Modelos M2-ETABS y M1-ARSAP.

En este ítem se presenta los resultados de los dos modelos descritos anteriormente. Esto, mediante comparaciones entre ellos con el fin de validar los resultados principalmente de Robot respecto del modelo en ETABS, que es el modelo en el software de cálculo estructural más utilizado en nuestro medio.

Comparación del Comportamiento Sísmico de la Estructura.

Esta comparativa quizás sea la más importante ya que definirá la validez del modelo sísmico en Robot, respecto al modelo 2 de ETABS.

Cuadro 14: Resultados de los Modelos Sísmicos M1 & M2.

RESULTADOS DE LOS MODELOS SISMICOS M1 & M2				
PROPIEDADES		MODELO ESTRUCTURAL 01 (M1-ARSAP)	MODELO ESTRUCTURAL 02 (M2-ETABS)	M1-ARSAP vs M2-ETABS
FUERZA TOTAL VERTICAL DEBIDA A CARG A MUERTA (ton)		99.83	99.830	0.00%
FUERZA TOTAL VERTICAL DEBIDA AL PESO PROPIO (ton)		273.75	264.598	3.34%
FUERZA TOTAL VERTICAL DEBIDA A CARG A VIVA (ton)		79.86	79.864	0.00%
PESO SÍSMICO CONSIDERADA (ton)		393.55	384.394	2.33%
PESO TOTAL DE LA EDIFICACION (ton)		453.44	444.292	2.02%
CORTANT E BASAL DINAMICO DEBIDO AL ESPECT RO EN "X" (ton)		16.58	16.603	-0.14%
CORTANTE BASAL DINAMICO DEBIDO AL ESPECT RO EN "Y" (ton)		15.95	16.929	-6.14%
PERIODO DE LA ESTRUCTURA (sec)	MODO 1	0.65	0.581	10.32%
	MODO 2	0.57	0.539	5.88%
	MODO 3	0.51	0.441	14.32%
	MODO 4	0.21	0.184	10.44%
	MODO 5	0.18	0.167	7.64%
	MODO 6	0.16	0.141	12.52%
	MODO 7	0.12	0.107	13.61%
	MODO 8	0.12	0.103	11.07%
	MODO 9	0.10	0.098	6.49%
	MODO 10	0.09	0.078	17.79%
	MODO 11	0.09	0.075	15.50%
	MODO 12	0.08	0.069	17.15%

Fuente: Diseño propio

Del cuadro número 14 podemos observar los principales resultados obtenidos por las dos herramientas de cálculo y los porcentajes de diferencia de los modelos M1 y M2 de la cual se concluye lo siguiente:

- ✓ La fuerza total debida a carga muerta y a la carga viva, nos ofrece un porcentaje de diferencia igual a 0%, lo que nos indica que el cálculo de los pesos debido a estos casos de carga es correcto en los dos modelos y también que las cargas en los modelos han sido bien asignadas.
- ✓ La fuerza total debida al peso propio de la edificación, nos ofrece un porcentaje de diferencia de 3.34%, lo que nos da un indicio de que el modelo M1-ARSAP (sin aplicar excentricidades) podría tener una diferencia geométrica de los elementos estructurales ya que estos estarían aumentando el peso propio de la edificación y por ende el peso sísmico y total.
- ✓ El cortante basal debido al espectro en "X", en cada modelo tienen diferencias mínimas (-0.14%), Sin embargo, si se puede apreciar una diferencia porcentual considerable (-6.14%) en la fuerza que causa el efecto sísmico debido al análisis espectral en "Y" esto se debe principalmente por la variación del peso sísmico y peso total de la edificación, así mismo podríamos evidenciar una metodología de cálculo dinámico un tanto diferente entre ambas herramientas.
- ✓ Respecto al periodo de la estructura según el modo de vibración calculado en el análisis modal de cada software, se ve una diferencia notable según se avanza con la importancia del modo, esto debido a que el modelo M1-ARSAP tiene mayor masa participativa por lo que le toma más tiempo para poder vibrar.

Finalmente podemos concluir que el modelo M1-ARSAP difiere notablemente con los principales resultados del M2-ETABS, lo cual nos indica que se necesita aplicar otros criterios o consideraciones al modelo M1-ARSAP para asimilar su comportamiento sísmico al modelo M2-ETABS base para la validación del proyecto.

4.5.5. Análisis Estructural Definitivo, Modelo Estructural M3-ARSAP

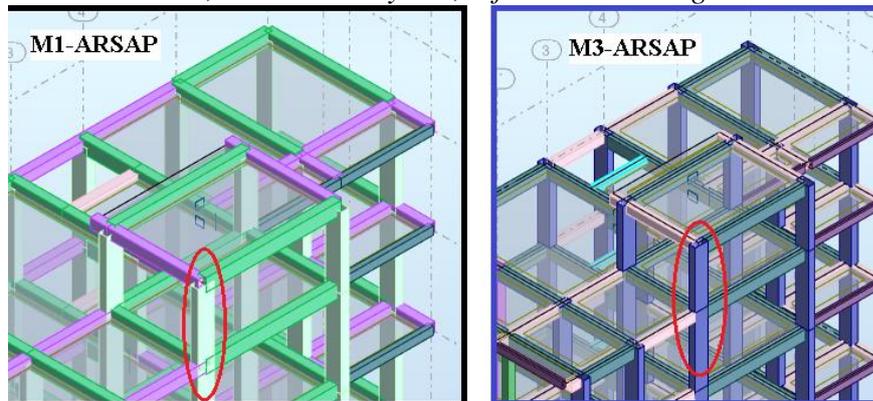
En este ítem veremos las consideraciones y parámetros que se asignaron al modelo M1-ARSAP como consecuencia de este se creará un tercer modelo denominado M3-ARSAP la cual debería tener un comportamiento adecuado y

similar al modelo M2-ETABS que es la base de comparación y validación de los resultados.

Tomaremos el modelo M1-ARSAP que se analizó anteriormente y solo se describirá los cambios que se realizaron, puesto que el procedimiento de análisis ya se describió anteriormente la cual no varía.

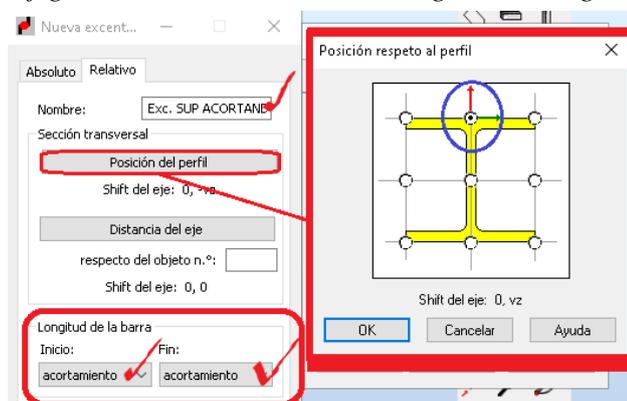
Un tema muy importante a la hora de analizar un modelo analítico que ha sido creado en Revit y exportado a Robot Structural para el análisis estructural es que, se deben aplicar excentricidades (offset) a las vigas, ya que sin estos las uniones entre vigas-columnas comparten un solo nodo (no rígido) en sus ejes, la cual no es ideal para el análisis, estas uniones deberían comportarse como un solo nodo rígidamente para producir desplazamientos uniformes y las solicitaciones de momentos sean de cara a cara de las columnas (luz libre) y no de eje a eje. A continuación, se muestran las diferencias.

Gráfico 41: Vista 3D, modelos M1 y M3, diferencias al asignar excentricidades



Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural 2020.

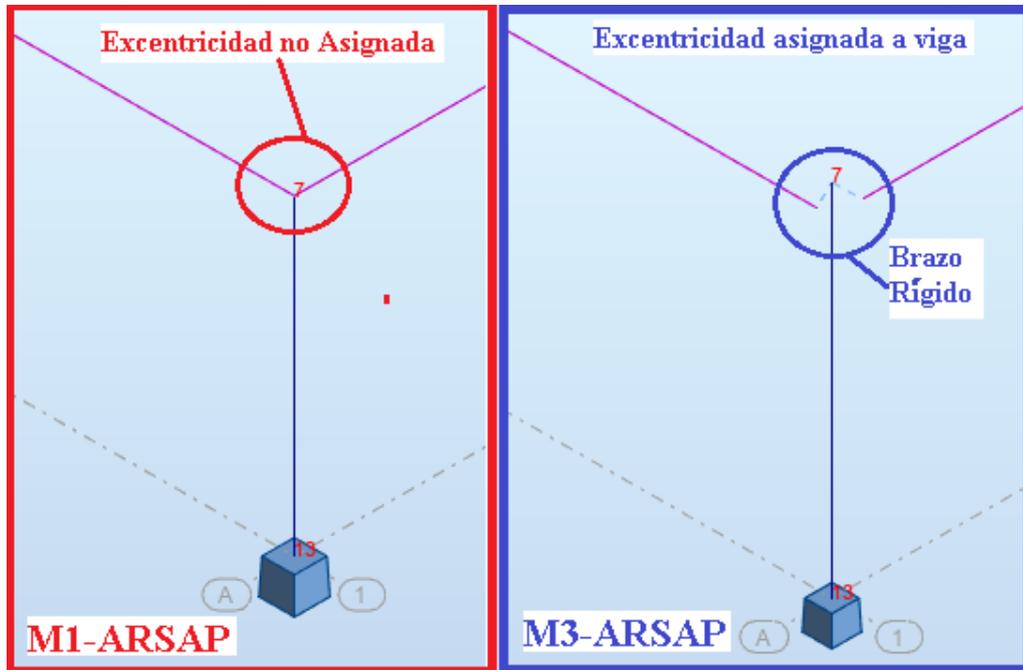
Gráfico 42: Configuración de excentricidad asignados a vigas del modelo M3.



Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural 2020.

Justamente al asignar las excentricidades a las vigas como se muestra en la figura anterior, se crea automáticamente el brazo rígido que justamente idealiza el comportamiento real o adecuado de la estructura.

Gráfico 43: Diferencias de M1 y M3 al asignar la excentricidad a vigas.



Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural 2020.

Como se observa en la figura anterior, que al aplicar la excentricidad a las vigas se genera automáticamente el brazo rígido en el modelo M3-ARSAP, este criterio no se había tenido en cuenta al analizar el modelo M1 inicialmente, la cual sería uno de los motivos por las que difieren sus resultados con el M2-ETABS.

Finalmente se puede concluir que al modelo M3-ARSAP solo se aplicaron las excentricidades a todas la vigas, como consecuencia de este, se generó el brazo rígido, la cual también influye en la variación del peso propio de la edificación ya que se tendrá menos masa (volumen de concreto).

A continuación, se presenta los resultados del modelo M3-ARSAP para validarlos con el modelo M2-ETABS.

4.5.6. Validación de Datos y Resultados del Modelo Definitivo M3-ARSAP.

A. Comparación del Comportamiento Sísmico de la Estructura M2 vs M3.

Esta comparativa es de suma importancia ya que definirá la validez del modelo M3-ARSAP, respecto al modelo M2-ETABS.

Cuadro 15: Resultados de los Modelos Sísmicos M2 & M3.

RESULTADOS DE LOS MODELOS SISMICOS M3 vs M2				
PROPIEDADES		MODELO ESTRUCTURAL 03 (M3-ARSAP)	MODELO ESTRUCTURAL 02 (M2-ETABS)	M3-ARSAP vs M2-ETABS
FUERZA TOTAL VERTICAL DEBIDA A CARG A MUERTA (ton)		99.83	99.830	0.0%
FUERZA TOTAL VERTICAL DEBIDA AL PESO PROPIO (ton)		263.73	264.598	-0.3%
FUERZA TOTAL VERTICAL DEBIDA A CARG A VIVA (ton)		79.86	79.864	0.0%
PESO SÍSMICO CONSIDERADA (ton)		383.53	384.394	-0.2%
PESO TOTAL DE LA EDIFICACION (ton)		443.42	444.292	-0.2%
CORTANTE BASAL DINAMICO DEBIDO AL ESPECTRO EN "X" (ton)		16.57	16.603	-0.2%
CORTANTE BASAL DINAMICO DEBIDO AL ESPECTRO EN "Y" (ton)		16.92	16.929	-0.1%
PERIODO DE LA ESTRUCTURA (sec)	MODO 1	0.57	0.581	-1.9%
	MODO 2	0.48	0.539	-12.5%
	MODO 3	0.44	0.441	0.1%
	MODO 4	0.18	0.184	-1.4%
	MODO 5	0.15	0.167	-8.0%
	MODO 6	0.14	0.141	-2.2%
	MODO 7	0.11	0.107	1.7%
	MODO 8	0.10	0.103	-0.5%
	MODO 9	0.08	0.098	-22.6%
	MODO 10	0.08	0.078	-2.9%
	MODO 11	0.07	0.075	-3.5%
	MODO 12	0.07	0.069	-2.6%
MASAS PARTICIPANTES EN "X"	MODO 1	0.10%	0.54%	-427.1%
	MODO 2	85.25%	68.26%	19.9%
	MODO 3	86.70%	87.42%	-0.8%
	MODO 4	86.72%	87.43%	-0.8%
	MODO 5	94.59%	95.40%	-0.9%

	MODO 6	94.59%	96.24%	-1.7%
	MODO 7	96.10%	97.80%	-1.8%
	MODO 8	96.11%	97.81%	-1.8%
	MODO 9	96.14%	97.97%	-1.9%
	MODO 10	97.16%	98.29%	-1.2%
	MODO 11	97.59%	99.24%	-1.7%
	MODO 12	97.74%	99.61%	-1.9%
MASAS PARTICIPANTES EN "Y"	MODO 1	87.88%	87.21%	0.8%
	MODO 2	88.06%	88.82%	-0.9%
	MODO 3	88.42%	89.54%	-1.3%
	MODO 4	96.06%	97.57%	-1.6%
	MODO 5	96.07%	97.63%	-1.6%
	MODO 6	96.07%	97.75%	-1.7%
	MODO 7	96.08%	97.77%	-1.8%
	MODO 8	97.66%	99.32%	-1.7%
	MODO 9	97.76%	99.39%	-1.7%
	MODO 10	97.79%	99.60%	-1.8%
	MODO 11	97.95%	99.79%	-1.9%
	MODO 12	98.07%	99.85%	-1.8%

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla anterior podemos observar los resultados obtenidos por las dos herramientas de cálculo y los porcentajes de diferencia de los modelos M3 y M2 de la cual se concluye lo siguiente:

- ✓ La fuerza total debida a carga muerta y a la carga viva, nos ofrece un porcentaje de diferencia igual a 0%, lo que nos indica que el cálculo de los pesos debido a estos casos de carga es correcto en los dos modelos y no han variado con respecto al modelo M1-ARSAP.
- ✓ La fuerza total debida al peso propio de la edificación, nos ofrece un porcentaje de diferencia muy cercano al 0%, lo que nos indicaría que el modelo M3-ARSAP y el modelo M2-ETABS son similares en cuanto al cálculo del peso sísmico y total de la edificación.
- ✓ El cortante basal debido al espectro en "X" e "Y" de análisis dinámico, en cada modelo tienen diferencias mínimas, esto se debe principalmente a la corrección del peso sísmico en el modelo M3-ARSAP anteriormente detallado.

- ✓ Respecto al periodo de la estructura según el modo de vibración calculado en el análisis modal de cada software de los modelos M3 y M2, se ve una diferencia inicialmente notable en la dirección “X” pero según se avanza con la importancia del modo estos se van asimilándose.

B. Comparación de Deformaciones de los modelos M2 vs M3.

Una consideración muy importante a controlar son las deformaciones o desplazamientos de la estructura. En este caso, vamos a comparar los desplazamientos más relevantes de la estructura de los modelos M2-ETABS y M3-ARSAP.

Cuadro 16: Resultados de Deformaciones M3 vs M2

RESULTADOS DE DEFORMACIONES M3 vs M2				
PROPIEDAD	CASO DE CARGA	MODELO ESTRUCTURAL 03 (M3-ARSAP)	MODELO ESTRUCTURAL 02 (M2-ETABS)	M3-ARSAP vs M2-ETABS
MAXIMA DEFORMACION POR SISMO (cm)	SISMO "X"	0.403	0.600	-48.9%
	SISMO "Y"	0.514	0.580	-12.8%
MAXIMA DERIVA DE ENTREPISO	SISMO "X"	0.0022	0.0031	-40.5%
	SISMO "Y"	0.0033	0.0034	-3.6%
MAXIMA DEFORMACION POR GRAVEDAD (cm)	MUERTA	0.107	0.114	-6.5%
	VIVA	0.029	0.029	0.0%

Fuente: Elaboración Propia.

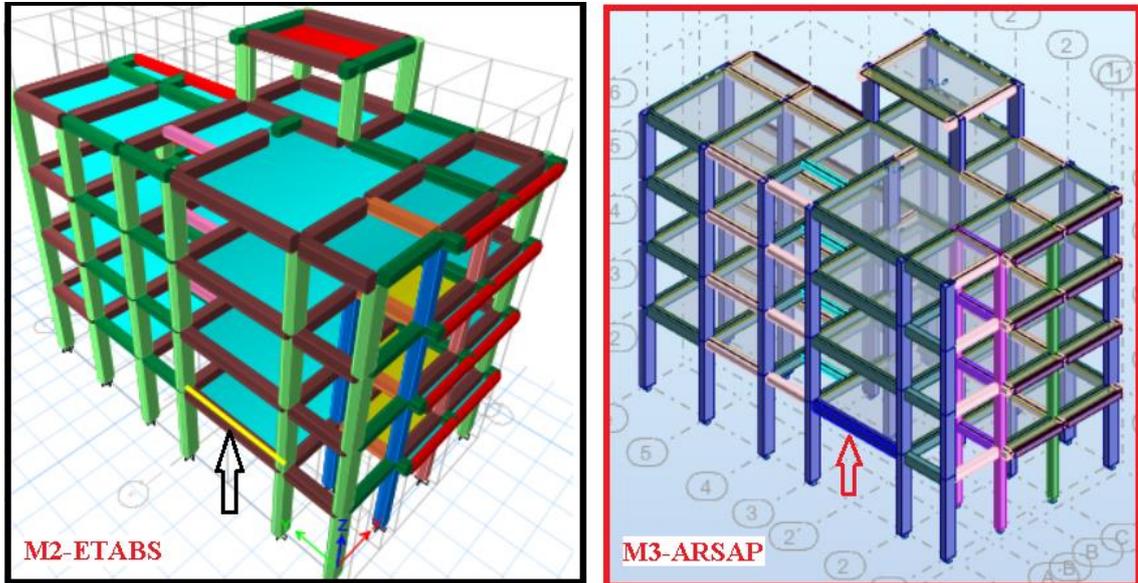
La tabla anterior nos muestra que en los casos de carga de sismo en la dirección “Y”, entre los modelos M2 y M3, no se aprecia una diferencia porcentual importante; sin embargo, la diferencia porcentual para el caso de carga “sismo X” si es considerable; aun así, estos valores son válidos ya que permanecen en valores cercanos, considerando la gran incertidumbre que siempre tiene cualquier modelo de cálculo.

C. Comparación de Esfuerzos en viga principal seleccionada de M2 vs M3.

Nuestro planteamiento estructural contempla un sistema resistente a fuerzas laterales por pórticos (vigas-columnas) los que serán resistentes a esfuerzos

sísmicos. Seleccionaremos una viga representativa que recibe cargas importantes generados por la envolvente de combinaciones.

Gráfico 44: Viga VP-25X40 seleccionada para evaluación, resultados de esfuerzos



Fuente: Diseño Propio, Etabs, Robot Structural.

De la viga seleccionada vamos a extraer los esfuerzos más importantes en una viga, que son los esfuerzos de corte y de momento flector. Tomaremos únicamente la viga del primer nivel.

Cuadro 17: Resultados de esfuerzos en viga seleccionado VP-25X40.

RESULTADOS DE ESFUERZOS EN VIGA SELECCIONADO VP-25X40.				
PROPIEDAD	CASO DE CARGA	MODELO ESTRUCTURAL 03 (M3-ARSAP)	MODELO ESTRUCTURAL 02 (M2-ETABS)	M3-ARSAP vs M2-ETABS
MAXIMO MOMENTO EN EXTREMOS (ton-m)	ENVOLVENTE	4.870	4.330	11.1%
MAXIMO MOMENTO EN TRAMO CENTRAL (ton-m)	ENVOLVENTE	3.050	3.047	0.1%
MAXIMO CORTANTE EN EXTREMOS (ton-m)	ENVOLVENTE	7.190	6.790	5.6%

Fuente: Elaboración Propia.

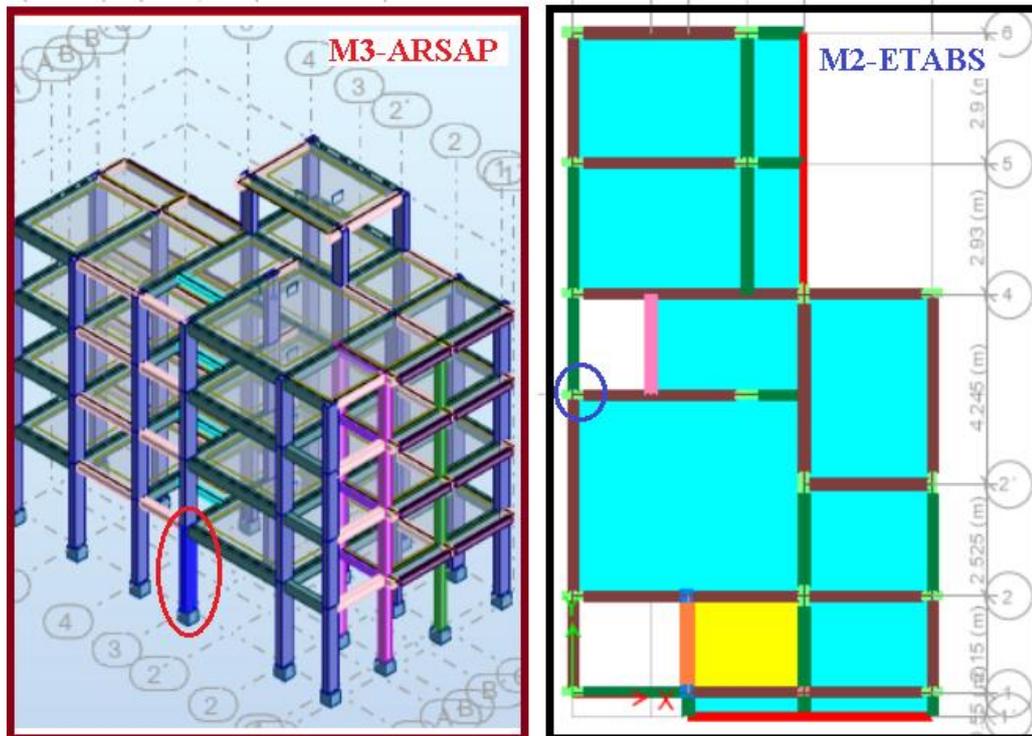
Del comparativo, decimos que no hay diferencias importantes entre los modelos 2 y 3 en cuanto a esfuerzos. Esto, podemos lograr controlando que todas las vigas en ARSAP sean continuas; y que, en ETABS se deberá asignar el brazo

rígido no al 100%, sino en un 70 a 80% con la cual se asimila los esfuerzos entre Robot y ETABS. Esta diferencia debe tenerse en cuenta a la hora de escoger el software de cálculo a utilizar.

D. Comparación de Esfuerzos en Columna seleccionada de M2 vs M3.

Las columnas en el planteamiento estructural (Pórticos), son los que van a actuar como elementos que soporten los esfuerzos debidos a cargas sísmicas.

Gráfico 45: Evaluación de Resultados, Columna C-25X50, esfuerzos



Fuente: Diseño Propio, Etabs, Robot Structural

*Cuadro 18: Resultados de esfuerzos en columna C-25*50 seleccionado*

RESULTADOS DE ESFUERZOS EN COLUMNA C-25*50 SELECCIONADO				
PROPIEDAD	CASO DE CARGA	MODELO ESTRUCTURAL 03 (M3-ARSAP)	MODELO ESTRUCTURAL 02 (M2-ETABS)	M3-ARSAP vs M2-ETABS
MAXIMA COMPRESION EN LA BASE (ton-m)	MUERTA	21.800	22.740	-4.3%
	VIVA	5.040	5.320	-5.6%
MAXIMO MOMENTO EN EL EJE "X" (ton-m)	MUERTA	0.170	0.250	-47%
	VIVA	0.050	0.051	-2%
MAXIMO MOMENTO EN EL EJE "Y" (ton-m)	MUERTA	-0.030	-0.040	-33%
	VIVA	-0.020	-0.030	-50%

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar que en general, los esfuerzos en la columna son similares en todos los casos, resaltando como más importante por su magnitud, los esfuerzos a compresión que justamente tiene la menor diferencia porcentual.

Finalmente podemos concluir que los resultados del modelo M3-ARSAP difiere en mínimo porcentaje con los principales resultados del M2-ETABS, lo cual nos indica que este tercer modelo sería válido, pudiéndose utilizar la herramienta BIM Robot para el análisis estructural del proyecto. Luego de la validación del modelo M3-ARSAP se procede a realizar el diseño sismorresistente, análisis estático y dinámico detalladamente.

4.6. Criterios para el Diseño Sismorresistente del Proyecto.

Se realiza un análisis sísmico del edificio, siguiendo los lineamientos de la norma E0.30 -2018. Este análisis nos permitirá conocer el comportamiento de la estructura bajo solicitaciones sísmicas, buscando una rigidez permisible especificada en la norma E.030-2018, cumpliendo así el criterio sismorresistente que la norma indica.

Por otra parte, el diseño sismorresistente del edificio busca cumplir con la filosofía mencionados en la norma E.030-2018

- Evitar pérdidas de vidas
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- Minimizar los daños a las propiedades.

4.6.1. Peligro Sísmico

Siendo uno de los objetivos realizar el diseño sismorresistente de la estructura, los parámetros utilizados serán en base a la norma E030-2018.

4.6.1.1. Factor de Zona (Z)

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas sísmicas, como se muestra en el gráfico 46.

Gráfico 46: Zonificación Sísmica del Perú



Fuente: NTP E-0.30

Nuestro proyecto se ubica en el distrito de Pebas, Provincia Mariscal Ramon Castilla, Departamento de Loreto.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA
LORETO	MARISCAL RAMÓN CASTILLA	RAMÓN CASTILLA	1
		PEBAS	
		SAN PABLO	
		YAVARI	

Por lo tanto, el factor zona es: $Z = 0.10$, que pertenece a la Zona 1.

4.6.1.2. Parámetros de Sitio (S, TP, TL)

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos realizado (ver anexo - I), el perfil que se considera es el tipo S2 (suelo intermedio). Con ello hallamos los parámetros respectivos:

Gráfico 47: Factor de Suelos

FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO \ ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: NTP-E.030

Gráfico 48: Parámetros TP y TL

PERIODOS "T _P " Y "T _L "				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: NTP-E.030

Resumen:

Factor de suelo: S₂ = 1.60

Periodo: TP = 0.60

Periodo: TL = 2.00

4.6.1.3. Factor de Amplificación Sísmica (C)

Efectuando nuestro ANALISIS MODAL, en Robot Structural se obtuvo los siguientes valores para los modos dominantes en cada dirección.

Primer Modo: Eje Y

T = 0.57 seg.

Segundo Modo: Eje X

T = 0.48 seg.

Según el ítem 2.5 de la norma E.030-2018 se calcula el factor de ampliación sísmica "C" teniendo en cuenta:

$$T < T_P \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

Para la dirección "X" tenemos T (0.48) < T_p (0.60), por lo que C = 2.5

Para la dirección "Y" tenemos T (0.57) < T_p (0.60), por lo que C = 2.5

Resumen:

$$C_x = C_y = 2.50$$

4.6.2. Categoría, Sistema Estructural y Regularidades del Proyecto

4.6.2.1. Categoría de la Edificación y Factor de Uso (U)

De acuerdo a la tabla N°5 de la norma E030-2018, se puede clasificar a la edificación con su respectivo factor de uso.

Gráfico 49: Categoría de la Edificación y Factor de Uso

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
C	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0

Fuente: NTP-E.030

Resumen:

CATEGORIA = C

FACTOR DE USO = 1.0

4.6.2.2. Sistema Estructural y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R0)

En la tabla N°07 de la norma E030-2018 nos indica los parámetros del coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (R0) de acuerdo a al sistema estructural y material predominante de la estructura (concreto armado para el presente proyecto).

Luego de la optimización del modelo, donde se eliminaron las placas, tenemos un solo sistema estructural de PORTICOS con R0=8 en las dos direcciones.

Gráfico 50: Sistema Estructural de la Edificación

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6

Fuente: NTP-E.030

4.6.2.3. Regularidad Estructural

La norma E030-2018 clasifica a las estructuras como regulares o irregulares según el factor de irregularidad de las tablas N°08 y 09.

Estructura Regulares son las que no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N.º 8 y N.º 9 de la E.030. En estos casos, el factor la (irregularidades en altura) o I_p (irregularidades en planta) será igual a 1,0.

Estructuras Irregulares son aquellas que presentan una o más de las irregularidades indicadas en las Tablas N.º 8 y N.º 9 de la E.030

Luego de verificar las irregularidades del proyecto en el ítem 4.6.2.5 y calcular el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R , $R=R_0 \cdot I_a \cdot I_p$) se ha determinado que la estructura del proyecto es REGULAR.

Gráfico 51: Tabla N°08 y N°09 Factores de Irregularidades

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a	Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_p
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.	0,75	Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{máx}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,75
Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.		Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{máx}$), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,60
Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.	0,50	Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.	0,90
Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.		Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.	0,85
Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90	Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.	0,90
Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90		
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.	0,80		
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes (Ver Tabla N° 10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25 % de la fuerza cortante total.	0,60		

Fuente: NTP-E.030

4.6.2.4. Restricciones a la Irregularidad

La norma E030-2018 nos indica que de acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse respetando las restricciones a la irregularidad de la Tabla N.º 10.

Gráfico 52: Categoría y Regularidad de la Edificación

Tabla N° 10 CATEGORÍA Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES		
Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

Fuente: NTP-E.030

Visto la tabla anterior, en nuestro proyecto se podrían permitir las irregularidades del edificio por la categoría (C) y la zonificación (Z1) a la que pertenece, es decir que sería aceptable la estructura propuesta así tengamos irregularidades (I_a , $I_p < 1.0$).

4.6.2.5. Verificación de Irregularidades en Altura (I_a) y en Planta (I_p)

Con los resultados obtenidos del análisis sísmico estático y dinámico (ítem 4.7), se realiza la verificación de las irregularidades siguiendo el procedimiento que establece la norma E.030-2018.

4.6.2.5.1. Irregularidad de Rigidez – Piso Blando

La norma E.030 indica que “Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entresuelo la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entresuelo inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes”.

Cuadro 19: Cálculo de Irregularidad Piso Blando en X-X

Análisis Con la Carga Sísmica en la Dirección X-X				VERIFICACION DE PISO BANDO EN X-X		
Nivel	Fuerza Cortante FX (tonf)	Desplazamiento relativo drUX (cm)	Rigidez X-X (tonf/cm) FX/drUX	Verificación (<70%) Ri/Rs	Verificación (<80%) Ri/prom(3Rs)	PISO BLANDO
Piso 05	6.54	0.050	130.800	NA	NA	NO APLICA
Piso 04	11.15	0.078	142.949	109%	NA	NO TIENE
Piso 03	14.58	0.101	144.356	101%	NA	NO TIENE
Piso 02	16.57	0.120	138.083	96%	99%	NO TIENE
Piso 01	-	-	-	-	-	-
La Estructura no presenta irregularidad de PISO BLANDO, Estructura REGULAR en X-X, Factor de Irregularidad Piso Blando = 1.0						

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 20: Cálculo de Irregularidad Piso Blando en Y-Y

Análisis Con la Carga Sísmica en la Dirección Y-Y				VERIFICACION DE PISO BANDO EN Y-Y		
Nivel	Fuerza Cortante FY (tonf)	Desplazamiento relativo drUY (cm)	Rigidez Y-Y (tonf/cm) FY/drUY	Verificación (<70%) Ri/Rs	Verificación (<80%) Ri/prom(3Rs)	PISO BLANDO
Piso 05	6.46	0.064	100.938	NA	NA	NO APLICA
Piso 04	11.16	0.104	107.308	106%	NA	NO TIENE
Piso 03	14.72	0.138	106.667	99%	NA	NO TIENE
Piso 02	16.92	0.190	89.053	83%	85%	NO TIENE
Piso 01	-	-	-	-	-	-
La Estructura no presenta irregularidad de PISO BLANDO, Estructura REGULAR en Y-Y, Factor de Irregularidad Piso Blando = 1.0						

Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas anteriores se observa que en las dos direcciones de análisis “X, Y”, el porcentaje alcanzado de las rigideces con respecto a los entrepisos superiores superan el 70% que indica la norma E.030-2018 (no existe irregularidad de piso blando, es decir el factor de irregularidad de piso blando es 1.0).

4.6.2.5.2. Irregularidad de Resistencia – Piso Débil

La norma E.030 indica que “Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior”.

Cuadro 21: Cálculo de Irregularidad Piso Débil en X-X

Análisis Con la Carga Sísmica en la Dirección X-X				VERIFICACION DE PISO DEBIL EN X-X		
Nivel	Fuerza Cortante FX (tonf)	Desplazamiento relativo drUX (cm)	Rigidez Y-Y (tonf/cm) FX/drUX	Verificación (<80%) Fi/Fs	Verificación (<80%) Ri/Rs	PISO DEBIL
Piso 05	6.54	0.050	130.800	NA	NA	NO APLICA
Piso 04	11.15	0.078	142.949	170%	109%	NO TIENE
Piso 03	14.58	0.101	144.356	131%	101%	NO TIENE
Piso 02	16.57	0.120	138.083	114%	96%	NO TIENE
Piso 01	-	-	-	-	-	-
La Estructura no presenta irregularidad de PISO DEBIL, Estructura REGULAR en X-X Factor de Irregularidad Piso Débil = 1.0						

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 22: Cálculo de Irregularidad Piso Débil en Y-Y

Análisis Con la Carga Sísmica en la Dirección Y-Y				VERIFICACION DE PISO DEBIL EN Y-Y		
Nivel	Fuerza Cortante FY (tonf)	Desplazamiento relativo drUY (cm)	Rigidez Y-Y (tonf/cm) FY/drUY	Verificación (<80%) Fi/Fs	Verificación (<80%) Ri/Rs	PISO DEBIL
Piso 05	6.46	0.064	100.938	NA	NA	NO APLICA
Piso 04	11.16	0.104	107.308	173%	106%	NO TIENE
Piso 03	14.72	0.138	106.667	132%	99%	NO TIENE
Piso 02	16.92	0.190	89.053	115%	83%	NO TIENE
Piso 01	-	-	-	-	-	-
La Estructura no presenta irregularidad de PISO DEBIL, Estructura REGULAR en Y-Y Factor de Irregularidad Piso Débil = 1.0						

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas anteriores se observa que, en las dos direcciones de análisis, la resistencia de los entrepisos frente a fuerzas cortantes es superior al 80 % de la resistencia de los entrepisos inmediato superior.

Se concluye que no existe irregularidad de piso débil, es decir el factor de irregularidad de piso débil es 1.0.

4.6.2.5.3. Irregularidad de Masa o Peso

La norma E.030 indica que “Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3 (100%CM + 25%CV), es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos”.

Cuadro 23: Cálculo de Irregularidad de Masa o peso

Nivel	Peso Total (Ton)	Peso por Nivel (Ton)	FACTOR, Irregular si es > 1.5	Limite Permissible	Irregularidad
Piso 05	17.72	NA			
Piso 04	119.15	101.43	NA	1.50	NO APLICA
Piso 03	223.52	104.37	1.03	1.50	REGULAR
Piso 02	327.89	104.37	1.00	1.50	REGULAR
Piso 01	443.42	115.53	1.11	1.50	REGULAR
La Estructura no presenta irregularidad de MASA O PESO, Estructura REGULAR, Factor de Irregularidad de Masa o Peso = 1.0					

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior se observa que, los pesos de los pisos no superan el límite permisible que indica la norma (1.5 veces el peso del piso adyacente). Esto indica que no se tiene irregularidad de Peso o Masa.

4.6.2.5.4. Irregularidad de Geometría Vertical

La norma E.030 indica que “es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente”.

Cuadro 24: Cálculo de Irregularidad de Geometría Vertical en X-X

Dirección de Análisis X-X				IRREGULARIDAD DE GEOMETRIA VERTICAL EN “X”		
Nivel	ALTURA A (m)	ALTURA ENTREPISO (m)	DIMENSION EN PLANTA DE LA EST. RESISTENTE A CARGAS LATERALES (m)	FACTOR, Irregular si es > 1.3	Limite Permissible	IRREGULARIDAD
Piso 06	13.35	2.25	3.41	NA	1.30	NO APLICA
Piso 05	11.10	2.75	8.00	NA	1.30	NO APLICA
Piso 04	8.35	2.75	8.00	1.00	1.30	REGULAR
Piso 03	5.60	2.75	8.00	1.00	1.30	REGULAR
Piso 02	2.85	2.75	8.00	1.00	1.30	REGULAR
Piso 01	0.10		8.00	1.00	1.30	REGULAR
No se presenta Irregularidad de GEOMETRIA VERTICAL (Factor = 1.0), Estructura REGULAR						

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 25: Cálculo de Irregularidad de Geometría Vertical en Y-Y

Dirección de Análisis Y-Y				IRREGULARIDAD DE GEOMETRIA VERTICAL EN "Y"		
Nivel	ALTURA (m)	ALTURA ENTREPISO (m)	DIMENSION EN PLANTA DE LA EST. RESISTENTE A CARGAS	FACTOR, Irregular si es > 1.3	Limite Permissible	IRREGULARIDAD
Piso 06	13.35	2.25	4.24	NA	1.30	NO APLICA
Piso 05	11.10	2.75	15.30	NA	1.30	NO APLICA
Piso 04	8.35	2.75	15.30	1.00	1.30	REGULAR
Piso 03	5.60	2.75	15.30	1.00	1.30	REGULAR
Piso 02	2.85	2.75	15.30	1.00	1.30	REGULAR
Piso 01	0.10		15.30	1.00	1.30	REGULAR

Fuente: Elaboración Propia

De las tablas anteriores, se observa que las dimensiones en planta de la estructura resistente son menores a 1.30 veces a las dimensiones del entrepiso adyacente, la norma dice que este criterio no se aplica a azoteas ni a sótanos (no presenta irregularidad de geometría vertical).

4.6.2.5.5. Irregularidad Torsional.

La norma E.030 indica que “Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N.º 11, E.030”.

El proyecto cumple con el primer criterio que establece la norma “Diafragmas rígidos”, luego verificamos si los desplazamientos laterales calculados en el ítem 4.8.1 son mayores al 50% (0.0035) del límite permisible (0.007 para concreto armado).

Cuadro 26: Cálculo de Irregularidad Torsional, Verificación en X-X

Verificación DE IRREGULARIDAD TORSIONAL SI ($\Delta x > \Delta p$) EN X - X				
Nivel	Desplazamiento Relativo de Entrepiso (ΔX)	Limite de Desplazamiento Permisible Concreto_Armado	50% del Limite Permisible (Δp)	Irregularidad Torsional
Piso 02	0.002	0.007	0.0035	No Aplica
Piso 03	0.002	0.007	0.0035	No Aplica
Piso 04	0.002	0.007	0.0035	No Aplica
Piso 05	0.001	0.007	0.0035	No Aplica

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 27: Cálculo de Irregularidad Torsional, Verificación en Y-Y

Verificación IRREGULARIDAD TORSIONAL SI ($\Delta Y > \Delta p$) EN Y - Y				
Nivel	Desplazamiento Relativo de Entrepiso (ΔY)	Limite de Desplazamiento Permisible Concreto_Armado	50% del Limite Permisible (Δp)	Irregularidad Torsional
Piso 02	0.003	0.007	0.0035	No Aplica
Piso 03	0.003	0.007	0.0035	No Aplica
Piso 04	0.002	0.007	0.0035	No Aplica
Piso 05	0.001	0.007	0.0035	No Aplica

Fuente: Elaboración Propia

Visto las tablas anteriores se observa que en ambas direcciones "X, Y" los desplazamientos relativos de entrepiso calculados en el ítem 4.8.1 no superan al 50% (0.0035) del límite permisible que indica la norma, por lo que no aplica verificar la irregularidad torsional (no existe irregularidad torsional).

Finalmente se concluye que los factores de irregularidad en planta (I_p) y en altura (I_a) es uno ($I_a=I_p=1.0$), con la cual podemos determinar que la estructura es regular.

4.6.2.6. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R)

Con la verificación de las irregularidades realizado anteriormente, podemos calcular el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R) del proyecto. Este se determina como el producto del coeficiente R_0 determinado en el ítem 4.6.2.2 y los factores de irregularidad I_a , I_p ($I_a=I_p=1.0$, calculado en el apartado anterior), por lo que se concluye que la estructura es REGULAR.

Entonces, $R=R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 8 \cdot 1 \cdot 1$, $R=8$ requerido para el análisis estático y sísmico del edificio detallado en el ítem 4.7 del presente proyecto.

4.6.3. Combinaciones de Carga para el Diseño Sismorresistente.

En Robot Structural, ingresamos a la ficha “Tipo de análisis, Combinación-signo” para colocar los modos dominantes de cada eje (datos del análisis modal, tabla Modos propios de Robot Structural), en la dirección “X” el Modo dos (2) es el que domina, y en la dirección “Y” el primer modo. Se realiza esta operación para que al momento de asignar las combinaciones sísmicas Robot Structural reconozca los signos adecuadamente.

Gráfico 53: Config. Signos de modos dominantes, combinación de cargas.

Caso/Modo	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)
4/ 1	0.56993	0.10244	87.87835
4/ 2	0.47900	85.25239	88.05603
4/ 3	0.44132	86.69830	88.41713
4/ 4	0.18147	86.71676	96.06322
4/ 5	0.15466	94.58858	96.07099
4/ 6	0.13793	94.59117	96.07455
4/ 7	0.10887	96.10492	96.08002
4/ 8	0.10248	96.10746	97.65947
4/ 9	0.07991	96.14169	97.75561
4/ 10	0.07582	97.15969	97.79276
4/ 11	0.07246	97.58550	97.95283

Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural.

Luego de realizar la configuración anterior procederemos a crear las combinaciones de cargas que define la NTE.060: “Concreto Armado”, a continuación, se muestran las combinaciones que se utilizaron para el diseño del edificio:

- $U= 1.4CM + 1.7CV$
- $U= 1.25(CM + CV) + CS$
- $U= 1.25(CM + CV) - CS$
- $U= 0.9CM + CS$
- $U= 0.9CM - CS$

Donde:

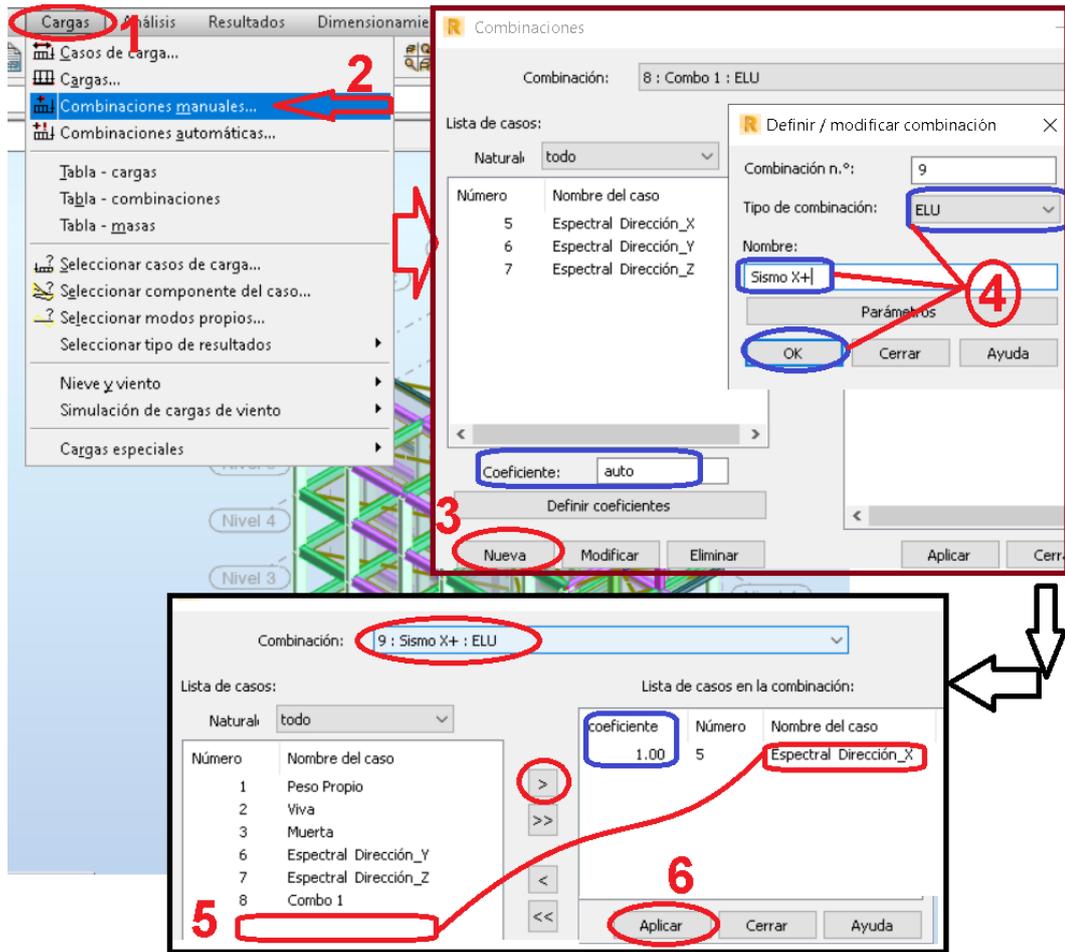
U: Resistencia Requerida.

CM: Carga Muerta.

CV: Carga Viva.

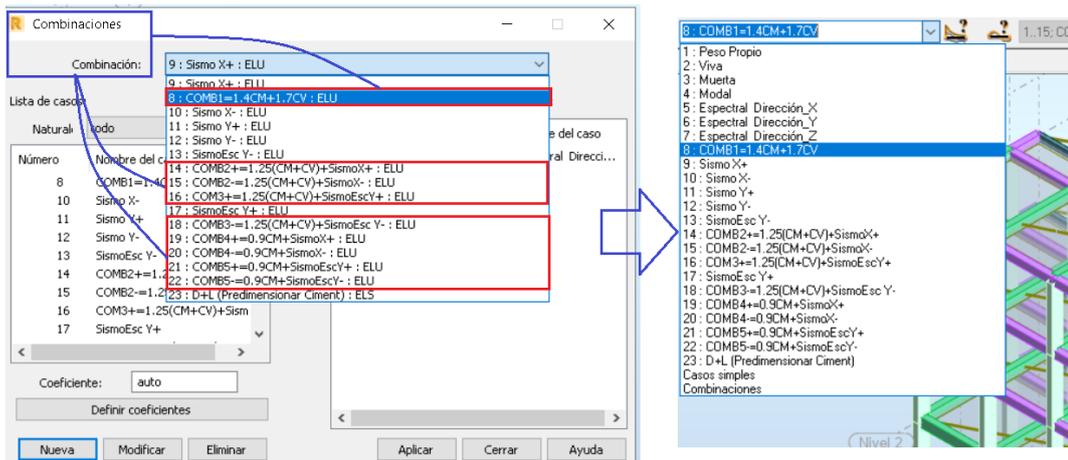
CS: Carga de Sismo.

Gráfico 54: Creación, Combinaciones de Cargas en Robot Structural



Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural.

Gráfico 55: Combinaciones de Cargas en Robot Structural



Fuente: Elaboración Propia, Robot Structural.

Se presenta una lista de los casos de cargas creadas en el programa para el análisis y diseño, con estas cargas se elaboran las combinaciones que sugiere la norma E.060.

Cuadro 28: Combinaciones de cargas para diseño sismorresistente en Robot.

N°	Nombre del caso	Naturaleza	Tipo de Combinación	tipo de análisis
1	COMB1:1.4CM +1.7CV	permanente	ELU	Combinación lineal
2	COMB2:1.25(CM+CV)+Sismo X	permanente	ELU	Combinación lineal
3	COMB3:1.25(CM+CV) - Sismo X	permanente	ELU	Combinación lineal
4	COMB4:1.25(CM+CV)+Sismo Y	permanente	ELU	Combinación lineal
5	COMB5:1.25(CM+CV) - Sismo Y	permanente	ELU	Combinación lineal
6	COMB6: 0.9CM+Sismo X	permanente	ELU	Combinación lineal
7	COMB7: 0.9CM - Sismo X	permanente	ELU	Combinación lineal
8	COMB8: 0.9CM+Sismo Y	permanente	ELU	Combinación lineal
9	COMB9: 0.9CM - Sismo Y	permanente	ELU	Combinación lineal
10	PESO SISMICO DE LA EST.	permanente	ELS	Combinación lineal

Fuente: Elaboración Propia

4.7. Análisis Sísmico Estático y Dinámico del Proyecto.

4.7.1. Análisis Estático

Para realizar el análisis estático necesitamos extraer algunos datos del Robot Structural como el peso del edificio (del primer piso) y los periodos fundamentales que servirán para calcular la cortante basal estática.

Casos de Carga	FZ (tonf) en piso 01
Peso Propio	263.73
Carga Muerta	99.83
Carga Viva	79.86

CM para Peso Sísmico: CM+PP	363.56 tonf
CV para Peso Sísmico: 25%CV	19.97 tonf
PESO SISMICO: CM+25%CV	383.53 tonf

Dirección de Análisis	Periodo Fundamental
X-X	0.48 seg.
Y-Y	0.57 seg.

DATOS
EXTRAIDOS DE
LA
HERRAMEINTA
BIM: ROBOT
STRUCTURAL

En el ítem 4.6 se determinó todos los factores a tener en cuenta para el análisis estático, la cual se rige con la siguiente ecuación de la NTP E.030.

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

Donde:

Z: factor de zona

U: factor de uso

C: factor de amplificación sísmica

S: factor de suelo

R: factor de reducción de las fuerzas sísmicas

P: peso de la edificación (100%CM+25%CV)

Gráfico 56: Estimación del Peso según categoría de la Edificación

NORMA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

4.3 Estimación del Peso (P)

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.**
- c. En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25 % de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100 % de la carga que puede contener.

Fuente: NTP-E.030

Al realizar el análisis estático buscamos calcular el cortante Basal, es decir; la fuerza total en la base (V), teniendo en cuenta los parámetros sísmicos y el Peso sísmico que la norma E.030 indica para edificaciones de categoría C, se calcula considerando el 100% CM + 25%CV

PESO SISMICO: CM+25%CV	383.53 tonf
------------------------	-------------

DATOS SÍSMICOS		
	X-X	Y-Y
TIPO DE ESTRUCTURA:	REGULAR	REGULAR
ZONA SÍSMICA	Z1	
TIPO DE SUELO	S2	
CATEGORÍA	C	
SISTEMA ESTRUCTURAL	PÓRTICOS	PÓRTICOS
IRREGULARIDAD EN ALTURA	REGULAR	REGULAR
IRREGULARIDAD EN PLANTA	REGULAR	REGULAR

ANÁLISIS ESTÁTICO			
	X-X	Y-Y	
Z=	0.1		$T < T_p \quad C = 2,5$ $T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$ $T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$
U=	1		
S=	1.6		
Hn=	13.35		
Ct=	35	35	
T=	0.381	0.381	
C=	2.5	2.5	
R=	8	8	
C/R ≥ 0.125	OK	OK	
CM=	363.56	PP+CM del piso 1	
CV=	79.86	CV piso 1	
P sísmico (ton)=	383.53	P Total (ton)=	443.42
DIRECCIÓN	CORTANTE BASAL		
	V basal (ton)	%P	%V (ton)
X-X	19.18	5.00 %	15.34
Y-Y	19.18	5.00 %	15.34

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

Cortante basal Estático. Como la estructura del proyecto es “Regular” la norma indica que el cortante dinámica de diseño deberá ser mínimo 80% del cortante basal estático ($19.18 \cdot 0.80 = 15.34$), es decir que el cortante basal dinámico sería mayor al 80% del estático.

Por otra parte, verificamos C/R: C=2.5, R=8 para ambas direcciones

$C_x/R_x = 2.5/8 = 0.313 > 0.110$, cumple según norma E.030-2018

$C_y/R_y = 2.5/8 = 0.313 > 0.110$, cumple según norma E.030-2018

4.7.2. Análisis Dinámico

4.7.2.1. Análisis por Combinación Modal Espectral.

El análisis modal espectral es un método que sirve para estimar los desplazamientos y fuerzas en elementos de un sistema estructural. Su base metodológica radica en que la vibración del suelo es transmitida a toda la estructura a través de sus elementos y como consecuencia de ella, las principales masas se mueven o desplazan en forma relativa respecto al suelo. Cada estructura posee una frecuencia propia, determinada fundamentalmente por su rigidez y altura, a la que vibrará frente a cualquier excitación (fuerza) a la que se someta.

La norma sísmica E.030 recurre al concepto de “Espectro de diseño” que permite un fácil cálculo de las fuerzas sísmicas actuando sobre un edificio en función principalmente del tipo de suelo. El espectro es una representación gráfica de la pseudo -aceleración a la que responde una estructura de periodo natural “T” conocido frente a un sismo. (DIEGO A. RODRIGUEZ CUEVAS, 2016).

4.7.2.2. Modos de Vibración y Periodos Resultantes

Los modos de vibración se determinan según los criterios de la norma E.030-2018 en el ítem 4.6.1, para la cual se debe seguir un procedimiento de análisis considerando las características de rigidez y la distribución de masas de la edificación.

A demás la norma indica que “En cada dirección de análisis 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”.

En la siguiente tabla se presenta los modos de vibración y las respectivas masas participantes para cada dirección de análisis.

Cuadro 29: Modos de Vibración, Periodos y Masas Participativas del Proyecto

Modos de Vibración Según Analisis Modal en Robot Strutral					
Caso/Modo	Período (sec)	Masa Participativa		Masa P. de Modos Principales	
		. UX (%)	. UY (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)
4/1	0.570	0.102	87.878	0.102	87.878
4/2	0.479	85.252	88.056	85.150	0.178
4/3	0.441	86.698	88.417	1.446	0.361
4/4	0.181	86.717	96.063	0.018	7.646
4/5	0.155	94.589	96.071	7.872	0.008
4/6	0.138	94.591	96.075	0.003	0.004
4/7	0.109	96.105	96.080	1.514	0.005
4/8	0.102	96.107	97.659	0.003	1.579
4/9	0.080	96.142	97.756	0.034	0.096
4/10	0.076	97.160	97.793	1.018	0.037
4/11	0.072	97.586	97.953	0.426	0.160
4/12	0.067	97.743	98.070	0.157	0.117

Fuente: Extraída de Robot Structural.

De la tabla anterior podemos verificar en primer lugar que la suma de masas efectivas es mayor al 90% que establece la norma E.030 (97.743% para la dirección X; 98.070% para Y), se observa también que los primeros dos modos son los predominantes por tener importantes participación de masas efectivas (85.15% para X, 87.87% para Y), finalmente también nos indica los periodos fundamentales referidos al primer y segundo modo con 0.48s para modo dos en la dirección X y 0.57s para el primer modo en la dirección Y.

4.7.2.3. Aceleración Espectral del Proyecto

En el apartado 4.5.3.5 “Generación del Espectro de Diseño” del presente proyecto se ha determinado en Robot Structural los espectros inelástico de pseudo aceleraciones para cada dirección según los criterios de la norma E.030-2018 que lo define por:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Por lo tanto, tenemos que: $S_a = \frac{0.1 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.6}{8} * 9.81 = 0.4905 \text{ m/s}^2$

En la siguiente tabla se muestra, aceleraciones para diferentes periodos de vibración que sufriría el edificio en las dos direcciones de análisis, estas aceleraciones nos permitirán calcular el espectro de respuesta sísmica para el cálculo de las fuerzas dinámicas.

Gráfico 57: Aceleración Espectral del Proyecto

ACELERACION ESPECTRAL VS PERIODOS				
Periodo (T seg)	C	C/R	ZUCS/R	Sax, Say (m/s ²) (ZUCS/R)*g
0.100	2.500	0.313	0.050	0.491
0.200	2.500	0.313	0.050	0.491
0.300	2.500	0.313	0.050	0.491
0.400	2.500	0.313	0.050	0.491
0.500	2.500	0.313	0.050	0.491
0.600	2.500	0.313	0.050	0.491
0.700	2.143	0.268	0.043	0.420
0.800	1.875	0.234	0.038	0.368
0.900	1.667	0.208	0.033	0.327
1.000	1.500	0.188	0.030	0.294
1.100	1.364	0.170	0.027	0.268
1.200	1.250	0.156	0.025	0.245
1.300	1.154	0.144	0.023	0.226
1.400	1.071	0.134	0.021	0.210
1.500	1.000	0.125	0.020	0.196
1.600	0.938	0.117	0.019	0.184
1.700	0.882	0.110	0.018	0.173
1.800	0.833	0.104	0.017	0.164
1.900	0.789	0.099	0.016	0.155
2.000	0.750	0.094	0.015	0.147
2.100	0.680	0.085	0.014	0.133
2.200	0.620	0.077	0.012	0.122
2.300	0.567	0.071	0.011	0.111
2.400	0.521	0.065	0.010	0.102
2.500	0.480	0.060	0.010	0.094
2.600	0.444	0.055	0.009	0.087
2.700	0.412	0.051	0.008	0.081
2.800	0.383	0.048	0.008	0.075
2.900	0.357	0.045	0.007	0.070
3.000	0.333	0.042	0.007	0.065

Fuente: Diseño Propio

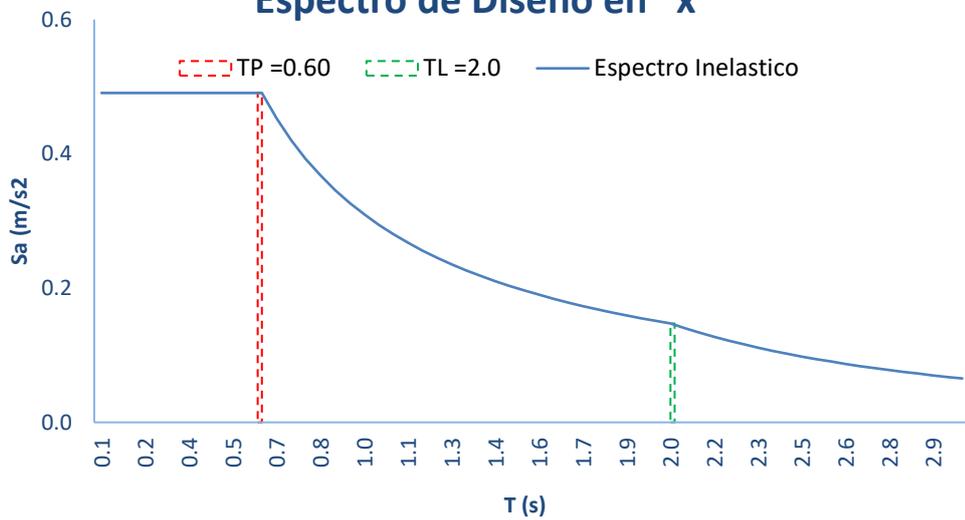
ANÁLISIS DINÁMICO

	X-X	Y-Y
TP=	0.60	
TL=	2.00	
T=	0.57	0.48
C=	0.4	0.5

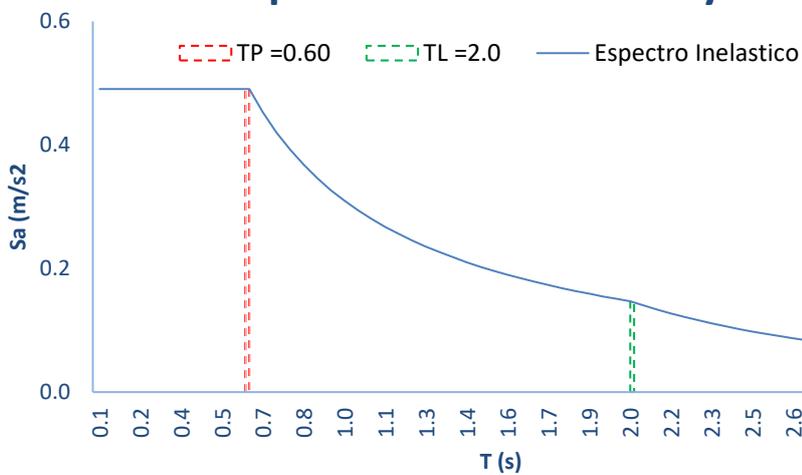
1er y 2do periodo

DIRECCIÓN	CORTANTE BASAL	
	V basal (ton)	%P
X-X	16.57	4.32 %
Y-Y	16.92	4.41 %

Espectro de Diseño en "x"

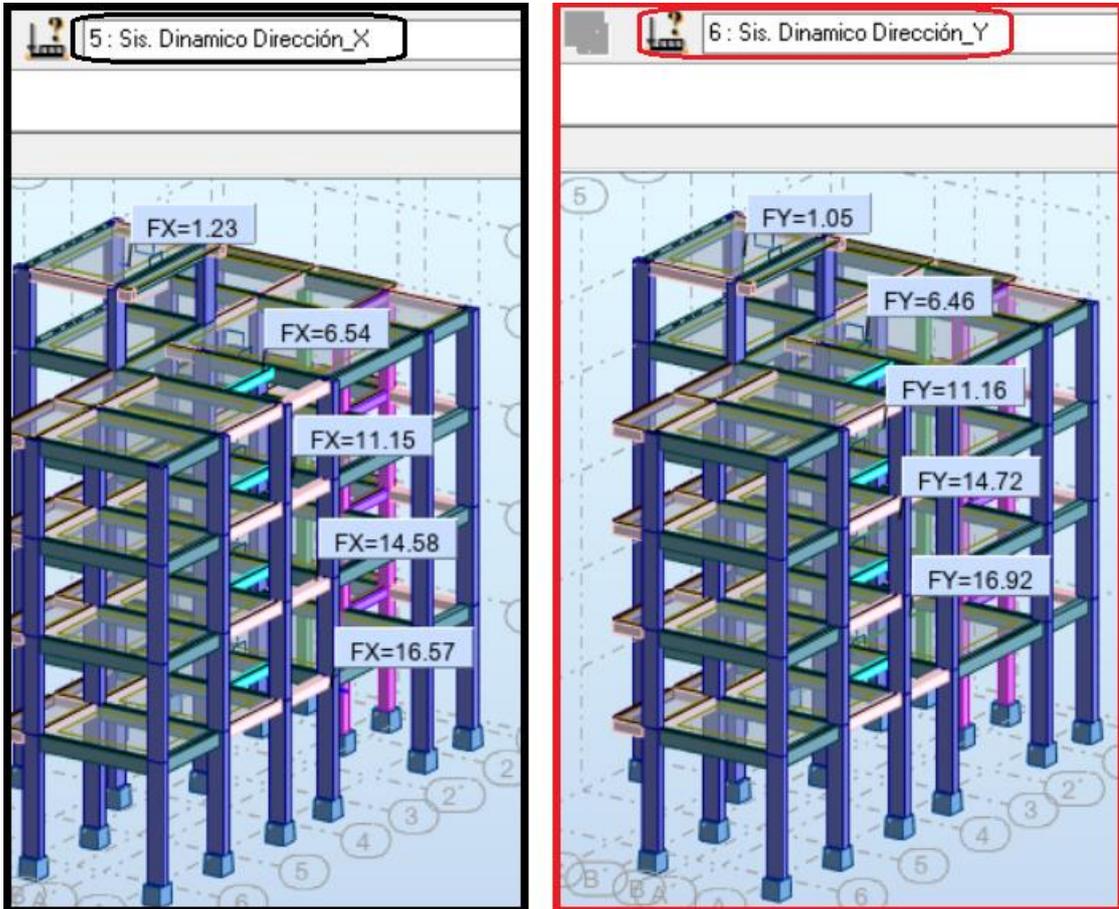


Espectro de Diseño en "y"



En Robot Structural podemos verificar y extraer valores de las fuerzas laterales debido a los casos de carga, en especial, debido al sismo dinámico que es el caso que nos definirá para diseñar la estructura. A continuación, se presenta en un vista 3D y en tablas.

Gráfico 58: Fuerzas laterales en "X, Y", cortante basal dinámica por piso



Fuente: Robot Structural.

Cuadro 30: Distribución de las fuerzas laterales por sismo dinámico en X-X

SISMO DINAMICO X-X (M3-ARSAP)				
PLANTA	G (x,y,z) (m), Centro de Gravedad por Piso			FX (tonf)
	X(m)	Y(m)	Z(m)	
Piso 01	3.79	6.59	2.51	16.57
Piso 02	3.80	6.60	5.37	14.58
Piso 03	3.80	6.60	8.12	11.15
Piso 04	3.71	6.46	10.88	6.54
Piso 05	6.39	6.92	13.17	1.23

Fuente: Extraída de Robot Structural.

Cuadro 31: Distribución de las fuerzas laterales por sismo dinámico en Y-Y

SISMO DINAMICO Y-Y (M3-ARSAP)				
PLANTA	G (x,y,z) (m), Centro de Gravedad por Piso			FY (tonf)
	X(m)	Y(m)	Z(m)	
Piso 01	3.79	6.59	2.51	16.92
Piso 02	3.80	6.60	5.37	14.72
Piso 03	3.80	6.60	8.12	11.16
Piso 04	3.71	6.46	10.88	6.46
Piso 05	6.39	6.92	13.17	1.05

Fuente: Extraída de Robot Structural.

4.7.2.4. Fuerza Cortante Mínima para diseño sismorresistente.

La norma de diseño sismorresistente E.030-2018, nos indica que “Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares”.

A demás indica que, “Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos”.

Como se ha determinado anteriormente el proyecto presenta una estructura regular, por lo que podemos tomar el 80% de la fuerza cortante estática (equivalente del dinámico) en el primer entepiso para diseñar la estructura, es decir que se debe diseñar el proyecto con un cortante mínimo del 80% del cortante estático.

$$FACTOR = \frac{0.8 * V_{estática}}{V_{dinámica}}$$

En la siguiente tabla se determina si es o no necesario escalar el cortante estático comparado con el cortante dinámico que Robot Structural ha calculado.

Sismo	Peso Sísmico, Est. (Tonf)	Estructura	Cortante Estático (Tonf)	80% Cortante Estático	Cortante Dinámico (Tonf)	Factor Escala
X-X	383.53	REGULAR	19.18	15.34	16.57	0.926
Y-Y	383.53	REGULAR	19.18	15.34	16.92	0.906
ESCALAMIENTO DE CORTANTE BASAL						
			X-X	Y-Y		
CORTANTE BASAL ESTÁTICO			19.18	19.18		
CORTANTE BASAL DINÁMICO			16.57	16.92		
ESCALA SÍSMICA			0.93	0.91		

Se verifica que la cortante basal dinámica en “X, Y” calculado por Robot (16.57ton y 16.92ton) superan el 80% del cortante estático (15.34ton) razón por la cual no necesitaría escalar el cortante dinámico, automáticamente se toma este valor para el diseño.

4.8. Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad del Proyecto

4.8.1. Desplazamientos Laterales

En el ítem 5.1 de la norma E.030-2018 nos indica que: “para estructuras regulares los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75R, los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, y, para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por **0,85 R** los resultados obtenidos del análisis lineal elástico”, donde R es el coeficiente básico de reducción sísmica.

Según el ítem 5.2. de la norma E.030-2018, nos menciona que según el tipo material predominante de la estructura, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso (calculado según ítem 5.1) no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que indica en la Tabla N°11 de la misma.

Gráfico 59: Límites para la distorsión del entrepiso

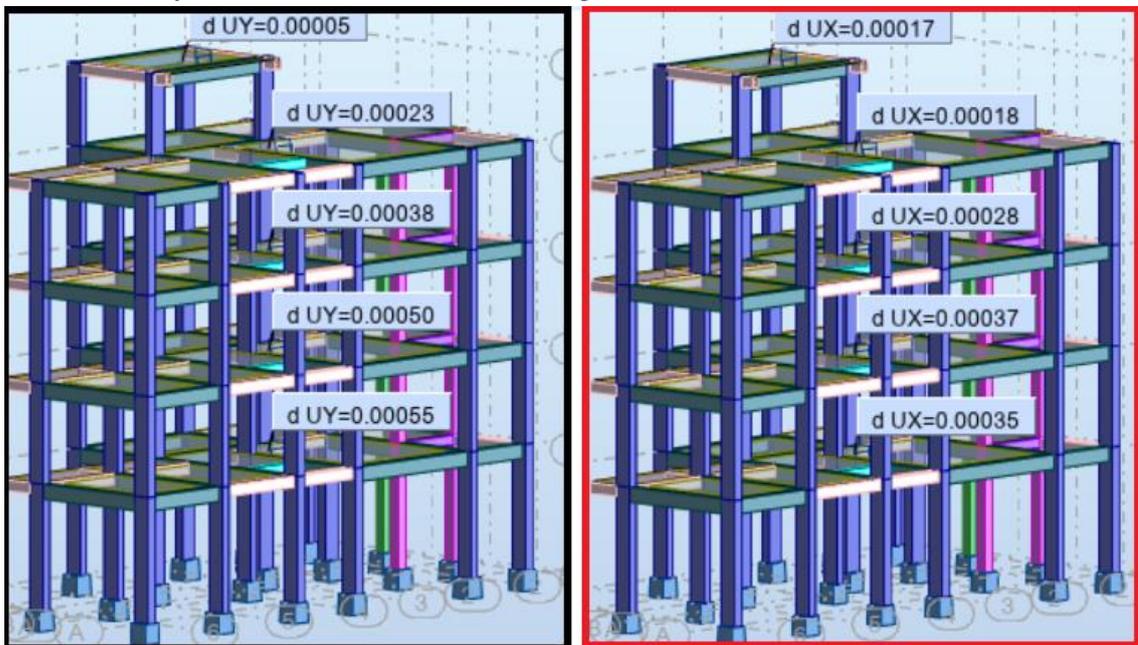
Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: Norma E.030-2018

La norma E.030 nos indica que la deriva (distorsión angular inelástica) para estructuras de concreto armado no puede ser mayor a 0.007 y que esta se calcula del producto $0.75 \cdot R$ para estructuras regulares.

Para determinar la deriva (según la E.030) tomaremos los valores de la distorsión elástica que nos brinda Robot Structural, y multiplicaremos por $I=0.75$ (para estructuras regulares) luego por $R=8$.

Gráfico 60: Vista 3D, distorsión angular elástica d_{UX} , d_{UY} en "X, Y".



Fuente: Diseño propio, Robot Structural.

En las siguientes tablas se calcula las derivas (distorsión angular inelástica según la norma E.030) para cada piso y en cada dirección de análisis.

Cuadro 32: Derivas en la dirección "X" del modelo M3-ARSAP.

Calculo de la deriva en "X" con el analisis Espectral Direccion_X y R=8						
Planta	Desplazamiento por piso UX (cm)	Desplazamiento relativo drUX (cm)	Altura (cm)	Distorsion angular elástica dUX	Distorsion angular inelastica / deriva(Δ)	$\Delta \leq 0.007$, Limite distorsion angular para estructuras de Concreto armado E.03-18
Piso 01	0.000					
Piso 02	0.120	0.120	345	0.00035	0.00209	Cumple
Piso 03	0.221	0.101	275	0.00037	0.00220	Cumple
Piso 04	0.299	0.078	275	0.00028	0.00170	Cumple
Piso 05	0.349	0.050	275	0.00018	0.00109	Cumple

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 33: Derivas en la dirección “Y” del modelo M3-ARSAP

Calculo de la deriva en "Y" con el analisis Espectral Direccion_Y y R=8						
Planta	Desplazamiento por piso UY (cm)	Desplazamiento relativo drUY (cm)	Altura (cm)	Distorsion angular elástica dUY	Distorsion angular inelastica / deriva (Δ)	$\Delta \leq 0.007$, Limite distorsion angular para estructuras de Concreto armado E.03-18
Piso 01	0.000					
Piso 02	0.190	0.190	345	0.00055	0.00330	Cumple
Piso 03	0.327	0.137	275	0.00050	0.00299	Cumple
Piso 04	0.431	0.104	275	0.00038	0.00227	Cumple
Piso 05	0.495	0.064	275	0.00023	0.00140	Cumple

Nota: Para estructuras regulares, el desplazamiento lateral (distorsion, deriva) se calcula del producto $0.75 \cdot R$ - según E.030

Fuente: Elaboración Propia.

El mayor valor de las deriva en ambas direcciones es de 0.004 la cual es menor a la deriva que indica la norma E.030 (0.007), por lo que estamos cumpliendo el control aplicando dicha norma.

4.8.2. Junta de Separación Sísmica

La junta de separación sísmica llamada “S” por la norma E.030-2018, es la distancia mínima de separación entre dos edificios vecinos evitando así el contacto de las estructuras durante un movimiento sísmico.

La norma establece lo siguiente:

Que la distancia o separación no será menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes ni menor que:

$$s = 0,006 h \geq 0,03 m$$

Donde **h** es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar **s**.

Actualmente no existe edificaciones vecinas construidas alrededor del proyecto, es por ello que se toma el segundo enunciado de la norma para el cálculo de la junta sísmica, es decir que calculamos “S” considerando la altura de la edificación que es de 13.35m

$$S = 0.006(13.35) \rightarrow S = 0.080m > 0.03m$$

Por lo tanto, la junta de separación sísmica **s** es: **s= 8 cm**

El retiro del edificio será, según la norma E.030-2018, indica que no se debería tomar menores a S/2 de la junta sísmica calculada. Por lo tanto, se considera el retiro del edificio un valor de 4 cm para cada dirección respectivamente.

En la siguiente imagen se presenta más a detalle el cálculo de los desplazamientos y la junta de separación sísmica.

Gráfico 61: Cálculo de los desplazamientos y Juntas sísmicas del proyecto

DISTORSIONES Y DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS		
	X-X	Y-Y
PISO	1º	1º
MÁXIMA DISTORSIÓN ELÁSTICA	0.0006	0.0004
MÁXIMA DISTORSIÓN INELÁSTICA	0.0033	0.0022
PISO	4º	4º
MÁXIMO DESPLAZAMIENTO ELÁSTICO	0.40 cm	0.51 cm
MÁXIMO DESPLAZAMIENTO INELÁSTICO	2.40 cm	3.06 cm
PISO DE CONTROL	4º	4º
ALTURA DE CONTROL	13.35 m	13.35 m
MÁXIMO DESPLAZAMIENTO ELÁSTICO DE CONTROL	0.40 cm	0.51 cm
MÁXIMO DESPLAZAMIENTO INELÁSTICO DE CONTROL	2.40 cm	3.06 cm
SEPARACIÓN (S)	8.0	8.0
RETIRO (VECINO CON JUNTA)	4.0	4.0
RETIRO (VECINO SIN JUNTA)	8.0	8.0

Fuente: Diseño Propio.

4.9. Diseño de los Elementos Estructurales del Edificio.

Validado ya el modelo estructural M3-ARSAP a partir del modelo M2-ETABS en el ítem 4.2.6 y haber desarrollado el análisis estático, dinámico y los controles respectivos realizados en el apartado anterior, con la ayuda de ARSAP podemos extraer los esfuerzos en cada uno de los elementos estructurales y a partir de estos diseñarlos calculando los aceros.

Seguidamente se presenta el procedimiento de cálculo y diseño para los elementos más representativos componentes de la estructura, posteriormente se realizan comparación de resultados haciendo uso de plantillas de cálculos manuales con PT Mathcad Prime para validar los resultados que se obtienen de Robot Structural. Así mismo, nos ayudaremos de un software de análisis y cálculo externo llamado ETABS para evaluar, comparar y validar resultados del proceso de análisis y diseño de la estructura realizado con Robot.

4.9.1. Diseño de los Elementos con Robot Structural y Cálculos manuales.

En este apartado se presentan los reportes del cálculo de los aceros de los elementos estructurales realizados con el programa Robot Structural y plantillas de cálculos manuales (Mathcad) bajo la norma ACI-319 y la NTP E.060 Diseño de Concreto Armado. Cabe mencionar que se tiene que tener en cuenta algunas consideraciones relevantes para el diseño de concreto armado como se describe a continuación.

Consideraciones para el diseño de concreto armado:

- ✓ El diseño en concreto armado de los elementos estructurales se calculará bajo el concepto de método a la rotura o también llamado diseño por resistencia, la NTP E.060 indica que “deberá proporcionarse a todas las secciones de los elementos estructurales Resistencias de Diseño (ΦR_n) adecuadas, de acuerdo con las disposiciones de esta Norma, utilizando los factores de carga (amplificación) y los factores de reducción de resistencia, Φ , especificados en el Capítulo 9”.
- ✓ El método de diseño por resistencia se basa en 2 condiciones fundamentales:
 - a. Principio del equilibrio estático
 - b. Principio de compatibilidad de deformaciones

La primera condición nos indica que debe satisfacerse el equilibrio entre las fuerzas de compresión y de tracción que actúan en la sección transversal para las condiciones de resistencia nominal. La compatibilidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria del concreto y del refuerzo, para condiciones de resistencia nominal, debe igualmente satisfacerse considerando las suposiciones de diseño permitidas (ACI-318-08, R10.2).
- ✓ Las estructuras y los elementos estructurales deberán diseñarse para obtener en todas sus secciones resistencias de diseño (ΦR_n) por lo menos iguales a las resistencias requeridas (R_u), calculadas para las cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se estipulan en esta Norma (E.060). En todas las secciones de los elementos estructurales deberá cumplirse: $\Phi R_n \geq R_u$.

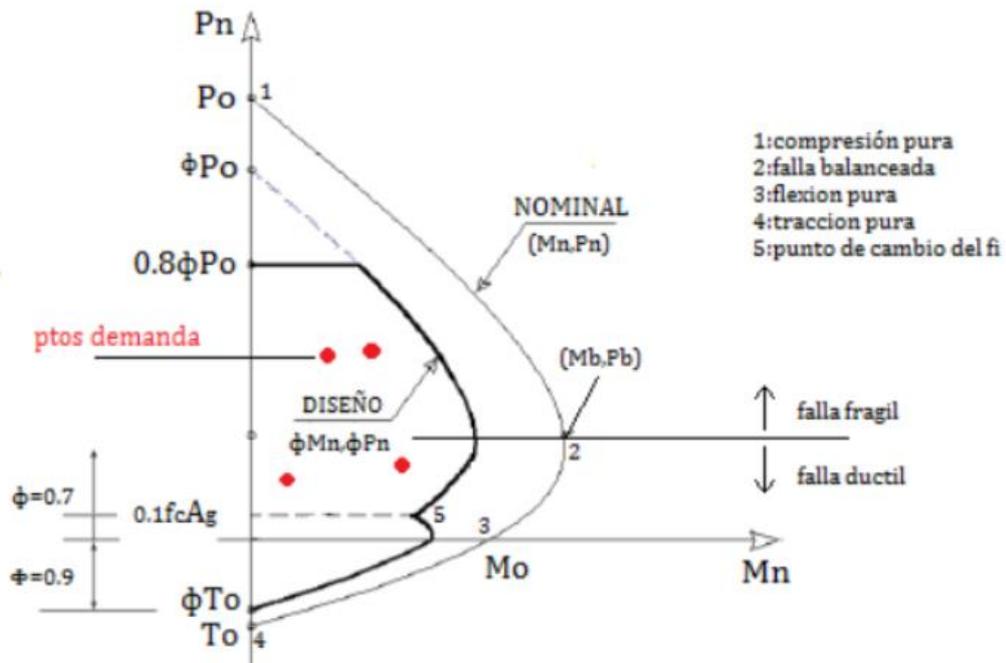
4.9.1.1. Diseño a Flexo-Compresión y Corte de Columnas.

La norma E.060 indica "Las columnas se deben diseñar para resistir las fuerzas axiales que provienen de las cargas amplificadas de todos los pisos, y el momento máximo debido a las cargas amplificadas, considerando la carga viva actuando en solo uno de los tramos adyacentes del piso o techo bajo consideración".

Las columnas están sometidas a fuerzas axiales y momentos debido a los sismos. Pero no toda columna se debe diseñar como un elemento a flexo compresión eso debido a su carga axial ultima, en la norma E060 indica que si el $P_u < 0.1f_c \cdot A_g$ el elemento debe diseñarse y detallarse como viga.

Para este tipo de diseño se tendrá como principio fundamental armar el diagrama de interacción y que los combos del análisis estén dentro del diagrama. El diagrama de interacción es la región geométrica que define la zona en las que cualquier combinación de cargas flexo-compresión pueden ser resistidas por la columna y su armado en la dirección de análisis.

Gráfico 62: Diagrama de Interacción, Columnas.



Fuente: Chipana & Huillca 2019

La norma e.060 nos establece algunas disposiciones para el diseño de las columnas:

- ✓ Resistencia a la compresión del concreto, $f'c$ no será menor que 210 Kg/cm².

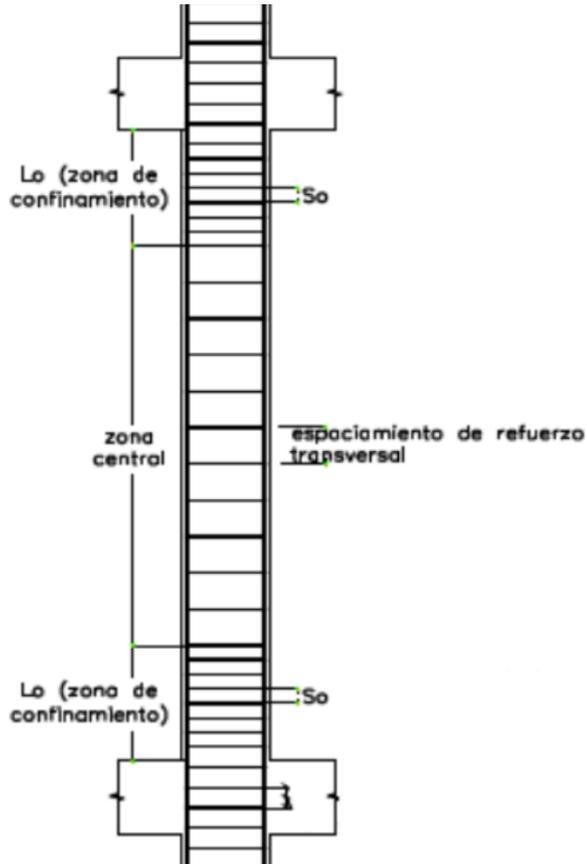
- ✓ La cuantía de refuerzo longitudinal no será inferior al 1% ni superior que 6% que la sección. La cuantía mínima del 1% se obedece al fenómeno del creep o flujo plástico que experimenta el concreto bajo cargas sostenidas, y el máximo se debe para evitar la congestión del refuerzo.

- ✓ **Disposición de los estribos en las columnas:**
 - El espaciamiento S_o no debe exceder al menor entre:
 - Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro;
 - La mitad de la menor dimensión de la sección transversal del elemento;
 - 100 mm.

 - La longitud L_o no debe ser menor que el mayor entre:
 - Una sexta parte de la luz libre del elemento;
 - La mayor dimensión de la sección transversal del elemento;
 - 500 mm.

 - Fuera de la longitud L_o el espaciamiento no será mayor que:
 - la mitad del peralte efectivo
 - 16 veces el diámetro de las barras longitudinales
 - 48 veces el diámetro del estribo
 - La menor dimensión transversal del elemento sometido a compresión
 - La requerida por la fuerza cortante
 - 30 cm

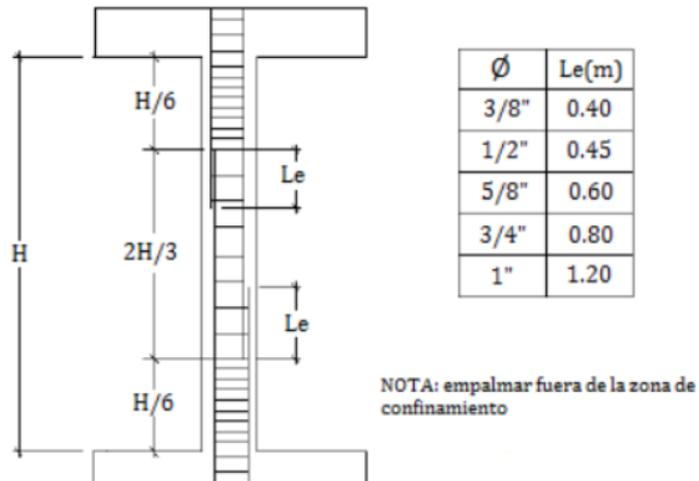
Gráfico 63: Disposición de los estribos en columnas



Fuente: NTP E.060

- ✓ **Empalme por traslape del refuerzo:** Los empalmes en columnas o cualquier elemento estructural se deben empalmar en las zonas de bajos esfuerzos.

Gráfico 64: Longitudes de traslapes en columnas

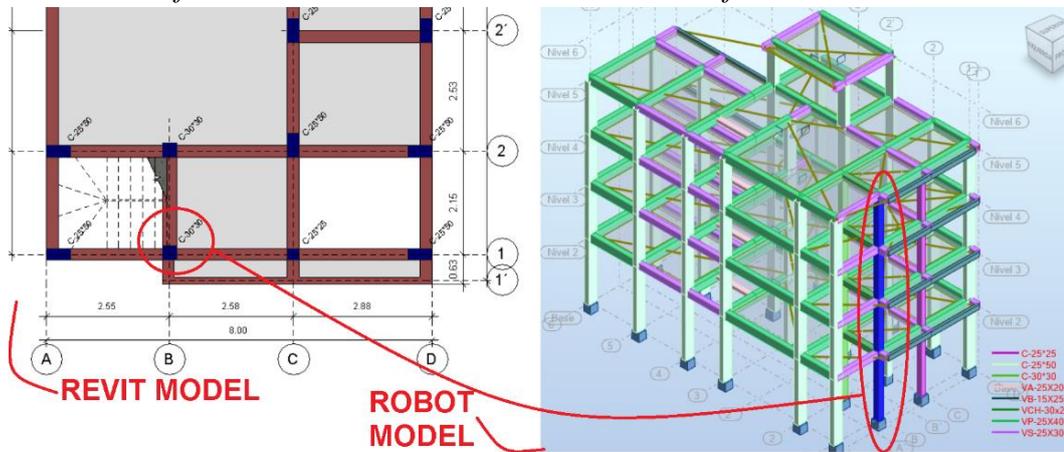


Fuente: Norma E.060

Robot Structural nos puede proporcionar datos para el diseño de las columnas a flexión (acero longitudinal), para el diseño a corte (diseño de estribos) se usará plantilla de cálculo manual en Mathcad, las cuales nos ayudaran a generar los diagramas de integración (corte) de las columnas ya que Robot Structural solo nos proporciona los diagramas de interacción para caso de flexión y la distribución que asigna para los estribos difiere de la norma E.060.

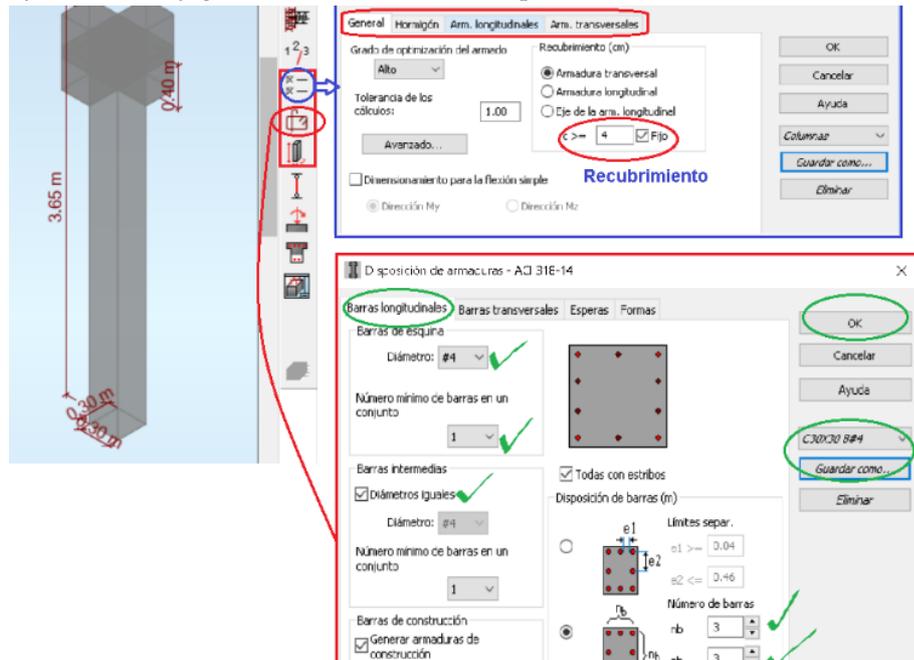
A continuación, se presenta el proceso de diseño de la columna **C-30X30**.

Gráfico 65: Columna C-30X30 sometida a verificación de Diseño



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

Gráfico 66: Configuración de Parámetros para diseño de columnas en Robot.



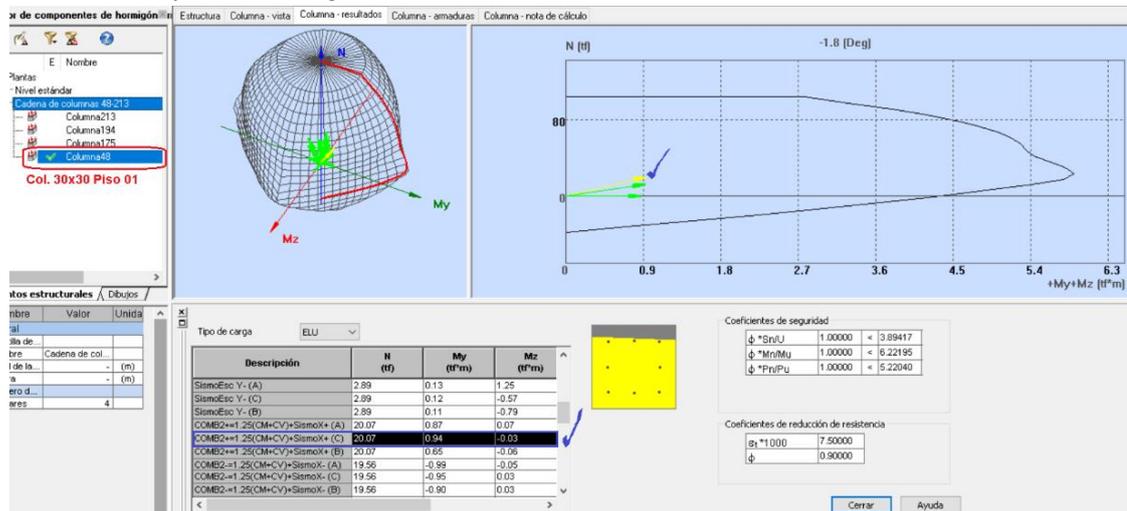
Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

Como se observa en la imagen anterior, se ha configurado algunos parámetros como; recubrimiento, diámetros, distribución de las barras para refuerzo longitudinal, entre otros. Para considerar la cantidad y diámetro de barras se tiene en cuenta la cuantía mínima que indica la norma de 1%.

Verificación de Cuantía Mínima para Columna de 30x30cm					
Varilla	Área Unit. (cm ²)	Cant. Varillas	Área Parcial (cm ²)	Área, Sección Col. (cm ²)	Cuantía
1/2"	1.27	8.00	10.16	900.00	1.13% >1% OK

Luego de correr el cálculo con los parámetros configurados podemos verificar los diagramas de interacción para la columna C-30X30.

Gráfico 67: Diagrama de Interacción de C-30X30 en Robot Structural



Fuente: Robot Structural.

De la figura anterior podemos observar que los valores de la combinación de momento nominal y carga nominal de mayor valor están dentro del área del diagrama de interacción, esto indica que cumple exitosamente la distribución de los aceros planteados para la columna C-30X30.

Además, Robot Structural nos ofrece un reporte de cálculo para cada elemento que se diseñe; en la cual muestra el procedimiento de cálculo, las fórmulas y verificaciones según los parámetros normativos de diseño, dando como resulta un “OK” en caso de cumplirlos.

Gráfico 68: Reporte de cálculo de C-30X30 de Robot Structural

1 Nivel:

- Nombre :
- Cota de nivel : -0.60 (m)
- Resistencia al fuego : 0 (h)
- Tipo de ambiente : no agresivo

2 Columna: Columna48 OK ✓

$\phi *S_n/U = 2.79124 > 1.00000$
 $\phi *M_n/M_u = 3.19545 > 1.00000$
 $\phi *P_n/P_u = 9.61463 > 1.00000$

U, Mu, Pu - Resistencia requerida

2.1 Característica de los materiales:

- Hormigón: : CONCRETO 210 $f_c = 210.00$ (kgf/cm²) ✓
- Densidad : 2400.00 (kG/m³)
- Armaduras longitudinales : $f_y = 4200.00$ (kgf/cm²) ✓
- Armaduras transversales : $f_y = 4200.00$ (kgf/cm²) ✓
- β_1 : 0.85000
- $\beta_1 = a/c$, Coeficiente relativo a la profundidad del bloque de tensión de compresión rectangular
- $\beta_1 = <0,65-0,85>$

2.2 Geometría:

Número de elementos idénticos: 1

- 2.2.1 Rectángulo : 30.00 x 30.00 (cm) ✓
- 2.2.2 Altura: L = 3.65 (m) ✓
- 2.2.3 Espesor de la losa = 0.00 (m)
- 2.2.4 Altura de la viga = 0.00 (m)
- 2.2.5 Recubrimiento de la armadura = 4.00 (cm) ✓

Fuente: Robot Structural.

Realizado el diseño de cada tipo de columna que tiene el proyecto se tiene la distribución de las armaduras longitudinales en la siguiente tabla, las cuales posteriormente serán detalladas en Revit para la cuantificación (metrado) de acero total que requerirá el proyecto.

Cuadro 34: Acero a Utilizar en Colunas del Proyecto

Sección de Col.	Varillas a Usar	Cant. Varillas	Tipo de refuerzo
C-30X30	1/2"	8.00	Longitudinal
C-25X50	5/8"	4.00	Longitudinal
	1/2"	4.00	Longitudinal
C-25X25	5/8"	4.00	Longitudinal

Fuente: Diseño Propio

➤ Diseño de Columna por Corte.

DISEÑO POR CORTE DE COLUMNA RECTANGULAR

1. DATOS DE INGRESO

Datos de la Columna

$b_w := 30 \cdot \text{cm}$	Ancho del alma de la columna.
$L := 30 \cdot \text{cm}$	Dimensión a analizar de la columna.
$H_n := 2.75 \cdot \text{m}$	Altura de entrepiso de la columna.
$r := 4 \cdot \text{cm}$	Recubrimiento de la columna

Datos de los Materiales

$f_c := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Resistencia a la Compresión del concreto.
$f_y := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.
$\phi_v := 0.85$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de corte.

Datos de Fuerzas actuantes sobre la Columna

$N_u := 20.85 \cdot \text{tonnef}$	Fuerza axial última sobre la columna. (compresión en signo (+) y tracción en signo (-))
$V_u := 0.84 \text{ tonnef}$	Fuerza cortante ultima sobre la columna.
$M_n := 5.78 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$	Momento resistente de columna. (del diagrama de interacción)

2. DISEÑO POR CORTE

$diseño := "sismo"$ Si en la columna prevalece el diseño por gravedad colocar "gravedad" a la variable diseño, de igual forma si prevalece el diseño por sismo, colocar "sismo."

$d := L - r - 1 \cdot \text{cm} = 25.000 \text{ cm}$ Peralte efectivo de la Columna.

Tabla de Aceros

$\phi 6\text{mm}$	$\phi 8\text{mm}$	$\phi \#3$	$\phi \#4$	$\phi \#5$	$\phi \#6$	$\phi \#8$	$\phi \#9$	$\phi \#10$	$\phi \#11$
(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)
0.283	0.5	.71	1.29	2	2.84	5.1	6.45	8.19	10.06

$A_v := 2 \cdot \phi \#3 = 1.420 \text{ cm}^2$ Área de acero de refuerzo de cortante.

$A_g := b_w \cdot L = 900.000 \text{ cm}^2$ Área bruta de la sección de columna.

$$V_c := \begin{cases} \text{if } N_u \geq 0 \\ \quad \left\| \left\| V_{ca} \leftarrow 0.53 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot \left(1 + \frac{N_u}{140 \cdot A_g} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \right) \cdot b_w \cdot d \right. \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| \left\| V_{ca} \leftarrow 0.53 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot \left(1 - \frac{(-N_u)}{35 \cdot A_g} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \right) \cdot b_w \cdot d \right. \right. \\ \quad \text{if } 0 \leq V_{ca} \leq 0.93 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b_w \cdot d \cdot \left(1 + \frac{N_u}{35 \cdot A_g} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \right) \\ \quad \left\| V_{ca} \right. \\ \quad \text{else if } V_{ca} < 0 \\ \quad \left\| 0 \cdot \text{tonnef} \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| \left\| 0.93 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b_w \cdot d \cdot \left(1 + \frac{N_u}{35 \cdot A_g} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \right) \right. \right. \end{cases} = 6.714 \text{ tonnef}$$

Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

$$V_{ui} := \frac{2 \cdot M_n}{H_n} = 4.204 \text{ tonnef}$$

Fuerza cortante debida a Momentos resistentes.

$$V_{ud} := \begin{cases} \text{if } \text{diseño} = \text{"sismo"} \\ \quad \left\| \left\| \text{if } V_u \geq V_{ui} \right. \right. \\ \quad \quad \left\| V_u \right. \\ \quad \quad \text{else} \\ \quad \quad \left\| V_{ui} \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| V_u \right. \end{cases} = 4.204 \text{ tonnef}$$

Fuerza cortante de diseño.

$$V_s := \begin{cases} \text{if } V_{ud} \leq V_c \\ \quad \left\| 0 \cdot \text{tonf} \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| \frac{V_{ud} - V_c}{\phi_v} \right. \end{cases} = 0.000 \text{ tonf}$$

Resistencia nominal a cortante proporcionada por el acero de refuerzo de cortante.

$$V_{smax} := 2.1 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \cdot b_w \cdot d = 25.159 \text{ tonf}$$

Resistencia nominal máxima a cortante que debe resistir la sección.

$$s := \begin{cases} \text{if } V_s \leq 0 \\ \quad \left\| 25 \cdot \text{cm} \right. \\ \quad \text{else if } 0 < V_s \leq V_{smax} \\ \quad \quad \left\| \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| \text{"cambiar sección o fc"} \right. \end{cases} = 25.000 \text{ cm}$$

Espaciamiento mínimo calculado entre estribos para la fuerza cortante de diseño.

$$\phi_v V_n := \phi_v \cdot (V_c + V_s) = 5.706 \text{ tonnef}$$

Resistencia al corte

$Verif\grave{t}.01 := \begin{cases} \text{if } \phi_v V_n < V_u \\ \quad \text{"No Cumple dise\~{n}o a corte"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Ok, Cumple dise\~{n}o a Corte"} \end{cases} = \text{"Ok, Cumple dise\~{n}o a Corte"}$	
RESULTADOS DE DISE\~{N}O POR CORTE - COLUMNA	
Resistencia Requerida al cortante $V_u = 0.840 \text{ tonnef}$	Resistencia nominal al cortante $\phi_v V_n = 5.706 \text{ tonnef}$
Espaciamiento m\~{i}nimo entre estribos para la fuerza cortante de dise\~{n}o. $s = 25.000 \text{ cm}$ Usar Estribos seg\~{u}n NTP E.060: 3/8" 1 @0.05, 5@ 0.1m, resto @ $s = 25.000 \text{ cm}$	$Verif\grave{t}.01 = \text{"Ok, Cumple dise\~{n}o a Corte"}$

4.9.1.2. Dise\~{n}o a Flexi3n y Corte de Vigas

Las vigas de la estructura son dise\~{n}adas, principalmente, para resistir esfuerzos de flexi3n y corte. Estos esfuerzos son debido a cargas de gravedad y cargas s\~{i}smicas, dependiendo de la configuraci3n estructural que posea el edificio. Para este caso, como se ha considerado un sistema aporticado, son las columnas los que resisten los esfuerzos s\~{i}smicos, raz3n por la cual en todas las vigas prevalecen tambi3n estos esfuerzos y en base a estos se realiza el dise\~{n}o de las mismas.

El dise\~{n}o de vigas o cualquier elemento estructural, es proporcionar una determinada cantidad de acero que solicita el elemento bajo los esfuerzos solicitados, para el dise\~{n}o de las vigas se utilizaron la norma ACI-318-19. Y la NTP E.060.

Algunas disposiciones m\~{i}nimas que presenta la norma E.060 para vigas con sistema resistente a fuerzas laterales s\~{i}smicas son:

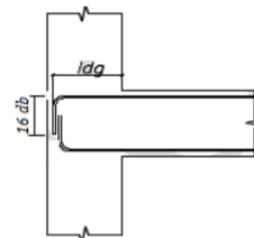
- ✓ Acero m\~{i}nimo en vigas rectangulares: $A_{min} = \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'c}}{f_y} * b * d$
- ✓ En los extremos de las vigas, el momento nominal positivo debe ser por lo menos igual a la tercera parte del momento nominal negativo en ese extremo.

- ✓ En cada extremo de la viga se deben disponer estribos cerrados de confinamiento, estos deben estar en una longitud igual a dos veces el peralte de la viga, medida desde la cara del nudo, estando el primer estribo a una distancia no mayor a 10 cm. El espaciamiento de los estribos de confinamiento debe ser menor o igual a $d/4$, sin ser necesario que el espaciamiento sea menor a 15cm o 10 veces el diámetro del refuerzo longitudinal de menor diámetro o 24 veces el diámetro del refuerzo usado como estribo.
- ✓ **Longitudes normativas de anclaje:** Todos los valores son para un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, siguiendo la ecuación del ítem 12.5.2 E060.

$$l_{d_g} = \frac{0.075 * \psi_E * \lambda * f_y}{\sqrt{f_c}} * db \quad \begin{matrix} \psi_E=1(\text{sin tratamiento con epóxido}) \\ \lambda=1(\text{concreto normales}) \end{matrix}$$

Gráfico 69: Longitudes de desarrollo y ganchos de varillas

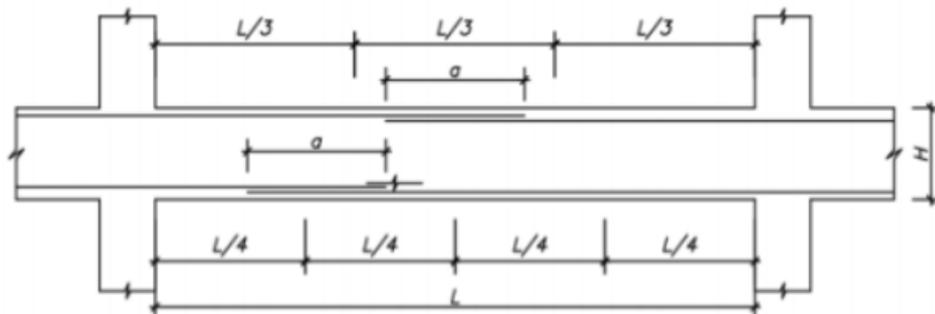
barra	db(cm)	gancho 90° (16 db) ,cm	Ldg(cm)
3/8"	0.95	20	21
1/2"	1.27	20	28
5/8"	1.59	25	35
3/4"	1.91	30	42
1"	2.54	35	56



Fuente: NTP E.060

- ✓ **Empalmes,** Se debe empalmar en las zonas de bajos esfuerzos. Los empalmes dependen de la altura del elemento ya que en peraltes altos el concreto tiende a segregarse y la adherencia del concreto y acero será diferente en la barra superior e inferior.

Gráfico 70: Disposición general de traslapes en vigas



Fuente: Aceros Arequipa

Gráfico 71: Longitudes de Traslapes en Vigas

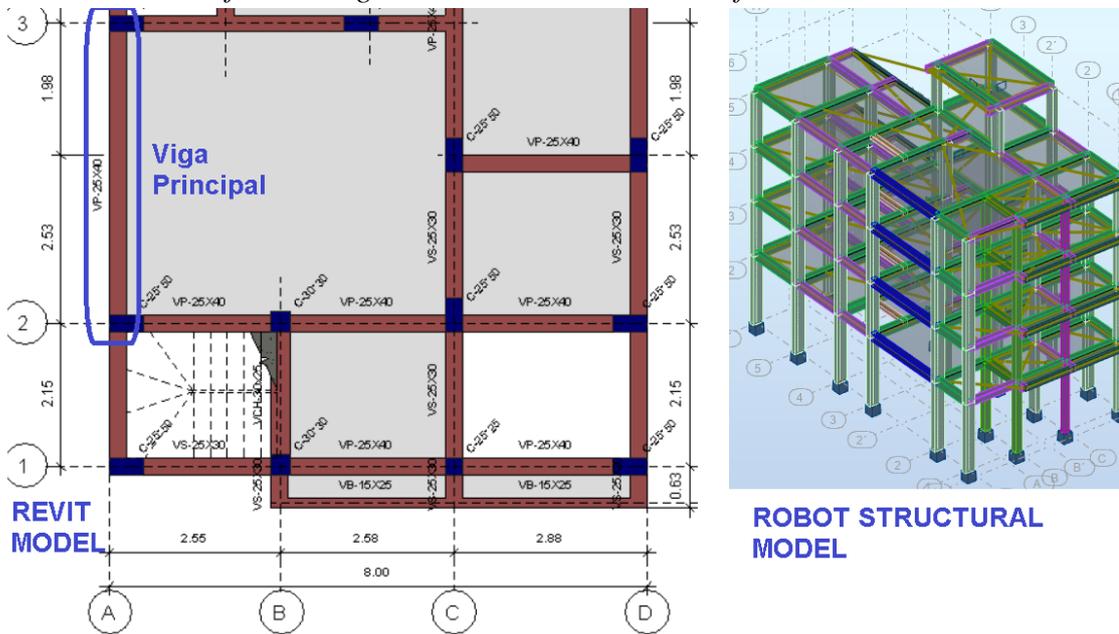
valores de a		
ϕ	ϕ inferior	ϕ superior(h>30)
3/8"	35	45
1/2"	45	60
5/8"	60	75
3/4"	70	90
1"	115	145

Fuente: NTP E.060

➤ **Diseño a Flexión de la Viga VP-25X40 en Robot Structural**

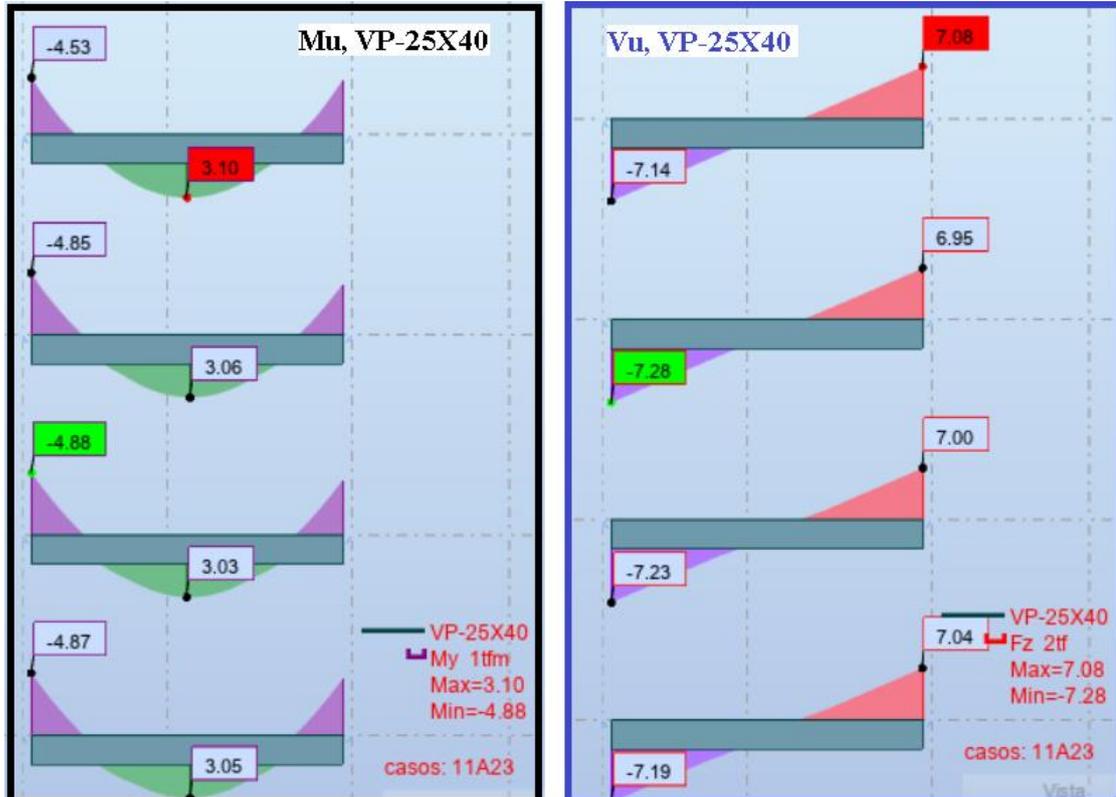
Las vigas de la estructura, marcadas en la siguiente figura, han sido diseñadas según se muestra a continuación.

Gráfico 72: Viga VP-25X40 sometida a verificación de Diseño



Fuente: Diseño Propio, Revit, Robot.

Gráfico 73: Diagramas de Momentos Flectores y Corte de Viga VP-25X40 sometida a verificación de Diseño



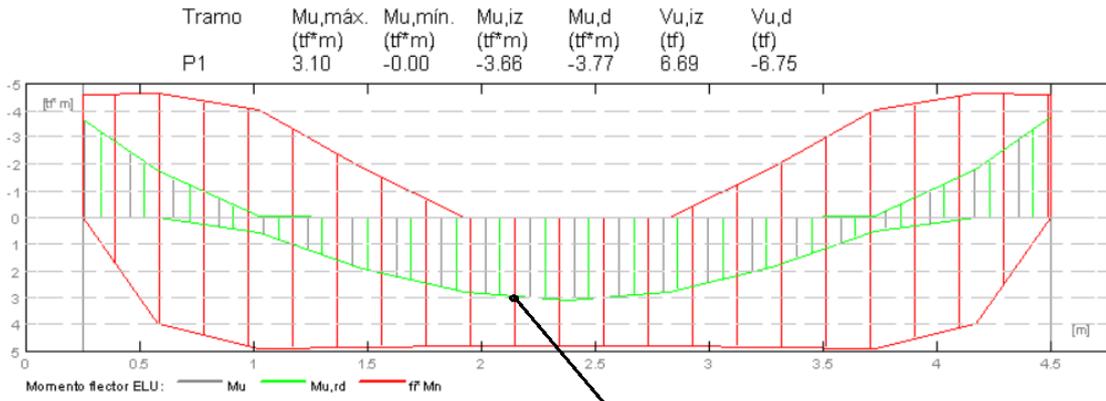
Fuente: Robot Structural.

En la figura anterior se observa los diagramas (momentos y cortantes) generados de la envolvente de combinaciones en Robot Structural, de esto seleccionaremos la viga que tiene mayor sollicitación de momento para el diseño a flexión, es decir la viga del último piso; y para el diseño por corte seleccionaremos la viga del cuarto piso por presentar mayor esfuerzos de corte, de esta manera aseguramos el diseño de todas las vigas VP-25X40 en el eje respectivo.

Igual que en el caso de las columnas, en Robot Structural se configura el recubrimiento, los diámetros de las barras longitudinales y trasversales para diseñar la viga VP-25X40, con estas consideraciones Robot Structural calculará el área de acero requerido para las sollicitaciones de carga última, es decir, con la envolvente según las sollicitaciones respectivas de “Estado Limite Último (ELU)” y “Estado Limite de Servicio (ELS)”.

Gráfico 74: Resultados de diseño VP-25X40, Diagrama de Momento Flector último y Momento nominal resistente.

Solicitaciones ELU

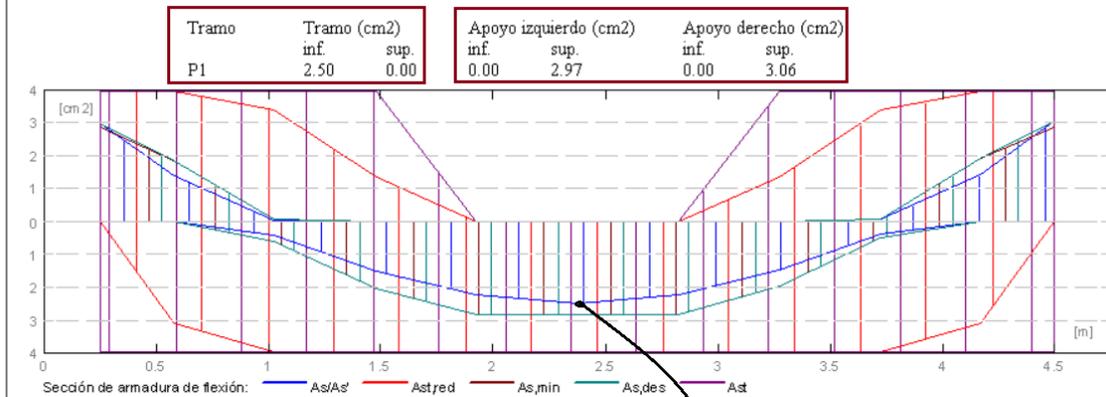


Momento flector ELU:
 x = 2.30 (m) (+) (-)
 Cálculo Mu = 3.05 Mu = 0.00 (tf*m)
 Cálculo tras redistribución Mu,rd = 3.05 Mu,rd = 0.00 (tf*m)
 Resistencia fi*Mn = 4.80 fi*Mn = 0.00 (tf*m)
 (fi*Mn/Mu) sf = 1.57493 sf = -

Fuente: Robot Structural.

Gráfico 75: Resultados de diseño VP-25X40, armadura longitudinal teórica y real.

Sección Teórica de Acero



P1 : Tramo de 0.25 a 4.50 (m)

Abscisa (m)	ELU Mu,máx. (tf*m)	ELU Mu,min. (tf*m)	ELS Mu,máx. (tf*m)	ELS Mu,min. (tf*m)	As (cm2)	As' (cm2)
0.25	0.00	-3.66	0.00	0.00	0.00	2.97
0.58	0.00	-1.74	0.00	0.00	0.00	1.38
1.03	0.59	-0.04	0.00	0.00	0.46	0.03
1.48	1.91	-0.00	0.00	0.00	1.52	0.00
1.93	2.81	-0.00	0.00	0.00	2.26	0.00
2.38	3.10	-0.00	0.00	0.00	2.50	0.00
2.83	2.78	-0.00	0.00	0.00	2.23	0.00
3.28	1.86	-0.00	0.00	0.00	1.48	0.00
3.73	0.49	-0.05	0.00	0.00	0.38	0.04
4.18	0.00	-1.80	0.00	0.00	0.00	1.43
4.50	0.00	-3.77	0.00	0.00	0.00	3.06

Sección de armadura de flexión:
 x = 2.36 (m) (+) (-)
 Teórica As/As' = 2.49 As/As' = 0.00 (cm2)
 Real Ast,red = 3.96 Ast,red = 0.00 (cm2)
 Mínima As,min = 2.85 As,min = 0.00 (cm2)
 Diseño As,des = 2.85 As,des = 0.00 (cm2)
 Armadura total real Ast = 3.96 Ast = 0.00 (cm2)
 (Ast/As,min) sf = 1.39107 sf = -

Armaduras longitudinales:

- Armaduras inferiores ()
- tramo ()
- 2 #5 l = 5.10 de 0.04 a 4.71
- 2 #5 l = 5.10 de 0.04 a 4.71

Fuente: Robot Structural.

Para el diseño, se debe cumplir que, $f_i \cdot M_n$ (momento resistente) mayor o igual que el momento ultimo (M_u) bajo este principio se calculan los aceros longitudinales. Como se observa en el gráfico 74, $MR (f_i \cdot M_n) = 4.80tf \cdot m$ es mayor a $M_u = 3.10tf \cdot m$ lo que indica que se cumple con el diseño, el área de acero teórico calculado por Robot en el gráfico 75 es de $2.50cm^2$ y asigna un área real de $3.96cm^2$ referidas a dos varillas de $5/8"$ ($3.98cm^2$) en la parte inferior y superior de la viga, para esta armadura proporcionada podemos elegir otros diámetros de varillas equivalentes según criterios de diseño.

Luego de diseñar cada tipo de viga del proyecto se tiene la disposición de acero longitudinal en la siguiente Tabla.

Gráfico 76: Disposición de aceros Longitudinales en el tramo centro de vigas.

Tipo de Viga	Momento Ultimo (MU, tonf*m)	Momento Resistente (MR, tonf*m)	Área de Acero Teorico (cm2)	Disposicion de Acero a Usar	Área de Acero Real (cm2)
VP-25X40	3.10	4.80	2.50	3Var. #4 sup/inf.	3.81
VS-25X30	1.27	3.29	1.44	2Var. #4 sup/inf.	2.54
VCH-30x25	0.68	1.73	0.96	2Var. #4 sup/inf.	2.54
VA-25X20	0.48	1.23	0.93	2Var. #4 sup/inf.	2.54
VB-15X25	0.36	1.63	0.51	2Var. #3 sup/inf.	1.42

Fuente: Elaboración Propia.

La siguiente tabla presenta el resumen de la distribución de los aceros longitudinales de las Vigas del proyecto. El cálculo se realizó con la ayuda del programa Robot Structural, considerando los criterios estrictamente de la norma ACI-318-2014. Toda la distribución presentada cumple con las exigencias mínimas de la norma mencionada, posteriormente se adaptará el diseño a la NTP E.060 que difiere poco con el ACI-318-14.

Gráfico 77: Área de acero Longitudinales en vigas.

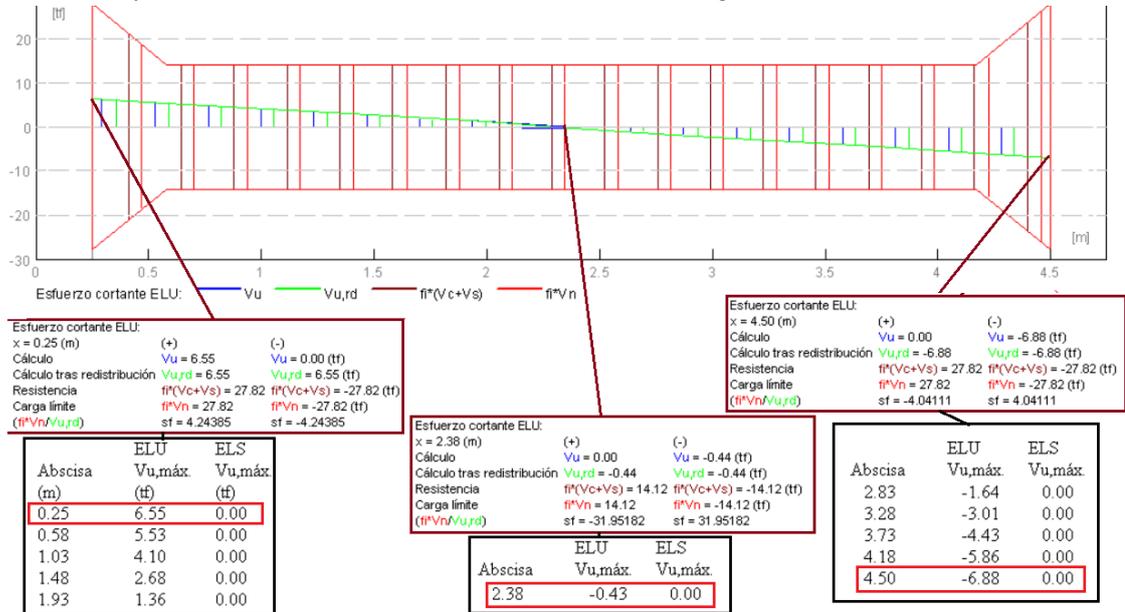
TIPO DE VIGA	Acero Teorico en el Tramo de Viga (cm2)		Acero Teorico en el Apoyo Izquierdo de Viga (cm2)		Acero Teorico en Apoyo Derecho de Viga (cm2)		Área de Acero Total (cm2)
	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	
VP-25X40	2.50	0.00	0.00	2.97	0.00	3.06	3.81
VS-25X30	1.44	0.00	0.00	2.44	0.06	0.68	2.54
VCH-30x25	0.96	0.00	0.02	0.74	0.00	0.83	2.54
VA-25X20	0.93	0.00	0.00	1.23	0.00	0.57	2.54
VB-15X25	0.51	0.00	0.00	0.55	0.00	0.31	1.42

Fuente: Elaboración Propia.

➤ Diseño a Cortante en Robot Structural de la Viga VP-25X40

Para el diseño a corte, se debe cumplir que, $f_i \cdot V_n$ (Cortante nominal) sea mayor o igual que el Cortante ultimo (V_u) bajo este principio se calculan el acero transversal (estribos).

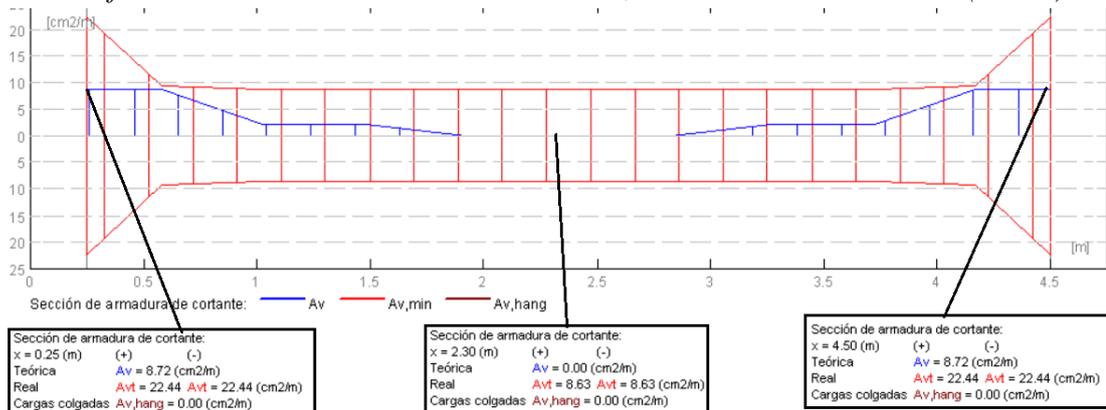
Gráfico 78: Resultados de diseño VP-25X40, Diagrama de Fuerza Cortante.



Fuente: Robot Structural 2020.

Como se observa en la figura anterior, en el tramo de la viga se tiene un $f_i \cdot V_n$ (Cortante nominal) = 14.12tf es mayor a $V_u = 6.8875$ tf en el apoyo derecho de la viga, lo que indica que se cumple con el diseño.

Gráfico 79: Resultados de diseño VP-25X40, armadura teórica acorte (Robot).



Armaduras transversales:

• Armaduras principales ()

estribos 28 #3 l = 1.12
e = 1°0.04 + 1°0.06 + 3°0.15 + 19°0.17 + 3°0.15 + 1°0.06 (m)

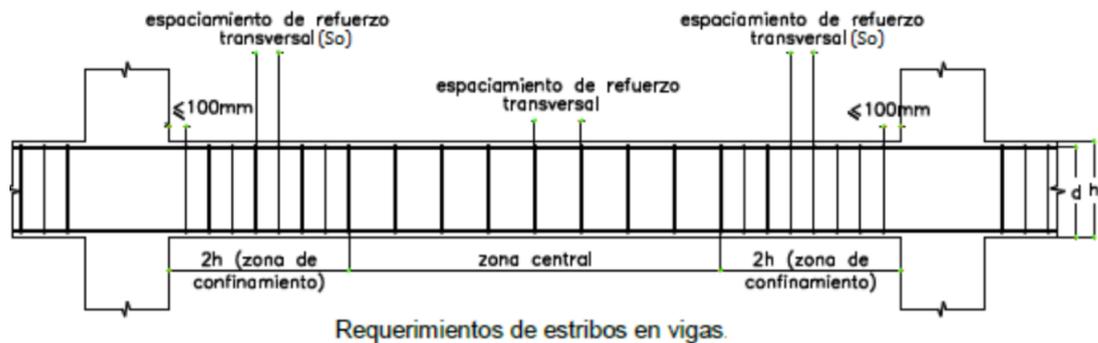
Fuente: Robot Structural 2020.

De la figura anterior, el área de acero a cortante real que Robot proporciona es de $8.63\text{cm}^2/\text{cm}$ referidas a 28 (und) estribos de $3/8''$ en el tramo de la viga, así mismo se observa que en la parte central del tramo de la viga se podría despreciar o no considerar la armadura teórica (colocar mínimo según E.060).

Como en el caso anterior de diseño a flexión, el armado de los estribos es automático en Robot Structural, pero se tendrá cuidado, ya que el diseño por corte el programa lo hace con el ACI 318-14 asignando el coeficiente de reducción por corte de $\phi=0.75$, al contrario, la norma E.060 considera un valor de $\phi=0.85$, por lo que, para la distribución final se hará según indica la NTP E.060:

- a. Debe existir una zona de confinamiento igual a 2 veces el peralte, medido desde la cara del elemento
- b. El 1° estribo debe ir a no más de 10mm
- c. La separación S_o de la zona de confinamiento no debe exceder al menor de:
 - $d/4$, pero no es necesario que el espaciamiento sea menor de 15 cm.
 - 10 veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
 - 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.

Gráfico 80: Disposición de los estribos en vigas



Fuente: norma E060

- d. La separación del tramo central debe estar espaciados a no más de $0.5d$.

A continuación, se presenta el diseño de la viga VP-25X40 a Flexión y Corte de forma manual en Mathcad Prime bajo la NTP E.060, de esta manera poder verificar y comparar con los resultados de Robot Structural.

Cuadro 35: Datos para el diseño de Vigas

Tipo de Viga	Momento Ultimo max en el Tramo (MUmax, tonf*m)	Momento Resistente en el Tramo (MRTram, tonf*m)	Momento Ultimo en Apoyo Iz. (MUlz., tonf*m)	Momento Resistente en Apoyo Izq. (MRlzq., tonf*m)	Momento Ultimo en Apoyo d. (M Ud., tonf*m)	Momento Resistente en Apoyo d. (MRd., tonf*m)	Vu, lz. (tonf)	Vu, d. (tonf)
VP-25X40	3.10	4.80	-3.66	4.61	-3.77	4.61	6.69	-6.75
VS-25X30	1.27	3.29	-2.11	2.03	-0.61	2.05	5.62	-5.42
VCH-30x25	0.68	1.73	-0.53	2.06	-0.58	1.60	2.79	-2.88
VA-25X20	0.48	1.23	-0.62	1.11	-0.29	1.11	2.24	-1.87
VB-15X25	0.36	1.63	-0.38	1.50	-0.22	1.50	1.14	-1.00

Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

DISEÑO DE VIGA RECTANGULAR A FLEXION

1.0 DATOS DEL MATERIAL

$$f_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Resistencia a la compresión del concreto.}$$

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.}$$

2.0 DATOS DE SECCION

$$\begin{aligned} b &:= 25 \text{ cm} && \text{Base de Viga} && \phi &:= 0.9 && \text{Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de flexión.} \\ h &:= 40 \text{ cm} && \text{Peralte de Viga} && && && \\ r &:= 4 \text{ cm} && \text{Recubrimiento} && && && \\ d_j &:= h - (r + 2 \text{ cm}) = 0.34 \text{ m} && && && && \text{Peralte Efectivo} \end{aligned}$$

3.0 SOLICITACIONES

$$M_{U_Extrem_Izq.} := -3.66 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Mu en apoyo izq.} \quad M_{U_Extrem_d.} := -3.77 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Mu en apoyo d.}$$

$$M_{U_Centro} := 3.10 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Momento Ultimo en el tramo centro de la Viga}$$

4.0 DISEÑO POR FLEXION

4.1 - Calculo del Área de Acero en los Apoyos y Tramo Centro de la Viga

Refuerzo con una sola capa

$$\beta_{1_E.060} := \begin{cases} \text{if } f_c \leq 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} & = 0.85 \\ \beta_{1_E.060} \leftarrow 0.85 & \\ \text{else} & \\ \beta_{1_E.060} \leftarrow \text{"Verificar"} & \end{cases} \quad \text{Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.}$$

$$\rho_{balanceada_E.060} := \frac{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_{1_E.060}}{f_y} \cdot \left(\frac{6000 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{6000 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + f_y} \right) = 0.02125 \quad \text{Cuantía de refuerzo que produce condiciones balanceadas de deformación unitaria (para una capa)}$$

$$\rho_{max_E.060} := 0.75 \cdot \rho_{balanceada_E.060} = 0.01594 \quad \text{Cuantía máxima de acero de refuerzo.}$$

$$a := \frac{\rho_{max_E.060} \cdot d_j \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c} = 12.75 \text{ cm} \quad \text{Peralte del block rectangular equivalente de esfuerzos}$$

$$M_{R_max} := \phi \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \left(d_1 - \frac{a}{2} \right) \cdot a \cdot b = 14.15 \text{ tonnef} \cdot m \quad \text{Momento Resistente m\u00e1x.}$$

$$Verif.01 := \begin{cases} \text{if } M_{U_Extrem_Izq} < M_{R_max} \\ \quad \parallel Verif.01 \leftarrow \text{"No se Necesita acero en compresion"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel Verif.01 \leftarrow \text{"Se requiere acero en compresion"} \end{cases} = \text{"No se Necesita acero en compresion"}$$

Area de Acero Para Mu extremo Izq. en Apoyo Izquierdo

$$\phi M_n := \phi \cdot \left(A_s \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{a_1}{2} \right) \right)$$

$$a_1 := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$A_{s_min} := \frac{0.7 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{cm^2}{kgf}} \cdot b \cdot d_1}{f_y \cdot \frac{cm^2}{kgf}}$$

$$A_{s_min} = 2.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_min_ACI} := \frac{14 \cdot b \cdot d_1}{f_y} \cdot \frac{kgf}{cm^2} = 2.833 \text{ cm}^2$$

$$a_1 := \frac{A_s_Mu_extremo_Izq. \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} = 2.8 \text{ cm}$$

$$\phi M_n := \phi \cdot \left(A_s_Mu_extremo_Izq. \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{a_1}{2} \right) \right) = 3.66 \text{ m} \cdot \text{tonnef}$$

$$M_{U_Extrem_Izq.} = -3.66 \text{ m} \cdot \text{tonnef} \quad \text{Verificaci\u00f3n, } f_i \cdot M_n = M_{uizq.}$$

$X := M_{U_Extrem_Izq.}$
 $A_s := 1 \text{ cm}^2$
 $\phi \cdot \left(A_s \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b} \right) \right) + X = 0$
 $A_s_Mu_extremo_Izq. := \text{find}(A_s) = 2.97 \text{ cm}^2$

$$Verif.02 := \begin{cases} \text{if } A_s_Mu_extremo_Izq. > A_{s_min} \\ \quad \parallel Verif.02 \leftarrow \text{"Dise\u00f1o OK"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel Verif.02 \leftarrow \text{"Verificar"} \end{cases} = \text{"Dise\u00f1o OK"}$$

$A_s_Mu_extremo_Izq. = 2.97 \text{ cm}^2$ Disponer varillas

Area de Acero Para Mu centro en el tramo Centro de la Viga

$$Verif.03 := \begin{cases} \text{if } M_{U_Centro} < M_{R_max} \\ \quad \parallel Verif.01 \leftarrow \text{"No se Necesita acero en compresion"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel Verif.01 \leftarrow \text{"Se requiere acero en compresion"} \end{cases} = \text{"No se Necesita acero en compresion"}$$

$Y := M_{U_Centro}$
 $A_s := 1 \text{ cm}^2$
 $\phi \cdot \left(A_s \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b} \right) \right) - Y = 0$
 $A_s_Mu_centro := \text{find}(A_s) = 2.5 \text{ cm}^2$

$$Verif.04 := \begin{cases} \text{if } A_s_Mu_centro > A_{s_min} \\ \quad \parallel Verif.02 \leftarrow \text{"Dise\u00f1o OK"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel Verif.02 \leftarrow \text{"Verificar"} \end{cases}$$

$Verif.04 = \text{"Dise\u00f1o OK"}$

$A_s_Mu_centro = 2.5 \text{ cm}^2$ Disponer varillas

Área de Acero Para Mu_extremo_d. en el apoyo Derecho de la Viga

$$\text{Verif.05} := \begin{cases} \text{if } M_{U_Extremo_d} < M_{R_max} \\ \quad \text{Verif.01} \leftarrow \text{"No se Necesita acero en compresion"} \\ \text{else} \\ \quad \text{Verif.01} \leftarrow \text{"Se requiere acero en compresion"} \end{cases} = \text{"No se Necesita acero en compresion"}$$

$$\begin{aligned} Z &:= M_{U_Extremo_d} \\ A_s &:= 1 \text{ cm}^2 \\ \phi \cdot \left(A_s \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b} \right) \right) + Z &= 0 \\ A_{s_Mu_extremo_d} &:= \text{find}(A_s) = 3.06 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Verif.06} := \begin{cases} \text{if } A_{s_Mu_extremo_d} > A_{s_min} \\ \quad \text{Verif.02} \leftarrow \text{"Diseño OK"} \\ \text{else} \\ \quad \text{Verif.02} \leftarrow \text{"Verificar"} \end{cases}$$

Verif.06 = "Diseño OK"

$A_{s_Mu_extremo_d} = 3.06 \text{ cm}^2$ Disponer varillas

Tabla de aceros

$\phi 6mm$	$\phi \#2$	$\phi \#3$	$\phi \#4$	$\phi \#5$	$\phi \#6$	$\phi \#8$	$\phi \#9$	$\phi \#10$	$\phi \#11$
(cm^2)									
0.283	.317	.71	1.27	1.99	2.84	5.1	6.45	8.19	10.06

4.2 - Capacidad de la Sección por Flexión

Selección de Barras de Acero para Cumplir los Requeridos

$$A_{s1_Izq.} := 3 \cdot \phi \#4 = 3.81 \text{ cm}^2 \quad \text{mayor a} \quad A_{s_Mu_extremo_Izq.} = 2.97 \text{ cm}^2 \quad \text{Para Apoyo Izq.}$$

$$A_{s2_d.} := 3 \cdot \phi \#4 = 3.81 \text{ cm}^2 \quad \text{mayor a} \quad A_{s_Mu_extremo_d} = 3.06 \text{ cm}^2 \quad \text{Para Apoyo derecho.}$$

$$A_{s1_Tramo.} := 3 \cdot \phi \#4 = 3.81 \text{ cm}^2 \quad \text{mayor a} \quad A_{s_Mu_centro} = 2.5 \text{ cm}^2 \quad \text{Para Tramo Central}$$

$$\text{Verfi.As}_{Izq.} := \begin{cases} \text{if } A_{s1_Izq.} \leq A_{s_Mu_extremo_Izq.} \\ \quad \text{Verfi.As} \leftarrow \text{"Acero Insuficiente en Apoyo Izq."} \\ \text{else} \\ \quad \text{Verfi.As} \leftarrow \text{"Acero OK en Apoyo Izq."} \end{cases} = \text{"Acero OK en Apoyo Izq."}$$

$$a_{Izq.} := \frac{A_{s1_Izq.} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} = 3.59 \text{ cm}$$

$$\text{Verfi.As}_d := \begin{cases} \text{if } A_{s2_d.} \leq A_{s_Mu_extremo_d} \\ \quad \text{Verfi.As} \leftarrow \text{"Acero Insuficiente en Apoyo derecho."} \\ \text{else} \\ \quad \text{Verfi.As} \leftarrow \text{"Acero OK en Apoyo derecho."} \end{cases} = \text{"Acero OK en Apoyo derecho."}$$

$$a_d := \frac{A_{s2_d.} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} = 3.59 \text{ cm}$$

$$\text{Verfi.As}_{Tramo.} := \begin{cases} \text{if } A_{s1_Tramo.} \leq A_{s_Mu_centro} \\ \quad \text{Verfi.As} \leftarrow \text{"Acero Insuficiente en Tramo"} \\ \text{else} \\ \quad \text{Verfi.As} \leftarrow \text{"Acero OK en Apoyo Tramo Centro."} \end{cases} = \text{"Acero OK en Apoyo Tramo Centro."}$$

$$a_{tramo.} := \frac{A_{s1_Tramo.} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} = 3.59 \text{ cm}$$

Momentos Resistentes, barrillas de acero seleccionados.

$$\phi M_{n_d} := \phi \cdot A_{s2_d} \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{a_d}{2} \right) = 4.64 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$\phi M_{n_{izq.}} := \phi \cdot A_{s1_{Izq.}} \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{a_{izq.}}{2} \right) = 4.64 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$\phi M_{n_{Tramo.}} := \phi \cdot A_{s1_{Tram.}} \cdot f_y \cdot \left(d_1 - \frac{a_{tram.}}{2} \right) = 4.64 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$Verif.M_{n_{izq.}} := \begin{cases} \text{if } \phi M_{n_{izq.}} \leq M_{U_Extrem_Izq.} \\ \quad \text{"No cumple el dise\u00f1o, REVISAR"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Dise\u00f1o OK, en Apoyo Izq."} \end{cases}$$

$$Verif.M_{n_d} := \begin{cases} \text{if } \phi M_{n_d} \leq M_{U_Extrem_d} \\ \quad \text{"No cumple el dise\u00f1o, REVISAR"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Dise\u00f1o OK, en Apoyo derecho."} \end{cases}$$

$$Verif.M_{n_{izq.}} = \text{"Dise\u00f1o OK, en Apoyo Izq."}$$

$$Verif.M_{n_d} = \text{"Dise\u00f1o OK, en Apoyo derecho."}$$

$$Verif.M_{n_{Tramo.}} := \begin{cases} \text{if } \phi M_{n_{Tramo.}} \leq M_{U_Centro} \\ \quad \text{"No cumple el dise\u00f1o, REVISAR"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Dise\u00f1o OK, en Tramo central."} \end{cases}$$

$$Verif.M_{n_{Tramo.}} = \text{"Dise\u00f1o OK, en Tramo central."}$$

Ratios

$$ratio_{Izq.} := \frac{M_{U_Extrem_Izq.}}{\phi M_{n_{izq.}}} = -0.79$$

$$ratio_{Tram.} := \frac{M_{U_Centro}}{\phi M_{n_{Tramo.}}} = 0.67$$

$$ratio_d := \frac{M_{U_Extrem_d}}{\phi M_{n_d}} = -0.81$$

$$verif.dise\u00f1o := \begin{cases} \text{if } ratio_{Tram.} > 1 \\ \quad verif.dise\u00f1o \leftarrow \text{"FALLA POR FLEXION"} \\ \text{else} \\ \quad verif.dise\u00f1o \leftarrow \text{"SE CUMPLE DISE\u00d1O A FLEXION, OK"} \end{cases}$$

RESULTADOS DE DISE\u00d1O A FLEXION	
Acero Real a Usar	Acero Te\u00f3rico, Requerido
$A_{s1_{Izq.}} := 3 \cdot \phi \#4 = 3.81 \text{ cm}^2$	$A_s_{Mu_extremo_Izq.} = 2.97 \text{ cm}^2$ Para Apoyo Izq.
$A_{s2_d} := 3 \cdot \phi \#4 = 3.81 \text{ cm}^2$	$A_s_{Mu_extrem_d} = 3.06 \text{ cm}^2$ Para Apoyo derecho
$A_{s1_{Tram.}} := 3 \cdot \phi \#4 = 3.81 \text{ cm}^2$	$A_s_{Mu_centro} = 2.5 \text{ cm}^2$ Para Tramo Central
Momentos resistentes:	Momentos solicitantes:
$\phi M_{n_{izq.}} = 4.64 \text{ tonnef} \cdot m$	$M_{U_Extrem_Izq.} = -3.66 \text{ tonnef} \cdot m$ En Apoyo Izq.
$\phi M_{n_d} = 4.64 \text{ tonnef} \cdot m$	$M_{U_Extrem_d} = -3.77 \text{ tonnef} \cdot m$ En Apoyo derecho.
$\phi M_{n_{Tramo.}} = 4.64 \text{ tonnef} \cdot m$	$M_{U_Centro} = 3.1 \text{ tonnef} \cdot m$ En Tramo Central
$ratio_{Tram.} = 0.67$	Si los momentos resistentes son mayores a los solicitados, se cumple el dise\u00f1o de la viga por flexi\u00f3n.
$verif.dise\u00f1o = \text{"SE CUMPLE DISE\u00d1O A FLEXION, OK"}$	

DISEÑO SISMICO DE VIGA A CORTE

1.0 DATOS DE INGRESO

$n := 2$	Número de horquillas de los estribos.
$d_s := \phi\#3$	Diámetro de la varilla de acero de refuerzo a utilizar en los estribos.
$A_v := d_s \cdot n = 1.42 \text{ cm}^2$	Área de acero de refuerzo por corte.
$L_n := 4.25 \text{ m}$	Longitud de Viga entre apoyos
$\phi_v := 0.85$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de corte.

2.0 SOLICITACIONES

$M_{n1} := 4.61 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$	Momento nominal al extremo izquierdo de la viga.		
$M_{n2} := 4.61 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$	Momento nominal al extremo derecho de la viga.		
$V_u := 6.69 \text{ tonnef}$	Esfuerzo de Corte ultimo máximo sobre el apoyo de la viga		
$CM := 1.627 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	Carga Muerta sobre la Viga	$CV := 0.513 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$	Carga Viva sobre la Viga

$W_u := 1.25 \cdot (CM + CV) = 2.675 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$ Carga Ultima distribuida sobre la viga

$V_{hiper} := \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_n} = 2.17 \text{ tonnef}$ Corte Hiperestático

$V_{iso} := \frac{W_u \cdot L_n}{2} = 5.684 \text{ tonnef}$ Corte Isostático

$V_{diseño} := V_{hiper} + V_{iso} = 7.85 \text{ tonnef}$ Cortante de diseño

$\phi_v V_c := \phi_v \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot b \cdot d_1 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 5.55 \text{ tonnef}$ **Capacidad del concreto a Corte**

$Verif.07 := \begin{cases} \text{if } \phi_v V_c < V_u \\ \quad \text{"Se Necesita Estribar, Calcular la Zona de Confinamiento"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No requiere estribos, Usar el As minimo"} \end{cases}$ = "Se Necesita Estribar, Calcular la Zona de Confinamiento"

Resistencia a cortante proporcionada por el concreto: $V_c := 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot b \cdot d_1 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 6.53 \text{ tonnef}$

$V_s := \frac{V_u}{\phi_v} - V_c = 1.34 \text{ tonnef}$ Resistencia a cortante proporcionada por el acero de refuerzo.

$V_{smax} := 2.1 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot b \cdot d_1 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 25.87 \text{ tonnef}$ Resistencia a cortante max proporcionada por el acero de refuerzo.

$V_n := V_c + V_s = 7.87 \text{ tonnef}$ Cortante Nominal

$\phi \cdot V_n := \phi_v \cdot V_n = 6.69 \text{ tonnef}$ Capacidad Neta de la sección

$$V_s_{requerido} := V_u - \phi_v \cdot V_c = 1.14 \text{ tonnef}$$

$$verif_g := \begin{cases} \text{if } V_u \leq \phi_v V_n \\ \quad \left\| \begin{array}{l} verif_g \leftarrow \text{"Dimencion de la secc. transversal OK"} \\ \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} verif_g \leftarrow \text{"Error, Dimension de la secc. no adecuada"} \\ \end{array} \right\| \end{cases} = \text{"Dimencion de la secc. transversal OK"}$$

$$ratio_{corte} := \begin{cases} \text{if } V_u \leq \phi_v V_n \\ \quad \left\| \begin{array}{l} ratio_{corte} \leftarrow \frac{V_u}{\phi_v V_n} \\ \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} ratio_{corte} \leftarrow \text{"Error, Acero Insuficiente"} \\ \end{array} \right\| \end{cases} = 1$$

$$A_{v_s_{min}} := \left(\frac{V_u - \phi_v \cdot V_c}{\phi_v \cdot f_y \cdot d_1} \right) = 0.009 \frac{cm^2}{cm} \text{ Estribo neto que se requiere}$$

Espaciamiento para cumplir Vs: Con Estribos 3/8"

$$S := \frac{f_y \cdot A_v \cdot d_1}{V_s} = 151.07 \text{ cm} \quad \text{Espaciamiento, Zona de Confinamiento de la viga}$$

Espaciamiento máximo entre estribos.

$$S_{max} := \min \left(\frac{d_1}{2}, \frac{f_y \cdot A_v}{3.5 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \cdot b} \right) = 17 \text{ cm} \quad \text{Usar estribos de } 3/8" \text{ } 1@ 0.05, 3@ 0.10 \text{ resto } @ S_{max} = 17 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE DISEÑO A CORTE

Capacidad Por Corte

$$V_n = 7.87 \text{ tonnef}$$

Cortante Solicitante

$$V_u = 6.69 \text{ tonnef}$$

$$ratio_{corte} = 1$$

$$\text{Estribo Neto : } A_{v_s_{min}} = 0.01 \frac{cm^2}{cm}$$

Cortante del concreto

$$\phi_v \cdot V_c = 5.55 \text{ tonnef}$$

Separación Máxima de Estribos en Zona de Confinamiento.

$$S_{max} = 17 \text{ cm}$$

$$verif_g = \text{"Dimencion de la secc. transversal OK"}$$

Longitud, Zona de Confinamiento de Estribos: $S = 151.07 \text{ cm}$

Usar estribos de 3/8" 1@ 0.05, 3@ 0.10 resto @ $S_{max} = 17 \text{ cm}$

4.9.1.3. Diseño a Flexión y Corte de Losa Aligerada y Maciza

Las losas soportan las cargas de cada nivel en el edificio y sirven de diafragma para la transferencia de fuerzas sísmicas a los elementos verticales. Por conformar un diafragma rígido, estas losas no reciben fuerzas sísmicas directamente, por lo que su diseño se basa netamente en cargas de gravedad.

4.9.1.3.1. Diseño de Losa Aligerada

El diseño de losas aligeradas se entiende como el diseño de las viguetas que la conforman, éstas tienen forma semejante a una viga de sección T y pueden ser tratadas en su diseño como vigas T o como vigas de sección rectangular, ya que la variación de resistencia entre una y otra es muy pequeña, debido a que la zona de las alas de la viga T sólo tiene 5 cm de altura o peralte. La losa aligerada se diseña como una viga simplemente apoyada con sección rectangular, con un ancho de 0.10m y peralte de $h= 20\text{cm}$.

➤ Consideraciones Generales para el diseño de Losas:

- ✓ Se realiza diseño por flexión y por corte: Mediante el diseño por flexión se determina el área de acero necesario para resistir los momentos flectores últimos, mientras que con el diseño por cortante se verifica si la sección de concreto de la vigueta es la adecuada para resistir la fuerza cortante de la sección crítica.
- ✓ Considerar el refuerzo mínimo por flexión según la Norma E.060 que indica “el momento resistente debe ser mayor en 1.5 veces al momento de agrietamiento para asegurar la falla dúctil”, de igual modo y bajo el mismo concepto se fija la cantidad máxima de acero en tracción en función del 75% de la cantidad de acero necesario para producir la falla balanceada.

Gráfico 81: Aceros Max y min según peralte de losa aligerado

Peralte (h) m	Ig cm ⁴	As+ mín. cm ²	As- mín. cm ²	As+ máx. cm ²	As- máx. cm ²
0.17	7275	0.53	1.17	7.01	2.23
0.20	11800	0.61	1.29	7.50	2.71
0.25	22700	0.74	1.47	8.29	3.50
0.30	38430	0.86	1.63	9.08	4.31

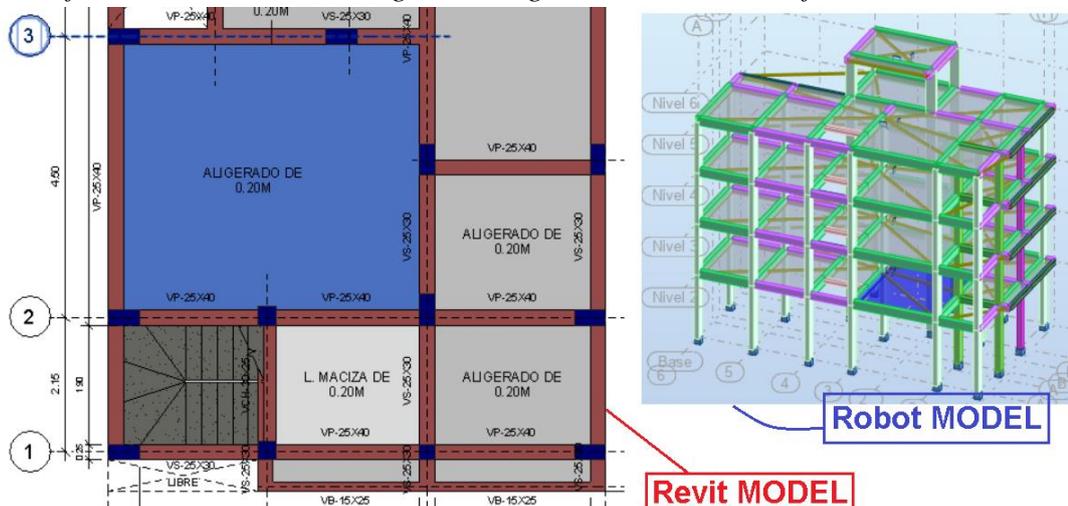
Fuente: norma E.060

- ✓ La resistencia al cortante está en función solamente del concreto existente en la sección, sin tomar en cuenta el aporte del acero porque en viguetas no existen refuerzos transversales o estribos que puedan ayudar a la resistencia por corte.

- ✓ Para el diseño de losas aligeradas solo se considera las cargas de gravedad que actúan sobre ellas, es decir solo consideramos la carga muerta y la carga viva; debido a que las losas de techo no reciben fuerzas ni momentos sísmicos (Diafragmas Rígidos). Por tanto, las cargas se amplificarán de acuerdo a la combinación: 1.4CM+1.7CV.

Teniendo esto en cuenta se diseñó las losas aligeradas del proyecto, a continuación, se presenta el diseño de la losa aligerado que se muestra en la siguiente figura referente al techo del primer piso.

Gráfico 82: Paño de Losa Aligerada, Vigueta sometida a verificación de Diseño



Fuente: Diseño Propio, Revit, Robot Structural.

Para el diseño de vigueta realizamos el siguiente Metrado:

Cuadro 36: Metrado de cargas para diseño de vigueta

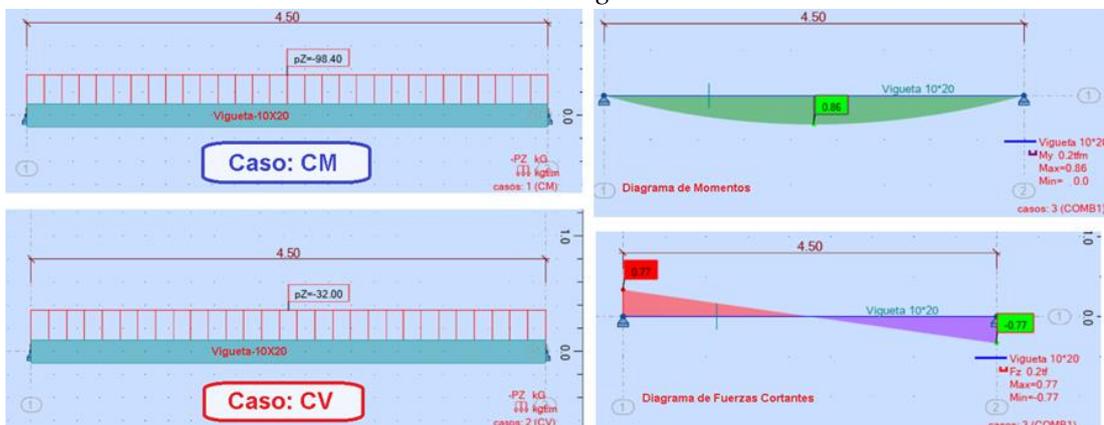
METRADO DE CARGAS		Vigueta: 10x20 cm	
CARGA MUERTA	PESO/M2 (kg/m2)	Ancho Trib.(m)	Peso/m (kg/m)
PP LOSA Alig., e=20cm	300.00	0.30	90.00
PISO TERMINADO	100.00	0.40	40.00
TABIQUERIA	150.00	0.40	60.00
ACABADO CIELORASO	20.00	0.40	8.00
PP. VIGA			48.00
Total CM:			246.00

CARGA VIVA	PESO/M2 (kg/m ²)	Ancho Trib.(m)	Peso/m (kg/m)
S/C VIVIENDA	200.00	0.40	80.00
Total CV:			80.00
CARGAS	W(kgf/m) Par.	N° de Viguetas	W(kgf/m)
CM	246.00	2.50	98.40
CV	80.00	2.50	32.00
CARGA ULTIMA:	1.4CM+1.7CV	192.16	kg/m

Fuente: Elaboración propia.

La losa se modela como una viga simplemente apoyada de sección de 0.10m y una altura de y 0.20 m. En las siguientes figuras se muestran el análisis realizado para la losa ubicada en los ejes 2 - 3 y A – C.

Gráfico 83:Asignación de Carga Muerta, Carga Viva, Diagrama de momentos, Cortantes sobre vigueta a diseñar.



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural

Con los datos obtenidos de Momento y Cortante se diseña la Vigueta del paño seleccionado.

DISEÑO DE LOSA ALIGERADA

1. DATOS DE INGRESO

Datos de Sección de la Losa

$$h := 20 \cdot \text{cm}$$

Espesor de la losa aligerada.

$$b := 10 \cdot \text{cm}$$

Ancho de la base de la vigueta o nervadura.

$$r := 2 \cdot \text{cm}$$

Recubrimiento de la losa.

Datos de los Materiales

$$f_y := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

$$f_c := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia a la compresión del concreto.

$$\phi_f := 0.9$$

Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de flexión.

$$\phi_c := 0.85$$

Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de corte.

$$\beta_1 := 0.85$$

Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro. ($\beta_1 = 0.85$ hasta $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)

Datos de Fuerzas actuantes sobre la vigueta

$$M_u := 0.86 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento flector último sobre la vigueta.

$$V_{ud} := 0.77 \cdot \text{tonnef}$$

Cortante último sobre la vigueta

2. CÁLCULOS PREVIOS

$$d := h - (r + 1 \cdot \text{cm}) = 17 \text{ cm}$$

Peralte efectivo de la vigueta.

$$E_c := 15000 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{kgf}^{0.5}}{\text{cm}} = 217370.651 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de elasticidad del Concreto.

3. DISEÑO POR FLEXIÓN

$$\rho := \left\| \begin{array}{l} x \leftarrow .000001 \\ f(x) \leftarrow M_u - \phi_f \cdot f_c \cdot b \cdot d^2 \cdot x \cdot (1 - 0.59 \cdot x) \\ w \leftarrow \text{root}(f(x), x) \\ \frac{w \cdot f_c}{f_y} \end{array} \right\| = 0.009 \quad \text{Cuantía calculada a flexión.}$$

$$\rho_{min} := 0.0018$$

Cuantía mínima para losas.

$$A_s := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \rho_{min} > \rho \\ \left\| \rho_{min} \cdot b \cdot h \right\| \\ \text{else} \\ \left\| \rho \cdot b \cdot d \right\| \end{array} \right\| = 1.493 \text{ cm}^2$$

Área de acero de refuerzo calculado por flexión.

ϕ mm	ϕ #2	ϕ #3	ϕ #4	ϕ #5	ϕ #6	ϕ #8	ϕ #9	ϕ #10	ϕ #11
(cm^2)									
0.283	.317	.71	1.29	2	2.84	5.1	6.45	8.19	10.06

$A_{sr} := 1 \cdot \phi\#5 = 2 \text{ cm}^2$ Área de acero de refuerzo proporcionado por flexión.

$M_n := \left(1 - \left(1 - \frac{A_{sr} \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} \right)^2 \right) \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 = 1.107 \text{ tonnef} \cdot m$ Momento nominal para el área de refuerzo proporcionado.

$Verif.01 := \begin{cases} \text{if } M_n < M_u \\ \quad \text{"Falla por Flexion"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Cumple Diseño a Flexion"} \end{cases} = \text{"Cumple Diseño a Flexion"}$

4. DISEÑO POR CORTE

$V_c := 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{kgf^{0.5}}{cm} \cdot b \cdot d = 1.306 \text{ tonnef}$ Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

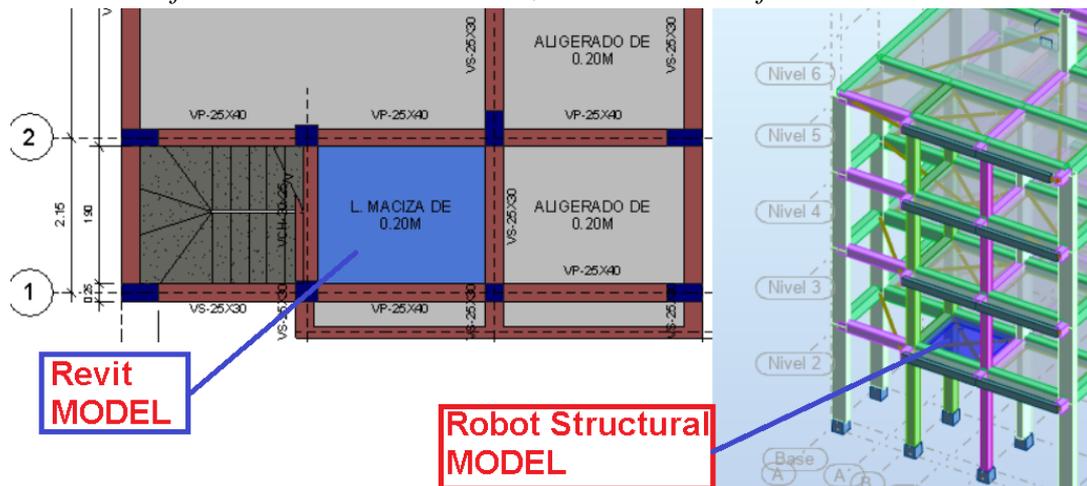
$Verif.02 := \begin{cases} \text{if } V_c \geq V_{ud} \\ \quad \text{"Espesor adecuado"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Cambiar espesor o ensanchar"} \end{cases} = \text{"Espesor adecuado"}$

RESULTADOS DE DISEÑO			
$A_{sr} := 1 \cdot \phi\#5 = 2 \text{ cm}^2$	Acero real a usar por flexión.	$A_s = 1.493 \text{ cm}^2$	Acero requerido por flexión.
$M_n = 1.107 \text{ tonnef} \cdot m$	Momento Resistente	$M_u = 0.86 \text{ tonnef} \cdot m$	Momento Solicitante
$V_c = 1.306 \text{ tonnef}$	Capacidad por Corte	$V_{ud} = 0.77 \text{ tonnef}$	Cortante Solicitante
$Verif.01 = \text{"Cumple Diseño a Flexion"}$		$Verif.02 = \text{"Espesor adecuado"}$	
Acero de temperatura	$\phi 6mm @ 40 \text{ cm}$		

4.9.1.3.2. Diseño de Losa Maciza

Se diseña la losa maciza que se encuentra en la parte frontal de la vivienda (junto a la escalera).

Gráfico 84: Paño de Losa Maciza sometida a verificación de Diseño



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

DISEÑO DE LOSA MACIZA

1. DATOS DE INGRESO

Datos de Sección de la Losa

$h := 20 \cdot \text{cm}$	Espesor de la losa maciza.
$b := 100 \cdot \text{cm}$	Ancho tributario de diseño (1.00 m).
$r := 2 \cdot \text{cm}$	Recubrimiento de la losa.

Datos de los Materiales

$f_y := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.
$f_c := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Resistencia a la compresión del concreto.
$\phi_f := 0.9$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de flexión.
$\phi_c := 0.85$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de corte.

Datos de Fuerzas actuantes sobre la Losa

$M_u := 0.482 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$	Momento flector último por metro.
$V_{ud} := 1.382 \cdot \text{tonnef}$	Cortante último por metro

Nota: Se determinó el Momento flector y el cortante último con el método de los coeficientes que indica la NTP E.060 para el diseño de losas macizas en dos direcciones (Caso 9, 3 bordes continuos).

2. CÁLCULOS PREVIOS

$$d := h - (r + 1 \cdot \text{cm}) = 17 \text{ cm}$$

Peralte efectivo de la vigueta.

$$E_c := 15000 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{\text{kgf}^{0.5}}{\text{cm}} = 217370.651 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de elasticidad del Concreto.

3. DISEÑO POR FLEXIÓN

$$\beta_1 := \begin{cases} \text{if } f'_c \leq 280 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \parallel 0.85 \\ \text{else if } 280 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} < f'_c \leq 570 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \parallel \left(\frac{f'_c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} - 280 \right) \cdot (0.65 - 0.85) \\ \quad \parallel \frac{}{570 - 280} + 0.85 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.65 \end{cases} = 0.85$$

Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.

$$\rho := \begin{cases} x \leftarrow .000001 \\ f(x) \leftarrow M_u - \phi_f \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 \cdot x \cdot (1 - 0.59 \cdot x) \\ w \leftarrow \text{root}(f(x), x) \\ \frac{w \cdot f'_c}{f_y} \end{cases} = 0.0004 \quad \text{Cuantía calculada a flexión.}$$

$$\rho_{\min} := 0.0018$$

Cuantía mínima para losas.

$$A_{sc} := \begin{cases} \text{if } \rho_{\min} > \rho \\ \quad \parallel \rho_{\min} \cdot b \cdot h \\ \text{else} \\ \quad \parallel \rho \cdot b \cdot d \end{cases} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Área de acero de refuerzo calculado por flexión.

Tabla de Aceros

$\phi 6\text{mm}$	$\phi \#2$	$\phi \#3$	$\phi \#4$	$\phi \#5$	$\phi \#6$	$\phi \#8$	$\phi \#9$	$\phi \#10$	$\phi \#11$
(cm^2)									
0.283	.317	.71	1.29	2	2.84	5.1	6.45	8.19	10.06

$$A_{sr1} := 1 \cdot \phi \#3 = 0.71 \text{ cm}^2 \quad A_{sr2} := 0 \cdot \phi \#3 = 0 \text{ cm}^2 \quad \text{Disposición de Acero para la malla}$$

$$s_{\text{calc}} := \frac{A_{sr1} + A_{sr2}}{A_{sc}} = 0.197$$

Espaciamiento de acero de refuerzo

$$s_1 := 0.2 \cdot m \quad s_2 := 0.2 \cdot m$$

$$A_s := \frac{1 \cdot m}{s_1} \cdot A_{sr1} + \frac{1 \cdot m}{s_2} \cdot A_{sr2} = 3.55 \text{ cm}^2$$

Área de acero de refuerzo proporcionado por flexión.

$$M_n := \left(1 - \left(1 - \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} \right)^2 \right) \cdot 0.85 \cdot \frac{\phi_f \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2}{2} = 2.225 \text{ tonnef} \cdot m$$

Momento nominal para el área de refuerzo proporcionado.

$$Verif.01 := \begin{cases} \text{if } M_n < M_u \\ \quad \text{"Falla por Flexion"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Cumple Diseño a Flexion"} \end{cases} = \text{"Cumple Diseño a Flexion"}$$

DISEÑO POR CORTE

$$\phi_c V_c := \phi_c \cdot \left(0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{kgf^{0.5}}{cm} \cdot b \cdot d \right) = 11.098 \text{ tonnef}$$

Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

$$verif.02 := \begin{cases} \text{if } \phi_c V_c \geq V_{ud} \\ \quad \text{"Espesor adecuado, Ok Diseño Corte"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Cambiar espesor o ensanchar"} \end{cases} = \text{"Espesor adecuado, Ok Diseño Corte"}$$

RESULTADOS DE DISEÑO

$A_{sr1} := 1 \cdot \phi \#3$	Disposición Acero (malla)	$A_s = 3.55 \text{ cm}^2$	Acero proporcionado por flexión.
$M_n = 2.225 \text{ tonnef} \cdot m$	Momento Resistente	$M_u = 0.482 \text{ tonnef} \cdot m$	Momento Solicitante
$\phi_c V_c = 11.098 \text{ tonnef}$	Capacidad por Corte	$V_{ud} = 1.382 \text{ tonnef}$	Cortante Solicitante
$s_1 := 0.2 \cdot m$ $s_2 := 0.2 \cdot m$	Espaciamiento de acero de refuerzo para malla c/varillas de 3/8" @ 20cm		
$verif.02 = \text{"Espesor adecuado, Ok Diseño Corte"}$		$Verif.01 = \text{"Cumple Diseño a Flexion"}$	

4.9.1.4. Diseño de Cimentación: Zapata Aislada

El diseño de la cimentación (zapata) es parte fundamental del proyecto, ya que estas son las que permiten transmitir las cargas que soporta la estructura hacia el suelo, de modo que no sobrepase la capacidad portante del suelo. Su diseño dependerá por tanto no solo de las características del edificio sino también de la naturaleza del terreno.

Uno de los parámetros más importante en el diseño de cimentaciones es el valor de la capacidad portante o admisible del suelo. Para el diseño de la zapata de este proyecto, se utilizará como referencia un estudio de suelos realizado para un proyecto (Institución Educativa) en la zona de Pebas, Loreto del año 2017.

En la siguiente imagen se presenta los resultados según el estudio mecánica de suelos realizado por el laboratorio de suelos, concreto y asfalto “GEO_CONCRET”. En el anexo 01 se presenta de manera más detallada el resultado de este estudio.

Gráfico 85: Capacidad admisible del terreno (proyecto referencial, Pebas)

CUADRO N° 01 - CAPACIDAD ADMISIBLE					
Elementos estructurales (super estructura)	Profundidad de cimentación		Capacidad Admisible $q_{adm} =$ (Kg/cm ²)	Tipo de cimentación	Recomendaciones
	Sector	D_{rmin} (m)			
COLUMNAS, VIGAS DE AMARRE, COBERTURA DE MADERA	C-1 AL C-5	1.50	0.86	Zapatas conectadas a través de vigas de cimentación obligatoriamente armadas ortogonalmente de C°A°.	Incrementar 0.10m de profundidad por debajo del nivel de cimentación, para un solado de C° pobre C:A.-1:8. Compactar en las secciones excavadas para la construcción de las zapatas

Fuente: Laboratorio GEO_CONCRET-2017 – Iquitos.

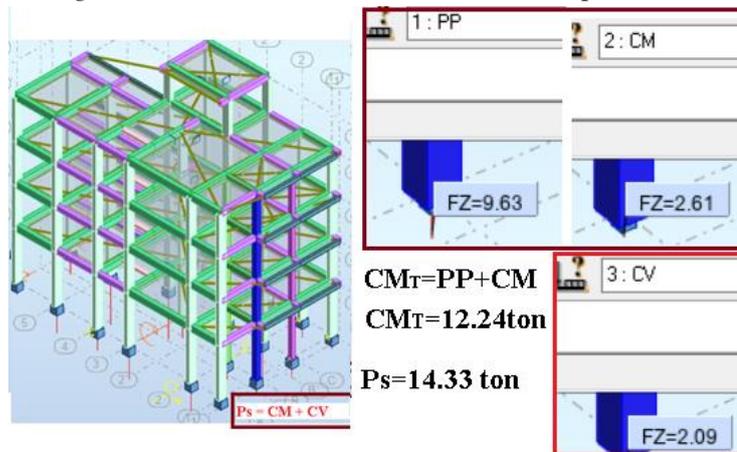
➤ **Consideraciones Para el Diseño de zapatas.**

- ✓ Según la NTP E.060 el área de la zapata se debe determinar a partir de las fuerzas y momentos no amplificados (en servicio) transmitidos al suelo, debe determinarse a partir de la resistencia admisible del suelo establecida en el estudio de mecánica de suelos.
- ✓ La principal función de las zapatas es absorber las cargas de los elementos verticales y trasmitir, estos al terreno.
- ✓ Determinar el área de la zapata tal que los esfuerzos transmitidos hacia el suelo sean menores al esfuerzo admisible del suelo.
- ✓ Se debe verificar el corte por flexión y punzonamiento, todo el cortante toma (resiste) solo el concreto, ya que las zapatas no llevan estribos.

➤ **Cargas de Servicio para el diseño de Zapatas.**

- ✓ Del análisis realizado en Robot Structural se obtiene la carga de servicio CM, CV (caga muerta y carga viva) las cuales usaremos para diseñar las zapatas de la edificación. En las siguiente figura se observa estos datos obtenidos de Robot Structural.

Gráfico 86: Cargas de servicio en la columna C-30x30 para el diseño de Zapata



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

Con la carga de servicio (P_s) obtenidos de Robot Structural y la capacidad admisible del suelo ($q_{adm} = 0.86 \text{ kg/cm}^2$) según estudio mecánica de suelos, se procede al diseño de la zapata como se muestra a continuación.

DISEÑO DE ZAPATA AISLADA	
1. DATOS DE INGRESO	
Datos de la Columna y Cargas	
$b := 30 \text{ cm}$	Ancho de la Columna
$l := 30 \text{ cm}$	Largo de la Columna
$d_{b_col} := \frac{1}{2} \text{ in}$	Mayor diámetro barra de la Columna
$P_L := 2.09 \text{ tonnef}$	Carga Viva
$P_D := 12.24 \text{ tonnef}$	Carga Muerta
$P_S := P_L + P_D = 14.33 \text{ tonnef}$	Carga de Servicio (Dimensionamiento)
$P_U := 1.4 \cdot P_D + 1.7 \cdot P_L = 20.69 \text{ tonnef}$	Carga Ultima de Diseño (Calculo de Acero)
Datos de los Materiales	
$f'_c := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Resistencia a la compresión del concreto.
$f_y := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.
$\phi_f := 0.9$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de flexión.
$\phi_c := 0.85$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de corte.
2. DIMENSIONAMIENTO DE ZAPATA	
$D_f := 1.0 \text{ m}$	Altura de desplante (Fondo de Cimentación)
$q_{adm} := 0.86 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Tensión admisible del terreno (Capacidad de Carga Admisible del Terreno)
$rec := 7.5 \text{ cm}$	Recubrimiento para zapatas

Calculo del Área de Zapata:

$$A_{req} := \frac{P_S}{q_{adm}} = 1.67 \text{ m}^2$$

Largo de Zapata: $L := \text{Ceil}(\sqrt{A_{req}}, 5 \text{ cm}) = 1.3 \text{ m}$

Ancho de Zapata: $A := L = 1.3 \text{ m}$

Área de Zapata: $A_z := A \cdot L = 1.69 \text{ m}^2$

Capacidad neta admisible del suelo: $\sigma_{neta_adm} := \frac{P_S}{A_z} = 0.85 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Calculo de Altura de Zapata:

Para la barra de refuerzo 1/2" $d_{b_col} = 1.27 \text{ cm}$ Diámetro de la barra igual que la columna

Según NTP E-0.60, Lds se toma el mayor de: $L_{ds} := \max\left(0.075 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \cdot d_{b_col}, 0.0044 \cdot f_y \cdot d_{b_col} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}}\right)$

Longitud de desarrollo para elementos a compresión $L_{ds} = 27.61 \text{ cm}$

Diámetro barra para zapata en ambos sentidos (igual que col.) $\phi_{1_2_pulg_Zapata} := 2 \cdot d_{b_col} = 2.54 \text{ cm}$

Altura de Zapata: $H_Z := L_{ds} + \phi_{1_2_pulg_Zapata} + rec = 37.65 \text{ cm}$
 $H_Z := \text{Ceil}(H_Z, 5 \text{ cm}) = 40 \text{ cm}$ Verificar por corte y punzonamiento

Peralte Efectivo de Zapata: $d := H_Z - rec - d_{b_col} = 31.23 \text{ cm}$

Esfuerzo Ultimo en el Terreno: $q_u := \frac{P_S}{A_z} = 8.479 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$

$\text{Verif_Resistencia} := \begin{cases} \text{if } q_{adm} > \sigma_{neta_adm} \\ \text{ "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{ "No Cumple, Verificar"} \end{cases}$	$\text{Verif_Planta} := \begin{cases} \text{if } A_z > A_{req} \\ \text{ "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{ "No Cumple,"} \end{cases}$
---	---

$\text{Verif_Resistencia} = \text{"Cumple"}$ $\text{Verif_Planta} = \text{"Cumple"}$

3. VERIFICACION POR CORTE A FLEXION

El esfuerzo cortante actúa a una distancia del peralte efectivo "d" desde la cara de la columna

Análisis para la Dimensión A: $A = 1.3 \text{ m}$ $b_{o_A} := L$ Long. Perpendicular a la dirección de análisis

Longitud de vuelo $L_{v_A} := \frac{A-b}{2} = 50 \text{ cm}$

Esfuerzo Cortante Actuante $V_{ua_A} := q_u \cdot (L_{v_A} - d) \cdot L = 2.07 \text{ tonnef}$

Resistencia al corte del Concreto (Ecuación 11.3, NTP E.060) $V_{c_A} := 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot b_{o_A} \cdot d = 31.18 \text{ tonnef}$

Esfuerzo Cortante admisible (Esfuerzo máximo que puede resistir la zapata) $\phi_c V_{u_A} := \phi_c \cdot V_{c_A} = 26.5 \text{ tonnef}$

+

$\text{Verif_Corte_A} := \begin{cases} \text{if } \phi_c V_{u_A} > V_{ua_A} \\ \text{ "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{ "No Cumple, Aumentar altura de Zapata"} \end{cases}$

Verificación del Cortante en "A". $\text{Verif_Corte_A} = \text{"Cumple"}$

Análisis para la Dimensión L = A:	$L = 1.3 \text{ m}$	$b_{o_L} := A$	Long. Perpendicular a la dirección de análisis
Verificación del Cortante en "L":	$Verif_Corte_L = \text{"Cumple"}$		
Calculo del Perimetro Critico (bo):			
	$m := b + 2 \cdot \frac{d}{2} = 0.61 \text{ m}$	$n := l + 2 \cdot \frac{d}{2} = 0.61 \text{ m}$	$b_o := 2 \cdot (m + n) = 2.45 \text{ m}$
4. VERIFICACION A CORTE POR PUNZONAMIENTO			
El esfuerzo por punzonamiento actúa a una distancia media del peralte efectivo "d/2" desde las caras de la columna			
Área Critica de Punzonamiento (Ac):	$Ac := b_o \cdot d = 0.76 \text{ m}^2$		
Fuerza Ultima de Punzonamiento:	$F_{vu} := P_s - q_u \cdot m \cdot n = 11.15 \text{ tonnef}$		
Esfuerzo de Punzonamiento admisible (Esfuerzo máximo que puede resistir la zapata)			
	$\beta_{l_b_col} := \frac{l}{b} = 1$	Relación lado largo/lado corto Columna	
Tipo de Columna por su Ubicación	$\alpha_s := \text{"columna interior"}$	$\alpha_s = 40$	

	$\phi_c V_{c1} := \phi_c \cdot 0.53 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_{l_b_col}}\right) \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b_o \cdot d = 149.8 \text{ tonnef}$
	$\phi_c V_{c2} := \phi_c \cdot 0.27 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b_o \cdot d = 180.62 \text{ tonnef}$
	$\phi_c V_{c3} := \phi_c \cdot 1.06 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b_o \cdot d = 99.87 \text{ tonnef}$
	$Vu_{punzon} := \min\left(\frac{\phi_c V_{c1}}{\phi_c}, \frac{\phi_c V_{c2}}{\phi_c}, \frac{\phi_c V_{c3}}{\phi_c}\right)$
Esfuerzo de Punzonamiento admisible	$\phi_c Vu_{punzon} := \min(\phi_c V_{c1}, \phi_c V_{c2}, \phi_c V_{c3}) = 99.87 \text{ tonnef}$
	$Verif_Punzonamiento := \begin{cases} \text{if } F_{vu} > \phi_c Vu_{punzon} \\ \text{"No Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"Ok, Cumple"} \end{cases} = \text{"Ok, Cumple"}$
Resistencia Nominal al Punzonamiento	$Vu_{punzon} = 117.49 \text{ tonnef}$
Esfuerzo de punzonamiento actuante	$V_{uact} := \frac{F_{vu}}{Ac} = 14.58 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$
Resistencia de Diseño al Punzonamiento	$\phi_c Vu_{punzon} = 99.87 \text{ tonnef}$
	$Verif_Punzonamiento = \text{"Ok, Cumple"}$

5. DISEÑO DEL ACERO DE REFUERZO

Diseño en la dirección lado corto "A".

$$A = 1.3 \text{ m}$$

$$B_{an_A} := 1 \text{ m} \quad \text{Longitud de análisis para 1m largo transversal a "A")}$$

Calculo de reacción por metro lineal

$$q_{u_A} := \frac{P_U}{B_{an_A} \cdot A} = 15.91 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Calculo de Momento Ultimo por metro lineal

$$M_{u_A} := q_{u_A} \cdot \frac{L_{v_A}^2}{2} \cdot B_{an_A} = 1.99 \text{ tonnef} \cdot \text{m} / \text{metro}$$

Área de acero para la dimensión "A":

$$A_{s_A} := 0.85 \cdot B_{an_A} \cdot d \cdot \left(\frac{f_c}{f_y} \right) - \sqrt{\frac{1.7 \cdot f_c \cdot B_{an_A}}{f_y^2} \cdot \left(\frac{0.85 \cdot f_c \cdot B_{an_A} \cdot d^2}{2} - \frac{M_{u_A}}{\phi_f} \right)} = 1.7 \text{ cm}^2 / \text{metro}$$

$$\text{Área de acero mínimo} \quad A_{s_min_A} := 0.0018 \cdot B_{an_A} \cdot d = 5.62 \text{ cm}^2 / \text{metro} \quad \rho_{min_losa_zapatas} := 0.0018$$

$$\text{Área de acero a Usar} \quad A_{s_usar_A} := \max(A_{s_A}, A_{s_min_A}) = 5.62 \text{ cm}^2 / \text{metro}$$

$$\text{Numero de Barras} \quad \#_{barras} := \text{Ceil} \left(\frac{A_{s_usar_A}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{b_col}^2}, 1 \right) = 5 / \text{metro} \quad \text{Barras de: } d_{b_col} = 0.5 \text{ in}$$

$$\text{Separación de barras} \quad S_{barras} := \text{Floor} \left(\frac{B_{an_A}}{\#_{barras}}, 5 \text{ cm} \right) = 0.2 \text{ m}$$

Por lo tanto usar $\phi 1/2'' @ 20 \text{ cm}$ en el lado corto "A"

Diseño en la dirección lado Largo "L" = Lado Corto "A"

$$L = 1.3 \text{ m}$$

Por lo tanto usar $\phi 1/2'' @ 20 \text{ cm}$ en la dirección larga "L"

Verificación del Espaciamiento máximo

$$S_{max} := \min(40 \text{ cm}, 3 \cdot d) = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Verif. } S_{max} := \begin{cases} \text{if } S_{barras} \leq S_{max} \\ \quad \text{"Ok, Cumple Espaciamiento maximo"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No Cumple"} \end{cases} = \text{"Ok, Cumple Espaciamiento maximo"}$$

$$\text{Verif. } S_{max} = \text{"Ok, Cumple Espaciamiento maximo"}$$

6. LONGITUD DE DESARROLLO EN REFUERZO DE ZAPATA

Verificación en la dirección lado Corto "A".

$$A = 1.3 \text{ m}$$

La NTP E.060 indica que para determinar el valor de la longitud de desarrollo se tiene en cuenta el diámetro de barra y la resistencia del concreto.

$$X_A := \left(\frac{A - b}{2} \right) - rec = 42.5 \text{ cm} \quad L_{dx_A} := X_A \quad \text{Long. de desarrollo calculado, comparar con valores normativos.}$$

$$L_{d_5_8in} := 56.20 \text{ cm} \quad \text{Para Varillas de } 5/8'' \text{ en la parte inferior de la zapata } (<300\text{mm}), \text{ longitud de desarrollo } L_d = 56.20\text{cm para un } f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_{d_1_2in} := 44.90 \text{ cm} \quad \text{Para Varillas de } 1/2''$$

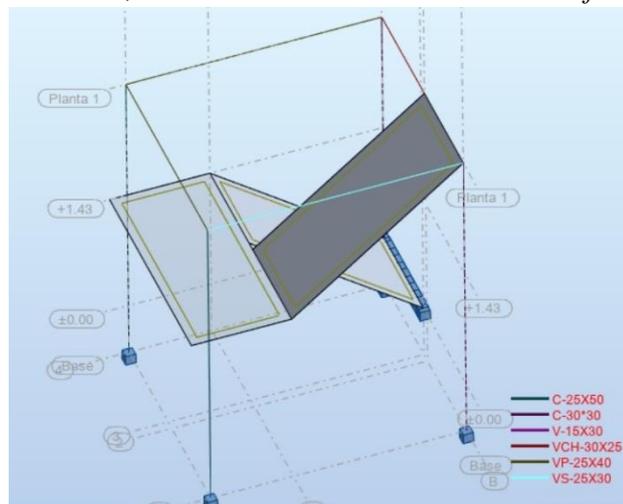
$L_{d_{5/8in}} := 56.20 \text{ cm}$	Para Varillas de 5/8" en la parte inferior de la zapata (<300mm), longitud de desarrollo $L_d = 56.20\text{cm}$ para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
$L_{d_{1/2in}} := 44.90 \text{ cm}$	Para Varillas de 1/2"
$Verif_Ld_A := \begin{cases} \text{if } X_A > L_{d_{1/2in}} \\ \quad \text{"Las barras de la Zapata NO necesitan Ganchos"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Las barras de la Zapata necesitan Ganchos, Usar 30cm"} \end{cases} = \text{"Las barras de la Zapata necesitan Ganchos, Usar 30cm"} $	
Usar gancho de long.: $L_{gancho} := 30 \text{ cm}$	
$Verif_Ld_A = \text{"Las barras de la Zapata necesitan Ganchos, Usar 30cm"}$	
Si la dimensión de los lados de la zapata son iguales: Requieren ganchos de 30cm	
Verificación en la dirección lado Largo "L".	$L = 1.3 \text{ m}$
$X_L := \left(\frac{L-l}{2}\right) - rec = 42.5 \text{ cm}$	$L_{dx_L} := X_L$
	Long. de desarrollo calculado, comparar con valores normativos
$Verif_Ld_L = \text{"Las barras de la Zapata SI necesitan Ganchos"}$	$verificación_rigidez = \text{"es una zapata rígida"}$

4.9.1.5. Diseño Estructural de Escalera.

El diseño de escaleras es similar a losas macizas armadas en una dirección la cual se apoyarán sobre vigas o losas. Como ya mencionamos en el Pre-dimensionamiento tomaremos pasos de 25 cm y contrapasos de 17.5 cm y una garganta de 12 cm.

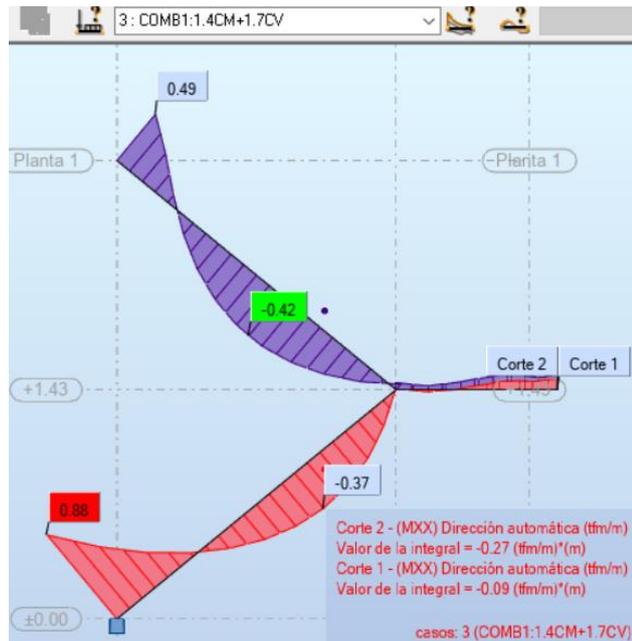
La escalera se modeló independiente de la estructura para ser diseñada solo por gravedad, en la siguiente figura se presenta el modelo 3D.

Gráfico 87: Modelo 3D, Escalera en Robot sometida a verificación de Diseño



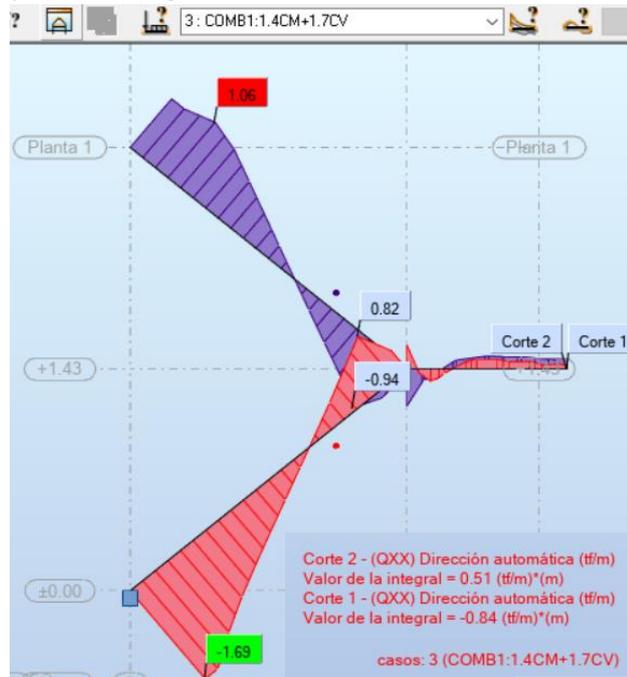
Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

Gráfico 88: Diagrama de Momentos Flectores en Escalera



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

Gráfico 89: Diagrama de Fuerzas Cortantes en Escalera



Fuente: Diseño Propio, Robot Structural.

El análisis de la escalera se realizó con la combinación: $U = 1.4 * CM + 1.7 * CV$, se agrega la carga viva de uso (200 kg/m² en viviendas) y la carga muerta, también se agregó como carga muerta al peso propio de las graderías de la escalera.

A manera de ejemplo diseñaremos el 1° tramo de la escalera.

DISEÑO DE ESCALERA	
1. DATOS DE INGRESO	
Datos de Escalera	
$cp := 0.175 \text{ m}$	Contra paso
$p := 0.25 \text{ m}$	Paso
$t := .12 \text{ m}$	Espesor de Garganta Esc. $e := t$ Espesor de Losa en Descanso
$r := 2 \text{ cm}$	Recubrimiento
$b := 100 \text{ cm}$	Ancho Tributario de Diseño (1.0 m)
$d := t - r + 1 \text{ cm} = 11 \text{ cm}$	Peralte efectivo
Datos de los Materiales	
$f'c := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Resistencia a la compresión del concreto.
$fy := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.
$\phi_f := 0.9$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de flexión.
$\phi_c := 0.85$	Factor de reducción de resistencia ante fuerzas de corte.
$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$	Peso específico del concreto.
$\text{Verif.01}_{\text{Contrapaso_mas_paso}} := \begin{cases} \text{if } 60 \text{ cm} \leq 2 \cdot cp + p \leq 64 \text{ cm} & \text{= "Si Cumple, NTP A.010"} \\ \text{ "Si Cumple, NTP A.010"} \\ \text{else} \\ \text{ "No Cumple, Verificar"} \end{cases}$	
2.0 METRADO DE CARGAS	
Tramo Inclinado	
$acab := 100 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$	$CM_1 := acab = 0.1 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$ Carga Acabados Piso Terminado
$SobreCarga := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$	$CV_1 := SobreCarga = 0.2 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$ Carga Viva en Escalera (vivienda)
$l_{p_cp} := \sqrt{cp^2 + p^2} = 0.305 \text{ m}$	Long. inclinada de paso a contrapaso
$C_{p_cp} := 1 \frac{\text{m}}{l_{p_cp}} = 3.277$	Cantidad de Long. inclinada de paso a contrapaso que existe en 1m de análisis.
$Pp_{gradas} := \left(\left(\frac{p \cdot cp}{2} \right) \cdot \frac{1}{m} \right) \cdot \gamma_c \cdot C_{p_cp} = 0.172 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$	Peso Propio de Gradería por m2
$Pp_{garg} := t \cdot \gamma_c = 0.288 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$	Peso propio de Losa garganta
$CM_{\text{Tramo},i} := CM_1 + Pp_{gradas} + Pp_{garg} = 0.56 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$	
Descanso	
$CM_2 := acab = 0.1 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$	Carga Acabados Piso Terminado en Descanso
$CV_2 := SobreCarga = 0.2 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$	Carga Viva en Escalera (vivienda) en Descanso
$P_{losa_desc} := \gamma_c \cdot e = 288 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$	Peso Propio de Losa en Descanso

$$CM_{T,d} := CM_2 + P_{\text{losa_desc}} = 0.388 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$CM_{T,\text{tramo},i} = 0.56 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad CV_1 = 0.2 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad \text{Tramo Inclinado}$$

$$CM_{T,d} = 0.388 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad CV_2 = 0.2 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad \text{Tramo Descanso}$$

3.0 CARGAS ACTUANTES

$$Mu := 0.88 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento flector último por metro sobre la Escalera.

$$Vu := 1.69 \text{ tonnef}$$

Cortante último por metro en Escalera

4.0 DISEÑO POR FLEXION

Cálculos Previos - Aplica Formulas para Diseño de Vigas

$$\beta_{1,E.060} := \begin{cases} \text{if } f'c < 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \beta_{1,E.060} \leftarrow 0.85 \\ \text{else} \\ \beta_{1,E.060} \leftarrow \text{"Verificar"} \end{cases} = 0.85$$

Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.

$$\rho_{\text{balanceada},E.060} := \frac{0.85 \cdot f'c \cdot \beta_{1,E.060}}{fy} \cdot \left(\frac{6000 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{6000 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + fy} \right) = 0.02125$$

Cuantía de refuerzo que produce condiciones balanceadas de deformación unitaria (para una capa)

$$\rho_{\text{max},E.060} := 0.75 \cdot \rho_{\text{balanceada},E.060} = 0.01594$$

Cuantía máxima de acero de refuerzo.

$$a := \frac{\rho_{\text{max},E.060} \cdot d \cdot fy}{0.85 \cdot f'c} = 4.125 \text{ cm}$$

Peralte del block rectangular equivalente de esfuerzos

$$M_{R,\text{max}} := \phi_f \cdot 0.85 \cdot f'c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \cdot a \cdot b = 5.923 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Momento Resistente máx.}$$

$$\text{Verif.02} := \begin{cases} \text{if } Mu < M_{R,\text{max}} \\ \text{Verif.01} \leftarrow \text{"No se Necesita acero en compresion"} \\ \text{else} \\ \text{Verif.01} \leftarrow \text{"Se requiere acero en compresion"} \end{cases} = \text{"No se Necesita acero en compresion"}$$

Área de Acero Para Mu Actuante

$$\phi M_n := \phi_f \cdot \left(A_s \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a_1}{2} \right) \right)$$

$$a_1 := \frac{A_s \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$A_{s,\text{min}} := \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}}} \cdot b \cdot d}{fy \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}}}$$

Soluciones iterativas de prueba

$$X := Mu$$

$$A_s := 1 \text{ cm}^2$$

$$\phi_f \cdot \left(A_s \cdot fy \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot fy}{2 \cdot 0.85 \cdot f'c \cdot b} \right) \right) - X = 0$$

$$A_{s,\text{Mu}} := \text{find}(A_s) = 2.17 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\text{min}} = 2.657 \text{ cm}^2$$

$$a_1 := \frac{A_{s,\text{Mu}} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = 0.51 \text{ cm}$$

$$\text{Verif.03} := \begin{cases} \text{if } A_{s,\text{Mu}} > A_{s,\text{min}} \\ \text{Verif.02} \leftarrow \text{"Utilizar As_Mu"} \\ \text{else} \\ \text{Verif.02} \leftarrow \text{"Utilizar Asmin"} \end{cases} = \text{"Utilizar Asmin"}$$

$$\phi M_n := \phi_f \cdot \left(A_{s,\text{Mu}} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a_1}{2} \right) \right) = 0.88 \text{ m} \cdot \text{tonnef} \quad Mu = 0.88 \text{ m} \cdot \text{tonnef} \quad \text{Verificación, } \phi \cdot Mn = Mu$$

Acero a Flexión a utilizar: $A_{s_{usar}} := \max(A_{s_{min}}, A_{s_{Mu}}) = 2.657 \text{ cm}^2 \text{ cm2/m}$

Espaciamiento Longitudinal con Varillas de 3/8" : $S := \frac{0.71 \text{ cm}^2}{A_{s_{usar}}} = 0.267$

Por lo tanto usar refuerzo longitudinal: Varillas 3/8" @ 25cm

Acero por Temperatura: $A_{s_{temp}} := 0.0018 \cdot b \cdot e = 2.16 \text{ cm}^2 \text{ cm2/m}$

Espaciamiento Transversal con Varillas de 3/8" : $S := \frac{0.71 \text{ cm}^2}{A_{s_{temp}}} = 0.329$

Por lo tanto usar refuerzo Transversal: Varillas 3/8" @ 30cm

5.0 VERIFICACION DEL CORTANTE

Verificación del la resistencia al cortante:

$\phi_v V_c := \phi_c \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot b \cdot d \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 7.18 \text{ tonnef}$ **Capacidad del concreto a Corte**

$Verif.04 := \begin{cases} \text{if } \phi_v V_c > Vu \\ \quad \text{"Capacidad a Corte del Concreto OK Para Vu"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No Cumple diseño a Corte"} \end{cases} = \text{"Capacidad a Corte del Concreto OK Para Vu"}$

4.9.2. Validación de Datos y Resultados de Diseño.

En este apartado se presenta de manera general la cuantificación de áreas de acero que los modelos M3-ARSAP y M2-ETABS han proporcionado con el análisis desarrollado en los ítems anteriores. Esto con el fin de validar los resultados especialmente del modelo M3-ARSAP respecto del modelo M2, a continuación, se presenta el cuadro áreas de acero y la comparativa en porcentajes de los modelos mencionados.

Cuadro 37: Comparación de Resultados, acero en M2-ETABS & M3-ARSAP.

AREA DE ACERO/ELEMENTO	MODELO ESTRUCTURAL 03 (M3-ARSAP)	MODELO ESTRUCTURAL 02 (M2-ETABS)	M3-ARSAP vs M2-ETABS	DISTRIBUCION FINAL	
				Acero cm2	Distribución
ACERO REAL EN VP-25X40 (cm2)	3.96	3.99	-1%	3.81	3var. #4
ACERO REAL EN VS-25X30 (cm2)	3.96	2.90	27%	2.54	2var. #4
ACERO REAL EN C-30X30 (cm2)	10.13	9.00	11%	10.16	8var. #4
ACERO REAL EN C-25X25 (cm2)	7.92	6.25	11%	7.96	4var. #5
ACERO REAL EN C-25X50 (cm2)	12.98	12.50	4%	13.04	4var. #4 + 4var. #5

Fuente: Elaboración Propia.

Para las vigas, se ha considerado solo el área de acero en el tramo medio de ambos modelos.

Del cuadro 37 podemos observar que:

- La armadura real que asigna Robot y Etabs a la viga VP-25X40 es de 3.96cm² y 3.99cm² respectivamente; sin embargo, el área teórica o mínima de diseño es de 2.85cm², realizado la verificación y diseño de forma manual se ha optimizado en la distribución final con área de 3.81cm² referidos a 4 varillas de 1/2".
- Igualmente se aprecia para la viga VS-25X30, siendo el área teórica-mínima de 1.90cm², Robot Structural es el que asigna mayor área de acero respecto de Etabs, colocándose finalmente un área de 2.54cm² referidos a 2 varillas 1/2".
- En cuanto a la asignación para la distribución final de acero en las columnas, éstas se aprecian que se tomaron valores superiores a los calculados por ambas herramientas, esto principalmente por la elección de varillas comerciales en nuestro medio.
- En cuanto al diseño de acero de las vigas y columnas por ambas herramientas se puede concluir que estos no difieren en gran magnitud, es decir ambos presentan resultados similares la cual indica que los modelos han sido analizados correctamente.

Finalmente, por la validación de los resultados podemos constatar que Robot Structural es confiable a la hora de realizar un proyecto estructural en particular.

4.10. Flujo de Trabajo Colaborativo BIM en el Desarrollo del Proyecto.

Como se ha definido anteriormente en la base teórica de la presente investigación; BIM son las siglas en ingles de Building Information Modeling y hace referencia a una metodología de trabajo colaborativo para la creación y gestión de un proyecto de construcción en general, con el objetivo de centralizar toda la información de un proyecto en un modelo de información digital creado

por todo los involucrados, es decir que se basa principalmente en la comunicación entre los diferentes equipos del proyecto.

En un Proyecto siempre se está produciendo información y se está intercambiando entre los diferentes integrantes, ya sean del mismo equipo o de otros equipos/disciplinas. Tener la información adecuada en el momento adecuado puede ser clave para la coordinación o la resolución de un problema, así evitar retrasos y costes adicionales.

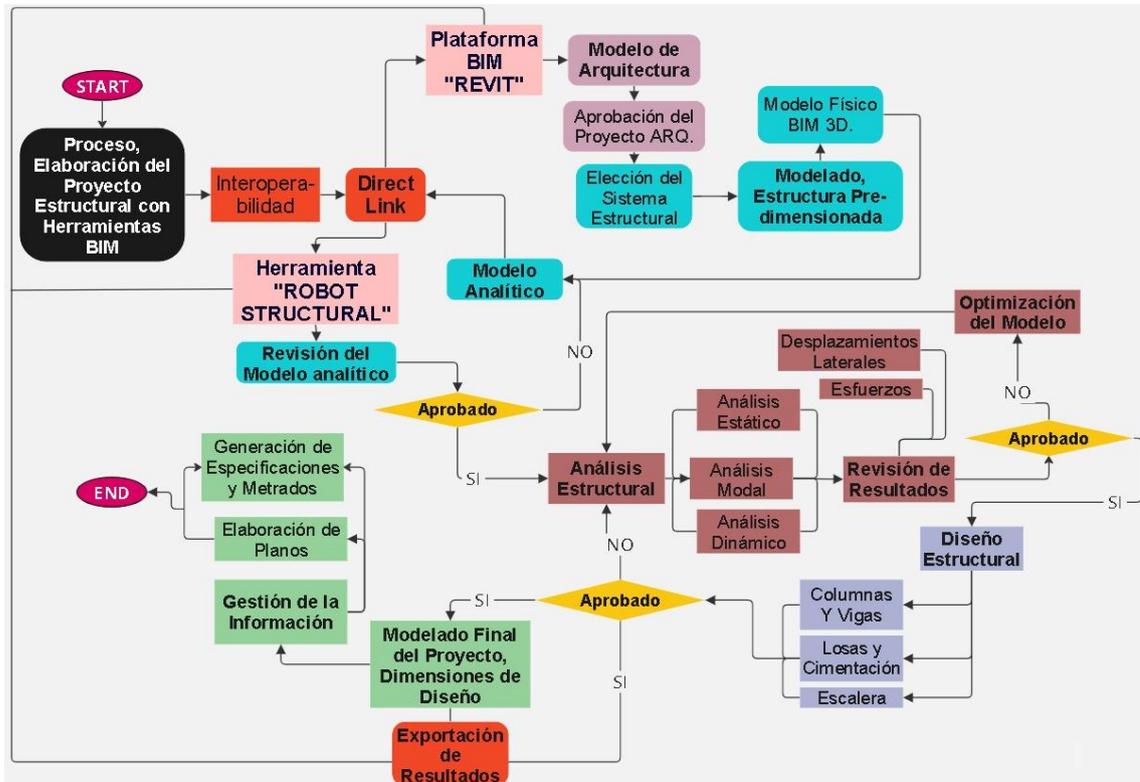
En este caso particular, para el presente proyecto se hace referencia de la metodología BIM al flujo de información que existe entre las herramientas BIM Revit-Robot y los involucrados responsables del manejo de estas para el diseño arquitectónico y estructural; con el objetivo de optimizar la ejecución del proyecto.

Así mismo, antes de comenzar un proyecto aplicando la metodología BIM, se debe tener muy claro los alcances y objetivos del proyecto BIM y el uso que se le dará a este cuando esté culminado (por ejemplo, para gestión de la construcción, control de costos, documentación, planificación, etc.)

En nuestro caso particular, se ha definido que el modelo (proyecto BIM) tiene como objetivos principales de utilización, realización del cálculo estructural y la documentación de la especialidad. Teniendo esto en cuenta, se escogió las herramientas Revit y ARSAP, para la realización de nuestro modelo M3-ARSAP.

Si bien no existe un esquema estricto con pasos a seguir para un correcto desarrollo de un proyecto estructural utilizando BIM debido a que el proceso depende de cada proyecto en particular y de muchos otros factores; se ha podido organizar un proceso general de diseño estructural con la metodología BIM, partiendo del proyecto realizado.

Gráfico 90: Proceso, elaboración de un proyecto estructural usando las herramientas BIM Revit y Robot Structural.



Fuente: Diseño Propio.

➤ **Proceso para la elaboración de un proyecto estructural usando las herramientas BIM Revit & Robot Structural.**

- ✓ **START**, este proceso inicia teniendo en cuenta el concepto de interoperabilidad entre ambas herramientas por medio de un “Direct Link” o enlace directo, es decir que el flujo de información es directa y bidireccionalmente entre Revit y Robot, lo cual garantiza la transferencia de información para el desarrollo del proyecto estructural.

- ✓ A demás; el diseño estructural del proyecto parte de un modelo arquitectónico, en las cuales se ha considerado la distribución de los ambientes, aspectos estéticos, etc., la cual una vez aprobado el diseño de arquitectura por un especialista de la materia se procede a plantear alternativas de concepción estructural como; la elección del sistema estructural a utilizar, la ubicación y pre-dimensionamiento de elementos estructurales.

- ✓ Luego de elegir el sistema estructural para el proyecto se realiza un primer modelo estructural con la ayuda de la herramienta o plataforma BIM Revit, la cual aún no posee detalles constructivos, ya que el planteamiento no es definitivo. Este modelo estructural está formado por un modelo físico y un modelo analítico que permita la interoperabilidad por medio del “Direct Link” con la herramienta de cálculo estructural (Robot).

El modelo analítico tiene la geometría y ubicación de los elementos estructurales idealizados analíticamente, también extrae las propiedades mecánicas de los materiales del modelo físico los que son reconocidos en Robot Structural.

- ✓ Una vez se realice la exportación del modelo analítico de Revit a Robot, en este se tiene que verificar el modelo analítico haciendo uso de las herramientas propias de análisis de Robot, de presentarse algún error de modelado, elementos no alineados de vigas, columnas, y losas se retorna a la plataforma Revit para corregirlos; de no presentar ninguna observación procede a desarrollar el análisis estructural.

- ✓ **Análisis Estructural.** Habiéndose establecido los alcances y necesidades del proyecto se decidió realizar un análisis tipo lineal, un análisis sísmico estático, dinámico y un análisis modal-espectral. En esta etapa se ejecuta los análisis mencionados con la ayuda de la herramienta de análisis estructural (Robot), habiendo ya ingresado todas las condiciones necesarias que nos exige la norma NTP E.030, E.020 del RNE.

- ✓ Luego de realizar el análisis estructural se realiza la verificación de resultados según la normativa vigente, realizamos los chequeos necesarios para el control de distorsiones (desplazamientos) de la estructura, la fuerza cortante basal, deflexiones, etc. Si estos resultados son poco coherentes con el comportamiento de la estructura, por ejemplo, se podría encontrar desplazamientos excesivos de algún elemento estructural, lo cual nos podría indicar que posiblemente haya una mala conexión en los nodos, o una mala asignación del material o aplicación de la carga, entre otros.

En esta etapa también podremos identificar si alguno de los elementos o estructura en general está o no sobredimensionado, de ser necesario se plantea realizar cambios para optimizar o corregir los errores identificados. Este proceso se torna algo iterativo y dependerá de la experiencia del profesional. La optimización que se realice al modelo de cálculo, se actualiza tanto en el modelo físico como en el analítico entre ambas herramientas. Aquí se aprovecha al máximo la interoperabilidad entre las herramientas BIM elegidos.

- ✓ Una vez aprobado el análisis estructural, se realiza el diseño estructural de cada uno de los elemento estructurales (columnas, vigas, losas, etc.) del proyecto según normativa vigente NTP E.060 del RNE. En esta etapa se determina la cantidad de acero de refuerzo para los elementos de concreto armado. De no cumplirse con el diseño de algún elemento estructural, se retorna a verificar el análisis estructural para solucionar y cumplir el diseño para todos los elementos del proyecto.
- ✓ De aprobarse el diseño estructural, con los resultados obtenidos de acero y las dimensiones finales de las secciones de los elementos estructurales se procede a actualizar el modelo final del proyecto en Revit, esto se realiza con la exportación de resultados obtenidos en Robot, actualizándolos por medio del “Direct Link” gracias a la interoperabilidad.
- ✓ Teniendo un modelo final podemos gestionar la información del proyecto, estos se refieren a la elaboración de los planos para la construcción, que previamente han sido detallados en Revit. Este proceso es se torna menos trabajoso que en un procedimiento tradicional con CAD, gracias a las facilidades que otorga la herramienta BIM Revit. Simultáneamente se lleva a cabo la generación de especificaciones y tablas de cuantificación con información relevante para la construcción. Es ahí donde culmina el proceso de elaboración del proyecto estructural, usando las herramientas BIM Revit y Robot Structural.

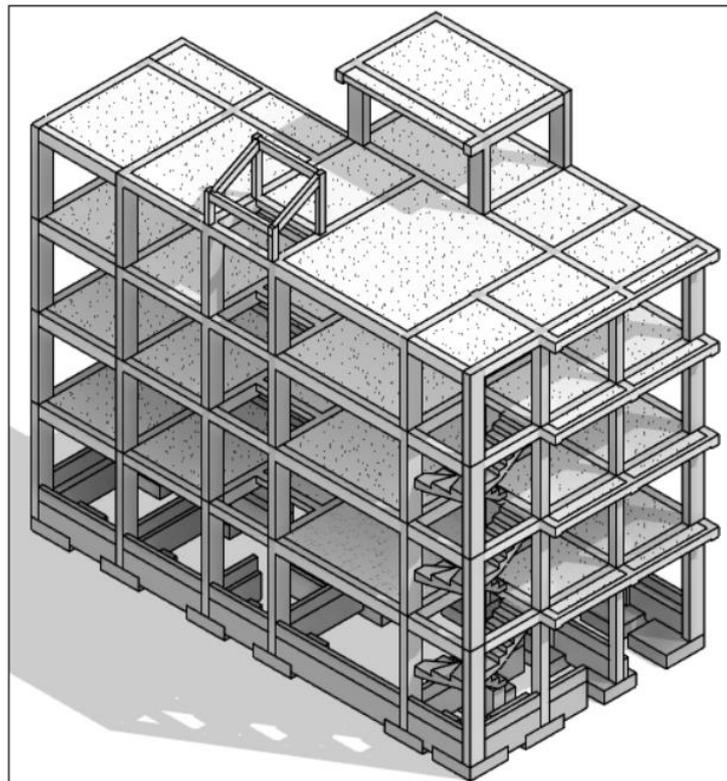
4.11. Gestión de la Información de un Proyecto Estructural BIM.

Gracias a la generación del proyecto estructural con las herramientas BIM, específicamente usando Revit en esta etapa, se ha generado un modelo BIM de estructuras, la cual es más que un simple modelo 3D, sino que, este es un modelo contenedor de mucha información del proyecto, del cual podemos extraerlos para generar reportes cuantificación de materiales, elaboración de planos para la construcción y entre otros usos que se puede dar ajenos a la especialidad de estructuras.

A continuación, se detallan algunas características del modelo final de la estructura; ésta posee:

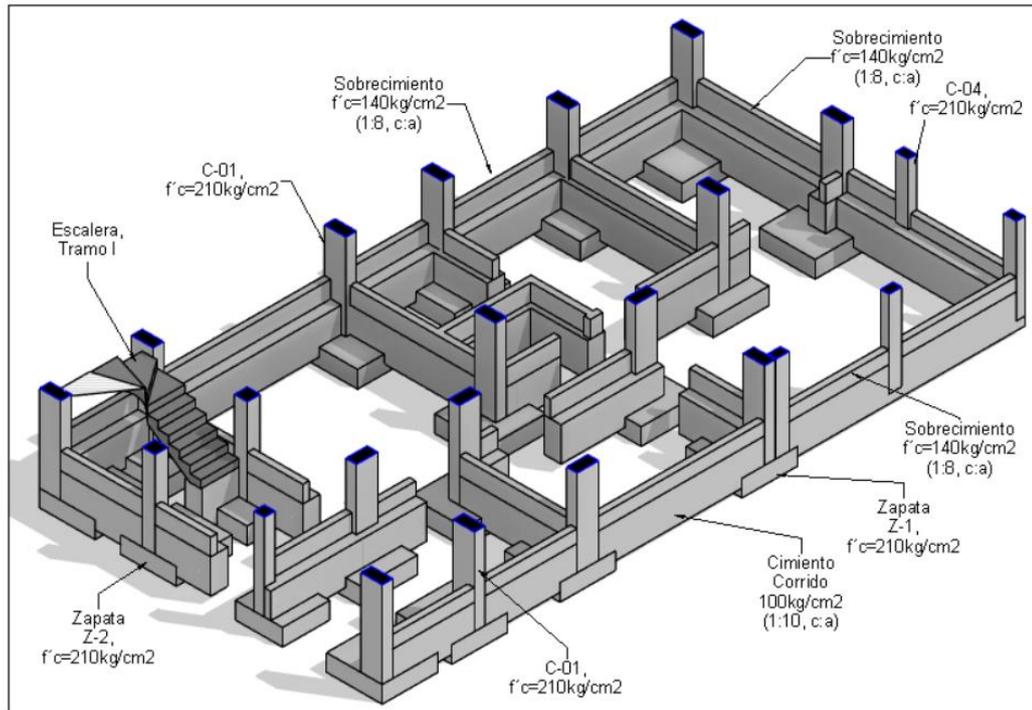
- ✓ Materiales con información relevante física y mecánica útil para el cálculo de la estructura.
- ✓ Información geométrica precisa de los elementos estructurales, modelada principalmente como sólidos, útil para la comprensión conceptual de la estructura en su conjunto.

Gráfico 91: Vista Isométrica Estructural del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020.

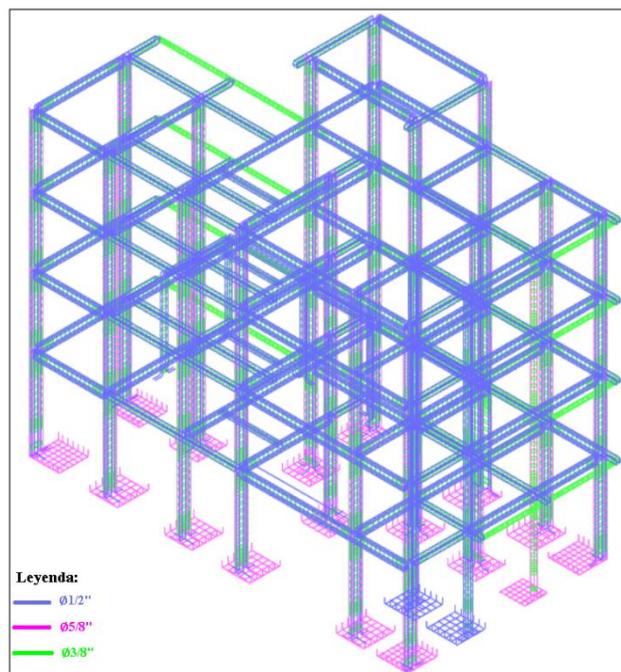
Gráfico 92: Vista Isométrica, cimentación del proyecto.



Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020.

- ✓ Cuantificación del acero de refuerzo que ha sido modelado para todos los elementos de la estructura, es decir que todos los elementos de concreto armado poseen el detalle específico de su acero de refuerzo.

Gráfico 93: Vista Isométrica, Acero de refuerzo del proyecto



Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020.

- ✓ Información completa del modelo analítico que incluye elementos analíticos, cargas, apoyos y resultados que han sido exportados desde Robot.
- ✓ Detalles en dos dimensiones que aportan información adicional a la documentación del proyecto (planos).

- ✓ Parámetros dinámicos configurados a los elementos estructurales, las cuales aportan y dan mayor información sobre cada uno de ellos, por ejemplo, cada tipo de viga posee información de su detallado de estribos (diámetro, espaciamiento), esto hace que esta información pueda ser revisada, analizada y en caso sea modificada lo actualizará dinámicamente en todo el modelo y sus vistas respectivas.

Usos de la Gestión de Información de un Modelo BIM Estructuras.

Dentro de los objetivos y alcances para el desarrollo del proyecto estructural con las herramientas BIM, se ha definido la elaboración de los planos estructurales y la cuantificación de materiales, los cuales se pueden realizar de forma inmediata y simplificada con la extracción y organización de la información que contiene nuestro modelo.

- A partir de la cuantificación de materiales podemos analizar dinámicamente otros aspectos de la planificación del proyecto, como son sus costos y su programación para la ejecución, esta última puede incluso simularse mediante animaciones en otras herramientas de gestión BIM.

- Partiendo de la cuantificación de los materiales podemos llevar un control adecuado durante la ejecución de obra, pudiendo realizar cambios al modelo según los imprevistos u ocurrencias en el proceso constructivo.

A continuación, se presenta algunas imágenes de tablas de planificación creadas en el proyecto que arrojan detalles de la cuantificación de algunas partidas importantes.

Cuadro 38: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del concreto en Columnas según los niveles del proyecto.

<A. METRADO CONCRETO - COLUMNAS>					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F. Bach. Amparito J. Ahuanari S.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
A	B	C	D	E	F
Nivel base	Material estructural	Tipo	Longitud (m)	Volumen (m3)	Recuento (und)
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	55.20	6.90	16
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	6.90	0.62	2
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	3.45	0.22	1
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-04	13.80	0.83	4
NFC: 23			79.35	8.56	23
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	44.00	5.50	16
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	5.50	0.49	2
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	2.75	0.17	1
Nivel 2: 19			52.25	6.16	19
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	44.00	5.50	16
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	5.50	0.50	2
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	2.75	0.17	1
Nivel 3: 19			52.25	6.17	19
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	44.00	5.50	16
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	5.50	0.50	2
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	2.75	0.17	1
Nivel 4: 19			52.25	6.17	19
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	9.00	1.13	4
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-15*20	5.60	0.17	4
Nivel 5: 8			14.60	1.29	8
Total general: 88			250.70	28.36	88

Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020

Cuadro 39: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del concreto en vigas según los niveles del proyecto

<B. METRADO CONCRETO EN VIGAS>					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F. Bach. Amparito J. Ahuanari S.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
A	B	C	D	E	F
Nivel de referencia	Material estructural	Tipo	Longitud (m)	Volumen (m3)	Recuento (und)
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-20X30	7.93	0.43	3
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	11.18	0.38	4
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.19	4.74	17
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.62	1.70	14
Nivel 2: 40			103.37	7.50	40
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	11.18	0.38	4
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.54	4.74	17
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.51	1.70	14
Nivel 3: 37			95.67	7.07	37
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	11.18	0.38	4
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.54	4.74	17
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.51	1.70	14
Nivel 4: 37			95.67	7.07	37
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	18.98	0.65	8
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.59	4.74	17
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.51	1.70	14
Nivel 5: 41			103.52	7.34	41
Nivel 6	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	8.24	0.75	2
Nivel 6	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	6.57	0.42	4
Nivel 6: 6			14.81	1.17	6
Total general: 161			413.05	30.14	161

Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020

Cuadro 40: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del concreto en Losas del proyecto

<C. METRADO CONCRETO EN LOSA>					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F. Bach. Amparito J. huanari S.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
A	B	C	D	E	
Nivel	Tipo	Factor Concreto (m3/m2)	Área (m2)	Concreto (m3)	
Nivel 2	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	72.66	6.36	
Nivel 2	L. MACIZA DE 0.20M ESCALERA	0.200	4.37	0.87	
Nivel 3	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	72.64	6.36	
Nivel 3	L. MACIZA DE 0.20M ESCALERA	0.200	4.37	0.87	
Nivel 4	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	72.64	6.36	
Nivel 4	L. MACIZA DE 0.20M ESCALERA	0.200	4.37	0.87	
Nivel 5	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	81.10	7.10	
Nivel 6	L. MACIZA DE 0.20M TANQUE	0.200	12.05	2.41	
Total general: 51			324.20	31.20	

Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020

Cuadro 41: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación del Acero de Refuerzo en cimentación, vigas y columnas del proyecto

<D. METRADO ACERO DE REFUERZO EN CIMENTACION, VIGAS Y COLUMNAS>					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F. Bach. Amparito J. Ahuanari S.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
A	B	C	D	E	F
Elemento Estructural	Material	Diametro	Longitud (m)	Cantidad de Varilla	Peso Total (kg)
Armazón estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	1/2"	1987.36	696	1975.44
Armazón estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	3/8"	2522.40	2545	1412.54
Armazón estructural: 965			4509.76	3241	3387.98
Cimentación estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	1/2"	33.12	24	32.92
Cimentación estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	3/8"	1.60	2	0.90
Cimentación estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	5/8"	288.75	212	448.14
Cimentación estructural: 44			323.47	238	481.96
Pilar estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	1/2"	1078.11	352	1071.64
Pilar estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	3/8"	1852.60	1570	1037.46
Pilar estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	5/8"	866.94	288	1345.49
Pilar estructural: 946			3797.65	2210	3454.59
Total general: 1955			8630.88	5689	7324.53

Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020

Cuadro 42: Tabla de planificación de Revit que muestra la cuantificación de la albañilería en losas aligeradas del proyecto.

<E. METRADO ALBAÑILERIA, LOSA ALIGERADA>				
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"			
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU			
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F. Bach. Amparito J. huanari S.	Revisado por:		Fecha: 23/08/2023
A	B	C	D	E
Nivel	Tipo	Factor Ladrillo (und/m2)	Área (m2)	Ladrillo (und)
Nivel 2	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	72.66	605.24114
Nivel 3	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	72.64	605.11619
Nivel 4	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	72.64	605.11619
Nivel 5	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	81.10	675.54634
Total general: 46			299.04	2491.01986

Fuente: Elaboración Propia, Revit 2020

- Ventajas, uso del modelo BIM para Gestión de la Información.
 - ✓ La elaboración de planos es una representación en dos dimensiones del modelo, la cual se genera con mayor rapidez simplemente seleccionando las vistas detalladas que se consideren útiles para la construcción. Es decir que el modelo es una fuente de información útil para elaborar los planos, ya que estos se vinculan dinámicamente.
 - ✓ La presentación de los planos tiende a ser de mayor precisión y calidad, ya que incluso se pueden agregar representaciones en 3 dimensiones que ayuden a comprender mejor ciertos detalles especiales o más complejos.
 - ✓ Los cambios que se ejecuten en etapas tardías del proceso de diseño y detallado de la estructura, no significaran retrabajos, ya que todas las vistas y elementos vinculados son actualizados de inmediato.

4.12. Resumen de Resultados

Utilizando la herramienta BIM (Robot Structural) se desarrolló el análisis modal, estático y dinámico; cuyos resultados indican que la estructura es regular y rígida, con periodos de vibración de 0.57s y 0.48s en “X” e “Y” respectivamente.

Se determinó los máximos desplazamientos laterales de la estructura ante la aplicación de la carga de sismo, obteniéndose un desplazamiento lateral máximo de 0.0033 (deriva de entrepiso) en la dirección “Y”, confirmando que el análisis es satisfactorio por estar en el rango del límite permitido por la norma (0.007).

Para la validación de la herramienta BIM (Robot Structural) y del proyecto en general, se generó un modelo en ETABS (M2-ETABS) y se comparó los resultados con el modelo de Robot (M1-ARSAP). Con la finalidad de obtener un comportamiento similar al modelo M2-ETABS, se generó un tercer modelo denominado M3-ARSAP a la cual se aplicaron excentricidades (vigas) para generar el brazo rígido, con lo cual se logró validar el modelo M3-ARSAP, llegando a la conclusión que la herramienta Robot Structural es confiable para realizar el análisis y diseño de un proyecto estructural.

Aprovechando la interoperabilidad con Revit, posterior al análisis desarrollado en Robot, se exportó el modelo a Revit para la elaboración de los planos y la gestión de la documentación las cuales garantizan la calidad de la información.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSIÓN

- a. Montoya, (2016). En su investigación tesis de maestría optimizó el desarrollo de proyectos, haciendo una comparativa entre el método tradicional” con la tecnología BIM, con la finalidad de reducir tiempo y minimizar errores.

Actualmente las investigaciones nacionales sobre el uso de las herramientas BIM en el proceso de análisis y diseño estructural sismorresistente de edificaciones son escasas y poco difundidas. En Loreto, la investigación sobre usos de la metodología y herramientas BIM para el análisis y diseño sismorresistente aún no ha sido desarrollada, viendo la necesidad de implementar y fomentar el uso de nuevas tecnologías aplicados a la ingeniería estructural se desarrolla la presente investigación.

- b. Madsen, (2013). A través de su tesis de maestría, investigó la interoperabilidad entre los diferentes softwares del diseño estructural, mostrando las ventajas y limitaciones del BIM. Sustentó que la principal ventaja de esta metodología es visualizar en 3D todo el proyecto con sus detalles, señalando que “una imagen en 3D vale más que mil planos.

Esta tesis propone que se tome en cuenta un modelo analítico para el análisis estructural del proyecto, que gracias a la interoperabilidad de las herramientas BIM Revit y Robot Structural se agiliza el proceso de diseño. El modelo analítico se desarrolló en Revit, la cual contiene información relevante para el análisis y diseño estructural, como la geometría, propiedades de secciones, materiales, cargas, combinaciones de carga y los apoyos de la estructura.

- c. Laguna, Rubio, y Bustos, (2019), investigación que realizaron para implementar la metodología BIM en una estructura residencial, usaron las herramientas BIM y modelaron en REVIT para optimizar tiempo y corregir errores de compatibilidad.

En la presente investigación se ha podido desarrollar un proceso general para la elaboración de un proyecto estructural usando las herramientas BIM Revit y Robot Structural que contempla la interoperabilidad por medio de un Direct Link a través del modelo analítico, que sirve como partida para el análisis estructural.

- d. Afuso, (2017). En su tesis desarrolló el análisis sísmico a través del software ETABS con tres modelos, obteniendo resultados similares.

En esta investigación se generó un modelo en ETABS (M2) para la validación de la herramienta BIM Robot Structural, se comparó los resultados con el primer modelo M1-ARSAP, luego se optimizó para obtener un comportamiento sísmico similar al modelo M2-ETABS. Se generó un tercer modelo denominado M3-ARSAP a la cual se aplicaron excentricidades a las vigas para generar el brazo rígido, con lo cual se logró validar el modelo M3-ARSAP.

En cuanto a los resultados de esfuerzos en los elementos estructurales de los modelos M2-ETABS y M3-ARSAP, de la comparación M2vsM3 se observó que no existe diferencias importantes. Esto se logró gracias a que todas las vigas en ARSAP se consideraron continuas de eje a eje en cada tramo; y que, en ETABS se asignó el brazo rígido al 70%.

En cuanto a los resultados de máximas deformaciones de la estructura de los modelos M2-ETABS y M3-ARSAP, de la comparación M2vsM3 se observó que en los casos de carga de sismo en la dirección "Y", existe una diferencia porcentual mínima (-3.6%); sin embargo, la diferencia porcentual para el caso de carga "sismo X" es considerable (-40.5%); aun así, estos valores son válidos ya que permanecen en valores cercanos (máxima deriva de entrepiso en "X" 0.0031, en "Y" 0.0034) los cuales están dentro del límite permitido por la norma (0.007) para estructuras de concreto armado; además podemos decir que esas diferencias se podrían aceptar considerando la gran incertidumbre que siempre tiene cualquier modelo de cálculo desarrollado con softwares.

5.2. CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó que el uso la metodología y herramientas BIM agilizan todo el proceso de análisis y diseño estructural del proyecto; ya que, con Revit se generó un modelo físico 3D para la gestión documentaria, también se generó un modelo analítico que fue exportado a la herramienta BIM Robot Structural gracias a la interoperabilidad que existe entre ambos softwares, con Robot Structural se realizó el análisis modal, estático y dinámico siguiendo los criterios de las normas de diseño sísmico, luego se retornó el modelo a Revit para el detallado de los planos y cuantización de los metrados.
- ✓ Se elaboró un modelo físico BIM 3D en Revit, la cual integra toda la información estructural del edificio, este modelo se utilizó para la elaboración de los planos y metrados, la cual garantiza la calidad de la información, Revit permitió agilizar el detallado de planos de manera automatizada y dinámica, ya que es una herramienta BIM que permite modelar un proyecto desde cero a partir de elementos parametrizados, las cuales contienen información incorporada que va desde dimensiones, resistencia, propiedades físicas, entre otros.
- ✓ Se realizó el análisis modal, estático y dinámico de la estructura con la herramienta BIM Robot Structural. Se determinó los máximos desplazamientos laterales de la estructura ante la aplicación de la carga de sismo, obteniéndose un desplazamiento lateral máximo de 0.0033 (deriva de entrepiso) en la dirección "Y". De los resultados del análisis estático, dinámico y modal, podemos concluir que la estructura es regular, ya que los porcentajes de masas participantes se centran en los dos primeros modos de vibración; es una estructura rígida con periodos de vibración de 0.57s en la dirección "X", y 0.48s en la dirección del eje "Y". Estos resultados se sustentan bajo el RNE y las NTP E-0.20, E-0.30, E-0.50 y E-0.60.
- ✓ Se elaboró un modelo analítico que permitió trabajar bidireccionalmente con un flujo de trabajo e información coordinada entre Revit y Robot (Interoperabilidad).

5.3. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- ✓ Promover nuevas metodologías para el desarrollo de proyectos estructurales con herramientas tecnológicas de tendencia innovadora como es la metodología y herramientas BIM aplicado al análisis y diseño estructural sismorresistente de edificios multifamiliares en nuestra Región Loreto.

- ✓ Verificar los resultados que arrojen las herramientas de cálculos BIM; el análisis y diseño estructural de la presente investigación se desarrolló con “Robot Structural” y se utilizó el programa ETABS como herramienta de validación de Robot Structural.

- ✓ Aplicar criterios de modelado estructural en Revit para genera un modelo analítico adecuado para exportar a Robot Structural Analysis Professional y realizar el análisis y diseño estructural del proyecto.

- ✓ La herramienta BIM Robot Structural, se basa en la Norma ACI 318-14 para el diseño y armado del refuerzo a cortante (estribos) por lo que se recomienda realizar el diseño de corte de los elementos estructurales de forma manual o con otros programas que apliquen la NTP E.060 diseño de concreto armado. En general, una vez diseñado todo el acero de refuerzo del proyecto se recomienda modelarlos en Revit directamente desde cero.

- ✓ Antes y después de realizar la interoperabilidad se recomienda verificar el modelo analítico en Revit y Robot Structural aplicando criterios propios según experiencia del ingeniero estructural.

- ✓ Dados los resultados obtenidos es recomendable la utilización de las herramientas BIM aplicado a proyectos de ingeniería estructural similares al mostrado, e implementar un plan de gestión donde se defina el nivel de desarrollo del proyecto y el uso que se le dará al modelo BIM en el futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afuso, Minoru. *Diseño estructural de un edificio de concreto armado de cinco pisos y tres sótanos ubicado en el distrito de Barranco.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.

Almonacid, Kliver; Navarro, Julissa; Rodas, Isabel. *Propuesta de metodología para la implementación de la tecnología bim en la empresa constructora e inmobiliaria "IJ proyecta".* Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2015.

Awad, Roberto Rochel. *Análisis y diseño sísmico de edificios.* Medellín : Fondo editorial Universidad Eafit, ISBN: 978-958-720-117-8, 2012.

Bozorgnia, Yousef; Bertero, Vitelmo V. *Earthquake engineering. From engineering seismology to performance based-engineering.* CRC Press, 2013.

BIMCommunity. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de abril de 2020.] <https://www.bimcommunity.com/resources/load/141/bim-server>.

Bimforum Chile. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de Abril de 2020.] <http://www.bimforum.cl/ques-bim-forum-chile/>.

Blanco Blasco, Antonio. *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado.* Lima : COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ/1994-1995, , 1994.

Borja, Manuel. *Metodología de la investigación científica para ingenieros.* Chiclayo : s.n., 2012.

BuidingSMART international house of openBIM. [En línea] 2020. [Citado el: 18 de Abril de 2020.] <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>.

BuidingSMART/history. [En línea] 2020. [Citado el: 18 de abril de 2020.] <https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>.

Chambilla, Carlos P. *Análisis, Diseño Estructural e Instalaciones Sanitarias de un Edificio de Departamentos de 05 Niveles y 01 Semisótano, utilizando Plataforma BIM, en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero.* Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2016.

Coloma, Eloi. *Introducción a la tecnología BIM.* Catalunya. Madrid : Universidad Politécnica Catalunya, 2008.

Contreras, Genaro D. *Diseño de estructuras aporticadas de concreto armado.* Lima : Editorial Edicivil, 2011.

D.S N° 237-2019-EF . 2019. *Plan de competitividad y productividad 2019-2030.* Lima : Diario Oficial el Peruano, 2019.

Decreto Supremo N° 289-2019-EF. 2019. *Aprueban disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública.* Lima : Diario oficial el Peruano, 2019.

Dzambazova, Tatjana; Krygiel, Eddy; Demchack, Greg. *Introducing Revit Architecture 2009: BIM for beginners.* s.l. : John Wiley and Sons, 2009.

Domínguez, Noé R.; Moreno Alan E. *Diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles bajo la metodología BIM en la provincia de Pomabamba Ancash, 2018.* Ancash : Universidad Cesar Vallejo, 2018

Eastman, Chuck. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.* s.l. : John Wiley & Sons, 2011.

Guillén, Mayra A.; Janqui, Leonidas. *Análisis del sistema estructural de concreto armado sismo-resistente en edificaciones multifamiliar de cinco pisos.* Lima: Universidad San Martín de Porres, 2015.

- Gomez, Marcelo.** *Introducción a la metodología de la investigación científica*. 2.da edición. Buenos Aires : Editorial Brujas, ISBN: 978987591161, 2016.
- Guillermo, Jhon O.** *Modelamiento y análisis estructural del hospital challhuahuacho, bloque "A" mediante el software CYPECAD*. Lima : Universidad Peruana Unión, 2019.
- Hardin, Brad; Mccool, Dave.** *BIM and Construcción Management*. 2ª ed. Indianapolis : Wiley, ISBN: 978-1-118-94276-5, 2015.
- Harmsem, Teodoro.** *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima : 3ª edición, Fondo editorial de la PUCP, ISBN: 9972427307, 2002.
- Hernandez, Roberto; Fernandez, Carlos; Baptista, Pilar.** *Metodología de la investigación*. 6.a ed. México D.F : McGraw-Hill, ISBN: 978-14562-2396-0, 2014.
- Hibbeler, Russell.** *Mecánica de materiales*. México : Pearson 8ª ed, ISBN: 978-607-32-0559-7, 2011.
- Bustos, Natalia; Laguna, Duvan D.; Rubio, Jeann F.** *Influencia del BIM en una estructura de tres niveles*. Neiva: Universidad cooperativa de Colombia, 2019.
- Nielsen, Anne K.; Soren, Madsen.** *Structural modelling and analysis using BIM tools*. Dinamarca : Alborg University, 2013.
- Montoya, Denise A.** *Optimización de estructuras de naves industriales empleando tecnología BIM*. Mexico : Aguascalientes, 2016.
- Norma E.020.** *Cargas*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima : Reglamento Nacional de Ediciones, 2006.
- Norma E.030.** *DISEÑO SISMORRESISTENTE*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima : REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, 2018.
- Norma E.050.** *Suelos y Cimentaciones*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Lima : Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018.
- Norma E.060.** *CONCRETO ARMADO*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima : Reglamento Nacional de Edificaciones, 2009.
- Pérez, Luis A.** *Posibilidades de la Metodología BIM en la Ingeniería Civil*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
- Poclin, Euclides.** *Evaluación del diseño del Hospital 11-2 de Jaén con el uso de tecnología BIM*. Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca. 2014
- Rodriguez, Marco.** *Métodos de investigación: Diseño de proyectos y desarrollo de tesis en ciencias administrativas, organizacionales y sociales*. Mexico : Editorial Pandora, ISBN: 978-607-1929-17-8, 2010.
- Rocca, Emilio.** *Diseño de un edificio de concreto armado de cinco niveles*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.
- Rosales, Carolina E.; Baños, María F.** *Diseño estructural de una edificación residencial metálica de 6 plantas sismo-resistente, en la ciudad de Milagro, utilizando la metodología BIM en la modelación 3D*. Guayaquil – Ecuador: Escuela superior Politécnica del Litoral, 2018
- Rotondo, Luis M.; Barbat, Alex H.** *Diseño sismoresistente de edificios*. Barcelona : Editorial Leverte, ISBN: 84-291-20011-4, 2004.
- Saavedra, Juan C.** *Diseño con CYPECAD para la gestión estratégica de proyectos en edificaciones*. Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2017.
- San Bartolomé, Ángel.** *Análisis de edificios*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú fondo editorial, ISBN: 9972-42-112-0, 1998.

Trujillo, Jorge E. *Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería.* Manizales: : Centro de publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, ISBN: 978-958-8280-08-0, 2007.

Trejo, Nicolas A. *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción.* Universidad de Chile. Santiago de Chile : -, 2018. pág. 138, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.

Valderrama, Gabriel. *Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático.* Escuela colombiana de ingeniería Julio Garabito, Bogota : Escuela de ingeniería, 2016.

ANEXOS.

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Título: "USO DE LA METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS – 2023"						
Problema	Objetivos	hipótesis	variable	DIMENSION	Indicadores	índices
General.	General:	General:	V. Independiente: METODOLOGÍA BIM	Herramientas informáticas BIM	Software BIM: Revit, Robot Structural Analysis Professional.	N O M I N A L
¿De qué manera la Metodología y las herramientas BIM agilizan el proceso de diseño estructural sismorresistente de un edificio multifamiliar de 4 niveles, en la localidad de PEBAS – 2023?	Determinar de que manera la Metodología y herramientas BIM agilizan el Análisis y Diseño Estructural Sismorresistente de un edificio multifamiliar de cuatro niveles en la localidad de PEBAS – 2023.	El uso de la Metodología y Herramientas BIM agiliza el proceso de diseño estructural sismorresistente y asegura la calidad de la información para la construcción futura del edificio multifamiliar de 4 niveles en la localidad de Pebas – 2023.		Interoperabilidad de Programas BIM	Software BIM compatibles "Direct Link"	
				Flujo de Trabajo BIM	Procedimientos de Comunicación	
					Colaboración y Coordinación	
Específicos:	Específicos:	Específicos:	V. Dependiente: Diseño Estructural Sismorresistente	Estudio de mecánica de suelos	Capacidad portante del suelo	I N T E R V A L O
¿Cómo usar la herramienta BIM (Revit) para elaborar un modelo 3D físico del proyecto y extraer información relevante del edificio multifamiliar de 4 niveles?	Determinar bajo qué consideraciones la herramienta BIM (Revit) se usa para elaborar un modelo 3D físico del proyecto que permita extraer información relevante del edificio multifamiliar de 4 niveles.	La elaboración del modelo físico BIM 3D con la herramienta Revit optimiza los recursos en la elaboración de los metrados y planos, ayuda a comprender la distribución arquitectónica y estructural del edificio multifamiliar de 4 niveles.		Estructuración y Pre-dimensionamiento	Luces, dimensionamiento de las losas, vigas, columnas y zapatas	
				Metrado y combinación de cargas	Carga muerta y carga viva	
¿Cómo aprovechar la herramienta de la metodología BIM (Robot Structural Analysis Professional) para agilizar el procedimiento del análisis modal, estático y dinámico en el diseño del edificio	Identificar en qué medida la herramienta de la metodología BIM (Robot Structural Analysis Professional) se puede aprovechar para agilizar el procedimiento del análisis modal, estático y dinámico en el diseño del edificio multifamiliar	El uso de la herramienta BIM (Robot Structural Analysis Professional), agiliza el análisis modal, estático y dinámico de la estructura del edificio multifamiliar de 4 niveles.		Análisis estructural por cargas de gravedad y cargas sísmicas	Cortante Basal estático y dinámico	
					Rigidez, Deriva y Desplazamiento	
					Espectro de respuesta sísmica	
¿De qué manera las herramientas BIM Revit y Robot permiten generar un modelo analítico y trabajar bidireccionalmente con un flujo de información interoperable en la realización del proyecto estructural?	Examinar de qué manera las herramientas BIM Revit y Robot permiten generar un modelo analítico y trabajar bidireccionalmente con un flujo de información interoperable en la realización del proyecto estructural.	La elaboración de un modelo analítico con las herramientas BIM Revit y Robot permite trabajar de forma bidireccional y coordinada por medio de la interoperabilidad directa, la cual agiliza el proceso de desarrollo del proyecto estructural.	Cálculos de aceros en la estructura	Documentación, reportes y planos en detalles		

ANEXO 02: ESTUDIO MECÁNICA DE SUELOS

RESUMEN DE PERFIL ESTRATIGRAFICO					
C01 al C04					
N° DE CALICATA	ESTRATO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION DEL SUELO	CLASIFICACION DE SUCS	CASIFICACION DE AASHTO
C1	A	0.00-0.20	Turba Orgánica	PT	---
	B	0.20-3.00	arcilla inorganica de alta plasticidad color rojis con manchas grises, con 33.5% de humedad y 3.97% de Arena.	CH	A-7-6 (16)
C2	A	0.00-0.20	Turba Orgánica	PT	---
	B	0.20-3.00	arcilla inorganica de alta plasticidad color gris con manchas marrones, con 30.30% de humedad y 3.05% de Arena.	CH	A-7-6 (16)
C3	A	0.00-0.20	Turba Orgánica	PT	---
	B	0.20-3.00	arcilla inorganica de alta plasticidad color marron, con 31.3% de humedad y 2.81% de Arena.	CH	A-7-6 (16)
C4	A	0.00-0.20	Turba Orgánica	PT	---
	B	0.20-3.00	arcilla inorganica de alta plasticidad color marron, con 31.3% de humedad y 2.86% de Arena.	CH	A-7-6 (16)

7 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE:

Para calcular la resistencia del suelo se empleó la ecuación general de capacidad portante de Terzaghi y se complementó el análisis con el criterio de Bowles (1988) que correlaciona la capacidad portante con el ensayo SPT (ver en anexos cuadro penetración Dinámica Ligera).

a) Según Terzaghi:

Para zapatas cuadradas;

$$q_c = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \text{ (Ecuación general)}$$

Donde: q_c = Capacidad de carga última, en ton / m^2

c = Cohesión del suelo, en ton / m^2

γ = Peso volumétrico del suelo, en ton / m^3

D_f = Profundidad de desplante, en m.

B = Ancho del cimiento en m.

γD_f = Sobrecarga o presión efectiva al nivel de desplante en ton / m^2

q_u = Resistencia a la compresión simple = $2 C_u$; en ton / m^2

N_c , N_q y N_γ son factores adimensionales que dependen del ángulo de fricción del suelo de cimentación.

b) Según Bowles:

$$q_a = \frac{N}{2.5} \left(1 + 0.33 \frac{D}{B} \right) \text{ para } B < 4', \quad q_a = \frac{N}{4} \left(\frac{B+1}{B} \right)^2 \left(1 + 0.33 \frac{D}{B} \right); \quad B \geq 4'$$

Donde: q_a = Presión para 1" de asentamiento en Kips / pie²
 N = Golpes / pie del ensayo de penetración estándar SPT
 B = Ancho del cimiento en pies
 D = Profundidad en pies

8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL NO CONFINADA:

Se han ejecutado **Ensayos de Penetración Dinámica Ligera**, para determinar el *esfuerzo de resistencia uniaxial no confinada o sin confinamiento*, esto es:

Auscultación Dinámica Ligera N°:	DPL – 1 (0.00m – 4.80m)
	Lect. 1
Profundidad (m)	1.50
N	9
<i>Esfuerzo de resistencia uniaxial no confinada</i>	0.86 Kg/cm ²

Auscultación Dinámica Ligera N°:	DPL – 2 (0.00m – 4.80m)
	Lect. 1
Profundidad (m)	1.50
N	9
<i>Esfuerzo de resistencia uniaxial no confinada</i>	0.86 Kg/cm ²

9 ANALISIS DE LA CIMENTACIÓN

Las características arquitectónicas y estructurales del proyecto, la heterogeneidad del perfil estratigráfico, las propiedades geotécnicas y condiciones mecánicas generales del subsuelo son tales que es necesario considerar alternativas de cimentación superficial combinándola con el tipo profunda.

9.1 PROFUNDIDAD DE CIMENTACION:

Las profundidades de cimentación varían de acuerdo a las características de los suelos encontrados y las estructuras proyectadas.

Para los fines de construcción de elementos estructurales en el área proyectada, se deberá tener en cuenta el tipo de estructura, de acuerdo al análisis del perfil estratigráfico en base a las características geotécnicas del suelo de fundación.

La profundidad de cimentación mínima ($D_{f\min}$), a partir del nivel natural del terreno, recomendada, se detalla en cuadro N° 01.

9.2 TIPO DE CIMENTACION:

El tipo de cimentación, deberá ser la adecuada y que mejor respuesta otorgue al tipo de estructura a construir, para lo cual se detalla en el cuadro N° 01.

9.3 CAPACIDAD ADMISIBLE:

Se ha calculado la capacidad admisible, mediante los ensayos de penetración estándar Vesid (1973), y análisis con el criterio de Bowles (1988). (Normas DIN 4094, ASTM D-1586 y ASTM D-2487).

El factor mínimo de seguridad recomendado es **FS= 3.00** y se tuvo en cuenta que por efecto de la excavación para la construcción habrá disponible un excedente de esfuerzo medio equivalente al peso del suelo excavado.

Para lo cual, el proyectista deberá zonificar de acuerdo a los sectores y áreas de influencia delimitados en el presente estudio, desde la c-1 hasta la c-5, para así utilizar las capacidades portantes del suelo correspondientes y los valores del Angulo de fricción interna especificados, en la sección de anexos.

Las características geotécnicas de los suelos en función a la profundidad o ubicación interna, se resume en el sgte cuadro N° 01:

CUADRO N° 01					
Elementos estructurales (super estructura)	Profundidad de cimentación		Capacidad Admisible $q_{adm} =$ (Kg/cm ²)	Tipo de cimentación	Recomendaciones
	Sector	D_{fmin} (m)			
COLUMNAS, VIGAS DE AMARRE, COBERTURA DE MADERA Y CALAMINA	C-1 AL C-5	1.50	0.86	Zapatas conectadas a traves de vigas de cimentación obligatoriamente armadas ortogonalmente de C°A°.	Incrementar 0.10m de profundidad por debajo del nivel de cimentación, para un solado de C° pobre C:A.-1:8. Compactar en las secciones excavadas para la construcción de las zapatas (considerar las Normas técnicas ASTM D-1557-Proctor Modificado para la Compactación)

10 NIVEL FREÁTICO Y COTA 00 DE LAS EXPLORACIONES

Durante el proceso de perforación no se detectó filtraciones de agua. La cota 00 de las exploraciones corresponde al nivel del terreno donde localizamos cada una de ellas.

11 ASENTAMIENTOS TEÓRICOS PROBABLES

Las fórmulas y ecuaciones para el análisis de capacidad portante se calculan para producir solo una (1) pulgada de asentamiento y se evaluaron los asentamientos totales empleando el triángulo de Schmertmann (1970) y la distribución de esfuerzos de Boussinesq. El análisis se proyecta hasta una profundidad de dos (2) veces el ancho probable de la cimentación, donde se consideran que los incrementos de esfuerzos serán mínimos.

12 CONCLUSIONES

1. Los suelos identificados en el área donde se proyectarán las estructuras, está constituido por limos y arenas.
2. La cimentación propiamente dicha será de tipo superficial a base de zapatas individuales entrelazadas con vigas de cimentación, construidas en concreto reforzado.
3. La capacidad portante del subsuelo o esfuerzo de trabajo máximo, promedio de acuerdo a los sondeos, ensayos realizados y el cuadro de cálculos de capacidad portante para la profundidad de desplante recomendada es del orden de:

$$q_{adm} = 0.86 \text{ Kg/cm}^2 = 8.6 \text{ Ton/m}^2 \dots \text{ (Apoyo de zapatas conectadas por vigas de cimentación).}$$

ANEXO 03: METRADO DE CARGAS

1. METRADO DE CARGA MUERTA - ACABADOS					
1.1. Cuadro - Acabados de Pisos					
Nivel	Altura de Acabado (m)	Recuento	*Área (m ²)	Peso Piso Terminado h=5cm (tn/m ²)	Peso (tn)
Nivel 1	0.05	1.00	77.00	0.10	7.70
Nivel 2	0.05	1.00	77.00	0.10	7.70
Nivel 3	0.05	1.00	77.00	0.10	7.70
Nivel 4	0.05	1.00	77.00	0.10	7.70
Total general:					30.80

* Area de Losa Exportado del calculo automaico de REVIT 2020

2.0 METRADO TABIQUERIA									
Restricción de base	Tipo	Comentarios	Recuento	Longitud (m)	Altura desconectada	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Peso Esp Albañilería (Ton/m ³)	Peso de tabique (tn)
Nivel 2	MURO DE 15 CM	Tabique en "Y"	6.00	4.85	2.50	72.75	10.91	1.80	19.64
Nivel 2	MURO DE 15 CM	Tabiques en "X"	8.00	2.60	2.60	54.08	8.11	1.80	14.60
Nivel 2:						126.83	19.02		34.24
Nivel 3	MURO DE 15 CM	Tabique en "Y"	6.00	4.85	2.55	74.21	11.13	1.80	20.04
Nivel 3	MURO DE 15 CM	Tabiques en "X"	8.00	2.60	2.55	53.04	7.96	1.80	14.32
Nivel 3:						127.25	19.09		34.36
Nivel 4	MURO DE 15 CM	Tabique en "Y"	6.00	4.50	2.55	68.85	10.33	1.80	18.59
Nivel 4	MURO DE 15 CM	Tabiques en "X"	8.00	2.605	2.60	54.18	8.13	1.80	14.63
Nivel 4:						123.03	18.46		33.22
Nivel 5	MURO DE 15 CM	Tabique en "Y"	6.00	2.60	0.80	12.48	1.87	1.80	3.37
Nivel 5	MURO DE 15 CM	Tabiques en "X"	8.00	2.60	0.80	16.64	2.50	1.80	4.49
Nivel 5:						29.12	4.37		7.86
Total (ton):									109.68

3.0 RESUMEN DE CARGA MUERTA (CM) EN EL EDIFICIO					
Nivel de Referencia	Peso - Acabado de Piso Terminado (tn)	Peso de Tabiquería (tn)	Área de Piso (m ²)	Sub TOTAL (tn)	Peso por M ² (tn/m ²)
Nivel 1	7.70	34.24	77.00	41.94	0.54
Nivel 2	7.70	34.36	77.00	42.06	0.55
Nivel 3	7.70	33.22	77.00	40.92	0.53
Nivel 4	7.70	7.86	77.00	15.56	0.20
Total:	30.80	109.68	308.000	140.482	1.824

4. CUADRO DE CARGAS VIVAS (CV) POR NIVEL Y SEGUN USO DEL EDIFICIO				
NIVELES	DESCRIPCION - USO PARA (CV)	S/C (ton/m ²)	Área de Piso (m ²)	Total (Ton)
Nivel 1	Vivienda Multifamiliar	0.200	77.00	15.40
Nivel 2	Vivienda Multifamiliar	0.200	77.00	15.40
Nivel 3	Vivienda Multifamiliar	0.200	77.00	15.40
Nivel 4	Azotea	0.100	77.00	7.70
-	Escalera y hall	0.200	1.00	0.20
NORMA E.020 - CARGAS			TOTAL:	54.10

5.0 RESUMEN PESO PROPIO DEL EDIFICIO (PP)			
Nivel de Referencia	ELEMENTOS	Peso (Tnf)	Peso Por Nivel (Tnf)
Nivel 1	COLUMNAS	18.57	63.00
	VIGAS	16.96	
	LOSA ALIGERADA	25.55	
	LOSA MACIZA	1.92	
Nivel 2	COLUMNAS	14.80	59.23
	VIGAS	16.96	
	LOSA ALIGERADA	25.55	
	LOSA MACIZA	1.92	
Nivel 3	COLUMNAS	14.80	59.23
	VIGAS	16.96	
	LOSA ALIGERADA	25.55	
	LOSA MACIZA	1.92	
Nivel 4	COLUMNAS	17.50	68.57
	VIGAS	19.76	
	LOSA ALIGERADA	25.55	
	LOSA MACIZA	5.76	
TOTAL: (tn)		250.03	

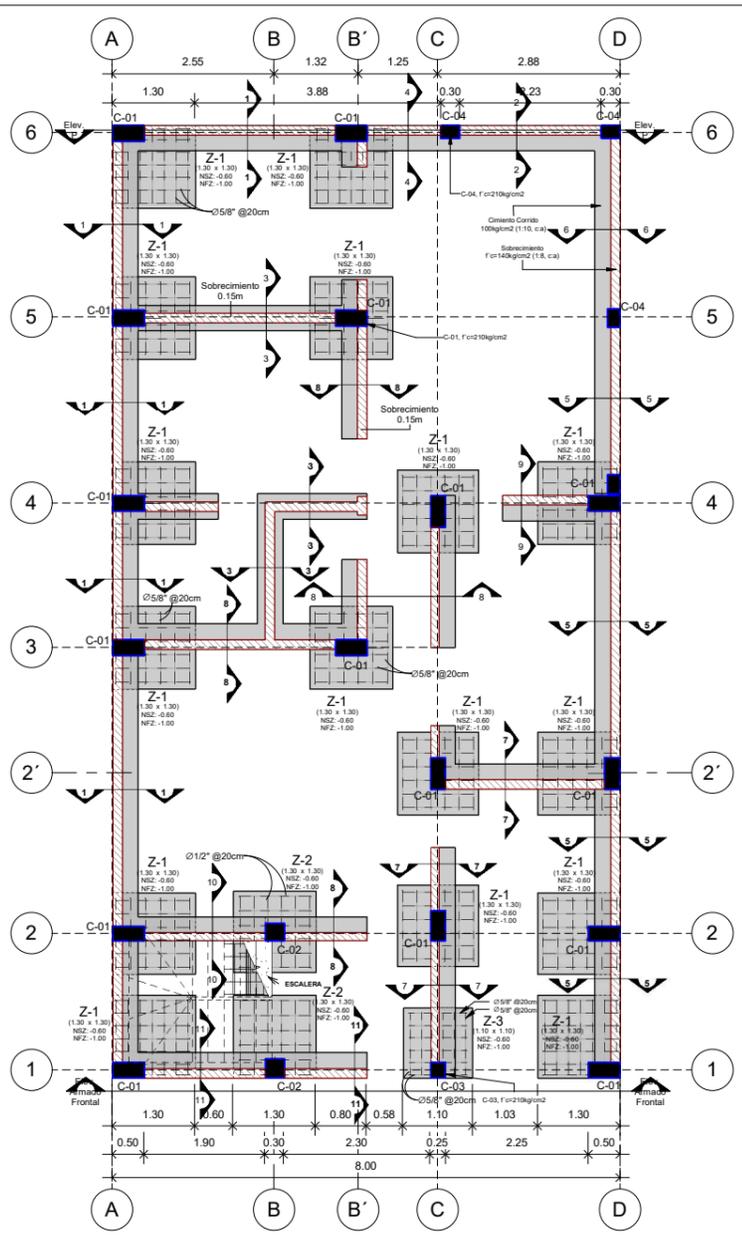
5.10 METRADO PESO DE COLUMNAS, f'c=210kg/cm2						
Nivel base	Tipo	Longitud (m)	Recuento	Volumen (m3)	PU CONCRETO (Ton/m3)	PESO (Ton)
Nivel 0-CIM.	C-25*25	3.45	1.00	0.22	2.40	0.52
Nivel 0-CIM.	C-25*50	55.20	16.00	6.90	2.40	16.56
Nivel 0-CIM.	C-30*30	6.90	2.00	0.62	2.40	1.49
Nivel 0-CIM.: 23		86.25	23.00	9.31		18.57
Nivel 2	C-25*25	2.75	1.00	0.17	2.40	0.41
Nivel 2	C-25*50	44.00	16.00	5.50	2.40	13.20
Nivel 2	C-30*30	5.50	2.00	0.50	2.40	1.19
Nivel 2: 19		52.25	19.00	6.17		14.80
Nivel 3	C-25*25	2.75	1.00	0.17	2.40	0.41
Nivel 3	C-25*50	44.00	16.00	5.50	2.40	13.20
Nivel 3	C-30*30	5.50	2.00	0.50	2.40	1.19
Nivel 3: 19		52.25	19.00	6.17		14.80
Nivel 4	C-25*25	2.75	1.00	0.17	2.40	0.41
Nivel 4	C-25*50	44.00	16.00	5.50	2.40	13.20
Nivel 4	C-30*30	5.50	2.00	0.50	2.40	1.19
Nivel 4: 19		52.25	19.00	6.17		14.80
Nivel 5	C-25*50	9.00	4.00	1.13	2.40	2.70
Nivel 5: 8		14.60	8.00	1.29		2.70
Total general: 88		257.60	88.00	29.10		65.67

5.20 METRADO PESO DE VIGAS, $f'c=210\text{kg/cm}^2$						
Nivel de referencia	Tipo	Longitud (m)	Recuento	Volumen (m3)	PU CONCRETO (Ton/m3)	PESO (Ton)
Nivel 2	VA-25X20	2.27	1	0.1	0.10	0.24
Nivel 2	VB-15X25	11.18	4	0.38	0.38	0.92
Nivel 2	VCH-30x25	2.18	1	0.14	0.14	0.33
Nivel 2	VP-25X40	54.17	17	4.74	4.74	11.38
Nivel 2	VS-25X30	25.52	14	1.7	1.70	4.08
Nivel 2: 37		95.31	37	7.07	7.07	16.96
Nivel 3	VA-25X20	2.27	1.00	0.10	0.10	0.24
Nivel 3	VB-15X25	11.18	4	0.38	0.38	0.92
Nivel 3	VCH-30x25	2.18	1	0.14	0.14	0.33
Nivel 3	VP-25X40	54.54	17	4.74	4.74	11.38
Nivel 3	VS-25X30	25.51	14	1.7	1.70	4.08
Nivel 3: 37		95.67	37	7.07	7.07	16.96
Nivel 4	VA-25X20	2.27	1	0.1	0.10	0.24
Nivel 4	VB-15X25	11.18	4	0.38	0.38	0.92
Nivel 4	VCH-30x25	2.18	1	0.14	0.14	0.33
Nivel 4	VP-25X40	54.54	17	4.74	4.74	11.38
Nivel 4	VS-25X30	25.51	14	1.7	1.70	4.08
Nivel 4: 37		95.67	37	7.07	7.07	16.96
Nivel 5	VA-25X20	2.27	1.00	0.10	0.10	0.24
Nivel 5	VB-15X25	11.18	4	0.38	0.38	0.92
Nivel 5	VCH-30x25	2.18	1	0.14	0.14	0.33
Nivel 5	VP-25X40	54.59	17	4.74	4.74	11.38
Nivel 5	VS-25X30	28.26	15	1.87	1.87	4.49
Nivel 5: 38		98.47	38	7.24	7.24	17.36
Nivel 6	VP-25X40	8.24	2	0.75	0.75	1.8
Nivel 6	VS-25X30	3.82	3	0.25	0.25	0.6
Nivel 6: 5		12.06	5	1	1.00	2.4
Total general: 154		397.18	154.00	29.43	29.43	70.63

5.30 METRADO PESO DE LOSAS, $f'c=210\text{kg/cm}^2$				
Nivel	Tipo	Area por Piso (m2)	Peso por m2 de losa (Ton/m2)	PESO TOTAL (Ton)
Nivel 1	ALIGERADO 0.25M	73.00	0.35	25.55
	L. MACIZA DE 0.15M	4.00	0.48	1.92
Nivel 2	ALIGERADO 0.25M	73.00	0.35	25.55
	L. MACIZA DE 0.15M	4.00	0.48	1.92
Nivel 3	ALIGERADO 0.25M	73.00	0.35	25.55
	L. MACIZA DE 0.15M	4.00	0.48	1.92
Nivel 4	ALIGERADO 0.25M	73.00	0.35	25.55
	L. MACIZA DE 0.15M	12.00	0.48	5.76
Total				113.72

6. RESUMEN PESO TOTAL DEL EDIFICIO POR NIVELES					
NIVELES	CM PP (tn)	CM P. TAB + ACA. (tn)	Área de Piso (m2)	CV (tn)	C. TOTAL (tn)
Nivel 1	63.00	41.94	77.00	15.40	120.34
Nivel 2	59.23	42.06	77.00	15.40	116.69
Nivel 3	59.23	40.92	77.00	15.40	115.55
Nivel 4	68.57	15.56	77.00	7.90	92.03
TOTAL	250.03	140.48	308.00	54.10	444.61
PESO TOTAL DEL EDIFICIO:					444.61

ANEXO 04: PLANOS ESTRUCTURALES DEL PROYECTO



01. PLANTA CIMENTACION
Esc: 1:50

PARAMETROS SISMOTECNICOS
(NORMAS TECNICAS E-030)

$$V = \frac{ZUSC}{R} * P$$

$Z = 0.10$
 $U = 1.0$
 $S = 1.6$
 $C = 2.5$
 $P =$ PESO DE EDIF.
 $R = 8.00$ (PORTICOS)
 $V = 0.05 * P$

CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

A. NORMAS Y ESTANDARES UTILIZADOS

1.0 NORMAS UTILIZADAS

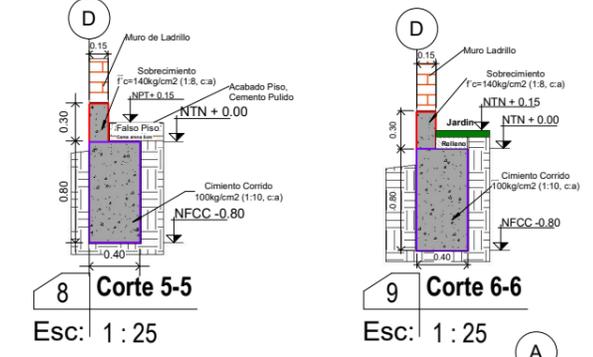
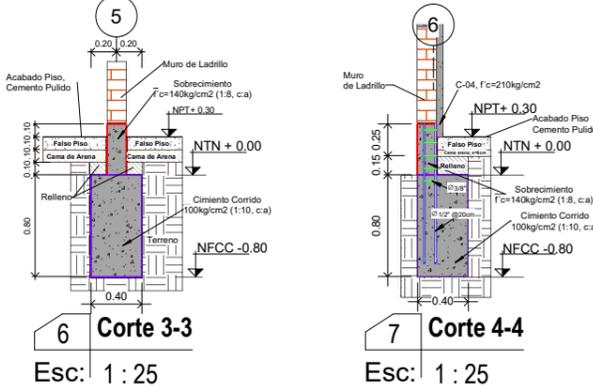
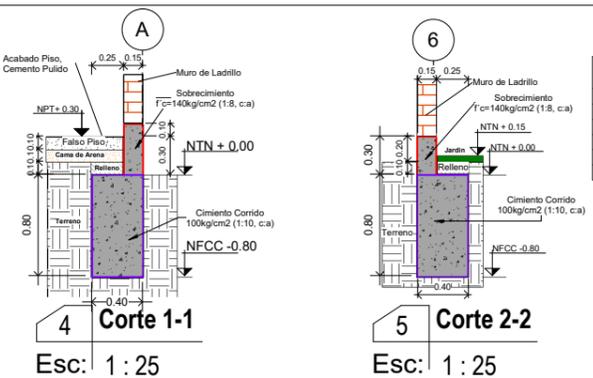
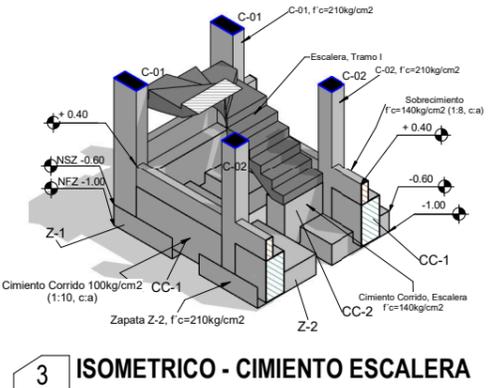
NORMA E-020: CARGAS
 NORMA E-030: DISEÑO SISMORRESISTENTE
 NORMA E-050: SUELOS Y CIMENTACIONES
 NORMA E-060: CONCRETO ARMADO

2.0 ESTANDARES UTILIZADOS

REGLAMENTO ACI-318-14

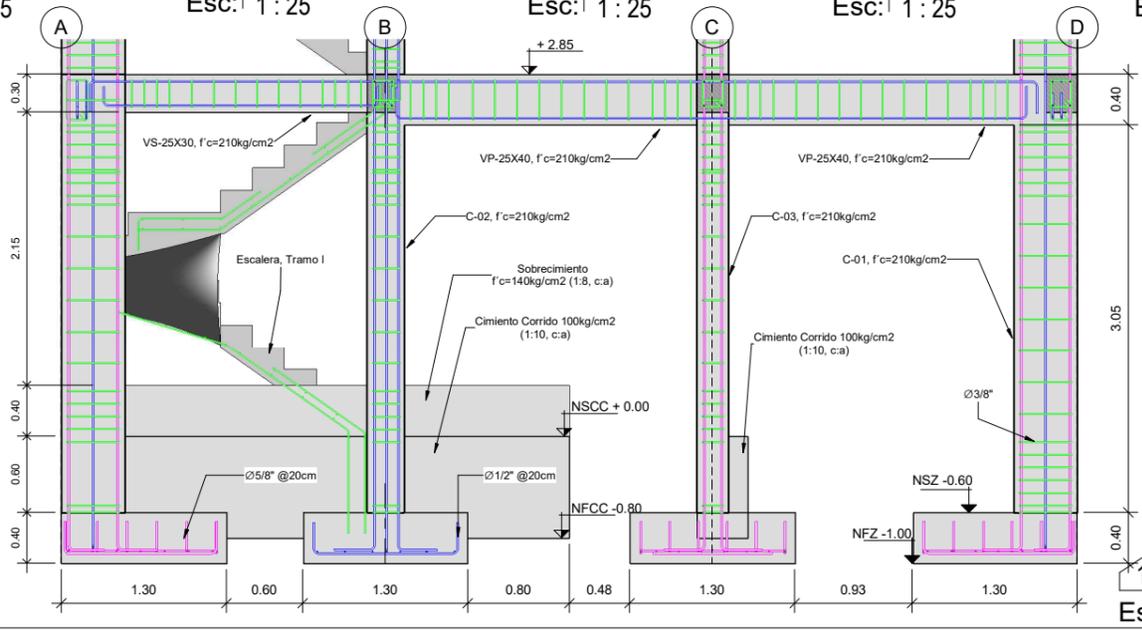
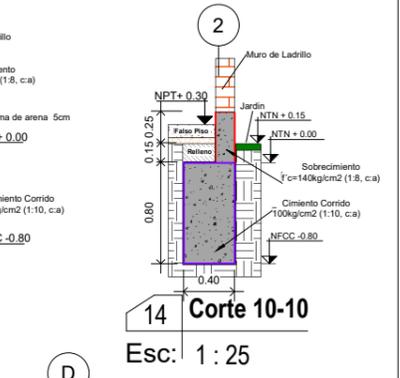
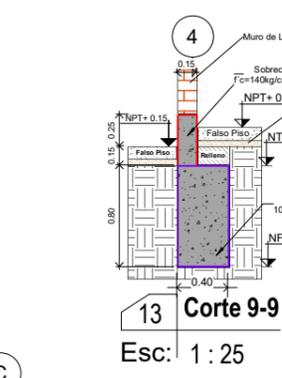
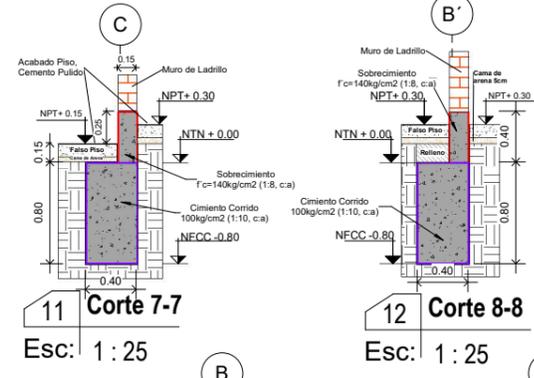
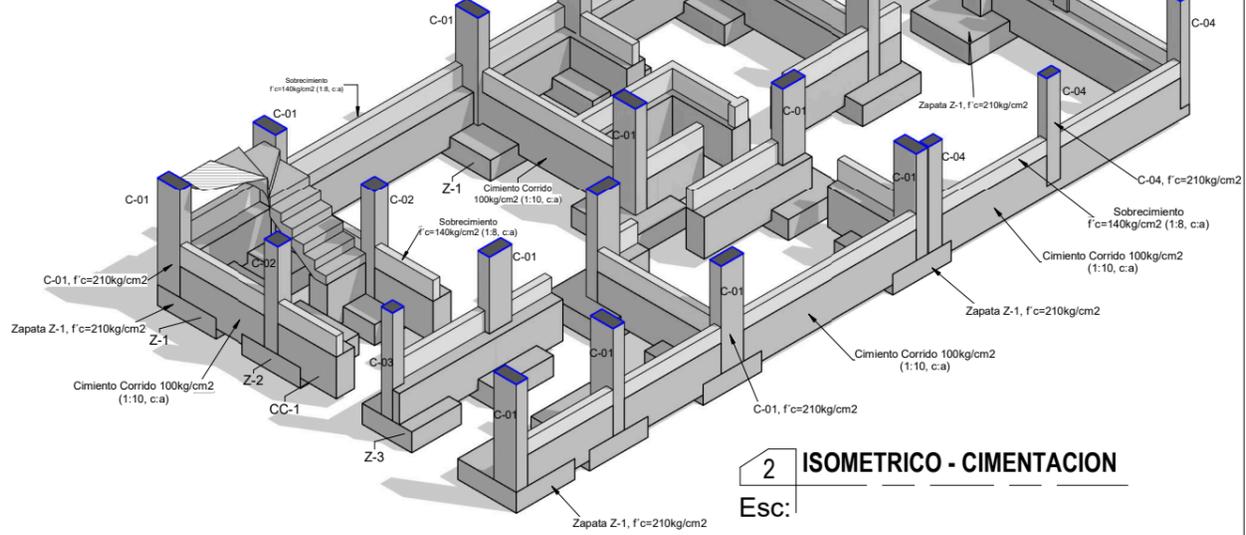
B. CARGAS DE DISEÑO

1.0 PESO DE LOSA ALIGERADA H=0.20 m	300 kg/m ²
2.0 PESO DE LOSA MACIZA H=0.20m	480 kg/m ²
3.0 CARGA VIVA EN ESCALERAS	200 kg/m ²
4.0 CARGA VIVA EN AZOTEA	100 kg/m ²
5.0 CARGA VIVA EN PLANTAS	200 kg/m ²
6.0 CARGA MUERTA DE PISO TERMINADO	100 kg/m ²
7.0 COEFICIENTES SISMICOS (E-030)	
a. FACTOR DE USO (U):	1.00
b. FACTOR DE ZONA (Z):	0.10
c. FACTOR DE SUELO (S):	1.60
d. COEFICIENTE SISMICO (C):	2.50
e. SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICOS	8.00

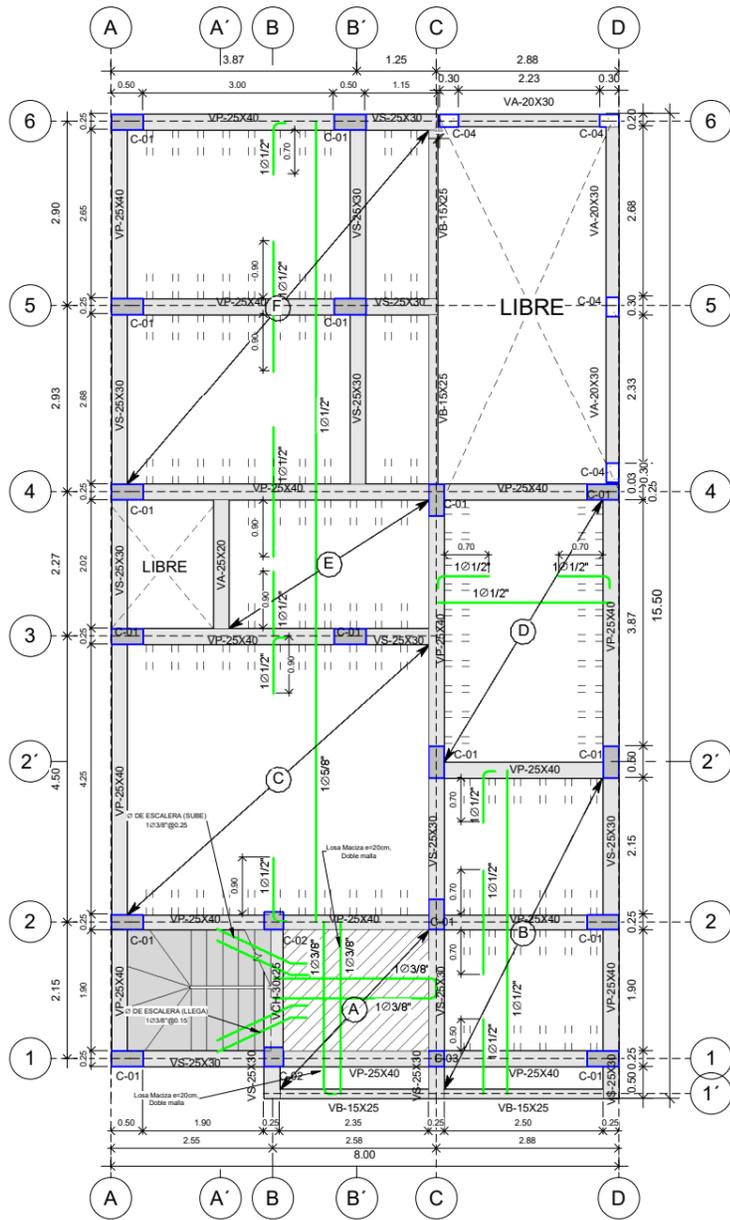


Metrado Cimentaciones

Elemento Estructural	Material estructural	Longitud	Ancho	Volumen	Recuento
CC-01 (0.40x0.90m)	Concreto f'c=140 kg/cm ²			18.96 m ³	30
CC-02 (0.40x0.90m)	Concreto f'c=140 kg/cm ²	0.85	0.40	0.31 m ³	1
Z-1 (0.40x1.30x1.30m)	Concreto f'c=210 kg/cm ²	1.30	1.30	10.48 m ³	16
Z-2 (0.40x1.30x1.30m)	Concreto f'c=210 kg/cm ²	1.30	1.30	1.25 m ³	2
Z-3 (0.40x1.10x1.10m)	Concreto f'c=210 kg/cm ²	1.10	1.10	0.48 m ³	1
Total general:				31.48 m³	50

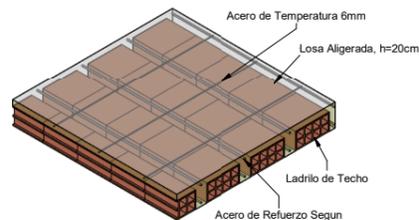


<p>UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERU - UCP</p>	<p>TIPO DE PROYECTO:</p> <p>TESIS PARA OPTAR TITULO DE INGENIERO CIVIL</p>	<p>NOMBRE DEL PROYECTO:</p> <p>"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"</p>	<p>UBICACION DEL PROYECTO:</p> <p>DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU</p>	<p>TESISTAS:</p> <p>Bach. MILLER VALVERDE F. Bach. AMPARITO DE JESUS AHUANARI S.</p>	<p>FECHA DEL PROYECTO:</p> <p>AGOSTO - 2023</p>	<p>PLANO:</p> <p>PLANTA DE CIMENTACION</p>	<p>ESPECIALIDAD:</p> <p>ESTRUCTURAS</p>
					<p>ESCALA:</p> <p>COMO SE INDICA</p>		<p>LAMINA:</p> <p>EST. - 01</p>



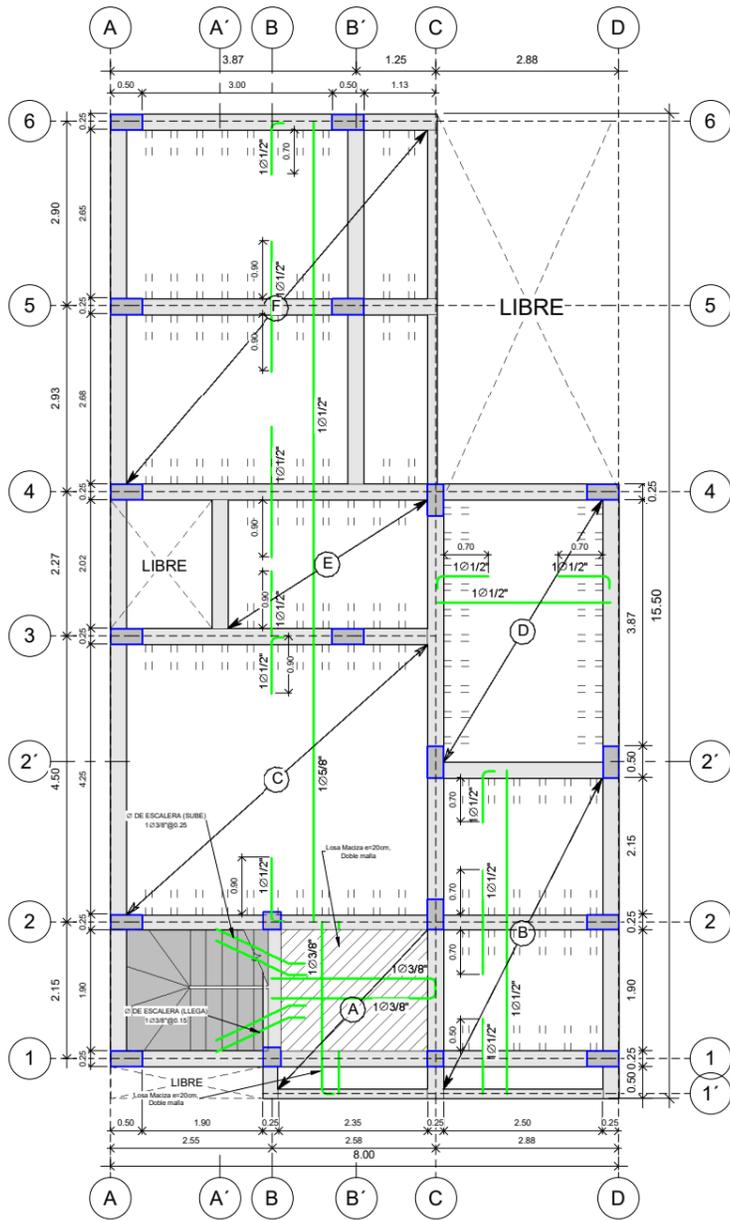
1 02. TECHO ALIGERADO PISO 1

Esc: 1 : 50



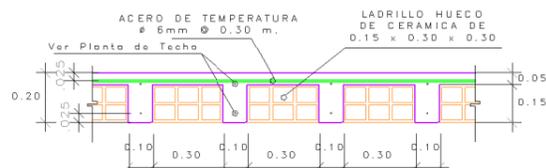
3 ISOMETRICO - LOSA ALIGERADA

Esc:



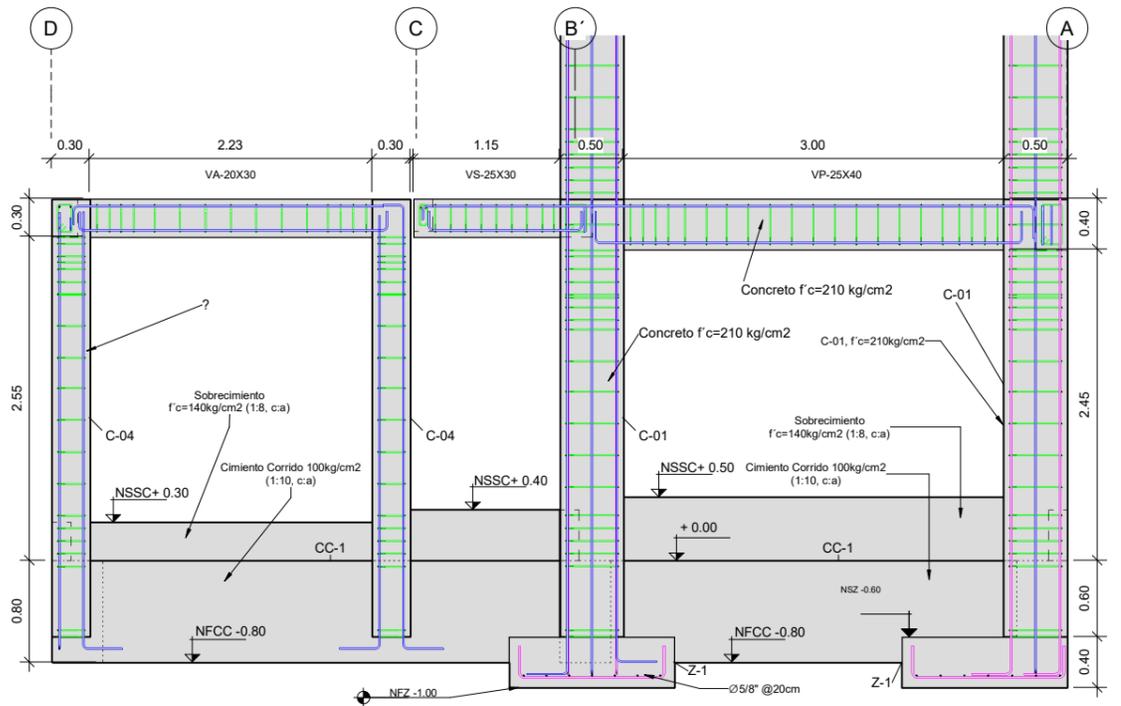
2 03. TECHO ALIGERADO TÍPICO PISO 2 A 4

Esc: 1 : 50



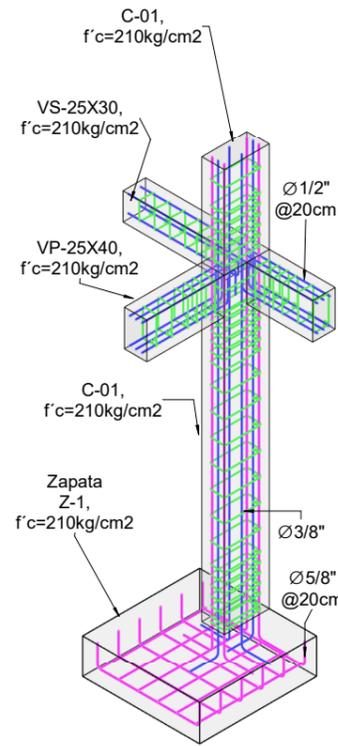
4 A. DETALLE DE ALIEGERADO H=20cm

Esc: 1 : 10



5 Elev. Armado Posterior

Esc: 1 : 25



6 ISOMETRICO - CONEXION TIPICA VIGA-COLUMNA

Esc:

CUADRO DE VIGAS						
TIPOS	VB-(15X25)	VA-(20X30)	VA-(25X20)	VCH-(30X25)	VS-(25X30)	VP-(25X40)
DIMENSIONES						
ACEROS	4Ø 3/8"	4Ø 1/2"	4Ø 1/2"	4Ø 1/2"	4Ø 1/2"	6Ø 1/2"
ESTRIBOS	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 3.05x10 Resto Ø 25m	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 3.05x10 Resto Ø 25m	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 3.05x10 Resto Ø 25m	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 3.05x10 Resto Ø 175m	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 3.05x10 Resto Ø 175m	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 3.05x10 Resto Ø 175m
CANTIDAD	16 UND. (Piso 1@4)	03 UND. (Piso 1@4)	04 UND. (Piso 1@4)	04 UND. (Piso 1@4)	60 UNID. (Piso 1@4)	70 UNID. (Piso 1@4)

CUADRO DE COLUMNAS				
TIPOS	C01-(25X50)	C02-(30X30)	C03-(25X25)	C04-(20X30)
DIMENSIONES				
ACEROS	4Ø 5/8" + 4Ø 1/2"	8Ø 1/2"	4Ø 5/8"	4Ø 1/2"
ESTRIBOS	Est. Ø 3/8" 1Ø 0.05, 5.05x10 Resto Ø 25m			
CANTIDAD	68 UND. (Piso 1@4)	08 UND. (Piso 1@4)	04 UND. (Piso 1@4)	04 UND. (Piso 1@4)

Cuadro de Vigas & Columnas

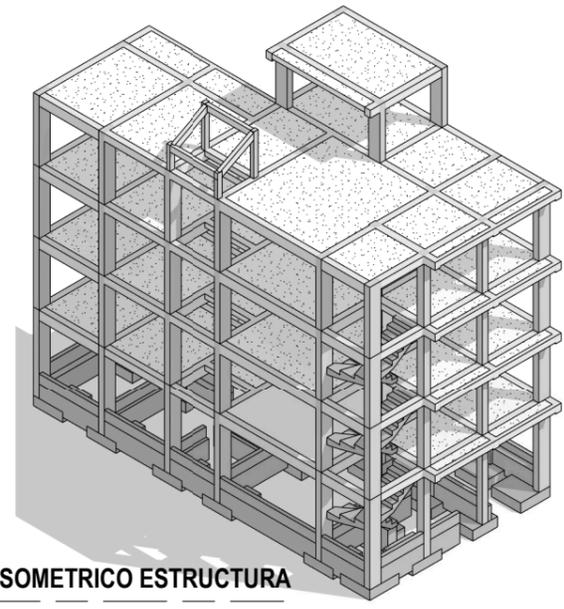
Esc: 1 : 20

A. METRADO CONCRETO - COLUMNAS					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
	Bach. Amparito J. Ahanari S.				
Nivel base	Material estructural	Tipo	Longitud (m)	Volumen (m3)	Recuento (und)
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	55.20	6.90	16
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	6.90	0.62	2
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	3.45	0.22	1
NFC	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-04	13.80	0.83	4
NFC: 23			79.35	8.56	23
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	44.00	5.50	16
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	5.50	0.49	2
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	2.75	0.17	1
Nivel 2: 19			52.25	6.16	19
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	44.00	5.50	16
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	5.50	0.50	2
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	2.75	0.17	1
Nivel 3: 19			52.25	6.17	19
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	44.00	5.50	16
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-02	5.50	0.50	2
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-03	2.75	0.17	1
Nivel 4: 19			52.25	6.17	19
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-01	9.00	1.13	4
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	C-15*20	5.60	0.17	4
Nivel 5: 8			14.60	1.29	8
Total general: 88			250.70	28.36	88

B. METRADO CONCRETO EN VIGAS.					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
	Bach. Amparito J. Ahanari S.				
Nivel de referencia	Material estructural	Tipo	Longitud (m)	Volumen (m3)	Recuento (und)
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-20X30	7.93	0.43	3
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	11.18	0.38	4
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.19	4.74	17
Nivel 2	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.62	1.70	14
Nivel 2: 40			103.37	7.50	40
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	11.18	0.38	4
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.54	4.74	17
Nivel 3	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.51	1.70	14
Nivel 3: 37			95.67	7.07	37
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	11.18	0.38	4
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.54	4.74	17
Nivel 4	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.51	1.70	14
Nivel 4: 37			95.67	7.07	37
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VA-25X20	2.27	0.10	1
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VB-15X25	18.98	0.65	8
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VCH-30x25	2.18	0.14	1
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	54.59	4.74	17
Nivel 5	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	25.51	1.70	14
Nivel 5: 41			103.52	7.34	41
Nivel 6	Concreto f'c=210 kg/cm2	VP-25X40	8.24	0.75	2
Nivel 6	Concreto f'c=210 kg/cm2	VS-25X30	6.57	0.42	4
Nivel 6: 6			14.81	1.17	6
Total general: 161			413.05	30.14	161

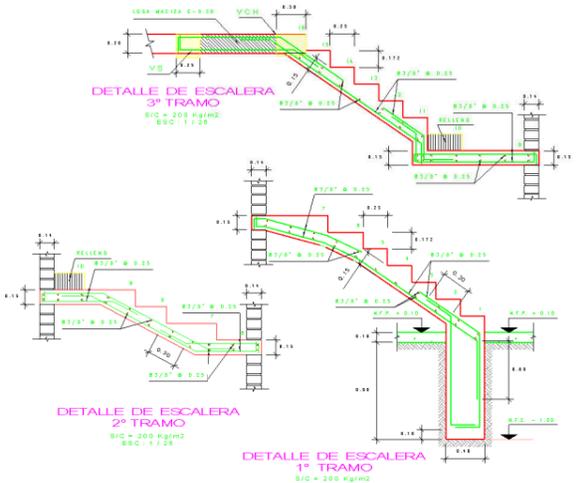
C. METRADO CONCRETO EN LOSA					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
	Bach. Amparito J. Ahanari S.				
Nivel	Tipo	Factor Concreto (m3/m2)	Área (m2)	Concreto (m3)	
Nivel 2	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	72.66	6.36	
Nivel 2	L. MACIZA DE 0.20M ESCALERA	0.200	4.37	0.87	
Nivel 3	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	72.64	6.36	
Nivel 3	L. MACIZA DE 0.20M ESCALERA	0.200	4.37	0.87	
Nivel 4	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	72.64	6.36	
Nivel 4	L. MACIZA DE 0.20M ESCALERA	0.200	4.37	0.87	
Nivel 5	ALIGERADO DE 0.20M	0.088	81.10	7.10	
Nivel 6	L. MACIZA DE 0.20M TANQUE	0.200	12.05	2.41	
Total general: 51			324.20	31.20	

E. METRADO ALBAÑILERIA, LOSA ALIGERADA					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
	Bach. Amparito J. Ahanari S.				
Nivel	Tipo	Factor Ladrillo (und/m2)	Área (m2)	Ladrillo (und)	
Nivel 2	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	72.66	605.24114	
Nivel 3	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	72.64	605.11619	
Nivel 4	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	72.64	605.11619	
Nivel 5	ALIGERADO DE 0.20M	8.33	81.10	675.54634	
Total general: 46			299.04	2491.01986	



6 ISOMETRICO ESTRUCTURA

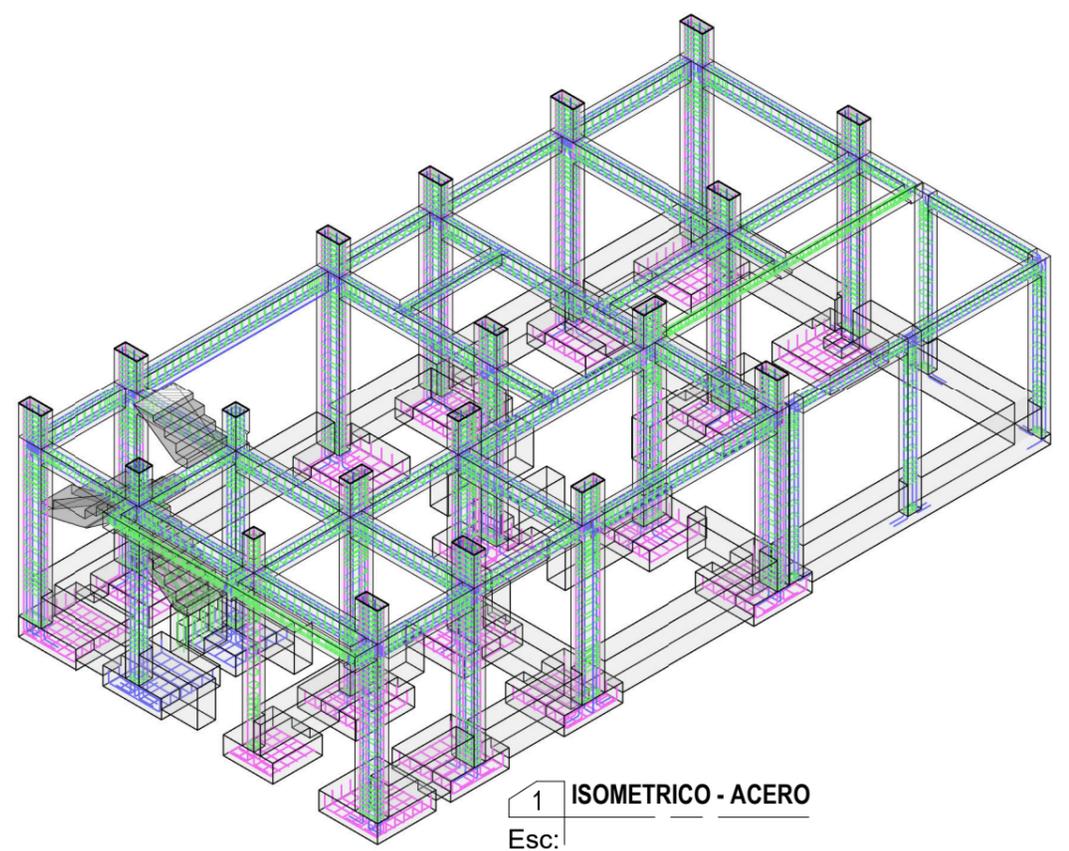
Esc:



5 F. DETALLE ESCALERA

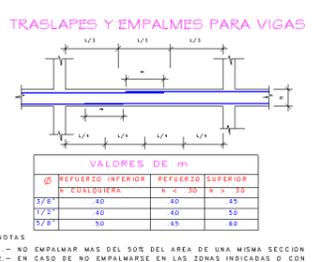
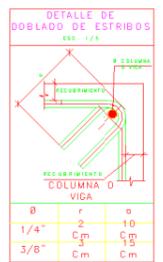
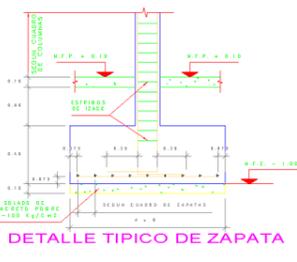
Esc: 1:20

D. METRADO ACERO DE REFUERZO EN CIMENTACION, VIGAS Y COLUMNAS					
PROYECTO:	"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"				
UBICACION:	DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU				
Elaborado por:	Bach. Miller Valverde F.	Revisado por:		Fecha:	23/08/2023
	Bach. Amparito J. Ahanari S.				
Elemento Estructural	Material	Diámetro	Longitud (m)	Cantidad de Varillas	Peso Total (kg)
Armazón estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	1/2"	1987.36	696	1975.44
Armazón estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	3/8"	2522.40	2545	1412.54
Armazón estructural: 965			4509.76	3241	3387.98
Cimentación estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	1/2"	33.12	24	32.92
Cimentación estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	3/8"	1.60	2	0.90
Cimentación estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	5/8"	288.75	212	448.14
Cimentación estructural: 44			323.47	238	481.96
Pilar estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	1/2"	1078.11	352	1071.64
Pilar estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	3/8"	1852.60	1570	1037.46
Pilar estructural	Acero Corrugado G-60, fy=4200kg/cm2	5/8"	866.94	288	1345.49
Pilar estructural: 946			3797.65	2210	3454.59
Total general: 1955			8630.88	5689	7324.53

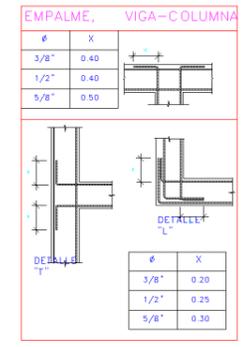


1 ISOMETRICO - ACERO

Esc:



ESPECIFICACIONES TECNICAS			
CONCRETO SIMPLE: C/A			
CIMENTOS ESCABIDOS: CONCRETO SIMPLE 1:1:0 (CEMENTO-ARENA)			
SOPRECIMENTOS: CONCRETO SIMPLE 1:8 (CEMENTO-ARENA)			
CONCRETO ARMADO			
CONCRETO	f'c = 210kg/cm2		
ACERO REFORZO	f'y = 4200 kg/cm2		
RECUBRIMIENTOS			
VIGAS PERALTADAS Y COLUMNAS	4.0 Cm		
VIGAS CHATAS	2.5 Cm		
ESCALERAS Y ALISERADOS	2.0 Cm		
ZAPATAS	7.5 Cm		
SOPRECARGAS			
S/C A P	S/C INDICADA EN LOS PLANOS DE ALIGERADOS		
PIED	200 Kg / m2		
ADICIA	100 Kg / m2		
ESCALERA	200 Kg / m2		
LONGITUDES MINIMAS DE ANCLAJE Y TRASLAPES DE ARMADURAS			
Ø	ANCLAJE	TRASLAPES	ESTRIBOS
1/4"	0.45	0.55	0.10
3/8"	0.45	0.55	0.15
1/2"	0.50	0.60	
5/8"	0.60	0.75	
3/4"	0.75	0.90	
TERRENO			
CANTIDAD PORBOTE: 888 Kg/m2			
ESPECIFICACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION			
REGlamento NACIONAL DE CONSTRUCCIONES - PNE			
NORMAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE E-030			
NORMAS TECNICAS DE ERFICACION E-029, E-030, E-036			
NOTAS:			
1) - TODAS LAS ZAPATAS TIENEN h = 0.50 CONCRETO f'c = 175 kg/cm2			
2) - EL NIVEL DE CIMENTACION SERA + 1.00, SALVO ESTE INDICADO EN PLANTA			
3) - PARA EL TRAZO DE CIMENTACION VER LOS PLANOS DE ARQUITECTURA			



TIPO DE PROYECTO:
TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

NOMBRE DEL PROYECTO:
"USOS DE LA METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS BIM PARA EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 NIVELES, PEBAS - 2023"

UBICACION DEL PROYECTO:
DISTRITO DE PEBAS - PMRC- LORETO - PERU

TESIS:
Bach. MILLER VALVERDE F. Bach. AMPARITO DE J. AHUANARI S.

FECHA DEL PROYECTO:
AGOSTO - 2023

ESCALA:
COMO SE INDICA

PLANO:
DETALLES Y METRADOS

ESPECIALIDAD:
ESTRUCTURAS

LAMINA:
EST. - 03