

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“COMPARACIÓN DEL PROYECTO ESTRUCTURAL DE UN  
HOTEL DE 8 NIVELES UTILIZANDO ETABS Y ROBOT SAP”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Bach. Rodríguez Cabanillas Karina

**ASESOR:**

Dr. Ing. Mosqueira Moreno Miguel Angel

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Rosa Cabanillas y Orlando Rodríguez  
por su apoyo incondicional y amor,  
por su constante ánimo para culminar este trabajo, y  
por ser parte de cada uno de los pasos que doy en mi vida.  
Todo de lo debo a ellos.

A mis hermanos Alexander Rodríguez y Gianmarco Rodríguez  
Por el ejemplo que me han dado para conseguir siempre mis metas,  
por estar preocupándose por mí, mi crecimiento personal y profesional;  
así como, mi bienestar, y porque sé que siempre tendré un lugar de protección con ellos.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia que es uno de los pilares más importantes en mi vida,  
agradezco mucho que siempre estén conmigo,  
apoyándome y animándome en cada paso.

A mi casa de estudios UNC y  
a la escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil  
por todas las experiencias nuevas y aprendizaje,  
para mi crecimiento personal y profesional,  
durante todo el tiempo formación académica.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.2.    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3.    HIPÓTESIS GENERAL.....	18
1.4.    JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5.    ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.6.    LIMITACIONES .....	20
1.7.    OBJETIVOS.....	21
1.8.    ORGANIZACIÓN DE LA TESIS .....	22
1.9.    INFORMACIÓN DEL PROYECTO A DISEÑAR.....	22
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.1.    ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
2.1.1. <i>A nivel internacional</i> .....	24
2.1.2. <i>A nivel nacional</i> .....	26
2.1.3. <i>A nivel local</i> .....	28
2.2.    BASES TEÓRICAS.....	30
2.2.1. <i>Sistemas estructurales de concreto armado</i> .....	30
2.2.2. <i>Estructuras de albañilería</i> .....	30

2.2.3.	<i>Cargas</i> .....	30
2.2.4.	<i>Conceptos de Diseño Sísmico en Edificaciones</i> .....	31
2.2.5.	<i>Parámetros de Diseño Sísmico en Edificaciones de la Norma E.030</i> .....	34
2.2.6.	<i>Tipos de Análisis Sísmico en Edificaciones</i> .....	40
2.2.7.	<i>Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad</i> .....	41
2.2.8.	<i>Combinaciones de diseño</i> .....	42
2.2.9.	<i>Parámetros en el diseño por flexión de vigas</i> .....	43
2.2.10.	<i>Softwares usados para el diseño estructural</i> .....	47
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....		<b>50</b>
3.1.	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	50
3.1.1.	<i>Ubicación Política</i> .....	50
3.1.2.	<i>Reconocimiento del lugar</i> .....	51
3.2.	PERIODO EN QUE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.3.	PROCEDIMIENTO.....	52
3.3.1.	<i>Predimensionamiento de elementos estructurales</i> .....	52
3.3.2.	<i>Propiedades mecánicas de los materiales utilizados</i> .....	56
3.3.3.	<i>Análisis de cargas</i> .....	57
3.3.3.1.	Cargas gravitacionales.....	57
3.3.3.2.	Carga lateral .....	59
3.3.4.	<i>Modelado y diseño sismorresistente con el Software Etabs</i> .....	60
3.3.4.1.	Asignación de datos de sismo dinámico al simulador.....	62
3.3.4.2.	Asignación de datos de Sismo Estático al Simulador .....	62
3.3.4.3.	Definición del peso sísmico .....	63
3.3.4.4.	Revisión de modos y periodos naturales de vibración.....	64
3.3.4.5.	Análisis del cortante basal dinámico y estático .....	64
3.3.4.6.	Verificación de derivas de entrepiso.....	65
3.3.4.7.	Diseño de elementos estructurales.....	66

3.3.5.	<i>Modelado y diseño sismorresistente con el Software Robot Structural Analysis Professional</i> .....	76
3.3.5.1.	Asignación de datos de sismo dinámico al simulador.....	78
3.3.5.2.	Asignación de datos de sismo estático al simulador.....	78
3.3.5.3.	Definición del peso sísmico .....	79
3.3.5.4.	Revisión de modos y periodos naturales de vibración.....	80
3.3.5.5.	Análisis del cortante basal dinámico y estático .....	81
3.3.5.6.	Verificación de derivas de entrepiso.....	81
3.3.5.7.	Diseño de elementos estructurales.....	82
3.3.6.	<i>Validación del diseño de elementos estructurales</i> .....	96
3.4.	TRATAMIENTO, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	124
3.4.1.	<i>Tipo, nivel, diseño y método de investigación</i> .....	124
3.4.2.	<i>Población de estudio</i> .....	124
3.4.3.	<i>Muestra</i> .....	124
3.4.4.	<i>Unidad de análisis</i> .....	124
3.4.5.	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....	125
3.4.6.	<i>Presentación de resultados</i> .....	126
3.4.6.1.	Revisión de resultados con el Software Etabs.....	126
3.4.6.2.	Revisión de resultados con el Software Robot Structural Analysis.....	131
3.4.6.1.	Comparación de la respuesta estructural .....	134
3.4.6.2.	Presentación de planos .....	136
3.4.6.3.	Comparación de presentación de planos a diseño final .....	136
3.4.6.4.	Metrados .....	137
3.4.6.5.	Comparación de metrados de concreto y acero .....	139
3.4.6.6.	Costos de las partidas de concreto y acero.....	140
3.4.6.7.	Comparación de costos de concreto y acero .....	141
3.4.6.8.	Ventajas y desventajas de Robot Structural Analysis Professional frente a Etabs	142

<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>152</b>
4.1. COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL.....	152
4.2. COMPARACIÓN DE PRESENTACIÓN DE PLANOS A DISEÑO FINAL .....	153
4.3. COMPARACIÓN DE METRADOS DE CONCRETO Y ACERO .....	154
4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL FRENTE A ETABS	154
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>156</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	156
5.2. RECOMENDACIONES .....	158
<b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>159</b>
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS .....</b>	<b>161</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Arquitectura 3D del proyecto.....	23
Figura 2: Péndulos con diferentes periodos afectados por una excitación sísmica. ....	31
Figura 3: Gráfico del método de determinación del espectro de respuesta. ....	32
Figura 4: Gráfico de la determinación del espectro de diseño. ....	33
Figura 5: Zonas sísmicas. ....	35
Figura 6: Distribución de deformaciones y rango de $\epsilon_t$ para cada tipo de falla. ....	43
Figura 7: Diagrama momento – curvatura para los diversos tipos de fallas de flexión. ....	44
Figura 8: Variación del $\phi$ con deformación unitaria neta en tensión $\epsilon_t$ . ....	45
Figura 9: Variación del factor $\phi$ . ....	46
Figura 10: Predimensionamiento con respecto al peralte de la viga .....	48
Figura 11: Estructura modelada en Revit (Modelo físico y analítico) y Robot Structural Analysis Professional. ....	49
Figura 12: Reconocimiento del lugar .....	51
Figura 13: Predimensionamiento con respecto al peralte de la viga .....	53
Figura 14: Estudio de suelos real.....	59
Figura 15: Espectro de diseño .....	60
Figura 16: Configuración estructural del edificio utilizando ETABS.....	61

Figura 17: Altura y vista tridimensional de la estructura del utilizando ETABS.....	61
Figura 18: Asignación de valores del espectro sísmico.....	62
Figura 19: Asignación del coeficiente sísmico al simulador.....	63
Figura 20: Peso de la estructura.....	63
Figura 21: Comparación de cortantes basales sin escalar.....	65
Figura 22: Diagrama de máxima distorsión de entrepiso en los sentidos X e Y.....	66
Figura 23: Columna a diseñar.....	67
Figura 24: Diagrama de interacción. ....	68
Figura 25: Diagrama de interacción. ....	68
Figura 26: Vista en planta de la estructura en el tercer nivel. ....	69
Figura 27: Diagrama de momento flector en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3.....	70
Figura 28: Diagrama de fuerzas cortantes en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3. ....	70
Figura 29: Área de acero en cm <sup>2</sup> calculado por flexión generado por el simulador. ....	70
Figura 30: Área de acero/separación en cm <sup>2</sup> /cm calculado por cortante por el simulador. ....	70
Figura 31: Placa a diseñar.....	71
Figura 32: Solicitaciones de la placa. ....	72
Figura 33: Cálculo completo de la placa con Mathcad Prime 7.0.0.0.....	72
Figura 34: Planta tipo y dibujo Strips en dirección X e Y.....	73
Figura 35: Diagrama de momentos en las franjas de diseño (Envolvente). ....	73
Figura 36: Área de refuerzo longitudinal en base al momento positivo que se diseñará manualmente.....	74
Figura 37: Cálculo manual de nervio con Mathcad Prime 7.0.0.0. ....	74
Figura 38: Vista en planta de la estructura nivel de fundación. ....	75
Figura 39: Áreas de acero en cm <sup>2</sup> generado por el simulador. ....	76
Figura 40: Configuración estructural del edificio utilizando Robot Structural Analysis Professional. ....	77
Figura 41: Altura y vista tridimensional de la estructura del utilizando Robot Structural Analysis Professional. ....	77
Figura 42: Asignación de valores del espectro sísmico.....	78
Figura 43: Asignación del coeficiente sísmico al simulador.....	79
Figura 44: Peso de la estructura.....	79
Figura 45: Comparación de cortantes basales sin escalar.....	81
Figura 46: Columna a diseñar.....	82
Figura 47: Diagrama de interacción. ....	83



Figura 48: Diagrama de interacción. ....	83
Figura 50: Vista en planta de la estructura en el tercer nivel. ....	85
Figura 51: Diagrama de momento flector en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3 (Envolvente). ....	86
Figura 52: Diagrama de fuerzas cortantes en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3 (Envolvente). ....	86
Figura 53: Área de acero en cm <sup>2</sup> calculado por flexión generado por el simulador aplicando el armado teórico (Envolvente). ....	87
Figura 54: Área de acero/separación en cm <sup>2</sup> /cm calculado por cortante por el simulador. ....	88
Figura 56: Placa a diseñar.....	90
Figura 57: Consideraciones del elemento de borde según Robot Structural Analysis Professional. ....	91
Figura 58: Diagrama de armadura teórica y real. ....	91
Figura 59: Solicitaciones de la placa. ....	92
Figura 61: Cálculo completo de la placa con Mathcad Prime 7.0.0.0.....	93
Figura 62: Planta tipo y mapa de momentos. ....	94
Figura 63: Área de refuerzo longitudinal en la dirección x- en cm <sup>2</sup> /m.....	94
Figura 65: Cortantes escaladas - Sismo dinámico en X e Y – ETABS. ....	126
Figura 66: Peso sísmico – ETABS. ....	127
Figura 67: Periodo y masas participativas – ETABS. ....	127
Figura 68: Porcentaje de masas participativas – ETABS. ....	128
Figura 69: Periodo de 0.5769 – ETABS.....	128
Figura 70: Deriva en x de 0.0069 – ETABS.....	129
Figura 71: Deriva en y de 0.005 – ETABS.....	129
Figura 72: Peso sísmico – Robot Structural Analysis Professional.....	131
Figura 73: Periodo y masas participativas – Robot Structural Analysis Professional. ....	132
Figura 74: Porcentaje de masas participativas – Robot Structural Analysis Professional. ....	132
Figura 75: Puntos en beneficio para los softwares de cálculo Etabs y Robot Structural Analysis Professional .....	145
Figura 76: Puntos en beneficio para los softwares ASD y Revit .....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los perfiles de suelo. ....	36
Tabla 2: Factor de suelo.....	37
Tabla 3: Periodos. ....	37
Tabla 4: Categoría de las edificaciones y factor “U”. ....	38
Tabla 5: Sistemas estructurales. ....	39
Tabla 6: Límites para la distorsión del entrepiso.....	42
Tabla 7: Combinaciones de carga.....	42
Tabla 8: Factor de reducción de resistencia $\phi$ .....	46
Tabla 9: Ubicación política del proyecto.....	50
Tabla 10: Datos de los materiales.....	56
Tabla 11: Cargas repartidas para ambientes de hoteles por metro cuadrado.....	58
Tabla 12: Modos de vibración de la estructura utilizando ETABS.....	64
Tabla 13: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando ETABS.....	65
Tabla 14: Modos de vibración de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional. ....	80
Tabla 15: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional. ....	81
Tabla 16: Máxima distorsión de entrepiso en los sentidos X e Y. ....	81
Tabla 17: Cálculo de factor de escala para escalado de las cortantes – ETABS.....	126
Tabla 18: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Etabs – Derivas en X.....	130
Tabla 19: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Etabs – Derivas en Y.....	130
Tabla 20: Cálculo de factor de escala para escalado de las cortantes – Robot Structural Analysis Professional. ....	131
Tabla 21: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional – Derivas en X. ....	133
Tabla 22: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional – Derivas en Y. ....	133
Tabla 23: Comparación del periodo fundamental de vibración .....	134
Tabla 24: Comparación del cortante basal estático y dinámico .....	134
Tabla 25: Comparación de la distorsión de entrepiso en Azotea .....	134
Tabla 26: Comparación del diagrama de interacción en 0 grados de C1 .....	135
Tabla 27: Comparación de momentos y cortantes.....	135

Tabla 28: Comparación de áreas de acero .....	135
Tabla 29: Calidad y cantidad de planos a diseño final .....	136
Tabla 30: Tiempo de realización de planos a diseño final .....	136
Tabla 31: Visualización 3D de la estructura.....	136
Tabla 32: Metrados resumen de concreto de manera manual - Excel .....	137
Tabla 33: Metrados de acero de refuerzo – Autocad Structural Detailing .....	137
Tabla 34: Metrados resumen de acero de refuerzo – Autocad Structural Detailing .....	138
Tabla 35: Metrados resumen de concreto – Revit .....	138
Tabla 36: Metrados de acero de refuerzo – Revit.....	139
Tabla 37: Metrados resumen de acero de refuerzo – Revit .....	139
Tabla 38: Comparación de metrados de las partidas de concreto.....	139
Tabla 39: Comparación de metrados de las partidas de acero de refuerzo.....	140
Tabla 40: Costos de las partidas de concreto - Excel .....	140
Tabla 41: Costos de las partidas de acero de refuerzo – Autocad Structural Detailing ....	140
Tabla 42: Costos de las partidas de concreto - Revit.....	141
Tabla 43: Costos de las partidas de acero de refuerzo – Revit .....	141
Tabla 44: Comparación de costos de las partidas de concreto .....	141
Tabla 45: Comparación de costos de las partidas de acero de refuerzo .....	142
Tabla 46: Ventajas y desventajas de Robot Structural Analysis Professional frente a ETABS .....	142
Tabla 47: Ventajas y desventajas de Autocad Structural Detailing frente a Revit.....	143

## RESUMEN

En este tema de investigación se realizó una comparación de la respuesta estructural, presentación de planos y metrados al realizar el diseño estructural de un edificio de planta irregular con 8 niveles que está destinado a ser un Hotel, el cual forma parte del proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca” con el uso de los softwares ETABS, Robot Structural Analysis Professional, Autocad Structural Detailing y Revit; de los cuáles se eligió el software que tiene más ventajas. Teniendo en cuenta que para la comparación de la respuesta estructural usamos ETABS y Robot Structural Analysis Professional; por otro lado, utilizamos Autocad Structural Detailing y Revit para la comparación de metrados y planos. La evaluación comparativa aplicando los distintos softwares abarcó el predimensionamiento, estructuración, modelado, análisis y diseño sismorresistente del edificio; así como, la respectiva presentación de planos, al dibujar la estructura definitiva del proyecto en estudio. Usando de manera obligatoria las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones para cada uno de los procesos a realizar, además de las normas ACI. Los resultados obtenidos nos determinaron que el uso del software ETABS netamente para el cálculo estructural mostró valores menores que Robot Structural Analysis Professional para el periodo de vibración, cortantes, derivas y en el cálculo del diseño de los elementos estructurales. Además, Robot Structural Analysis Professional presentó más ventajas con respecto a Etabs al realizar el proyecto estructural en conjunto con Revit. Por otro lado, para la documentación de planos y cálculo de metrados comparando el uso de Autocad Structural Detailing con Revit, este último resulta ser mucho más provechoso. Por último, en el cálculo de los metrados de concreto existe una variación general de 0.80% y en acero de 2.86%.

**Palabras Claves:** ETABS, Robot Structural Analysis Professional, Autocad Structural Detailing, Revit, Proyecto estructural.

## ABSTRACT

In this research topic, a comparison of the structural response, presentation of plans and measurements was made when carrying out the structural design of an irregular building with 8 levels that is intended to be a Hotel, which is part of the project "Building Construction multifamily in Agospampa Baja in the District of Jesus, province and department of Cajamarca" with the use of ETABS, Robot Structural Analysis Professional, Autocad Structural Detailing and Revit software; of which the software that has the most advantages was chosen. Bearing in mind that for the comparison of the structural response we used ETABS and Robot Structural Analysis Professional; on the other hand, we utilized Autocad Structural Detailing and Revit for the comparison of measurements and plans. The comparative evaluation applying the different software covered the pre-dimensioning, structuring, modeling, analysis and earthquake-resistant design of the building; as well as the respective presentation of plans modelling the final structure of the project under study. It's mandatory the use of the National Building Regulations for each of the processes to be carried out, in addition to ACI standards. The results obtained determined that the use of the ETABS software purely for the structural calculation showed lower values than Robot Structural Analysis Professional for the vibration period, shears, drifts and in the calculation of the design of structural elements. Besides, Robot Structural Analysis Professional presented more advantages than Etabs when carrying out the structural project together with Revit. On the other hand, for the documentation of plans and calculation of measurements comparing the use of Autocad Structural Detailing with Revit, the latter is much more useful. Finally, in the calculation of the concrete there is a general variation of 0.80% and and the calculation of steel meters 2.86%.

**Key words:** ETABS, Robot Structural Analysis Professional, Autocad Structural Detailing, Revit, Structural project.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El sector de construcción es de vital importancia en nuestro país debido a que incrementa el desarrollo económico del país; pues, genera empleos, crea relaciones con otras industrias importantes, exige grandes demandas de diferentes insumos y materiales de construcción, impulsa megaproyectos; y por supuesto, brinda servicios a la población mediante los diferentes proyectos de infraestructura que se realizan en el Perú, mejorando la calidad de vida, bienestar y seguridad de las personas.

Este sector participa con el 5.6% del Índice de la Producción Nacional según datos que indica el PBI de construcción que emite el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento hasta 2022; así mismo, sobre el crecimiento de este sector se estima una expansión del 2% en un contexto donde la crisis de pandemia ya no es grave ni mortal como en el 2020 y 2021; puesto que, se han retomado las actividades que habían sido aplazadas y las empresas están comenzando a recuperar el ritmo de trabajo con las medidas de salubridad y seguridad adecuadas. También, este contexto nos llevó a darle más importancia a la virtualidad con el trabajo remoto. Los diferentes sectores económicos como el de construcción han ido recobrando la producción y mejorando sus procesos para la mejora continua; adoptando iniciativas para mejorar el diseño, construcción y operación de infraestructura.

Las empresas grandes dedicadas al sector de construcción son quienes han venido implementando la metodología BIM en sus procesos; y la aplicación de softwares BIM en los procesos de diseño de los proyectos son cada vez más vitales en el desarrollo de los mismos. Siendo Virtual Design Construction (VDC), un método que utiliza BIM para conseguir el máximo rendimiento, en este componente reside la virtualidad y el uso de la tecnología para la mejora de procesos y proyectos. En el diseño de edificios es importante comprender la complejidad de un proyecto y anticipar los posibles desafíos antes de asumir un compromiso importante de tiempo o dinero (BibLus, 2022).

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los softwares más usados y tradicionales para el análisis y diseño estructural de edificios es ETABS de la empresa CSI, que se desenvuelve eficazmente en este campo y obtiene resultados que son entendidos con claridad, en donde la interfaz puede ser manejada de una manera amigable; sin embargo, cuando hablamos de interoperabilidad con otro software para realizar la documentación de planos y flujos de trabajo para el intercambio de información con otro software, este podría presentar algunos inconvenientes. El punto de partida es saber si Etabs o Robot Structural Analysis Professional presenta más ventajas al comparar la respuesta estructural, presentación de planos y metrados al realizar el diseño estructural de un hotel de 8 niveles.

Como señala Condori (2020), se puede trabajar la interoperabilidad entre Revit y Etabs, pero se debe hacer uso de un complemento que debe ser instalado posteriormente en Revit para la exportación e importación, tomando en cuenta que las familias de los elementos deben ser cargados en el software BIM Revit de manera adecuada y cuidadosa, tomando en cuenta los nombres con las que fueron creadas.

Por otro lado, el diseño de elementos estructurales es realizado con la ayuda de hojas de cálculo con los programas de Excel o Mathcad Prime; y el posterior modelado de la armadura de cada uno de los elementos estructurales se debe dibujar, no pueden ser exportados de Etabs directamente hacia Revit, o simplemente, se realizaría planos de detalles en Autocad; extendiendo el tiempo de modelado en esta fase. Al usar solamente softwares tradicionales como Autocad y Etabs para todo el proceso de análisis, diseño y documentación de planos, las dificultades de interoperabilidad impedirían que los actores involucrados en el desarrollo del proyecto puedan intercambiar la información, provocando dificultades en el mismo.

El uso del software BIM, Robot Structural Analysis Professional, representaría una gran ventaja en ahorro de tiempo y fiabilidad de resultados, trabajando eficientemente flujos de trabajo dinámicos con uno de los mejores softwares BIM de Autodesk como, Revit. Pues, la verdadera interoperabilidad requiere softwares avanzados, sistemas y normas que faciliten el intercambio fluido de datos entre diversas disciplinas, productos y formatos de archivo.

La creación de un proyecto en diseño que reúna, clasifique y organice toda la extensa información del modelo se puede realizar mediante softwares BIM. La información de los elementos modelados puede tener información como dimensiones, peso, materiales, especificaciones, costos, etc. Así mismo, de las grandes ventajas de la aplicación BIM en el diseño es la capacidad de intercambio de información y el eficaz flujo de información entre softwares. Por lo cual, la adopción de estas herramientas como Robot Structural Analysis Professional y Revit, nos permitirían tener un flujo de trabajo dinámico, en donde las tareas puedan ser completadas en menor tiempo y con mayor precisión con el fin de lograr un producto final adecuado en la fase de diseño, obteniendo una excelente calidad visual y de información sobre el proyecto. (Solnosky, 2013)

Por lo cual, es importante validar las ventajas de usar softwares BIM como Robot Structural Analysis Professional y Revit, para que las empresas continúen su implementación; así como, las grandes empresas COSAPI, GRAÑA Y MONTERO, MARCAN y entre otras que ya vienen implementando BIM en sus proyectos. Por otro lado, la investigación también servirá como material de apoyo para alumnos de pregrado.

Los softwares tradicionales como Autocad son usados de manera generalizada por la mayoría de empresas en el Perú, para el dibujo en 2D y 3D; sin embargo, a pesar de que se superó el uso del papel y el dibujo manual de planos al usar una pantalla, este sigue teniendo un nivel tecnológico bajo en el que se puede realizar planos sin tener vistas 3D automáticas ni tener la ventaja de trabajar simultáneamente diferentes especialidades en un mismo proyecto; por tanto, insuficiente para el desarrollo de un proyecto importante. Pues, en un proyecto existen diferentes especialidades como arquitectura, estructuras, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, entre otras; que deberían ser coordinadas, lo cual no es permitido por un software tradicional como Autocad, acciones que Revit si puede realizar.

Así mismo, Rojas (2019) expresa que el uso de este tipo de herramientas tradicionales como Autocad demanda gran cantidad de tiempo, la falta de coordinación entre especialidades en un mismo proyecto conlleva a que exista más errores e incompatibilidades; de las cuales muchas veces uno reconoce recién al construir. En consecuencia, percibiendo incongruencias al intentar entender la información obtenida en planos en el proceso de ejecución de un proyecto, generando atrasos y sobrecostos.



Según Murguía (2017), que realiza el primer estudio de adopción BIM en Lima y Callao precisa que casi el 25% de los proyectos de edificación implementan BIM; por lo cual, sigue siendo un gran desafío la expansión de la aplicación en BIM a nivel nacional; ya que, varias empresas se rehúsan al cambio de metodología por el tiempo que podría tomar capacitar a las personas que trabajan en la empresa o simplemente por desconocimiento. Aunque esta venga siendo conocida desde hace más de 40 años, el uso de softwares BIM en los últimos años puso a disposición de la industria de la construcción estas herramientas que permitirían aplicar la metodología BIM en mayor magnitud.

Así mismo, Rojas (2017) al realizar un análisis comparativo del rendimiento en la producción de planos y metrados usando métodos tradicionales y metodología de trabajo BIM en la empresa IMTEK, concluyó que, el uso de la metodología BIM obtiene un mejor rendimiento frente a los métodos tradicionales. Al trabajar con un modelo 3D paramétrico que genera representaciones y metrados de forma dinámica y automática, no solo agiliza la producción, sino que se reducen notablemente los errores humanos respecto a fallas de dibujo o incompatibilidades en los reportes de metrados.

Además, en diciembre del 2018, el MEF publicó el Plan BIM Perú, en donde se puntualiza que este es “el instrumento de gestión del Estado Peruano que define los objetivos y acciones estratégicas para la utilización y adopción progresiva del BIM en las inversiones públicas hacia el año 2030”. Así mismo, establece que los beneficios de usar BIM serían de colaboración, transparencia, prevención, trazabilidad, integración, tiempo, eficiencia y calidad. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021)

En el año 2019, la ISO anunció que había desarrollado estándares para el uso de BIM como parte de un equipo de trabajo, esto es, la Norma ISO 19650. Cabe decir que, existe cada vez más trabajos realizados y documentados acerca la aplicación BIM en proyectos para los requerimientos de diseño, construcción y procesos de gestión de un proyecto; pero aún hay camino por recorrer para la aplicación BIM de manera hábil y efectiva, específicamente en el área de estructuras; por tanto, conocer todos los beneficios que esta metodología nos puede brindar en un proyecto nos ayudaría a trabajar con ella de manera eficaz. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021)

## 1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué software ETABS o ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL tiene más ventajas al realizar el proyecto estructural: Respuesta estructural, presentación de planos y metrados de un hotel de 8 niveles?

## 1.3. HIPÓTESIS GENERAL

El software ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL tiene más ventajas al determinar la respuesta estructural, presentación de planos y metrados de un hotel de 8 niveles en comparación a Etabs.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El uso de softwares BIM como Robot Structural Analysis y Revit, a diferencia del uso de softwares tradicionales como Autocad y Etabs, permitiría aplicar BIM en la fase de análisis y diseño de un proyecto, permitiendo así, integrar otras variables que pueden ser muy beneficiosas como tiempo y costos, haciendo un buen uso de los parámetros utilizados en los elementos modelados, manejando la información de manera adecuada y aprovechando la buena interoperabilidad entre estos softwares; obteniendo así, calidad visual del proyecto dependiendo a la dimensión BIM utilizada y facilitando los procesos. Pudiendo evitar en esta fase problemas que podrían aparecer posteriormente en la construcción, como incompatibilidades que nos causarían mayores costos, modificación del plazo de ejecución, claras pérdidas de tiempo y dinero, afectando en gran medida la planificación inicial del proyecto. Con lo cual, la aplicación de estas herramientas fomentaría el aumento de la sustentabilidad de la construcción y el impulso de los proyectos a una mejora visible.

Ministerio de Economía y Finanzas (2019), establece los Hitos del Plan BIM Perú en el Plan Nacional de Competitividad y Productividad aprobado por el decreto supremo N° 237-2019-EF, para garantizar la adopción progresiva de BIM en la inversión pública hacia el año 2030, determinando el uso obligatorio y normado de BIM en todas las inversiones del sector público en el año 2030. Adicionalmente, en la actualización del año 2023 de la Guía

Nacional BIM encontramos la definición y alcance del Plan BIM Perú, además de la definición de BIM según la Norma ISO 19650-1:2021.

En un estudio de Murguía (2017) sobre adopción BIM en proyectos de edificación, revela que el 70% de los encuestados en este estudio considera que la aplicación de esta metodología en la etapa de diseño permitiría reducir retrabajos y mejorar la productividad. Más del 90% está de acuerdo o totalmente de acuerdo con que BIM es una buena idea y el 88% considera que BIM es bueno para las empresas. Por lo tanto, es importante evaluar las ventajas que estas herramientas BIM como Robot Structural Analysis Professional y Revit tienen para aplicar BIM en la etapa de diseño de un proyecto.

Este mismo estudio revela que el mejor impacto de BIM en los proyectos es mayormente por la mejora de la calidad de información, el alcance y definición del proyecto final. También que permite reducir plazos y costos de construcción, lo cual es congruente con los usos BIM establecidos en el Plan BIM Perú. Además, el 61% de los proyectos de edificación en Lima y Callao inician con la compatibilización con BIM en la etapa de diseño (Murguía, 2017).

### 1.5. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se delimitó el presente estudio al realizar el cálculo estructural en distintos softwares ya mencionados de un edificio de planta irregular con 8 niveles, el cual está destinado a ser un Hotel, el cual forma parte del proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”, ubicado en el Centro Poblado La Colpa.

- La presente investigación utilizó los softwares Etabs 19 con la versión 19.1.0 y Robot Structural Analysis 2022.
- En esta investigación se comparó solamente los costos directos de elementos estructurales (losas, vigas, placas, columnas y cimentación). Tomando en consideración solo metrados de concreto y acero de cada uno de ellos.
- Los metrados de concreto se calcularon de manera manual con Excel y de manera automática a partir del modelado en Revit. También, los metrados de acero se

obtienen automáticamente en base al modelado en Autocad Structural Detailing y Revit.

- Este estudio muestra la comparación al realizar el diseño estructural en ambos softwares (Robot Structural Analysis Professional y Etabs) mostrando resultados ante cargas sísmicas verificando desplazamientos, cortante basal y modos de vibración.

Dicho edificio cumple con los requerimientos arquitectónicos reglamentarios, presentando las siguientes características: ocho (08) niveles, de los cuales los primeros siete (07) niveles tienen un área de 178.1 m<sup>2</sup> y el piso ocho (08) tiene 52.21 m<sup>2</sup>; además de contar con ascensor y escalera. El primer nivel cuenta con un (01) minimarket, un (01) hall, una (01) recepción y consejería, un (01) dormitorio, dos (02) baños, seis (06) puestos para comercio; el segundo nivel cuenta con un (01) hall, un (01) departamento con dos (02) dormitorios, una (01) sala, una (01) cocina, un (01) comedor, una (01) lavandería y dos (02) baños, y otro departamento con tres (03) dormitorios y los mismos otros ambientes; el tercer, cuarto, quinto y sexto nivel cuenta con (01) hall, cuatro (04) habitaciones simples con baño, una (01) habitación doble con baño, un (01) baño para mujeres y un (01) baño para hombres; el séptimo nivel cuenta con una (01) terraza, un (01) baño y un (01) almacén; y por último, el octavo nivel con menor área cuenta con una (01) azotea destinada también para la colocación de tanques elevados.

## 1.6. LIMITACIONES

Dadas las condiciones del medio y el alcance que busca la investigación se plantean las siguientes limitaciones:

- El proyecto cuenta con un estudio de suelos ejecutado por la empresa J&R PANDO DISEÑOYCONSTRUCCIÓN, el cual será utilizado para el cálculo de la cimentación.
- En esta investigación no se abarcó temas externos a lo estructural vale decir, sistemas contra incendios, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas y mecánicas, instalaciones de gas, instalaciones de comunicaciones. Solo se estudiará el tema estructural.

- La investigación no proporcionará costos indirectos. Así mismo, no se considerará costos directos de partidas como obras provisionales, trabajos preliminares, arquitectura, instalaciones eléctricas y mecánicas, instalaciones sanitarias, instalaciones de gas, instalaciones de comunicaciones, Mano de Obra, excavaciones, etc.
- El documento seguirá las normativas vigentes en Perú, tal como indica el Reglamento Nacional de Edificaciones que está conformado por las normas que rigen para este caso. E.020 Cargas, E.030 Diseño sismorresistente, E.050 Suelos y Cimentaciones, E.060 Concreto Armado, además del reglamento del American Concrete Institute, ACI 318, del año correspondiente que es el utilizado para el diseño de estructuras.

## 1.7. OBJETIVOS

### *Objetivo General*

- Comparar el proyecto estructural de un hotel de 8 niveles utilizando los softwares ETABS y Robot Structural Analysis Professional.

### *Objetivos Específicos*

- Determinar las ventajas y desventajas del uso del software BIM Robot Structural Analysis Professional frente a uno tradicional como ETABS.
- Evaluar qué software muestra una respuesta estructural mayor tanto a cargas gravitacionales típicas, como a cargas laterales como el sismo.
- Contrastar los planos estructurales a diseño final, ya sean manuales o automatizados.
- Comparar los metrados de concreto y acero de refuerzo de cada uno de los elementos estructurales realizados de manera manual y automática.

## 1.8. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La organización de este trabajo es la siguiente:

**Capítulo 1:** Este capítulo contiene el planteamiento y formulación del problema, objetivos e hipótesis de esta investigación; además de la justificación práctica y teórica, enunciando la importancia de esta investigación. La delimitación y la limitación que nos permitirá ubicarnos en un contexto más claro y específico de lo que se va a estudiar y se tiene que tomar en cuenta.

**Capítulo 2:** En este capítulo se nombra algunos antecedentes teóricos de la investigación existentes de los últimos años relacionadas o parecidas al presente problema en estudio, teniendo en consideración las conclusiones de cada uno de ellos. También, se desarrolla bases teóricas necesarias que corresponde a toda la teoría que se ha aplicado durante todo el procedimiento de la investigación.

**Capítulo 3:** Este capítulo corresponde a los materiales y métodos, en donde explicamos de manera detallada el procedimiento en que se realiza la estructuración de secciones y definición de los materiales, análisis de cargas, modelo y diseño sismorresistente de la estructura con el Software Etabs y Robot Structural Analysis Professional. Así mismo, contiene el tratamiento, análisis y presentación de resultados de la investigación.

**Capítulo 4:** Este capítulo se trata del análisis y discusión de resultados; el cual abarca la comparación de la respuesta estructural, presentación de planos a diseño final de ambas opciones, comparación de metrados de concreto y acero; así como, las ventajas y desventajas de Robot Structural Analysis Professional frente a Etabs.

## 1.9. INFORMACIÓN DEL PROYECTO A DISEÑAR

La edificación en estudio es un edificio de planta irregular con 8 niveles, el cual está destinado a ser un Hotel, el cual forma parte del proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”, ubicado en el Centro Poblado La Colpa. Este proyecto cuenta con un estudio de suelos que será usado en la presente investigación (ANEXO 1). Así mismo, todos los planos correspondientes a la arquitectura del edificio se encuentran en el ANEXO 7.



Figura 1: Arquitectura 3D del proyecto

*Fuente: Proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”*

Dicho edificio cumple con los requerimientos arquitectónicos reglamentarios, presentando las siguientes características: ocho (08) niveles, de los cuales los primeros siete (07) niveles tienen un área de 178.1 m<sup>2</sup> y el piso ocho (08) tiene 52.21 m<sup>2</sup>; además de contar con ascensor y escalera. El primer nivel cuenta con un (01) minimarket, un (01) hall, una (01) recepción y consejería, un (01) dormitorio, dos (02) baños, seis (06) puestos para comercio; el segundo nivel cuenta con un (01) hall, un (01) departamento con dos (02) dormitorios, una (01) sala, una (01) cocina, un (01) comedor, una (01) lavandería y dos (02) baños, y otro departamento con tres (03) dormitorios y los mismos otros ambientes; el tercer, cuarto, quinto y sexto nivel cuenta con (01) hall, cuatro (04) habitaciones simples con baño, una (01) habitación doble con baño, un (01) baño para mujeres y un (01) baño para hombres; el séptimo nivel cuenta con una (01) terraza, un (01) baño y un (01) almacén; y por último, el octavo nivel con menor área cuenta con una (01) azotea destinada también para la colocación de tanques elevados.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. A nivel internacional

- Chacón & Cuervo (2017), en su investigación “Implementación de la metodología BIM para elaborar proyectos mediante el software Revit” (Tesis de pregrado). Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela.

Comprende cada uno de los pasos para realizar una simulación de una estructura de 3 pisos de sistema aperticado usando el complemento CSIxRevit, evaluando la practicidad y tiempo de aprendizaje mediante el empleo de un modelo. Creando de esta manera, una guía multimedia para desarrollar un modelo BIM de un proyecto con los softwares Etabs y Revit.

Concluye que el uso del programa Revit es una herramienta importante y significativa para realizar la transferencia de datos y elementos modelados al programa Etabs mediante el complemento CSIxRevit. También, permite obtener ventajas como ahorro de trabajo y costos; así como, menos errores e incongruencias.

- Pacheco (2017), en su investigación “Comparación del sistema tradicional vs la implementación del BIM en la etapa de diseño y seguimiento en ejecución” (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Engloba cada uno de los pasos para elaborar planos arquitectónicos, definir los materiales para la elaboración del presupuesto y cronograma de obra en la etapa de diseño, levantar la edificación mediante el software Revit, conectar el levantamiento de la edificación con Microsoft Project o Primavera para el control y seguimiento de la obra, definir cuál de los dos métodos resulta más eficiente en términos de control y seguimiento considerando la cantidad de material y



presupuesto en ambos métodos. Por último, comparar cuáles de los dos métodos requiere más tiempo en implementar durante la etapa de diseño.

Al final de la tesis se concluye que, mediante el BIM, el diseño es mucho más rápido en todas sus etapas, teniendo un ahorro de un tercio aproximadamente de lo que se necesitaría en el sistema tradicional y las cantidades de materiales no tuvieron variación. Por otra parte, la diferencia porcentual de los presupuestos es del 2.54%, Revit realizaría cálculos más exactos que los calculados manualmente.

- Quinchiguango & Taco (2016), en su investigación “Análisis estructural de una edificación de hormigón armado a través del software Robot Analysis Structural” (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Esta tesis tiene como objetivo elaborar una guía de análisis estructural para una edificación de hormigón armado utilizando Robot Structural Analysis Professional. Para lo cual, se determina los parámetros necesarios a ingresar en el programa, se interpreta datos de resultados obtenidos y también, se compara los resultados obtenidos por el software Robot Structural Analysis Professional con los de una estructura de 5 pisos con el sistema de viga peraltada analizada en la herramienta estructural Etabs.

Se infiere que, al calcular los pesos propios, estos son mayores en Robot con respecto a Etabs. La participación de masas obtenidas en ambos programas supera el 90%. Las derivas son menores a 0.02 en ambos programas y se ajustan a lo que establece la norma. También, se enfatiza que el programa de Robot Structural Analysis está pensado para estructuras que vayan a ser manejadas netamente dentro del flujo BIM, ya que se interconecta con los diferentes programas que simulan otros aspectos dentro de una edificación como arquitectura, MEP e instalaciones eléctricas.

### 2.1.2. A nivel nacional

- Colonia & Valentin (2020), en su investigación “Implementación de la metodología BIM en el diseño estructural sismorresistente en la construcción del Edificio Multifamiliar en Huaraz, Ancash, 2020” (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Huaraz, Perú.

Sostiene que la ejecución del diseño sismorresistente implementando la metodología BIM y basado en el software Robot Structural Analysis determina la efectividad del comportamiento sismorresistente del edificio de 05 niveles con 01 sótano y 01 semisótano; para lo cual se realiza una exportación de Revit a Robot para realizar un análisis estático y dinámico. Posteriormente, realiza el diseño de acero de una columna y tres vigas.

Las conclusiones a la que arriba es que para el para el proceso de investigación, la ejecución del diseño sismorresistente implementando la metodología BIM y basado en el software Robot Estructural determinará la efectividad del comportamiento sismorresistente del Edificio Multifamiliar en estudio. Evalúa el periodo y los desplazamientos laterales. También, muestra las notas de cálculo y un dibujo que el programa nos puede brindar en principio.

- Condori (2020), en su investigación “Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna” (Tesis de pregrado). Universidad Privada de Tacna. Tacna, Perú.

Abarca el análisis y diseño estructural de la edificación utilizando los programas Revit y Etabs, analizando la interoperabilidad de los programas mediante el complemento CSiXRevit. Ejecutando el análisis estático y dinámico de la estructura, evaluando el periodo y desplazamientos laterales. Así como, posterior diseño utilizando el programa Mathcad Prime.

Teniendo como resultado que la aplicación del complemento para llevar el modelado y sus datos de Revit a Etabs para el análisis y diseño reduciría tiempo, costos e interferencias entre especialidades.

- Thea & Salluca (2019), en su investigación “Desarrollo de protocolos de interoperabilidad BIM estructural para proyectos de edificación” (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión. Juliaca, Perú.

Demuestra que mediante el uso de una documentación desarrollada bajo el enfoque OpenBIM se puede lograr una interoperabilidad BIM sin pérdida de datos de los softwares estructurales más usados en el Perú. Define al lenguaje IFC como el medio más adecuado para permitir una adecuada interoperabilidad; sin embargo, no garantiza y genera ambigüedad entre softwares como Sap2000, Etabs y Robot, cuando se trabaja con el archivo IFC de origen sin modificaciones, estos no reconocerían la información completa debido a la forma en que se definen sus elementos. Así mismo, menciona los protocolos que se desarrollaron para permitir la asimilación de la metodología BIM para la especialidad de estructuras, conocido como BIM Estructural, en donde se trabaja a nivel de software y usuario.

Tras el desarrollo de la tesis, determina que la implementación de la metodología BIM permitió un mayor control en la etapa de diseño. Al vincular los modelos entre especialidades se consiguió detectar posibles interferencias con las plantas de techo en los niveles superiores y con este soporte se planteó una adecuada estructuración. Asimismo, el modelo BIM de la estructura facilitó la obtención detallada y precisa en las cuantificaciones para los materiales, y se redujo el tiempo en la elaboración de la documentación en los planos de detalle con la incorporación de una plantilla personalizada.

### 2.1.3. A nivel local

Hasta el año 2022 no se han realizado estudios sobre comparación de un proyecto estructural de una edificación usando un programa convencional y un programa BIM por parte de la Universidad Nacional de Cajamarca; sin embargo, existen estudios de implementación de tecnología Bim-Revit y de la determinación de la respuesta estructural con dos softwares de cálculo estructural.

- Villa (2017), en su investigación “Implementación de tecnologías BIM-REVIT en los procesos de diseño de proyectos en la empresa consultora JC. INGENIEROS S.R.L” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

Se enfoca en determinar los beneficios del uso del software Revit al realizar el dibujo y modelado de las diferentes especialidades de arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias y eléctricas; así como, cálculo de metrados y costos de la infraestructura del nivel inicial del complejo educativo inicial, primaria y secundaria del centro poblado la Colpa, distrito de Jesús, provincia de Cajamarca – Cajamarca, que fue realizado por la empresa consultora JC. INGENIEROS S.R.L.

Con los resultados que alcanzan este trabajo, se logra identificar un trabajo simultáneo e integrado entre especialidades eliminando posibles inconsistencias. Asimismo, se obtiene una mejor estética gracias a la visualización 2D y 3D del proyecto con diseño renderizados con alto grado de realismo. También, determina que el 58.54% de las partidas del proyecto tienen variación en los metrados, demostrando que al aplicar BIM en esta etapa nos da mejores resultados en cuantificación de materiales, áreas y volúmenes. Por tanto, debido a esta mala cuantificación, muestra un proyecto sobrevalorado en el 16.63% del presupuesto total de proyecto.

- Quispe (2017), en su investigación “Evaluación comparativa del análisis estructural entre los sistemas estructurales: Pórticos y Dual” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

Se orienta en analizar el comportamiento estructural de un centro educativo con un sistema de Pórticos y con un sistema Dual (Pórticos rigidizados); así como, comparar los comportamientos de ambos casos de sistemas estructurales, observando sus momentos originados y sus desplazamientos máximos.

Con los resultados se concluye que el edificio educacional estudiado configurado con un sistema Dual tiene un mejor comportamiento estructural frente a solicitaciones sísmicas definidas en la Norma E.030. Mediante el análisis sísmico estático se tiene un periodo fundamental menor con el sistema Dual soportando una mayor aceleración del suelo.

- Sánchez (2017), en su investigación “Determinar la respuesta estructural del módulo “I” de la I.E.P. Alfonso Villanueva Pinillos, de la ciudad de Jaén al ser analizado con los softwares Robot Structural Analysis Professional y Etabs” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

Consiste en comparar la respuesta estructural con el uso de dos softwares de cálculo; para lo cual, considera las fuerzas internas, deformaciones, periodo fundamental y áreas de acero calculado del diseño de vigas. Con el fin de determinar también, cuál de estos dos programas usados proporciona una mayor respuesta estructural.

De esta tesis se deduce que los resultados de fuerzas internas, deformaciones, periodo fundamental y áreas de acero calculados del diseño de vigas son mayores al utilizar Robot Structural Analysis Professional: por tanto, siendo este el software que presenta mayor respuesta estructural.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. *Sistemas estructurales de concreto armado*

Según Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), describe los sistemas estructurales de concreto armado. Así mismo, todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente cumplen con lo previsto en la Norma Técnica E. 060 Concreto Armado del RNE.

- **Dual:** Conformado por pórticos y muros estructurales que resistirán las acciones del sismo. La fuerza cortante que toman los muros está entre el 20% y el 70% del cortante en la base del edificio (Vivienda, 2018)
- **Pórtico:** Conformado por pórticos con columnas que resisten las fuerzas del sismo. La fuerza cortante que toma debe ser por lo el 80% de la fuerza cortante en la base. En caso se tengan muros estructurales, éstos se diseñan para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez. (Vivienda, 2018)
- **Muros estructurales:** Conformado por muros estructurales que soportan las fuerzas de sismo. La fuerza cortante que actúa debe ser por lo el 70% de la fuerza cortante en la base. (Vivienda, 2018)

### 2.2.2. *Estructuras de albañilería*

Según Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), estas estructuras están conformadas de elementos sismorresistentes como, muros a base de unidades de albañilería de arcilla o concreto.

### 2.2.3. *Cargas*

- **Carga muerta:** Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que se propone sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. (Vivienda, 2006)
- **Carga viva:** Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación. (Vivienda, 2006)

#### 2.2.4. Conceptos de Diseño Sísmico en Edificaciones

- **Coefficiente sísmico:** Este coeficiente que es introducido en el software de análisis, es aquel que al multiplicarlo por el peso de la estructura te da el cortante de la misma, lo cual se establecido en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente en su artículo 28.
- **Espectro de respuesta (ER):** Se refiere a un gráfico irregular de las respuestas del pico de todos los posibles sistemas de un grado de libertad, por ejemplo, un péndulo invertido. (Vivienda, 2018)

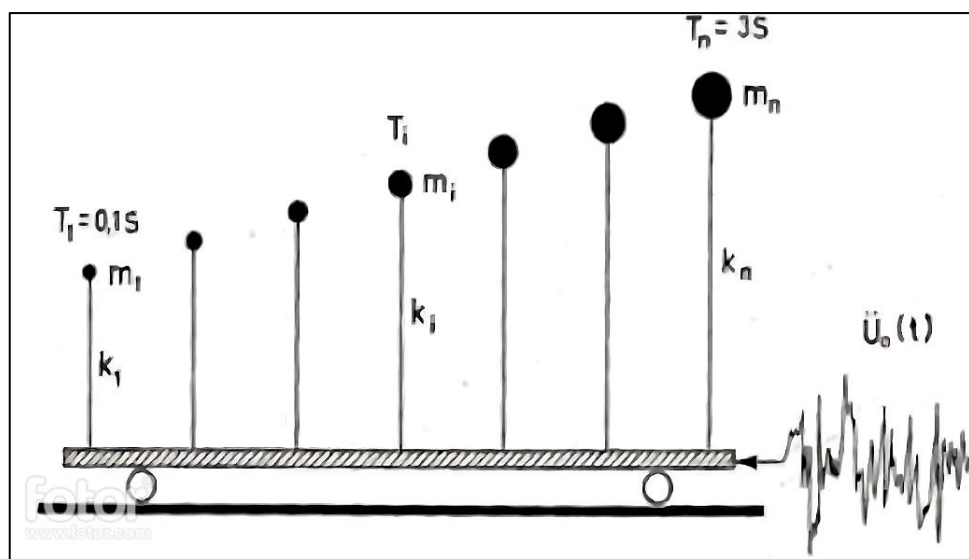


Figura 2: Péndulos con diferentes períodos afectados por una excitación sísmica.

Fuente: (Lucía Espinoza & Mamani Huanca, 2020)

Para entender la figura 7 debemos visualizar que tenemos diferentes péndulos, cada uno con su periodo natural de vibración a los que se le aplica una fuerza externa; entonces, cada uno de ellos genera una respuesta máxima a desplazamiento (PGD), velocidad (PGV) y aceleraciones (PGA). Con estas respuestas máximas se obtiene un espectro de respuesta, tal como se muestra en la figura 8. (Lucía Espinoza & Mamani Huanca, 2020)

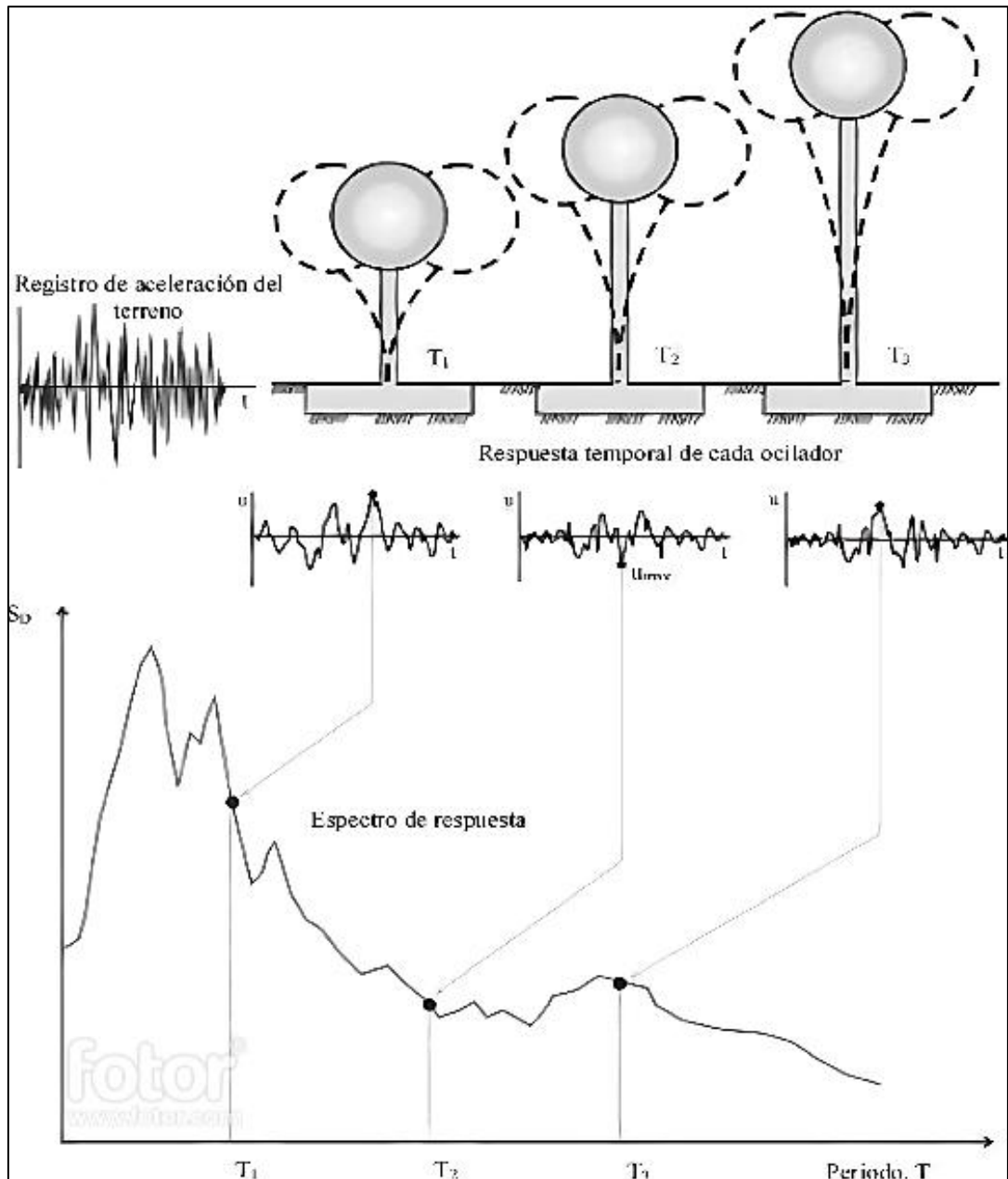


Figura 3: Gráfico del método de determinación del espectro de respuesta.

*Fuente:* (Lucía Espinoza & Mamani Huanca, 2020)

- Espectro de diseño (ED):** Es la envolvente de dos o más espectros de respuesta, esta nos brinda información acerca de las máximas respuestas (aceleraciones, desplazamientos y velocidades) que pueden suceder a una estructura, para un determinado sismo, bajo un determinado factor de amortiguamiento. Así mismo, el espectro de diseño según las normativas establecidas que no cuentan con registros históricos medidos, debería utilizar métodos probabilísticos de estudios de amenaza sísmica. (Lucía Espinoza & Mamani Huanca, 2020)



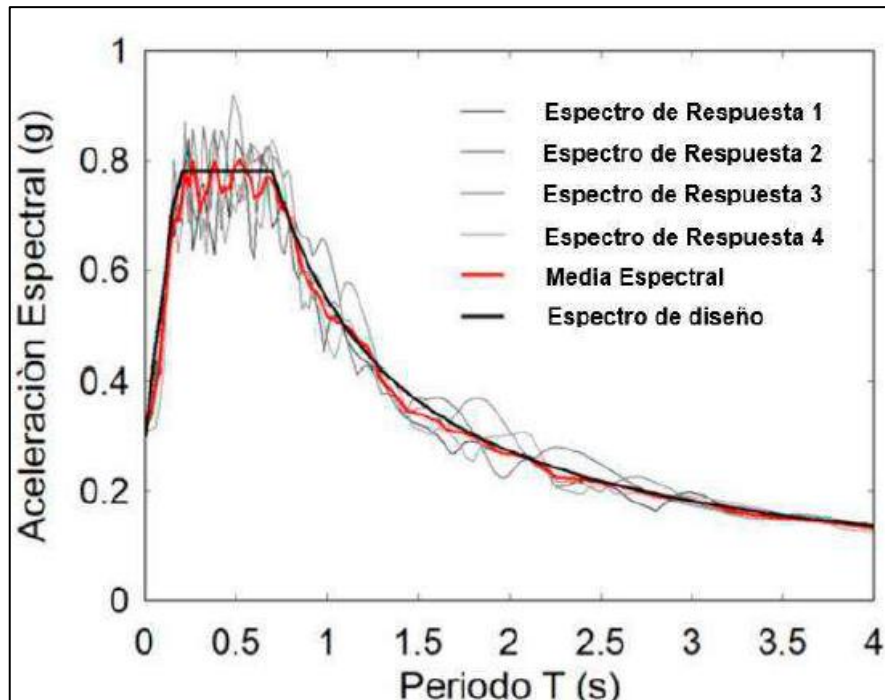


Figura 4: Gráfico de la determinación del espectro de diseño.

*Fuente:* (Lucía Espinoza & Mamani Huanca, 2020)

Como se observa en la figura 9 considerando cada uno de los espectros de respuesta se puede obtener una media espectral que nos muestra un valor máximo de aceleración del suelo, dicho valor es el que se encuentra la Norma E.030. Este interactúa con valores como: factor de zonificación ( $Z$ ), factor de suelo ( $S$ ), factor de uso ( $U$ ), parámetros de sitio ( $TP$  y  $TL$ ), coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R$ ) y en base a ecuaciones se obtiene el espectro de diseño.

- **Deriva de entrepiso:** Según ACI (2011) en el PCA Notes, describe la deriva de entrepiso como la “Diferencia relativa de desplazamiento de diseño entre la parte superior e inferior de un piso, dividida por la altura del piso”.

- **Diafragma rígido:** Son aquellos que solo se desplazan en dos direcciones y pueden ser tanto horizontales como verticales. Un diafragma es considerado rígido cuando su largo máximo no exceda cuatro veces su ancho.

También, en base al artículo 25 de la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente, “para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se puede usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos se compatibilizan mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales se hace en función a las rigideces de los elementos resistentes”.

Así mismo, según (ACI, 2011) un diafragma estructural es un “Miembro estructural, tal como una losa de piso o techo, que transmite fuerzas que actúan en el plano del miembro a los elementos verticales del sistema resistente a fuerzas sísmicas”.

- **Ductilidad:** El artículo 7 de la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente describe a la ductilidad como “la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico”.

#### *2.2.5. Parámetros de Diseño Sísmico en Edificaciones de la Norma E.030*

- **Zonificación:** La zonificación establecida en la norma representa la distribución espacial de la sismicidad, dividiendo el territorio nacional en cuatro zonas, como se puede observar en la siguiente imagen. (Vivienda, 2018)

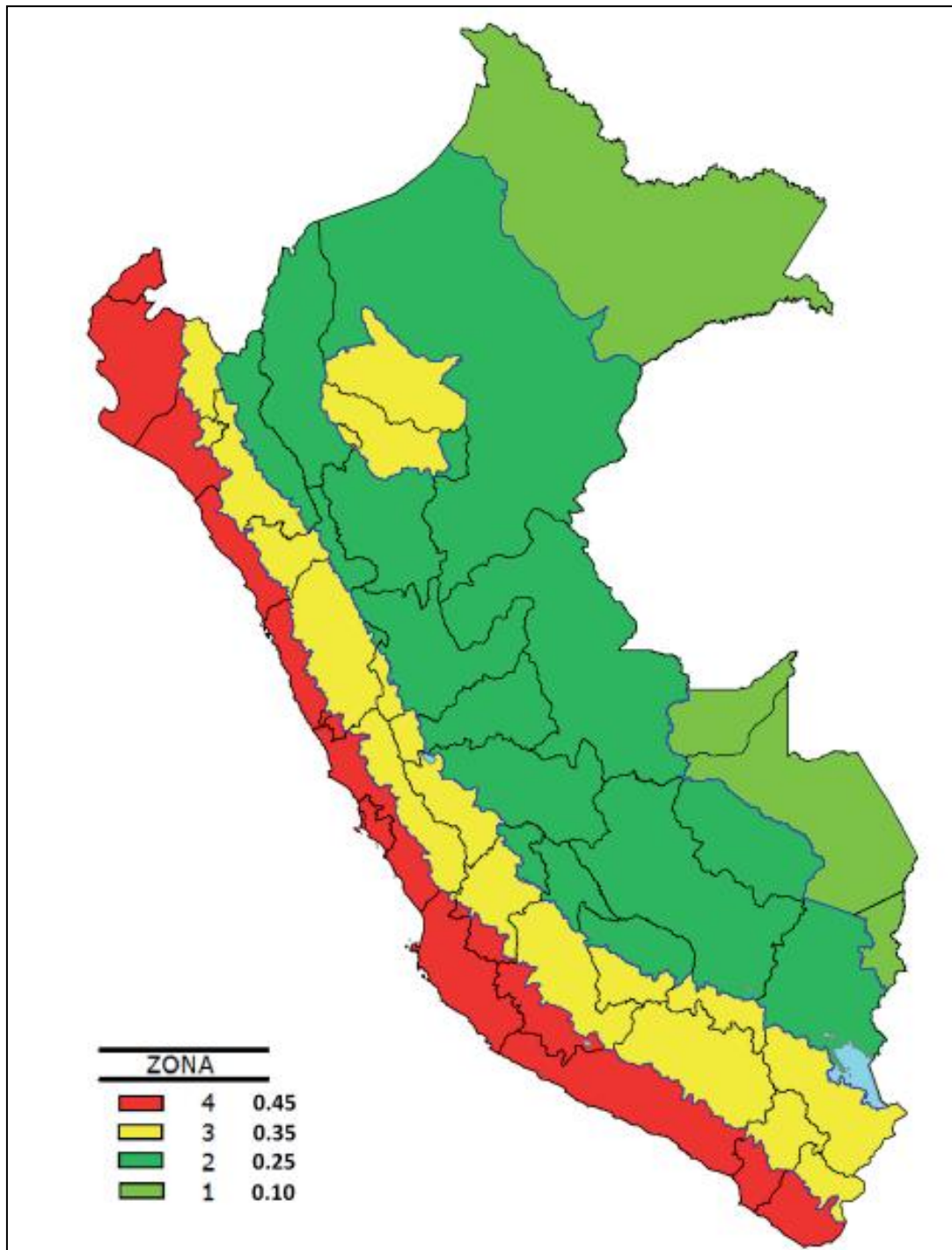


Figura 5: Zonas sísmicas.

*Fuente:* (Vivienda, 2018)

- **Condiciones Geotécnicas – Perfiles del suelo:** La norma clasifica los perfiles de suelo considerando la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ), o para suelos granulares, el promedio ponderado de los  $N_{60}$  obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada ( $S_u$ ) para suelos cohesivos; y también, considerando el tipo de suelo clasificándolos así en cinco tipos de perfiles. (Vivienda, 2018)
  - **Perfil Tipo  $S_0$**  (Roca Dura).
  - **Perfil Tipo  $S_1$**  (Roca o suelos muy rígidos): Puede ser roca fracturada, arena muy densa o grava arenosa densa, o arcilla muy compacta.
  - **Perfil Tipo  $S_2$**  (Suelos intermedios): Puede ser arena densa o suelos cohesivo compacto.
  - **Perfil Tipo  $S_3$**  (Suelos blandos): Arena media o fina, o grava arenosa; también suelo cohesivo blando.
  - **Perfil Tipo  $S_4$**  (Condiciones excepcionales): Suelos en donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables. (Vivienda, 2018)

Tabla 1: Clasificación de los perfiles de suelo.

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
$S_0$	> 1500 m/s	-	-
$S_1$	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
$S_2$	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
$S_3$	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
$S_4$	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: (Vivienda, 2018)

- **Período fundamental de vibración:** De acuerdo con Vivienda (2018), el periodo fundamental de vibración teórico para cada dirección, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 45$  para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean pórticos de concreto con muros en la caja de ascensores y escaleras.

- **Factor de amplificación sísmica (C):** El factor de amplificación sísmica (C) se define por los parámetros de sitio y el periodo calculado, como se muestra en las siguientes expresiones. (Vivienda, 2018)

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) 5$$

- **Parámetros de sitio (S,  $T_p$  y  $T_L$ ):** En este punto, la zona y el perfil del suelo nos permite determinar el factor de suelo (S). Así mismo, los periodos  $T_p$  y  $T_L$  en base al tipo de perfil de suelo. (Vivienda, 2018)

Tabla 2: Factor de suelo.

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA \ SUELO	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: (Vivienda, 2018)

Tabla 3: Periodos.

Tabla N° 4 PERÍODOS "T <sub>p</sub> " Y "T <sub>L</sub> "				
	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: (Vivienda, 2018)

- **Factor de uso (U):** El factor de uso o importancia (U), se determina en base a la categoría de la edificación. Por otro lado, para edificios con aislamiento sísmico en la base se considera  $U = 1$ . (Vivienda, 2018)

Tabla 4: Categoría de las edificaciones y factor "U".

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.</li> <li>- Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones.</li> <li>- Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.</li> <li>- Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</li> <li>- Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.</li> <li>- Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</li> <li>- Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</li> </ul>	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	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
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: (Vivienda, 2018)

- **Coefficiente básico de reducción (R<sub>0</sub>):** Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la tabla. (Vivienda, 2018)

*Tabla 5: Sistemas estructurales.*

<b>Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES</b>	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción $R_0$ (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada.</b>	<b>3</b>
<b>Madera (Por esfuerzos admisibles)</b>	<b>7</b>

*Fuente:* (Vivienda, 2018)

- **Coefficiente de reducción (R):** Este coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas se determina de la siguiente manera:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

Teniendo en cuenta que los valores de irregularidad en planta y en altura se encuentran en la Tabla N° 09 y 10 de la Norma E.030.

### 2.2.6. Tipos de Análisis Sísmico en Edificaciones

En el anexo I de la Norma Técnica Peruana E.030 se tiene el procedimiento para la determinación de las acciones sísmicas; así como, los pasos que se debería seguir para cada uno de los tipos de análisis sísmicos.

- **Análisis estático (coeficiente sísmico):** Este método representa “las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación”. Los parámetros que se utilizan para este análisis se encuentran en el artículo 28 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones y se comentan a continuación.

- La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

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

- El exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura (K) se calcula de acuerdo a:
  - a) Para T menor o igual a 0.5 segundos:  $k = 1,0$
  - b) Para T mayor que 0.5 segundos:  $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$
- **Análisis modal espectral (espectro de respuesta):** Los parámetros que se utilizan para este análisis se encuentran en el artículo 29 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. Los modos de vibración consideran las características de rigidez y distribución de masas. En cada dirección, la suma de masas efectivas debe ser por lo menos 90% de la masa total, pero se toma en cuenta los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.



Uno de los parámetros que define esta norma es la aceleración espectral, utilizando la siguiente fórmula. También, nos menciona que podemos considerar para el análisis en la dirección vertical un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales. (Vivienda, 2018)

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

Así mismo, se toma en cuenta que la fuerza cortante mínima en el primer entrepiso para cada una de las direcciones consideradas en el análisis no puede ser menor al 80% del valor calculado según el artículo 25 de la misma norma para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares. Si fuera necesario incrementar la cortante para cumplir con el mínimo, se escalan los resultados obtenidos, excepto los desplazamientos. (Vivienda, 2018)

También considera que, la excentricidad accidental o efectos de torsión mediante la excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección del análisis, considerando el signo más desfavorable. (Vivienda, 2018)

#### 2.2.7. *Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad*

- **Desplazamientos laterales:** En el artículo 31 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones se considera que para estructuras regulares, los desplazamientos se calculan multiplicando por 0,75R a los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas (Sin escalar) y para estructuras irregulares, se multiplica por 0,85R.

Así mismo, para este cálculo no se consideran los valores mínimos de C/R indicado en el artículo 28 de la misma norma E.030, ni el cortante mínimo en la base especificado en el artículo 29.

- **Desplazamientos laterales relativos admisibles:** En el artículo 32 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones se considera los máximos desplazamientos relativos de entrepiso en la siguiente tabla.

Tabla 6: Límites para la distorsión del entrepiso

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

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial son establecidos por el proyectista, pero en ningún caso exceden el doble de los valores de esta Tabla.

Fuente: (Vivienda, 2018)

#### 2.2.8. Combinaciones de diseño

Se diseñarán las columnas, muros de corte, vigas y cimentaciones con las ecuaciones que nos brinda el ACI 318-19 en el Artículo 5.3.1 para el diseño de elementos de Concreto Armado.

Tabla 7: Combinaciones de carga

Combinación de carga	Ecuación	Carga primaria
$U = 1.4D$	(5.3.1a)	$D$
$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$	(5.3.1b)	$L$
$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ ó } S \text{ ó } R$
$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$	(5.3.1d)	$W$
$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$	(5.3.1e)	$E$
$U = 0.9D + 1.0W$	(5.3.1f)	$W$
$U = 0.9D + 1.0E$	(5.3.1g)	$E$

Fuente: ACI 318 - 19

- Definición de envolvente:** Los programas de cálculo estructural toman a la envolvente con los valores máximos y mínimos del conjunto de combinaciones de cargas establecidas en el mismo, incluyendo los factores aplicados en cada caso. Combinaciones de carga que son creadas en base a la Norma ACI 318 -19. (CSI Computers & Structures, 2021)

### 2.2.9. Parámetros en el diseño por flexión de vigas

Según Harmsen (2017), en el ítem 5.2 nos describe algunas de las hipótesis básicas para el estudio de elementos sometidos a flexión según el ACI, entre las cuales que la deformación unitaria última del concreto en condiciones normales es de 0.003. También, en el ítem 5.3 establece que según el ACI se da una falla por tracción del elemento sometido a flexión que cumpla el criterio de ductilidad cuando la deformación unitaria de refuerzo a tracción  $\epsilon_t$  es mayor a 0.005. Por otro lado, una falla por compresión que no tiene comportamiento dúctil se da cuando la deformación unitaria del refuerzo a tracción  $\epsilon_t$  es menor a la deformación unitaria de fluencia del acero  $\epsilon_y$  (0.002 para refuerzo corrugado de grado 60 y refuerzo preesforzado). También una falla intermedia que corresponde a la zona en transición, la deformación unitaria neta del refuerzo a tracción  $\epsilon_t$  se encuentra en el rango de  $\epsilon_y$  y 0.005. La siguiente figura 6 muestra la ductilidad que desarrolla la sección subreforzada (falla por tracción) y la mayor capacidad resistente y comportamiento frágil en la sección sunreforzada (falla por compresión).

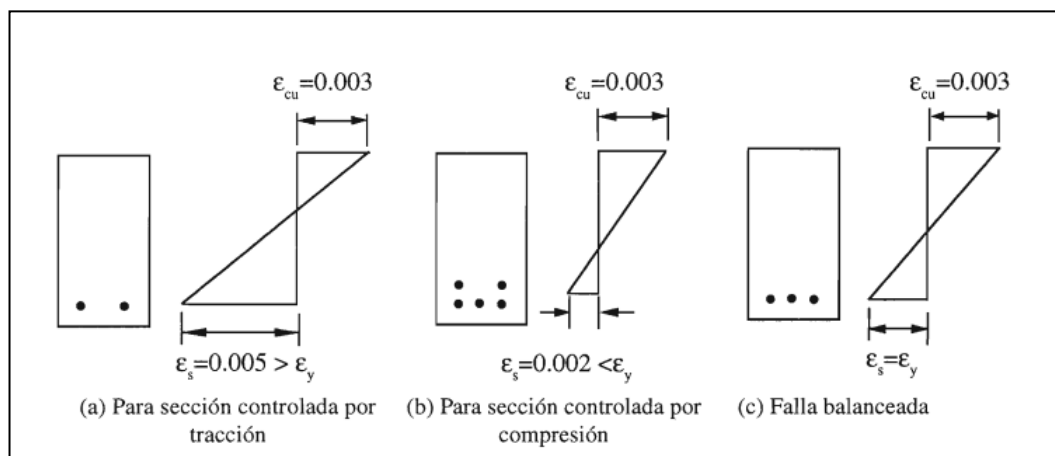


Figura 6: Distribución de deformaciones y rango de  $\epsilon_t$  para cada tipo de falla.

*Fuente:* (Harmsen, 2017)

Para elementos sometidos a flexión no preesforzados, el código ACI especifica que la deformación unitaria neta del refuerzo extremo a tracción  $\epsilon_t$  no puede ser menor a 0.004 en vigas, losas en una dirección y losas en dos direcciones, independientemente de la geometría de la sección. Pues, en estos elementos no se permite la falla por compresión (comportamiento frágil). En general, se busca que el elemento se comporte de manera dúctil para lo cual tiene que fallar por tracción, entonces la deformación unitaria neta del refuerzo extremo a tracción  $\epsilon_t$  debe ser mayor a 0.005. Esto para varillas convencionales de Grado 60.

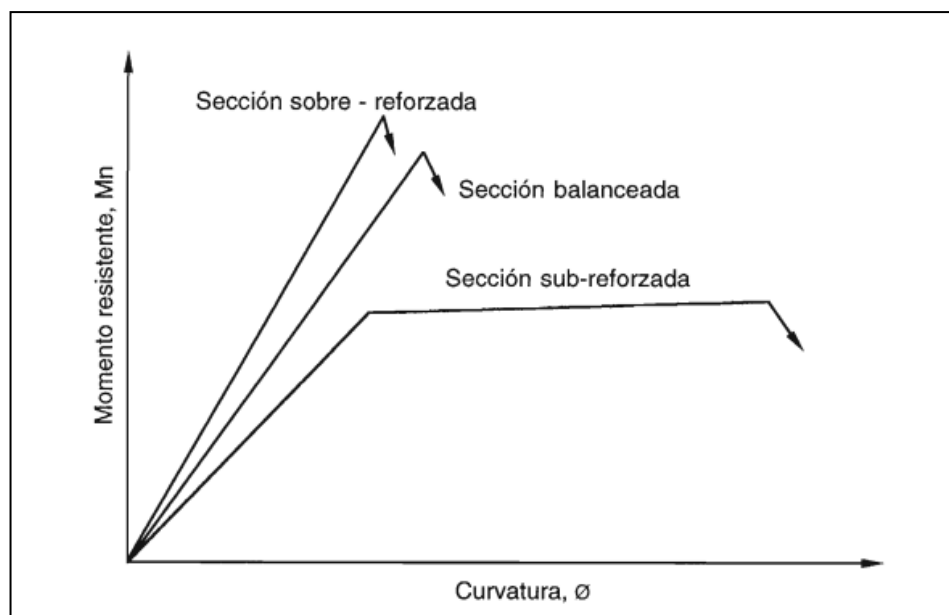


Figura 7: Diagrama momento – curvatura para los diversos tipos de fallas de flexión.

*Fuente:* (Harmsen, 2017)

De igual manera, según McCormac (2017), en el ítem 3.6, una viga que esté sometida a flexión se diseña de modo que tenga una proporción balanceada de acero, o sea que esté controlado por compresión, el miembro puede fallar repentinamente y sin aviso. Estos miembros sometidos a compresión, se llaman miembros frágiles y deberían ser evitados durante el diseño, si queremos cumplir el criterio de ductilidad. Por otro lado, al ser un miembro cuya deformación unitaria está controlada por tracción, otorgará al usuario la advertencia de una falla.

El mismo autor, en el ítem 3.7 de reducción de resistencia o factores  $\phi$ , nos cita que “Para vigas y losas dúctiles o controladas por tensión donde  $\epsilon_t$  es mayor o igual a 0.005, el  $\phi$  para flexión es 0.90”. Además, nos hace una recomendación para el diseño, mencionando que, “el lector debe entender claramente que el uso de miembros a flexión en este intervalo es generalmente antieconómico y es probablemente mejor, si la situación lo permite, aumentar las profundidades del miembro y/o disminuir los porcentajes de acero hasta que  $\epsilon_t$  sea igual o mayor que 0.005. Si esto se hace, no sólo los valores de  $\phi$  serán iguales a 0.9, sino que también los porcentajes de acero no serán tan grandes como para causar la aglomeración de las varillas de refuerzo. El resultado neto será secciones de concreto ligeramente mayores, con las consiguientes deflexiones más pequeñas”.

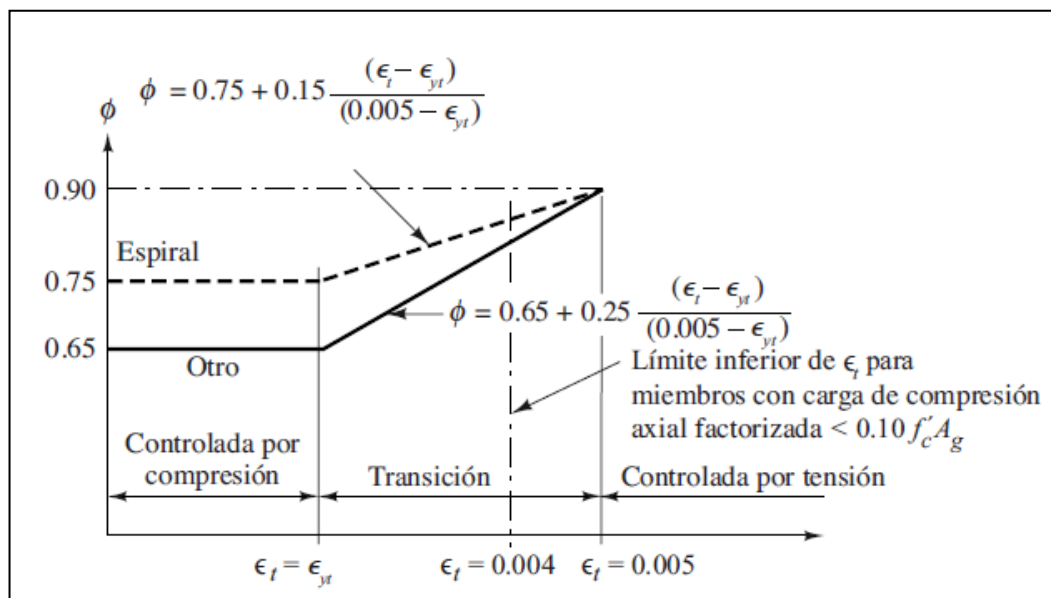


Figura 8: Variación del  $\phi$  con deformación unitaria neta en tensión  $\epsilon_t$ .

Fuente: (McCormac, 2017)

Además, en el capítulo 21 de Factores de reducción de resistencia del ACI 318-19, nos dice que las vigas y losas están controladas por tracción; en cambio, las columnas están controladas por compresión. Incluso, nos muestra en una tabla los factores de reducción de resistencia  $\phi$  para los casos mencionados.

Tabla 8: Factor de reducción de resistencia  $\phi$

Deformación unitaria neta a tracción, $\epsilon_t$	Clasificación	$\phi$			
		Tipo de refuerzo transversal			
		Espirales que cumplen con 25.7.3		Otro	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Controlada por compresión	0.75	(a)	0.65	(b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < \epsilon_{ty} + 0.003$	Transición <sup>[1]</sup>	$0.75 + 0.15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.003)}$	(c)	$0.55 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.003)}$	(d)
$\epsilon_t \geq \epsilon_{ty} + 0.003$	Controlada por tracción	0.90	(e)	0.90	(f)

<sup>[1]</sup>Para las secciones clasificadas como de transición, se permite usar el valor de  $\phi$  correspondiente a secciones controladas por compresión.

Fuente: ACI 318 - 19

Por otra parte, Harmsen (2017), nos explica que en el caso de las columnas cortas sometidas a flexocompresión, al igual que las secciones sometidas a flexión pura, pueden tener los tres tipos de falla (Falla por compresión, por tensión o balanceada) dependiendo de la excentricidad de la carga axial que actúa sobre esta columna. Si la excentricidad es pequeña, la falla será por compresión; pero si es mayor, la falla será por tensión.

“El diagrama de interacción representa todas las combinaciones de falla y constituye la descripción completa de la capacidad resistente de una sección”. En este caso, en la la figura 9 se muestra la variación del  $\epsilon_t$  para los casos en que la seccion esté controlada a compresión, tracción y en transición. Así mismo, se considera que, el valor de  $\phi$  puede variar en cada una de las situaciones.

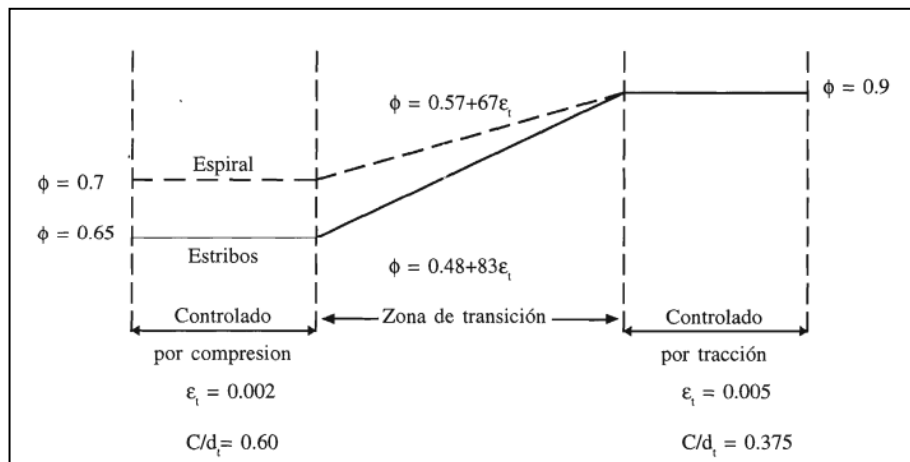


Figura 9: Variación del factor  $\phi$ .

Fuente: (Harmsen, 2017)

Ahora, cuando hablamos de sollicitación para determinar el área de acero, tomando en consideración la cuantía balanceada. Según lo que expresa McCormac (2017), hasta el año 1999 se limitaban los miembros a flexión a 75% de la cuantía balanceada. Sin embargo, a partir del 2002, la capacidad del miembro se penaliza reduciendo el factor  $\phi$  cuando la deformación unitaria en el acero de refuerzo para la carga última es menor que 0.005; es decir, solamente cuando esta se encuentre en la zona de transición.

#### *2.2.10. Softwares usados para el diseño estructural*

- **CSI Etabs:** CSI lleva 40 años de investigación y desarrollo continuo con el programa de cálculo Etabs. La creación de los modelos es sencilla y tiene la mejor manejabilidad entre softwares de análisis estructural para permitir una rápida creación de plantas y alzados de una estructura. Así mismo, se pueden utilizar archivos de Autocad como base del dibujo de la estructura con las grillas. Añadiendo que, los resultados de cualquier análisis o en el diseño de elementos son de fácil lectura.

Este programa cuenta con una cantidad considerable de normas y espectros de sismo de varios países; así mismo, los iconos y menús son siempre los mismos durante las etapas de diseño. Por otro lado, exige poca capacidad del computador.

Cabe resaltar que el flujo de datos bidireccional de Etabs con otros programas con BIM como Tekla, Revit o Archicad se dan a través del formato IFC (Industry Foundation Classes) para garantizar un mayor nivel de compatibilidad. Por otro lado, también se hace uso del Plugin CSIXRevit para exportar e importar un modelo nuevo hacia el programa de Autodesk Revit o actualizarlo. (CSI Spain, 2021)

Sin embargo, si consideramos el método tradicional como se está estudiando en la presente tesis a el uso de los programas Autocad Structural Detailing y Etabs, no consideramos la aplicación de programas en donde se aplique la metodología BIM. Por lo cual, la documentación considera un nuevo dibujo para la documentación de planos, luego de haber realizado completamente el modelado y diseño en el programa Etabs.

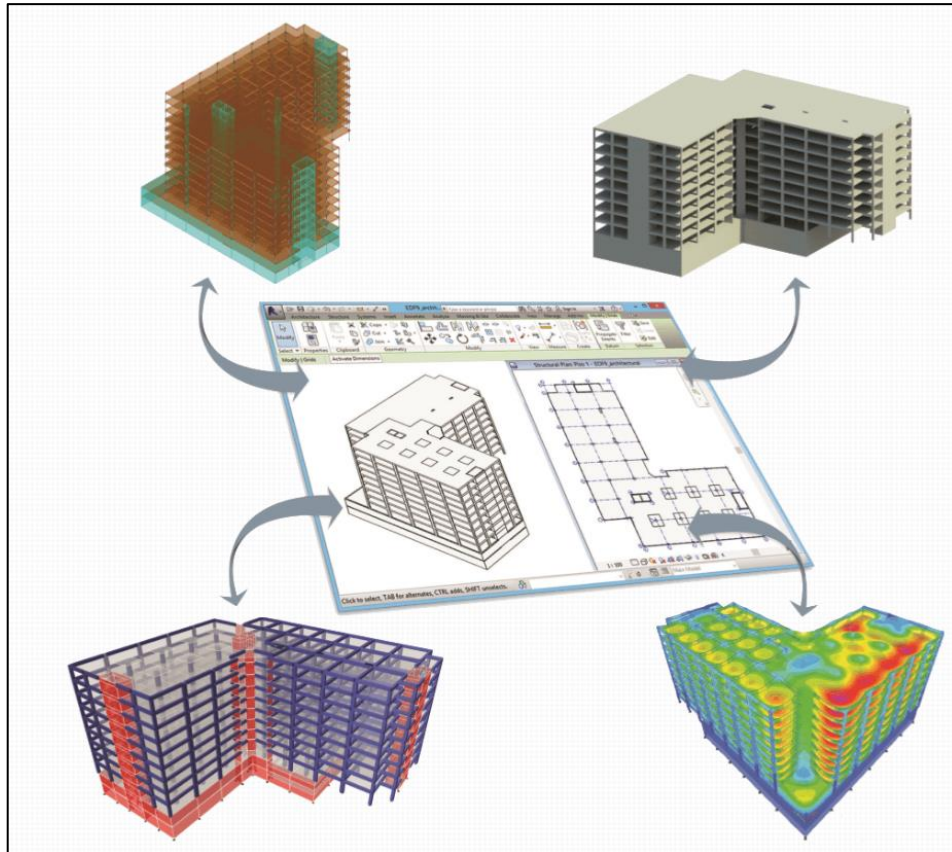


Figura 10: Predimensionamiento con respecto al peralte de la viga

*Fuente:* (Predimensionamiento de vigas y columnas, 2016)

Por otra parte, la base de comparación entre los resultados que son obtenidos por Etabs y Robot Structural Analysis Professional se debe a distintos factores, tales como el proceso de modelado, asignación de brazos rígidos, la manera de discretizar los elementos panel, entre otros. Todos estos diferentes parámetros establecidos provocan que ambos softwares distribuyan los pesos y las cargas aplicadas de manera un poco distinta; por lo cual, se obtiene fuerzas internas levemente diferentes, a pesar de que ambos programas trabajen con el mismo método de diseño. También, los resultados están en buen camino por probabilidad.

- **Autodesk Robot Structural Analysis Professional:** A diferencia de Etabs, Autodesk Robot Structural Analysis es un programa más nuevo, llevando 15 años de investigación y mejora continua. Una de sus más grandes ventajas es la interoperabilidad que tiene con el programa Revit, con los cuales puedes realizar un intercambio de datos bidireccional al tener un modelo analítico y físico en Revit.



De esta manera, podemos obtener beneficios que se logran a través del uso del flujo BIM y la transferencia de modelos de información. Es importante considerar que los involucrados deben estar en la capacidad de poder comunicar la información a través de un modelo 3D, y así poder procesarlo e iniciar las actividades a partir de lo recibido. Esto significa un ahorro en términos de tiempo porque no se requerirá modelar nuevamente la información a través de planos DWG, además de la convicción que se obtiene sobre la información recibida.

Sin embargo, esto requiere de la producción de modelos confiables, desarrollados bajo protocolos básicos de producción y de una comunicación fluida, establecida con disciplina con quien se interactúa para así satisfacer las necesidades demandadas.

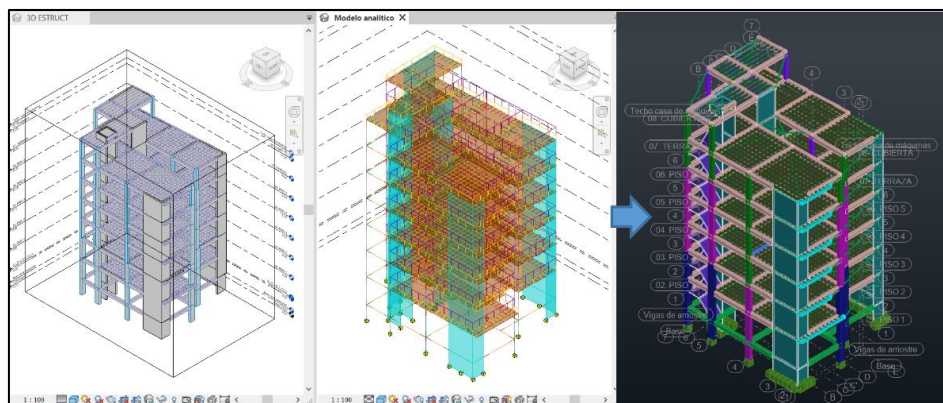


Figura 11: Estructura modelada en Revit (Modelo físico y analítico) y Robot Structural Analysis Professional.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

Robot Structural Analysis Professional no cuenta con la Norma Técnica Peruana E.030 pero incluye múltiples normas, normativas, formas y materiales de todo el mundo; lo cual es solucionado fácilmente subiendo el espectro de respuesta en formato txt.

Algo muy importante para el uso de este programa Robot Structural Analysis Professional junto con Revit es que necesitan gran demanda de la computadora, necesitando al menos 8GB de RAM y tarjeta gráfica dedicada e integrada.

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del proyecto:

“Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”

#### 3.1.1. Ubicación Política


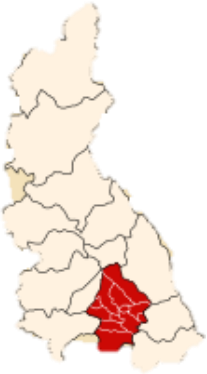

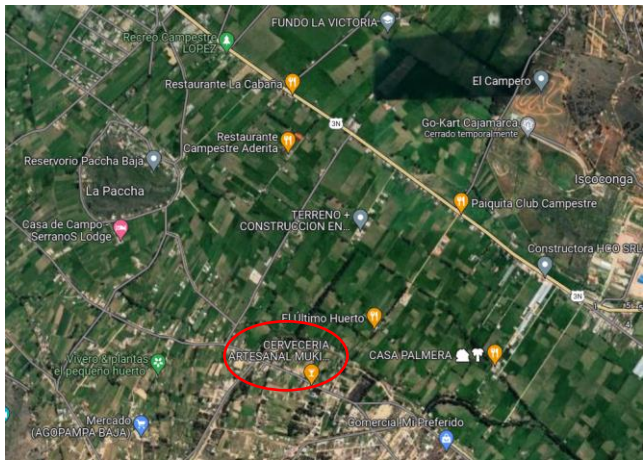
Departamento: Cajamarca.

Provincia: Cajamarca.

Distrito: Jesús.

Centro Poblado: La Colpa.

*Tabla 9: Ubicación política del proyecto*

Departamento	Provincia
	
Distrito	Centro Poblado
	

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.1.2. Reconocimiento del lugar

Según Braja M. Das (2012), es importante realizar una exploración subsuperficial para identificar los estratos y características físicas del suelo con el propósito de evaluar el tipo de cimentación que se podrá usar y la profundidad; también determinar la capacidad portante, estimar asentamientos, ver la ubicación del nivel freático y determinar algunos problemas potenciales para la cimentación. Por lo tanto, se realizó la visita tomando algunas fotografías del lugar y se realizó el estudio de suelos que se encuentra en el ANEXO N° 01. Así mismo, encontramos la descripción de lugar con más detalle en el ANEXO N° 06.



Figura 12: Reconocimiento del lugar

*Fuente: Fotografía tomada por Karina Rodríguez.*

### 3.2. PERIODO EN QUE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se realizó entre el mes de julio del 2022 a febrero del 2023, realizándose el diseño sismorresistente en los softwares Etabs y Robot.

### 3.3. PROCEDIMIENTO

#### 3.3.1. Predimensionamiento de elementos estructurales

- **Predimensionamiento de columnas**

Según Blanco Blasco (1995), el criterio de dimensionamiento por carga vertical en edificación con sistema mixto de pórticos y muros de corte (placas), se sigue el siguiente procedimiento de predimensionamiento de acuerdo al ACI en función del  $f'c$ .

$$Ac = \frac{P_{servicio}}{0.45xf'c}$$

Así mismo, para el mismo tipo de edificio, el predimensionamiento de las columnas con menos carga axial, como es el caso de columnas esquineras o exteriores, se podrá calcular con un área igual a lo siguiente. (Blanco Blasco, 1995)

$$Ac = \frac{P_{servicio}}{0.35xf'c}$$

Donde:

Ac: Área de la columna en  $cm^2$

Pservicio: Carga de servicio en kg-f

$f'c$ : Resistencia

Sabiendo que:

$$P_{servicio} = P * A.Trib. * N^{\circ} \text{ piso}$$

Las vigas deben encajar con las columnas, para evitar la rápida roturación plástica de las columnas, se cumple lo siguiente. (Predimensionamiento de vigas y columnas, 2016)

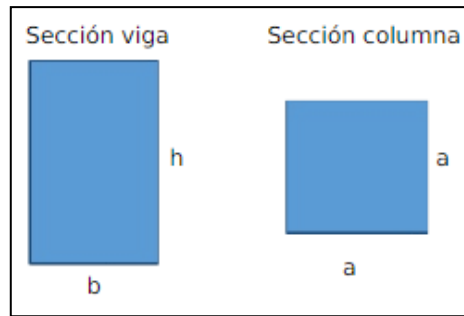


Figura 13: Predimensionamiento con respecto al peralte de la viga

*Fuente:* (Predimensionamiento de vigas y columnas, 2016)

- **Predimensionamiento de placas**

Según Blanco Blasco (1995), las placas pueden hacerse mínimo de 10 cm de espesor, pero generalmente se consideran de 15 cm en caso de edificios de pocos pisos y de 20, 25 o 30 cm conforme aumentemos el número de pisos o disminuamos la densidad. Teniendo en cuenta que en el Perú se han proyectado una serie de edificaciones de hasta 20 pisos considerando placas de espesor de 25 cm, considerando longitudes apreciables de éstas. Si existiesen pocas placas, se tendrá que ir aumentando el espesor.

- **Predimensionamiento de vigas**

Según Blanco Blasco (1995), al predimensionar las vigas, se tiene que considerar la acción de cargas de gravedad y sísmicas., considerando el siguiente criterio:

$$h = \frac{L}{12} \text{ a } \frac{L}{10}$$

$$b = 0.3xh \text{ a } 0.5xh$$

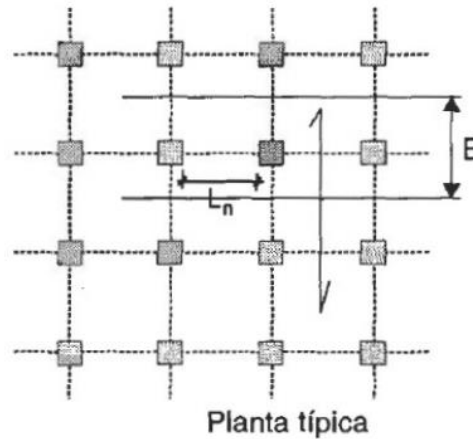
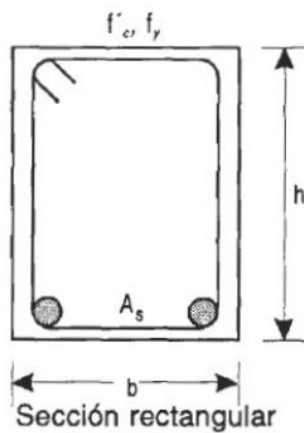
De esta forma, predimensionaremos las vigas con  $h = L/10$ . Además, para la base trabajaremos con  $b = 0.5xh$ . Considerando también que la base mínima es de 25 cm (Vivienda, 2009).

Por otro lado, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la NTE-060 en su acápite 9.6.2.1, dice que la condición para no verificar deflexiones en una viga es que el peralte debe ser mayor ò igual que el dieciseisavo de la luz libre.

## PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS

Según Roberto Morales (2006)

CAP. 13 - PAG. 123



Considerando una sección de momento positivo máximo, seguimos el siguiente procedimiento para determinar cómo podemos predimensionar las vigas, tomando en cuenta ecuaciones de cálculo de momento flector y considerando una viga rectangular según el ACI 318. Para lo cual tenemos los siguientes datos.

### **DATOS**

$$\alpha := 16$$

$$b := \frac{B}{20}$$

$$\phi := 0.9$$

$$f'y := 4200$$

$$f'c := 210$$

$$\rho := 0.007$$

$$w := \rho \cdot \frac{f'y}{f'c} = 0.14$$

### **Ecuación**

$$d := L_n \cdot \sqrt{\frac{W_u \cdot B}{\alpha \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot w \cdot (1 - 0.59 \cdot w)}}$$

Si:

$$x := \sqrt{\alpha \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot w \cdot (1 - 0.59 \cdot w)} \quad x = 4.407$$

Entonces, redondeando valores: 
$$d := \frac{L_n}{\left(\frac{4}{\sqrt{W_u}}\right)}$$

### Cargas del edificio en estudio

Según la norma E.020:  $Cargaviva := 200 \frac{kg}{m^2}$

Cálculo de carga muerta:  $Pesoaligerado2dir := 277.5 \frac{kg}{m^2}$

$Sobrecarga := 490 \frac{kg}{m^2}$

Entonces:

$$W_D := 277.5 \frac{kg}{m^2} + 490 \frac{kg}{m^2} \quad W_L := 200 \frac{kg}{m^2}$$

$$W_D = 767.5 \frac{kg}{m^2}$$

Usamos:

$$W_u := 1.4 \cdot W_D + 1.7 \cdot W_L$$

$$W_u = 1414.5 \frac{kg}{m^2}$$

$$W_u = 0.141 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazamos en la ecuación:

$$d := \frac{Ln}{\left(\frac{4}{\sqrt{W_u}}\right)}$$

$$\text{Si: } \frac{4}{\sqrt{0.141}} = 10.652$$

Por lo tanto, la ecuación para predimensionar la viga es:

$$h := \frac{Ln}{10}$$

- **Predimensionamiento de losas nervadas**

Según Blanco Blasco (1995), las losas nervadas resultan ser más ligeras que las losas aligeradas. La losa superior que une los nervios suele ser delgada y constante con un espesor de 5 cm, pero dependerá del aumento de la separación entre las viguetas también. Las distancias libres usuales son de 50 a 75 cm, con secciones de viguetas entre 10 y 15 cm, y el peralte dependiente de la luz del paño.

### 3.3.2. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados

Se realiza el análisis en una estructura convencional de concreto armado y los materiales serán los siguientes:

Tabla 10: Datos de los materiales

	Descripción	Notación	Valor	Unidad
<b>Concreto</b>	Resistencia a la compresión	$f_c$	280	Kgf/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad	$E_c$	$15000 * \sqrt{f_c} =$ 250998.01	Kgf/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson	$\nu_c$	0.20	
	Módulo de corte	$G$	$E_c / 2 (1 + \nu_c) =$ 104582.50	Kgf/cm <sup>2</sup>
	Peso específico	$\gamma_{cs}$	2300	Kgf/m <sup>3</sup>
<b>Concreto armado</b>	Peso específico	$\gamma_{ca}$	2400	Kgf/m <sup>3</sup>
<b>Acero de refuerzo</b>	Límite de fluencia	$f_y$	4200	Kgf/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad	$E_s$	$2.1 \times 10^6$	Kgf/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson	$\nu_s$	0.30	
	Peso específico	$\gamma_s$	7850	Kgf/m <sup>3</sup>
<b>Albañilería</b>	Peso específico	$\gamma_m$	1800	Kgf/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia



### 3.3.3. Análisis de cargas

#### 3.3.3.1. Cargas gravitacionales

Se realiza el metrado de cargas del edificio en estudio tomando en cuenta la norma técnica E.020 (2006) del Reglamento Nacional de Edificaciones, la cual nos indica los factores de carga mínima repartida.

- **Carga Muerta (DEAD):** En el programa de cálculo se considera la carga muerta como DEAD, la cual tendrá un factor multiplicador de 1, que significa que se tomará el 100% del peso de la estructura. (Vivienda, 2006)
- **Sobrecarga Muerta (SUPER DEAD):** Tomaremos como sobrecarga sobre la losa al acabado de pisos, muros y techos; como ha sido calculado en la tesis de Lucia & Mamani (2019), tomando en cuenta lo siguiente.

#### - CARGA DE ACABADOS:

Contrapiso de concreto simple:  $\gamma_c * Ancho * Largo * Alto$

$$2300 \frac{kg}{m^3} * 1m * 1m * 0.05m = 115 \frac{kg}{m^2}$$

Falso cielo raso de yeso:  $\gamma_{yeso} * Ancho * Largo * Alto$

$$1000 \frac{kg}{m^3} * 1m * 1m * 0.02m = 20 \frac{kg}{m^2}$$

Porcelanato:  $21.875 \frac{kg}{m^2}$

Teniendo un total de carga de acabados de:

$$Carga\ de\ acabados = 115 \frac{kg}{m^2} + 20 \frac{kg}{m^2} + 21.875 \frac{kg}{m^2} = 156.875 \frac{kg}{m^2}$$

$$Carga\ de\ acabados = 156.875 \frac{kg}{m^2}$$

- CARGA DE MUROS:

Longitud de muro sobre la losa de análisis = 29.89 m

Altura de muro = 2.55 m

Peso del tabique incluyendo revoque en ambos lados = 150 kg/m<sup>2</sup>

Área de la losa de análisis (m<sup>2</sup>) = 34.44 m<sup>2</sup>

$$Carga\ de\ muros = \frac{Long.\ muro * Altura * Peso}{Área}$$

$$Carga\ de\ muros = \frac{29.89\ m * 2.55\ m * 150\ kg/m^2}{34.44\ m^2}$$

$$Carga\ de\ muros = 331.966\ \frac{kg}{m^2}$$

Finalmente, tenemos una sobrecarga muerta de:

$$SCM = 156.875\ \frac{kg}{m^2} + 331.966\ \frac{kg}{m^2}$$

$$SCM = 488,841\ \frac{kg}{m^2}$$

$$SCM \approx 490\ \frac{kg}{m^2}$$

▪ **Carga Viva (LIVE)**

Tabla 11: Cargas repartidas para ambientes de hoteles por metro cuadrado

Tipo de carga	Elemento	Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Carga viva	Cuartos	200
	Corredores y escaleras	400

Fuente: Norma técnica E.020-2006.

- **Sala de máquinas del ascensor:** La maquinaria para un ascensor de 4 a 6 personas suele estar entre 2000 kgf. Por lo cual, tomaremos lo siguiente.

$$\frac{1000\ kgf}{2\ m^2} = 500\ \frac{kgf}{m^2}$$

### 3.3.3.2. Carga lateral

- **Carga Sísmica (SEISMIC):** Se utilizará la Norma E. 030 de Diseño Sismorresistente aplicando sus parámetros y exigencias en base a datos adquiridos en base al estudio de suelos real, el cual se encuentra como **ANEXO 1.**


**ANÁLISIS CAPACIDAD PORTANTE**

A la profundidad antes mencionada los cimientos se apoyarán sobre el estrato de arcillas limosas con arenas y finos plásticos, cuyas características de resistencia están dados principalmente por el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y su cohesión, teniendo en cuenta el único estrato desfavorable de la calicata menos estable para la cimentación, siendo la calicata C-1, muestra M-1 (de 1,40 m a 4,00 m. de profundidad), considerándose para tal fin los siguientes parámetros:


Tipo de Suelo	= SC-SM
Ángulo de fricción interna	$\phi = 25.0^\circ$
Cohesión	$C = 0.0 \text{ kg/cm}^2$
Peso Específico Húmedo	$\gamma_h = 1.82 \text{ g/cm}^3$
Ancho de la Zapata	$B = 1.20 \text{ m.}$
Largo de la Zapata	$L = 1.50 \text{ m.}$

Luego, aplicando la formula según la norma E.050-2018 “Suelos y Cimentaciones” en su artículo 20.2, la Capacidad Portante Admisible para un suelo fricciones (gravas, arenas y gravas arenosas) será de:

$$q_d = i_q \gamma_1 D_f N_q + 0,5 s_y i_y \gamma_2 B' N_\gamma$$



**GIOVANNI A. MONTAYA LEZAMA**  
LABORATORIO  
COD. ANR. 12100070



**ING. JAVIER M. CORTÉS BERNAL**  
D.C. SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.R. 56967

---

*Donde:*

Coef. de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la cohesión	$S_c = 1,16$
Coef. de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la cohesión	$i_c = 0,52$
Cohesión del suelo ubicado bajo la zapata	$C = 0,0$
Coficiente de capacidad de carga correspondiente a la cohesión	$N'_c = 20,72$
Coficiente de capacidad de carga correspondiente a la sobre carga	$N'_q = 10,66$
Coficiente de capacidad de carga correspondiente a la fricción	$N'_\gamma = 10,88$
Factor de Seguridad	$F.S. = 3,00$

Pero:

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{D}{L} \quad i_z = i_e = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right)^2$$

$$N_c = (N_c - 1) \tan \phi \quad N_q = \tan^2(45 + \phi/2) e^{-\alpha \phi}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$q_{ad} = 1,82 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 14: Estudio de suelos real

Fuente: Anexo 1

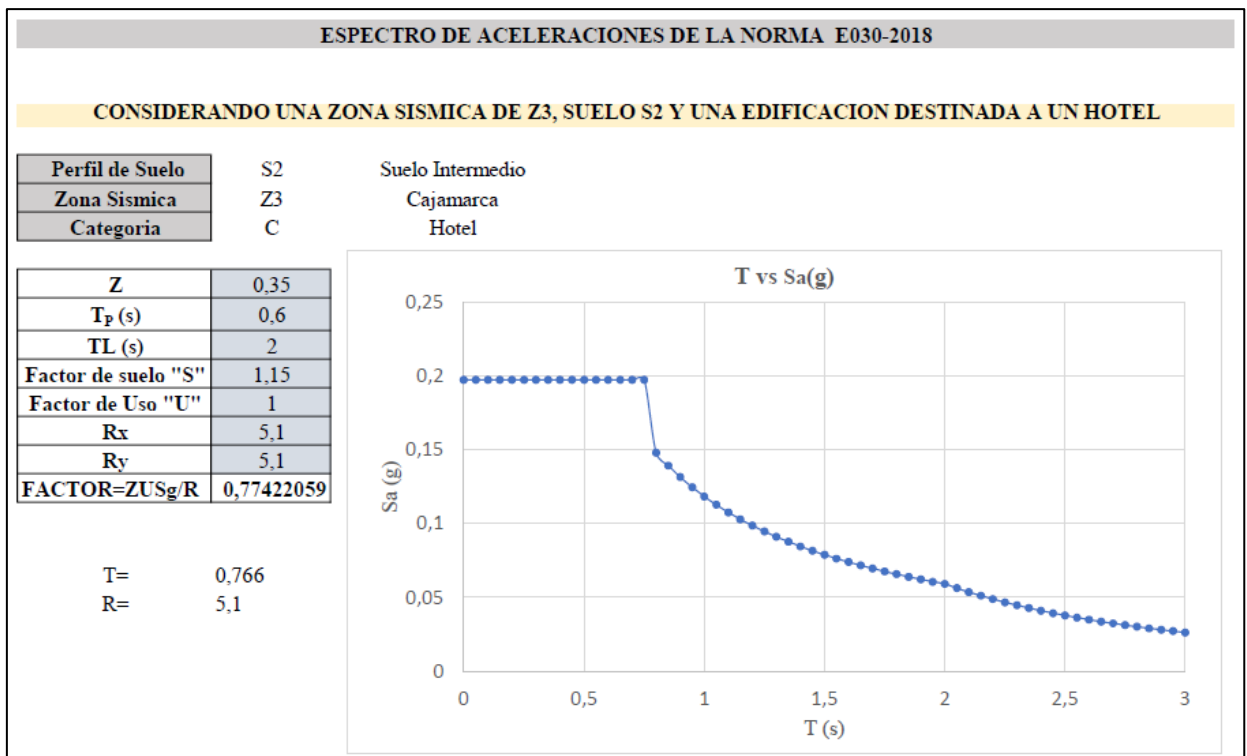


Figura 15: Espectro de diseño

*Fuente: Elaboración propia en base a la Norma E. 030.*

### 3.3.4. Modelado y diseño sismorresistente con el Software Etabs

Para la realización del diseño estructural sismorresistente con el Software Etabs se tomó en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales que se encuentran en el capítulo 3 y las combinaciones de carga en el capítulo 2.

Así mismo, en este ítem podremos ver cada uno de los puntos más importantes del diseño sismorresistente realizado con el software, tal como se muestra en el índice. Tomando en consideración que los anexos completos se encuentran al final del documento. Lo mismo se realizará con el uso del otro software.

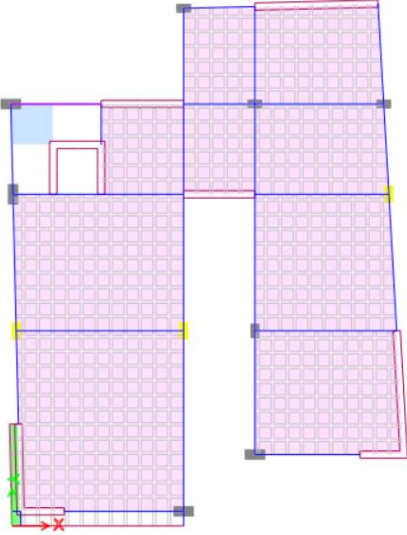
Edificio utilizando el programa ETABS	Descripción
	<p>Ante un posible evento sísmico el sistema de resistencia lateral fue resuelto con muros de corte, columnas y vigas tanto peraltadas como chatas. Se tiene una luz máxima de 6.20m. Las losas son nervadas de concreto armado en dos direcciones.</p> <p>Se usó vigas chatas y losa nervada en una dirección en los voladizos.</p>

Figura 16: Configuración estructural del edificio utilizando ETABS.

*Fuente: ETABS.*

Estructura	Piso	Altura de piso a piso (m)	Elevación (m)
	Azotea	0,9	23,08
	N8	3,04	22,18
	N7	3,04	19,14
	N6	3,04	16,1
	N5	3,04	13,06
	N4	3,04	10,02
	N3	3,04	6,98
	N2	3,04	3,94
	PB	2	0,9
Base	-	-1,1	

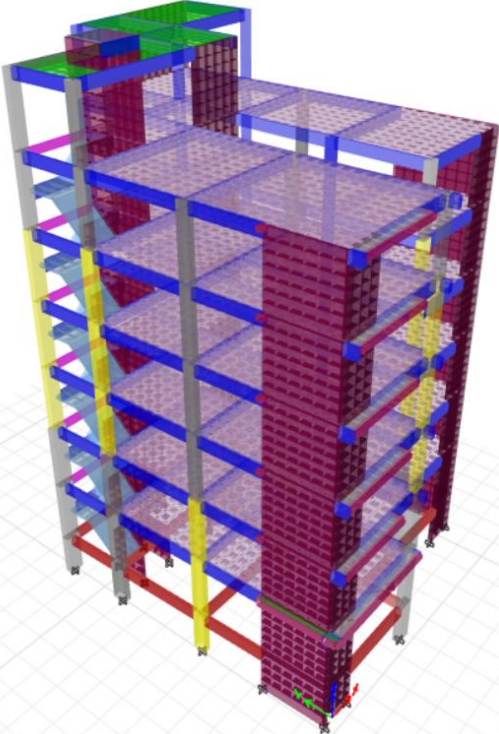


Figura 17: Altura y vista tridimensional de la estructura del utilizando ETABS.

*Fuente: ETABS.*

### 3.3.4.1. Asignación de datos de sismo dinámico al simulador

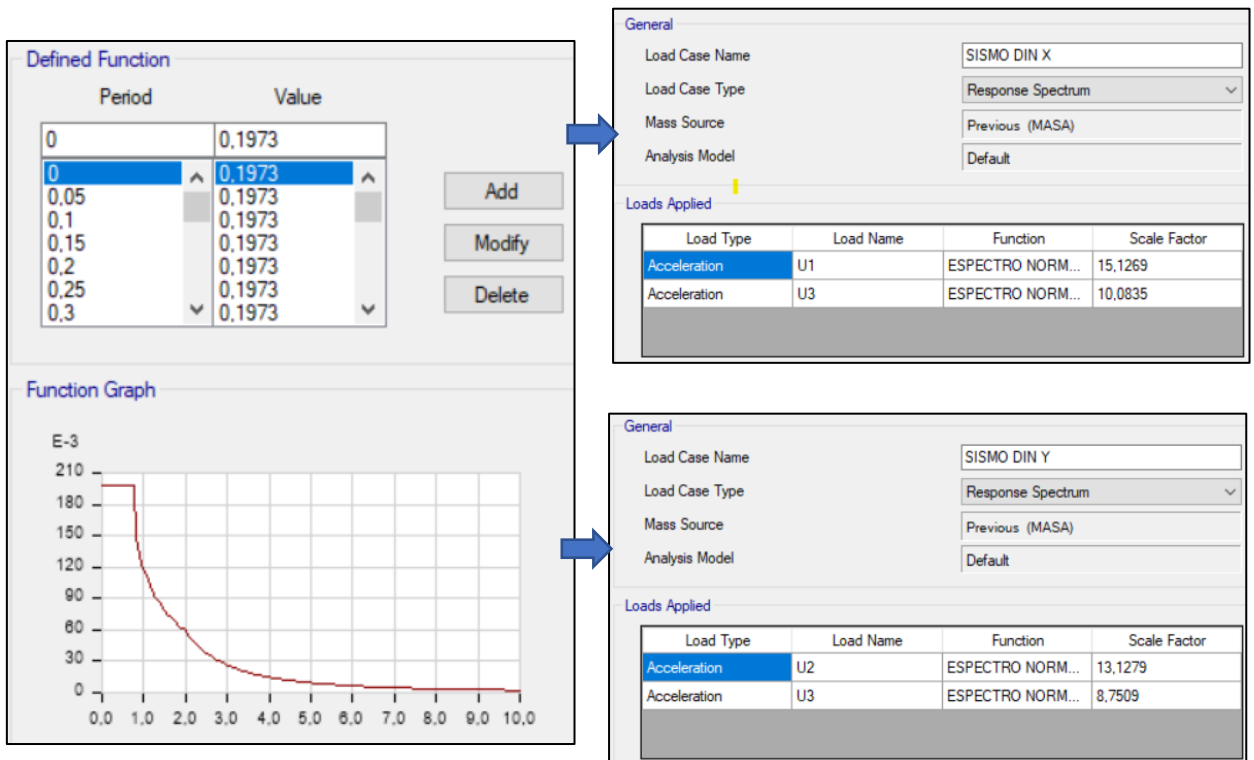


Figura 18: Asignación de valores del espectro sísmico.

Fuente: ETABS

### 3.3.4.2. Asignación de datos de Sismo Estático al Simulador

Para el cálculo del sismo estático se debe determinar el valor del coeficiente sísmico “C” para ser introducido en el programa ETABS, obteniendo de este los cortantes basales estático y del paso anterior el cortante basal dinámico para calibrar el modelo.

El valor calculado del coeficiente sísmico fue calculado con una planilla de Mathcad prime 7.0.0.0 en base a parámetros de la ASCE7-16, tal como se muestra en el **ANEXO 2**.

$$C=0.178$$

El valor de K es un exponente relacionado con el periodo de la estructura. Este tiene un valor de 1.024 haciendo una interpolación lineal como indica la norma ASCE 7-16 en el capítulo 2.

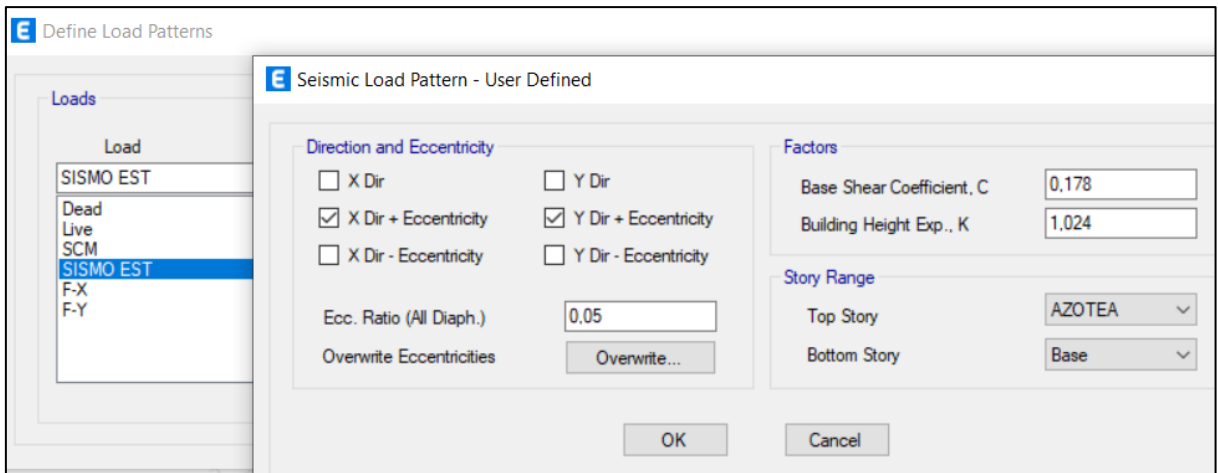


Figura 19: Asignación del coeficiente sísmico al simulador.

*Fuente: ETABS.*

### 3.3.4.3. Definición del peso sísmico

Para definir el peso sísmico de la estructura se realizará según especifica la Norma E.030, tomará 25% de la carga viva y el 100% de la carga permanente. Este valor es necesario para obtener el cortante en la base (V) tanto estático como dinámico.

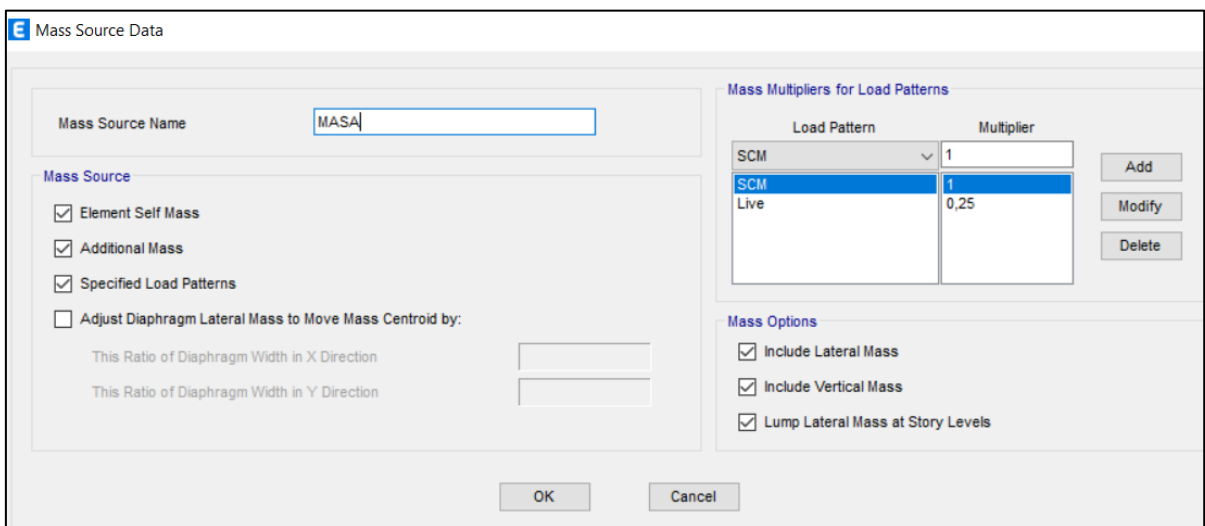


Figura 20: Peso de la estructura.

*Fuente: ETABS.*

#### 3.3.4.4. Revisión de modos y periodos naturales de vibración

La Norma E.030 dice que se debe obtener un número suficiente de modos naturales de vibración para lograr un adecuado análisis sísmico de tal manera que la suma de las masas asociadas a cada uno de ellos llegue a más del 90 % de la masa total de la estructura en cada dirección de análisis horizontal.

*Tabla 12: Modos de vibración de la estructura utilizando ETABS.*

<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period (seg)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>
<b>Modal</b>	1	0,577	0,4470	0,2162	0,4470	0,2162
<b>Modal</b>	2	0,527	0,1316	0,4950	0,5786	0,7112
<b>Modal</b>	3	0,325	0,1658	0,0213	0,7444	0,7325
<b>Modal</b>	4	0,139	0,1079	0,0364	0,8524	0,7689
<b>Modal</b>	5	0,130	0,0001	0,0057	0,8525	0,7746
<b>Modal</b>	6	0,122	0,0292	0,1272	0,8816	0,9018
<b>Modal</b>	7	0,097	0,0443	0,0002	0,8817	0,9020
<b>Modal</b>	8	0,082	0,0216	0,0002	0,9032	0,9023
<b>Modal</b>	9	0,058	0,0012	0,0652	0,9044	0,9675
<b>Modal</b>	10	0,058	0,0587	0,0024	0,9631	0,9699
<b>Modal</b>	11	0,053	0,0258	0,0030	0,9631	0,9729
<b>Modal</b>	12	0,041	0,0064	0,0001	0,9696	0,9729

*Fuente: Elaboración Propia.*

Como podemos observar tanto en X como en Y se llega a más del 90% de participación de masas efectivas en el modo 8 y se tiene un periodo natural de vibración de 0.577 segundos en el modo 1.

#### 3.3.4.5. Análisis del cortante basal dinámico y estático

Podemos verificar el valor del cortante basal estático multiplicando el valor del coeficiente sísmico que ya fue calculado y el peso sísmico de la estructura como se mencionó en el punto 3.1.3.3.2. y 3.1.3.3.3.



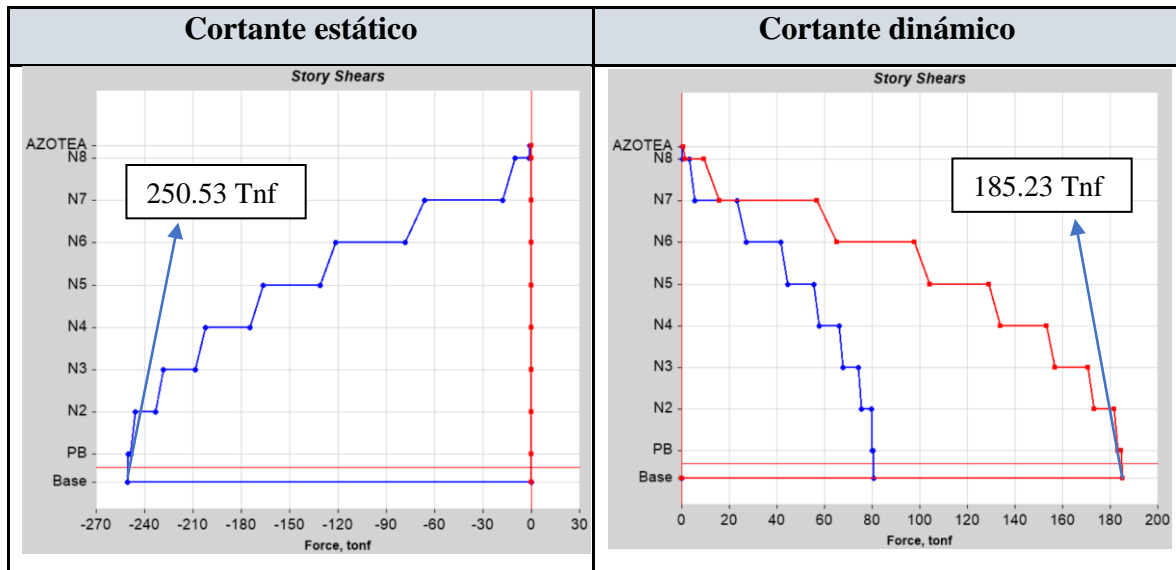


Figura 21: Comparación de cortantes basales sin escalar.

Fuente: ETABS.

#### 3.3.4.6. Verificación de derivas de entrepiso

La Norma E.030 establece los límites de distorsión de entrepiso para Concreto Armado de 0,007 como se muestra en el punto 2.2.7. A continuación, se muestra la Figura 22 donde se visualiza la gráfica de máxima distorsión de entrepiso tanto en el eje X como en el eje Y.

Tabla 13: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando ETABS.

Story	Elevation (m)	Location	X - Dir	Y - Dir	Max Drift	Verificación
<b>Azotea</b>	23,08	Top	0,002	0,004	0,007	Cumple
<b>N8</b>	22,18	Top	0,003	0,004	0,007	Cumple
<b>N7</b>	19,14	Top	0,006	0,005	0,007	Cumple
<b>N6</b>	16,1	Top	0,007	0,005	0,007	Cumple
<b>N5</b>	13,06	Top	0,007	0,005	0,007	Cumple
<b>N4</b>	10,02	Top	0,007	0,005	0,007	Cumple
<b>N3</b>	6,98	Top	0,006	0,004	0,007	Cumple
<b>N2</b>	3,94	Top	0,005	0,003	0,007	Cumple
<b>PB</b>	0,9	Top	0,002	0,002	0,007	Cumple

Fuente: Elaboración Propia.

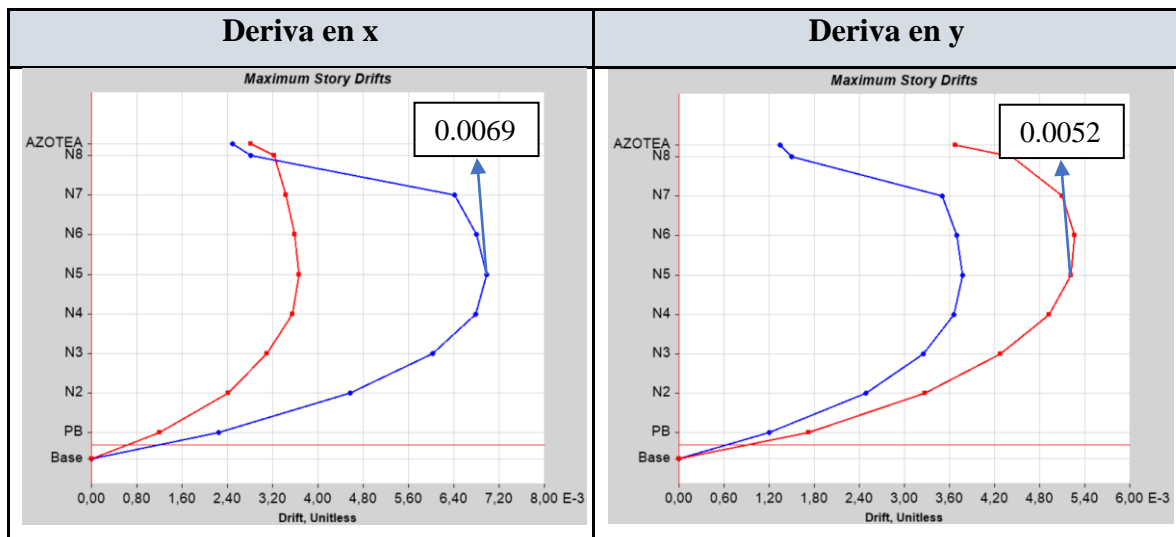


Figura 22: Diagrama de máxima distorsión de entrepiso en los sentidos X e Y.

*Fuente: ETABS.*

### 3.3.4.7. Diseño de elementos estructurales

Para el diseño de los elementos estructurales, se realizará el procedimiento de diseño de un elemento específico de la estructura con planillas de elaboración propia en Mathcad Prime 7.0.0.0, comparando los resultados de la misma con los resultados que arroja el programa ETABS al momento de diseñar o verificar elementos estructurales.

- **Diseño de Columnas**

El programa ETABS verifica si la columna resiste las solicitaciones con el diagrama de interacción, por esa razón se programó una hoja de cálculo en el programa PTC Mathcad Prime 7.0.0.0, la cual calculará el diagrama paso a paso, en este diagrama se introducirán las solicitaciones máximas mostrando que están dentro del diagrama, además se compararán los diagramas calculados con la planilla con los que nos ofrece el simulador.

Columna a diseñar

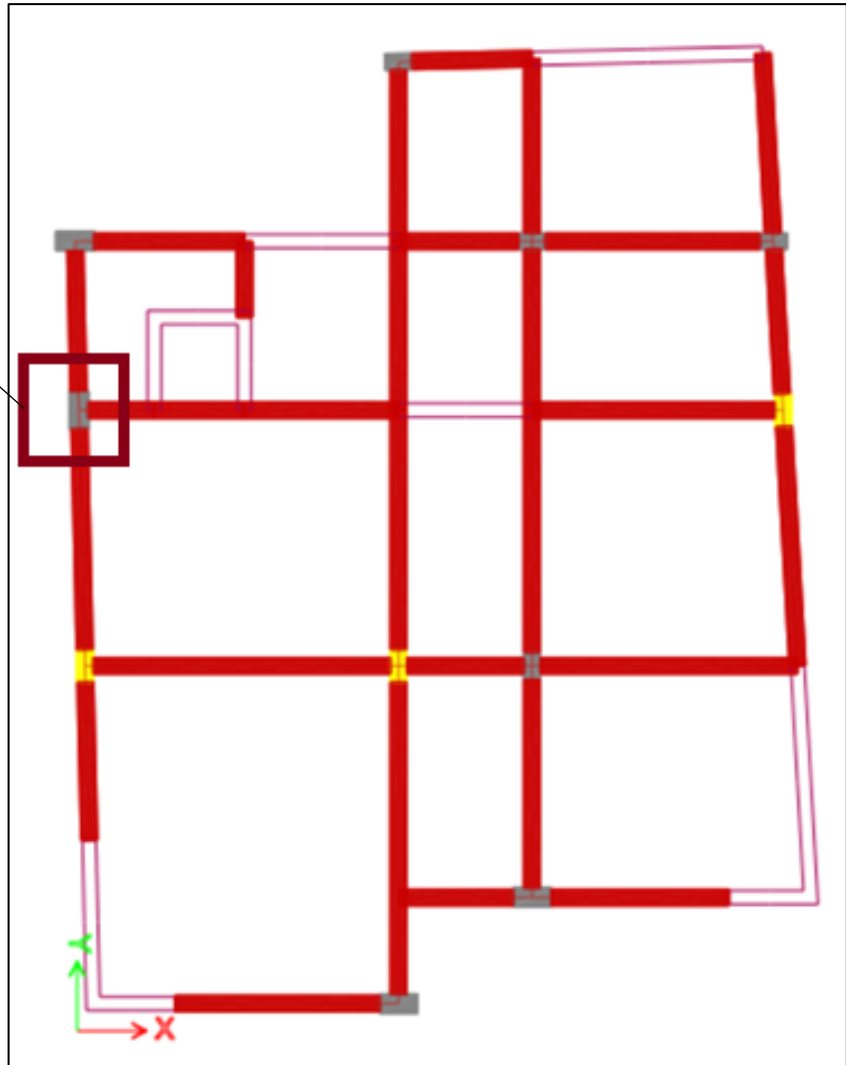


Figura 23: Columna a diseñar.

*Fuente: ETABS.*

Se diseñará la columna del eje 5-A al ser una columna lateral que continua hasta el último nivel y por tener las solicitaciones más grandes. A continuación, se muestra el diagrama de interacción que calcula el ETABS comparado con el diagrama calculado en Mathcad, el cálculo completo de puede encontrar en el punto 3.4.6.3.

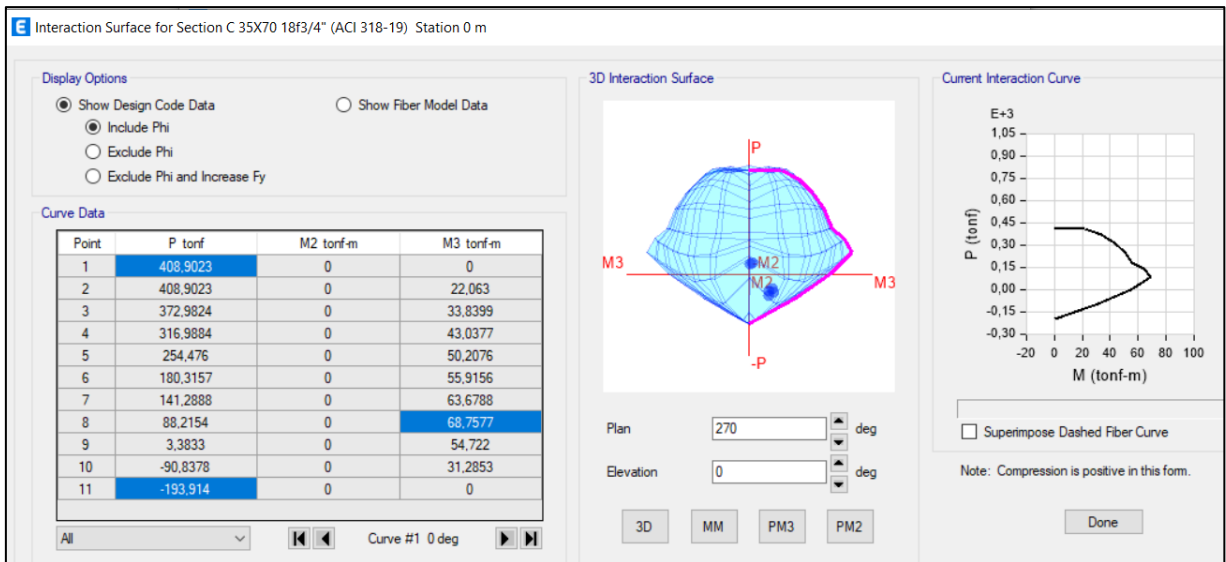


Figura 24: Diagrama de interacción.

Fuente: ETABS.

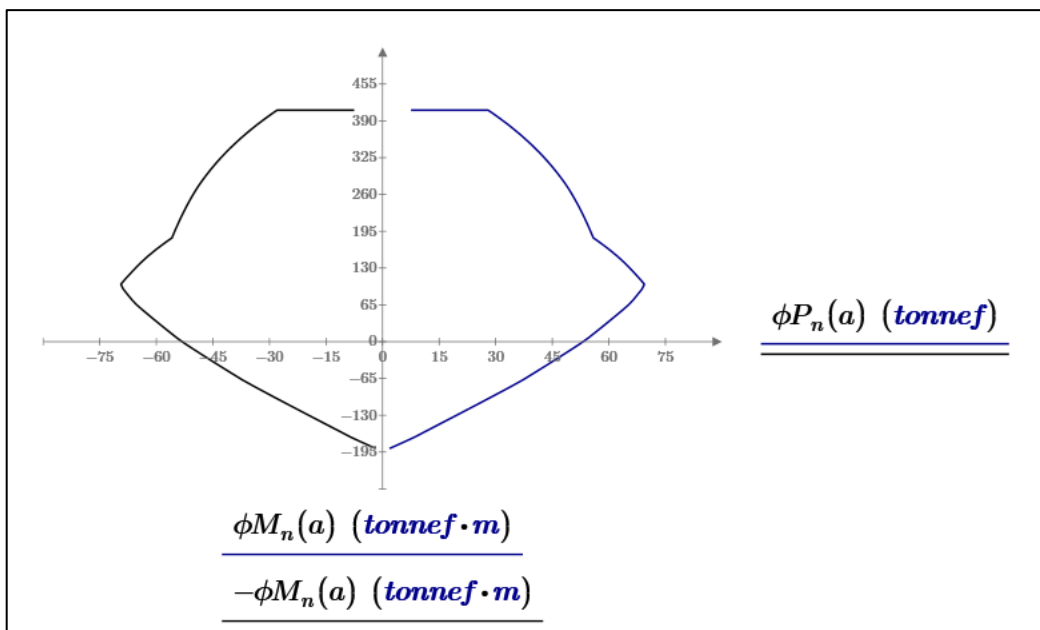


Figura 25: Diagrama de interacción.

Fuente: Mathcad Prime 7.0.0.

- **Diseño de Vigas**

Se diseñará la viga tanto a flexión, corte, y torsión en el primer tramo del Eje 4 – Tramo AD de la planta tipo de la estructura como se muestra en la figura 26.

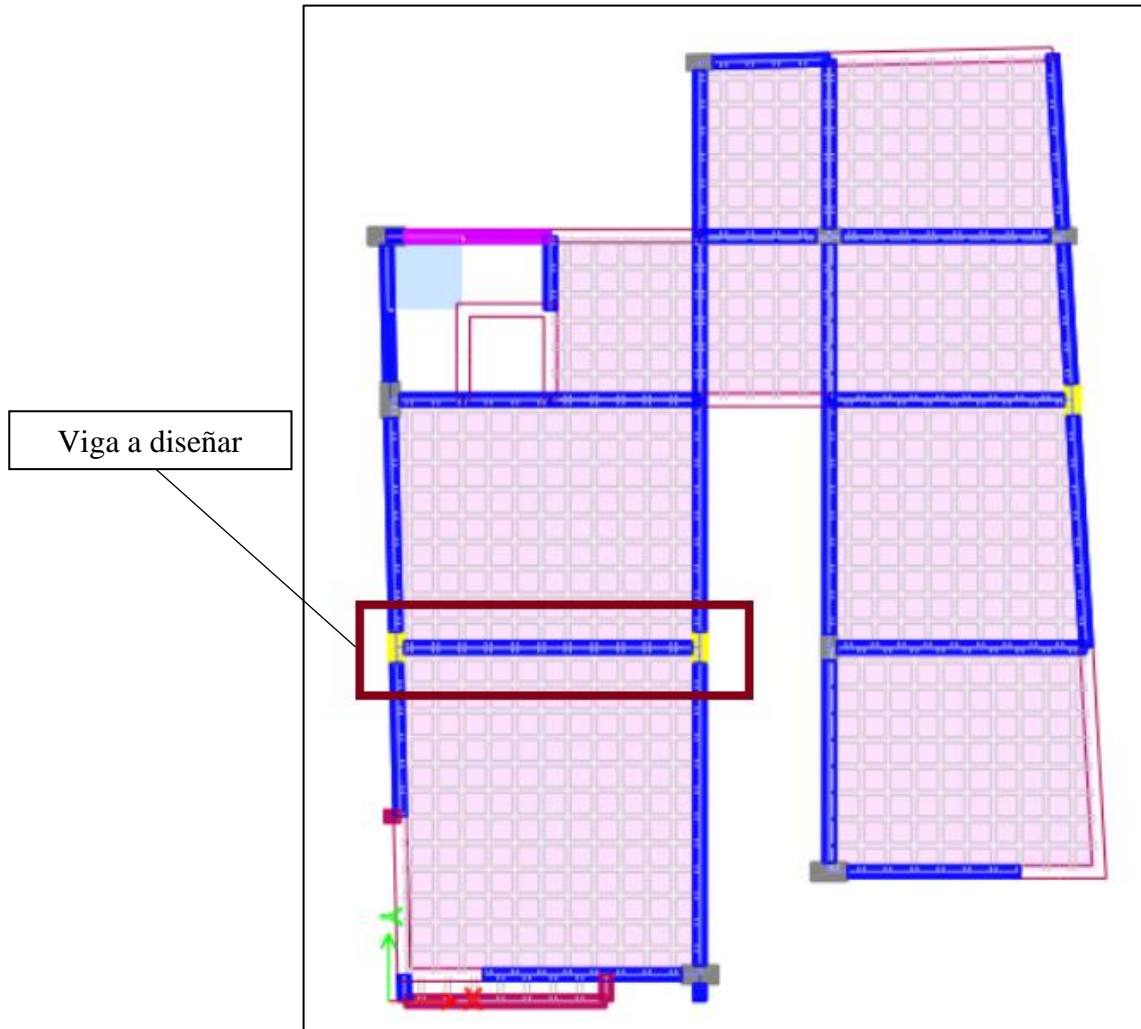


Figura 26: Vista en planta de la estructura en el tercer nivel.

*Fuente: ETABS.*

Para el diseño se presentan los diagramas de esfuerzos a momento flector, cortante y torsión de la viga tomando en cuenta la combinación envolvente en unidades de ton-m. El objetivo es hacer un cálculo manual en una planilla de MathCad Prime 7.0.0.0 para obtener un área de acero que será comparado con el área de acero obtenido por el simulador, con el fin de verificar los resultados.

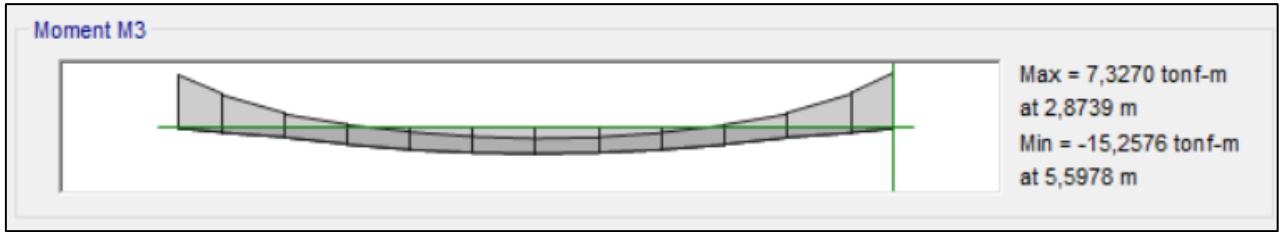


Figura 27: Diagrama de momento flector en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3.

Fuente: ETABS.

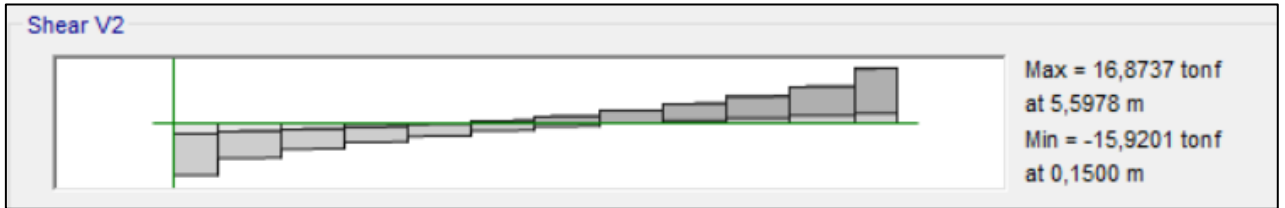


Figura 28: Diagrama de fuerzas cortantes en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3.

Fuente: ETABS.

A continuación, se muestran las áreas de acero calculadas por el simulador estructural ETABS.

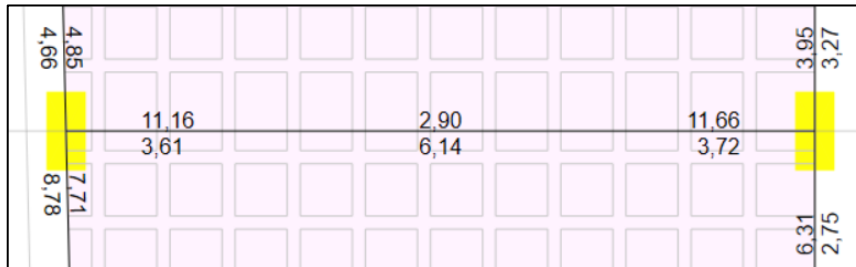


Figura 29: Área de acero en cm2 calculado por flexión generado por el simulador.

Fuente: ETABS.

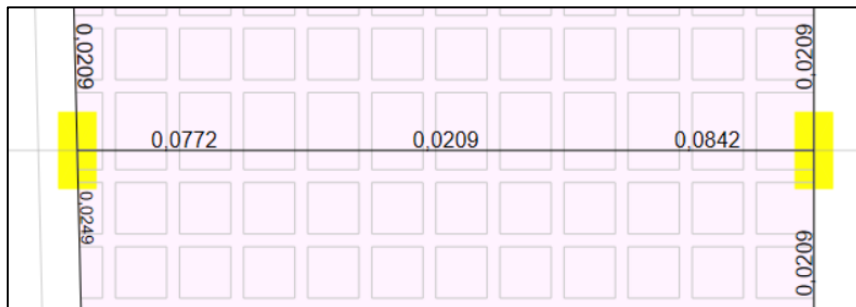


Figura 30: Área de acero/separación en cm2/cm calculado por cortante por el simulador.

Fuente: ETABS.

Las áreas de acero calculadas por el simulador se comprobaron con planillas de cálculo en Mathcad Prime 7.0.0.0 siguiendo los requerimientos que exige el ACI 318-19, el cálculo completo se puede encontrar en el punto 3.4.6.3. Observando las áreas calculadas en Mathcad prácticamente iguales a las obtenidas con el simulador, por lo que podemos tomar como valido el diseño que realizado por el simulador estructural ETABS.

- **Diseño de Placas**

Se realizó el diseño de las placas en el programa ETABS, para validar resultados se diseñará el muro del ascensor de la planta baja correspondiente al eje “A” en una planilla de Mathcad Prime 7.0.0.0 de elaboración propia, se eligió este muro por ser continuo hasta la terraza y ser el más solicitado, se verificarán los resultados comparando los resultados obtenidos en Mathcad con los del simulador.

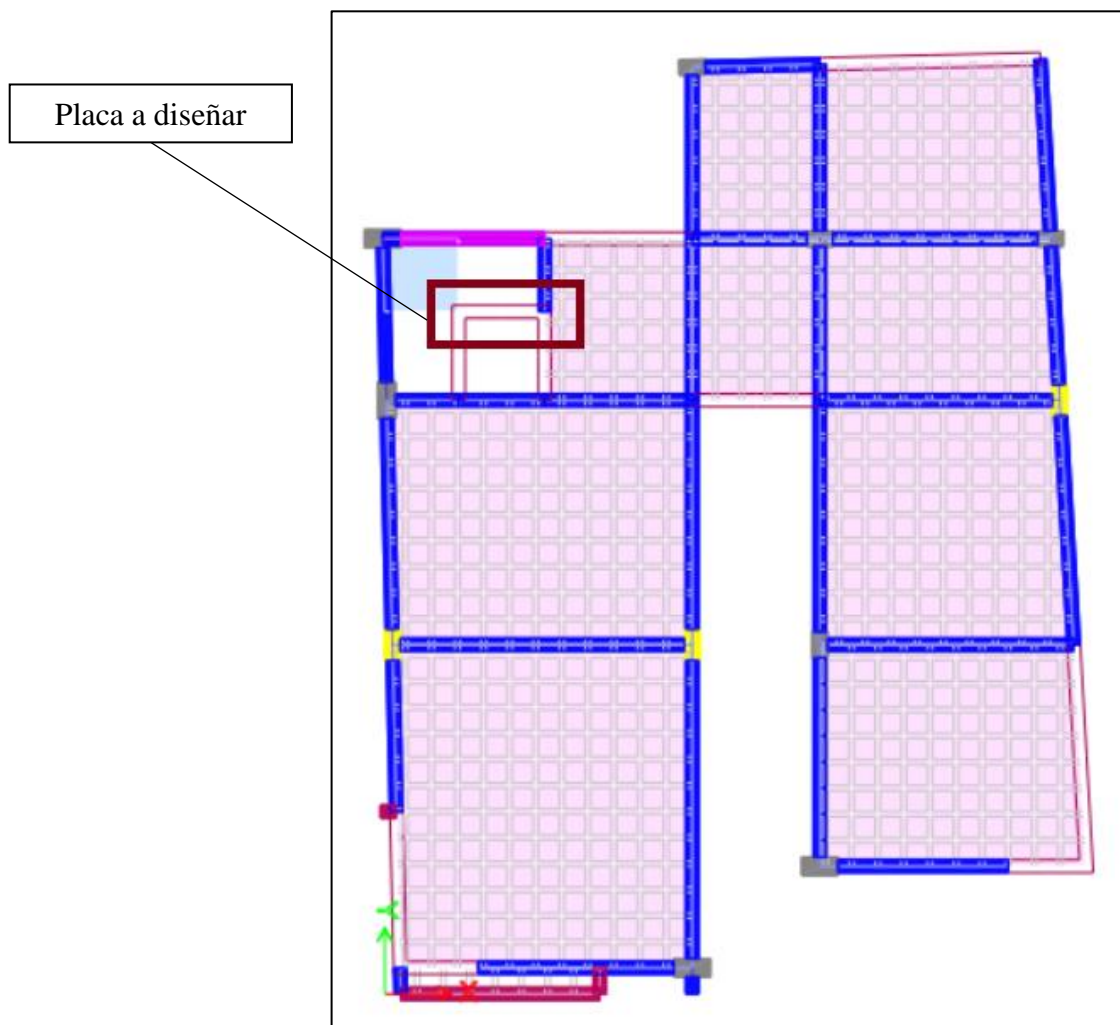


Figura 31: Placa a diseñar.

*Fuente: ETABS.*

A continuación, en la figura 32 se muestran las solicitaciones máximas del muro como ser cortante, momento, y carga axial que soporta el muro en la planta baja, las cuales se utilizarán para el diseño en Mathcad Prime 7.0.0.0. El cálculo completo según requerimientos que exige la ACI 318-19 se puede encontrar como el punto 3.4.6.3.

Flexural Design for P, M <sub>3</sub> and M <sub>2</sub>					
Station	D/C	Flexural	P <sub>u</sub> kgf	M <sub>u2</sub> kgf-cm	M <sub>u3</sub> kgf-cm
Top	0,447	UDConS11	-24550,02	-79932	2706427,8
Bottom	0,818	UDConS11	-8628,17	-66870,05	7461503,18

Shear Design								
Station Location	ID	Rebar cm <sup>2</sup> /cm	Shear Combo	P <sub>u</sub> kgf	M <sub>u</sub> kgf-cm	V <sub>u</sub> kgf	ΦV <sub>c</sub> kgf	ΦV <sub>n</sub> kgf
Top	Leg 1	0,0625	UDConS7	755,05	2789509,02	29234,81	41179,84	73664,21
Bottom	Leg 1	0,0625	UDConS7	17697,33	7561627,64	31683,88	41179,84	73664,21

Boundary Element Check (ACI 18.10.6.3, 18.10.6.4)									
Station Location	ID	Edge Length (cm)	Governing Combo	P <sub>u</sub> kgf	M <sub>u</sub> kgf-cm	Stress Comp kgf/cm <sup>2</sup>	Stress Limit kgf/cm <sup>2</sup>	C Depth cm	C Limit cm
Top-Left	Leg 1	28,207	UDConS7	143829,14	-2253969,79	54,74	56	44,707	36,667
Top-Right	Leg 1	28,207	UDConS7	143829,14	2789509,02	59,46	56	44,707	36,667
Bottom-Left	Leg 1	26,625	UDConS8	134230,04	-2945862,78	58,51	56	43,125	36,667
Bottom-Right	Leg 1	26,625	UDConS8	134230,04	3576988,45	64,07	56	43,125	36,667

Figura 32: Solicitaciones de la placa.

Fuente: ETABS.

Distancia desde el extremo a compresión (distancia de confinamiento):

$$c - 0.1 \cdot h = 35.331 \text{ cm} \quad \frac{c}{2} = 25.915 \text{ cm} \quad \text{ACI (18.10.6.2.a)}$$

**RESUMEN DE RESULTADOS**

Acero longitudinal total:  $A_{st} := \sum_{i=1}^n A_{sf_{1,i}} = 35.628 \text{ cm}^2 \quad \phi_{bl} = 0.625 \text{ in} \quad c/20\text{cm} \quad 5/8"$

Acero a cortante:  $\max(A_{vETABS}, A_{vmin}) = 0.063 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \quad \phi_t = 0.375 \text{ in} \quad c/20\text{cm} \quad 3/8"$

Elemento de borde:  $c = 0.35 \text{ m}$  Confinar una distancia "c" de cada extremo del muro con estribos y grapas

Figura 33: Cálculo completo de la placa con Mathcad Prime 7.0.0.0

Fuente: Elaboración propia.



- **Diseño Losa Nervada de entrepiso**

Se realizará el diseño de las losas nervadas de entrepiso en el programa de análisis estructural SAFE v20, para el nivel 3 que corresponde al piso 2 de la estructura, el cual es el piso tipo, se exportará el mismo desde el análisis ya realizado en el programa ETABS. Se compararán los resultados obtenidos por el simulador estructural con los resultados obtenidos en base a una planilla de cálculo de elaboración propia en Mathcad Prime 7.0.0.0.

A continuación, se muestra la planta tipo de la estructura en la que se dibujaron los strips con anchos iguales al espaciamiento de la nervadura reticular en sus dos direcciones.

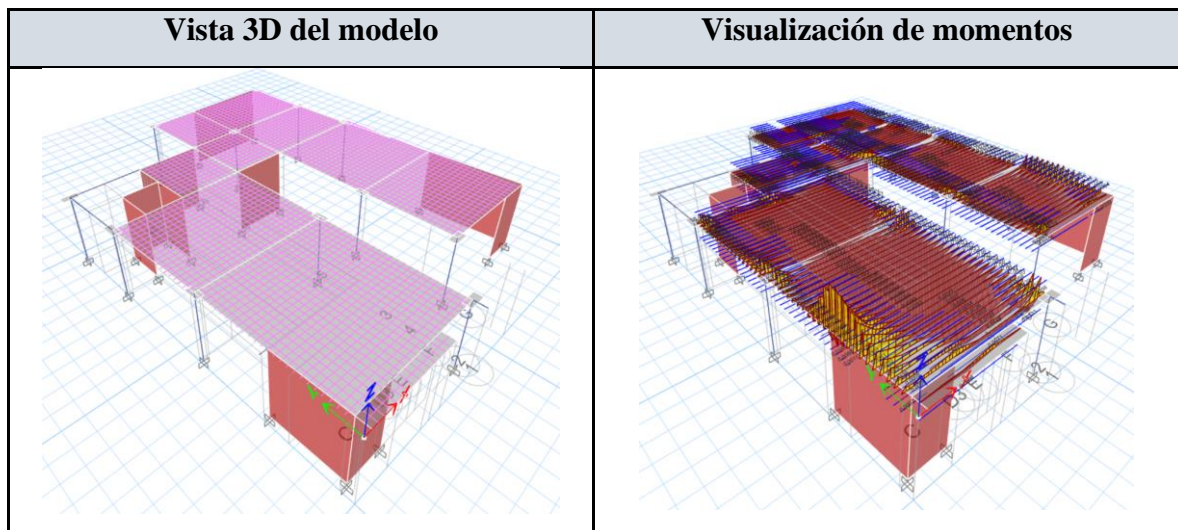


Figura 34: Planta tipo y dibujo Strips en dirección X e Y

Fuente: SAFE.

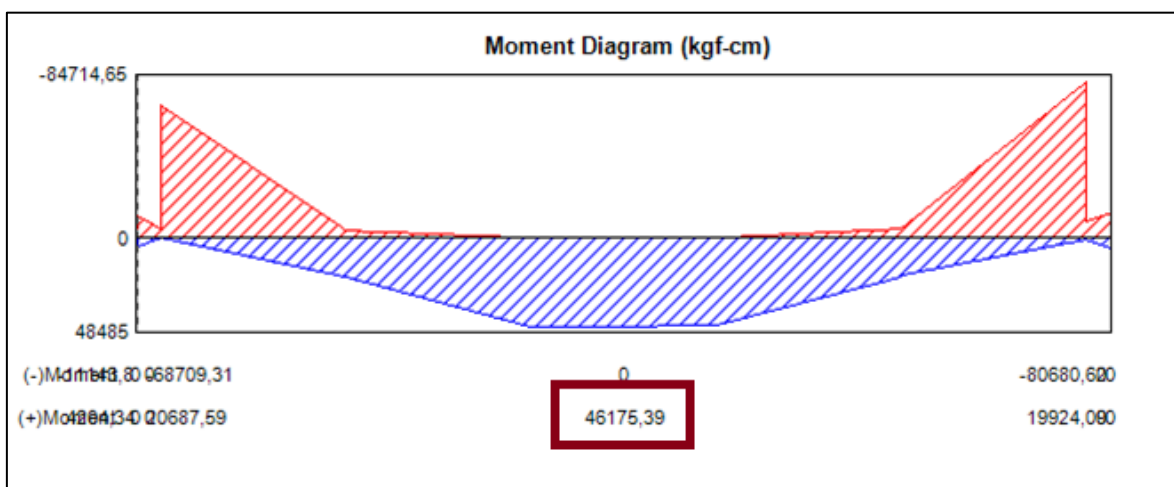


Figura 35: Diagrama de momentos en las franjas de diseño (Envolvente).

Fuente: SAFE.

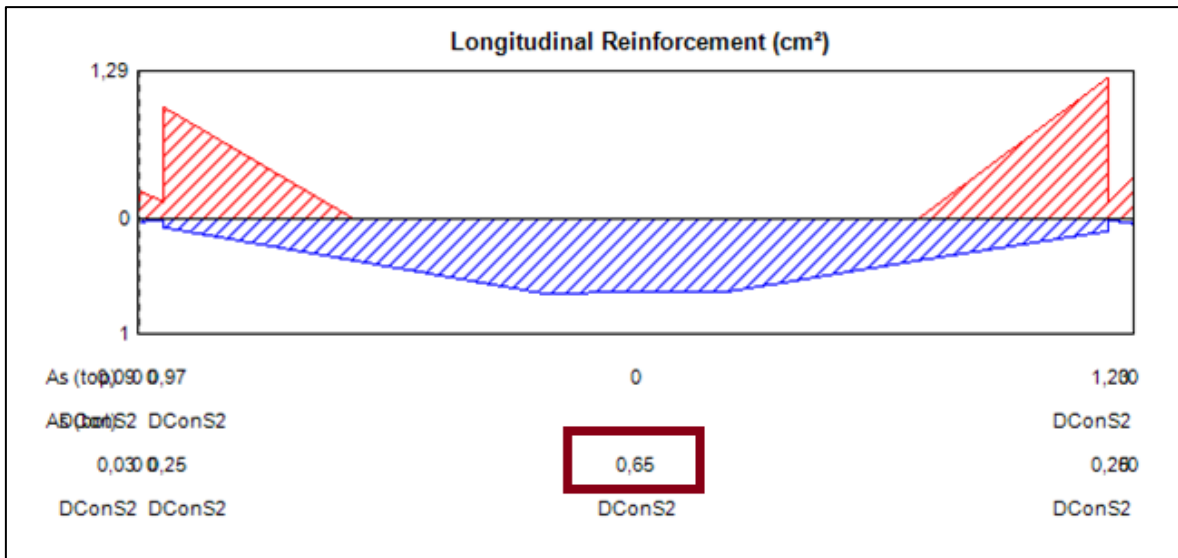


Figura 36: Área de refuerzo longitudinal en base al momento positivo que se diseñará manualmente.

Fuente: SAFE.

Como se observa el área de acero calculado con la planilla de Mathcad es prácticamente igual al calculado con el simulador, por lo que podemos tomar como válido el diseño que fue realizado por el simulador estructural SAFE.

El cálculo completo y procedimientos según requerimientos que exige la ACI 318-19 se puede encontrar en el punto 3.4.6.3.

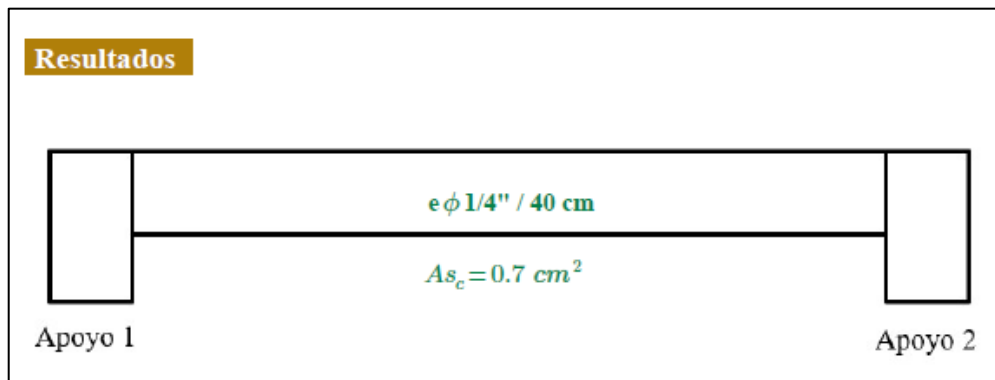


Figura 37: Cálculo manual de nervio con Mathcad Prime 7.0.0.0.

Fuente: Elaboración propia.

### ▪ Diseño Losa de Fundación

Se realizará el diseño de la losa de fundación en el programa de análisis estructural ETABS en el cual se asigna el coeficiente de balasto que simula el comportamiento del terreno como lecho elástico.

Se harán todas las verificaciones tanto para la losa uniforme como para las vigas de fundación y se obtendrá el acero requerido con una planilla de cálculo de elaboración propia en Mathcad Prime 7.0.0.0. Teniendo la verificación de la losa de fundación en el punto 3.4.6.3. A continuación, se muestra la fundación en planta de la estructura.

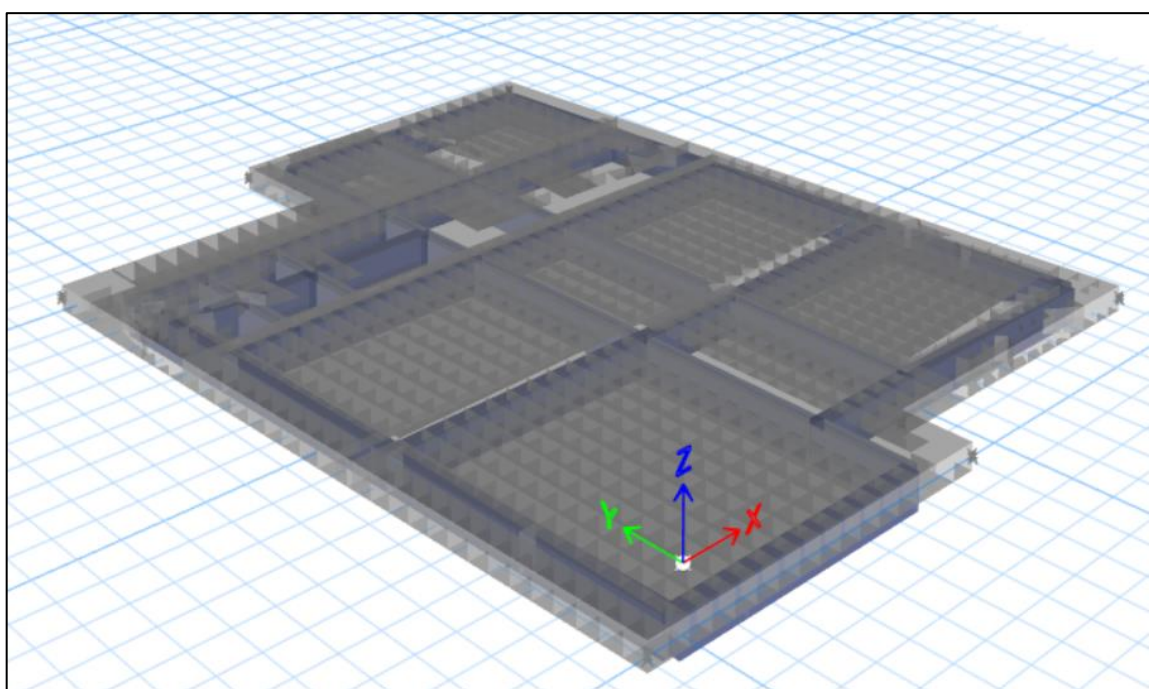


Figura 38: Vista en planta de la estructura nivel de fundación.

*Fuente: ETABS.*



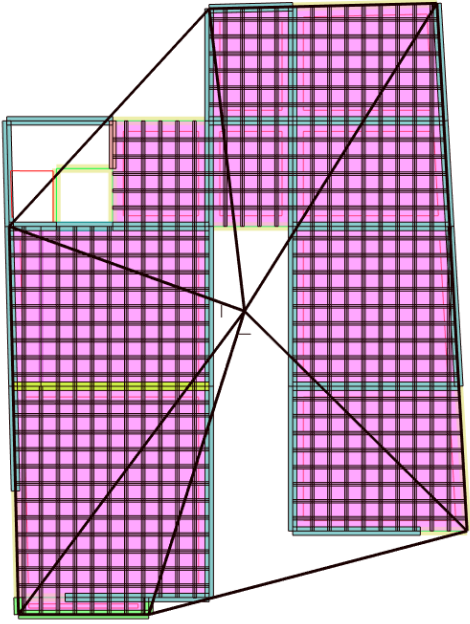
Edificio utilizando el programa Robot Structural Analysis Professional	Descripción
	<p>El sistema de resistencia lateral fue resuelto con muros de corte, columnas y vigas tanto peraltadas como chatas. Se tiene una luz máxima de 6.20m. Las losas son nervadas de concreto armado en dos direcciones.</p> <p>Se usó vigas chatas y losa nervada en una dirección en los voladizos.</p>

Figura 40: Configuración estructural del edificio utilizando Robot Structural Analysis Professional.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional

Estructura	Piso	Altura de piso a piso (m)	Elevación (m)
	Azotea	0,9	23,08
	N8	3,04	22,18
	N7	3,04	19,14
	N6	3,04	16,1
	N5	3,04	13,06
	N4	3,04	10,02
	N3	3,04	6,98
	N2	3,04	3,94
	PB	2	0,9
Base	-	-1,1	

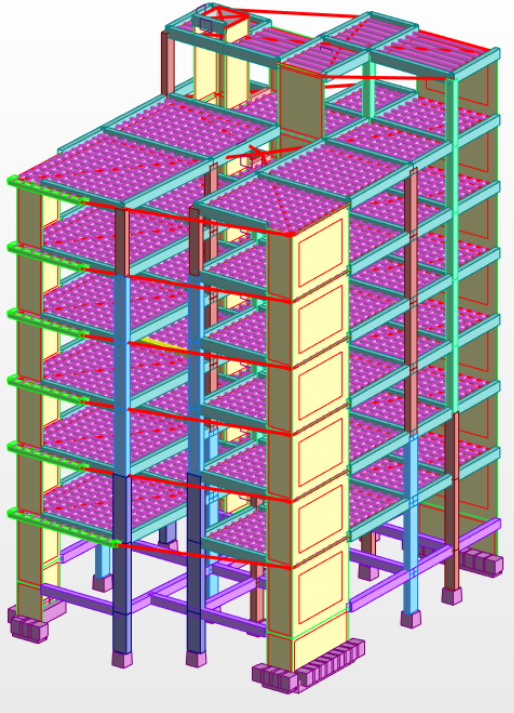


Figura 41: Altura y vista tridimensional de la estructura del utilizando Robot Structural Analysis Professional.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

### 3.3.5.1. Asignación de datos de sismo dinámico al simulador

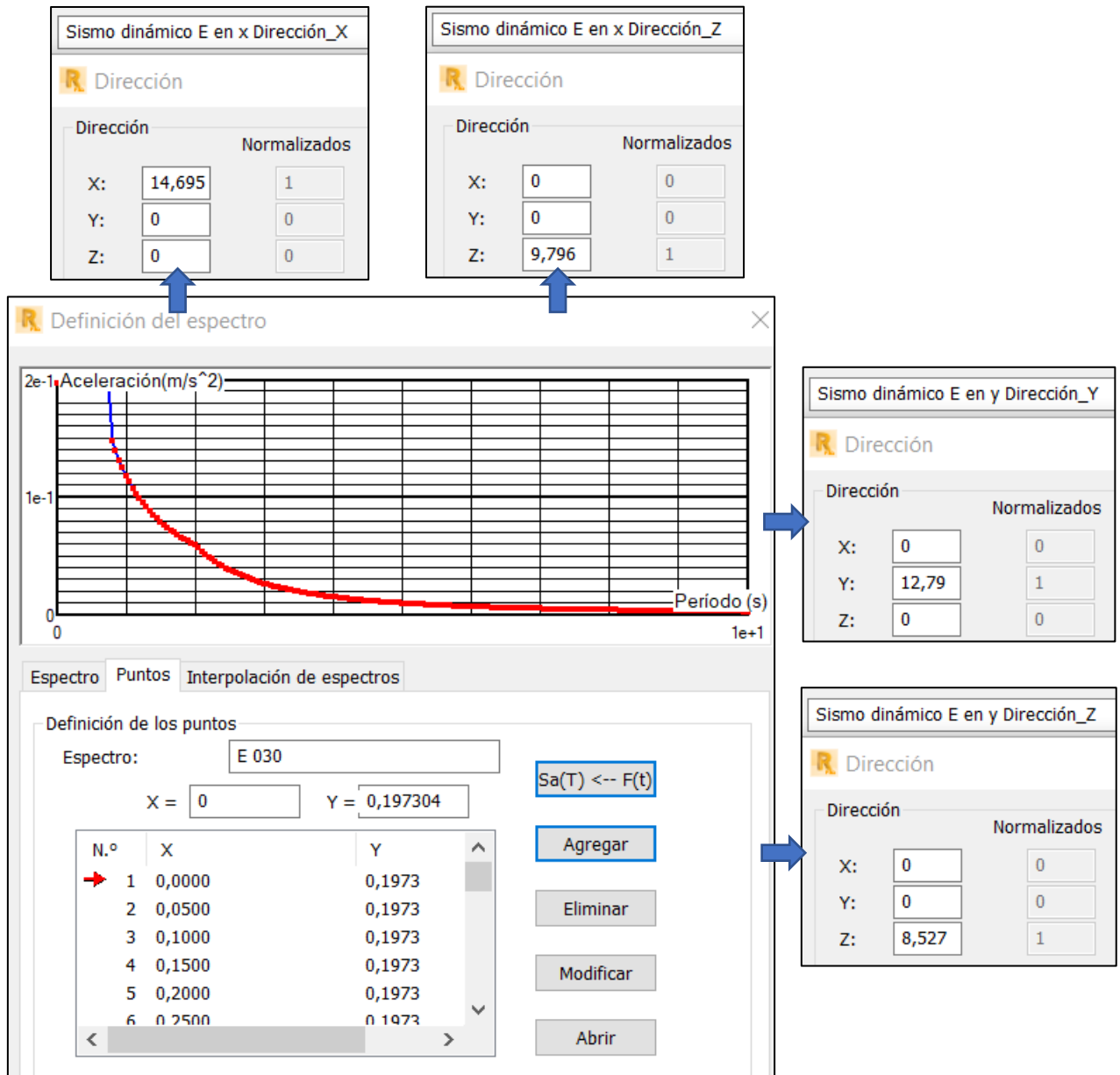


Figura 42: Asignación de valores del espectro sísmico.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

### 3.3.5.2. Asignación de datos de sismo estático al simulador

Para el cálculo del sismo estático introducimos el valor del coeficiente sísmico “C” en el programa Robot Structural Analysis Professional en cargas ficticias para sismo estático en x e y. El valor calculado del coeficiente sísmico fue calculado con una planilla de Mathcad prime 7.0.0.0 en base a parámetros de la ASCE7-16, tal como se muestra en el **ANEXO 2**.

$$C=0.178$$

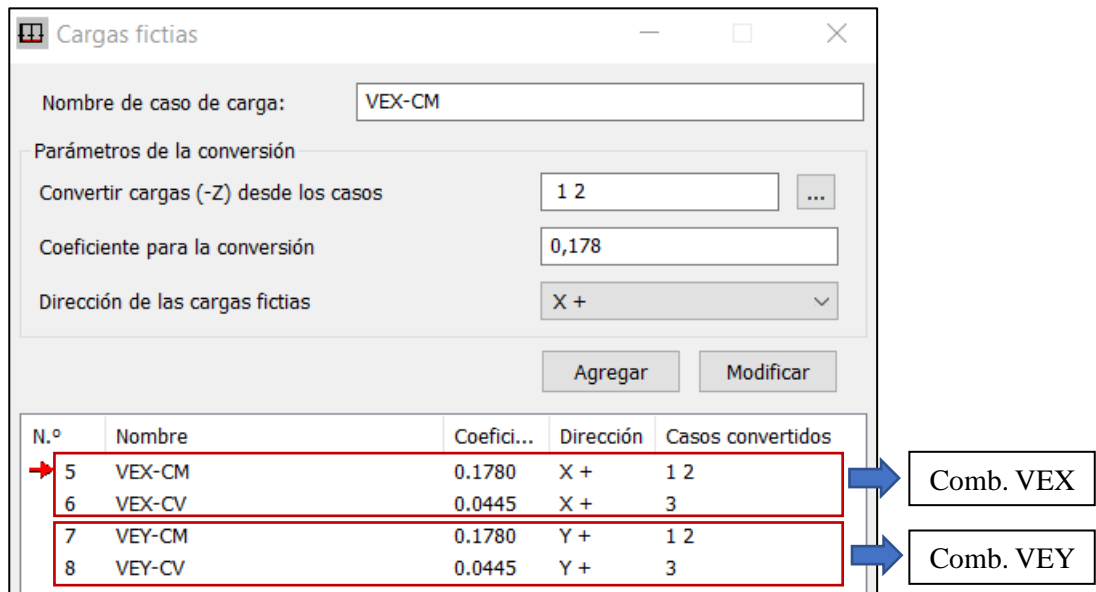


Figura 43: Asignación del coeficiente sísmico al simulador.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

### 3.3.5.3. Definición del peso sísmico

Para definir el peso sísmico de la estructura se realizará según especifica la Norma E.030, tomará 25% de la carga viva y el 100% de la carga permanente. Este valor es necesario para obtener el cortante en la base (V) tanto estático como dinámico.

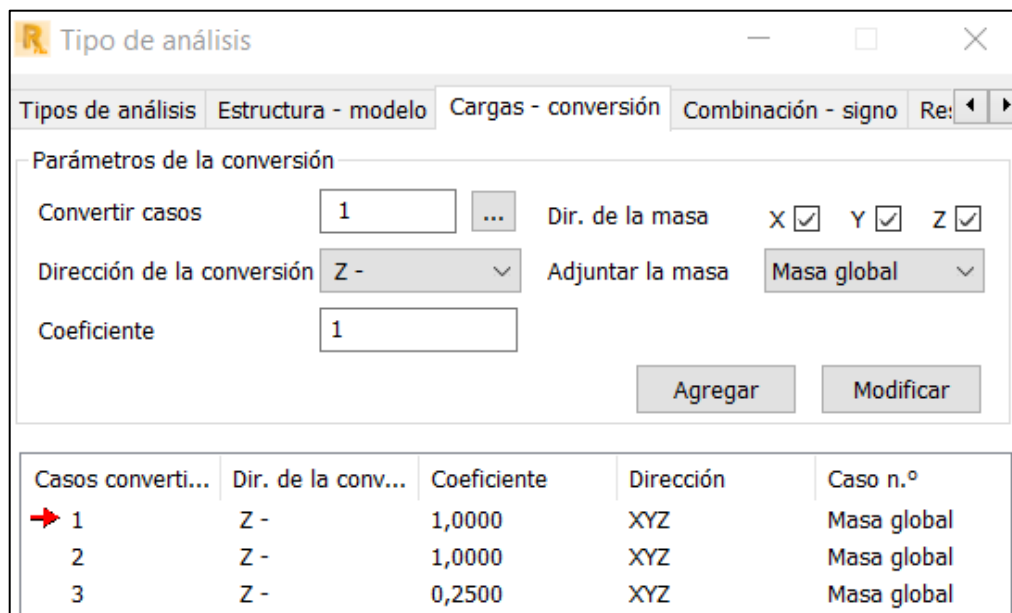


Figura 44: Peso de la estructura.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

### 3.3.5.4. Revisión de modos y periodos naturales de vibración

La Norma E.030 dice que se debe obtener un número suficiente de modos naturales de vibración para lograr un adecuado análisis sísmico de tal manera que la suma de las masas asociadas a cada uno de ellos llegue a más del 90 % de la masa total de la estructura en cada dirección de análisis horizontal.

*Tabla 14: Modos de vibración de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional.*

Case	Mode	Períod (seg)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,599	0,4727	0,1583	0,4727	0,1583
Modal	2	0,509	0,0992	0,5332	0,5719	0,6915
Modal	3	0,334	0,1463	0,0172	0,7181	0,7087
Modal	4	0,138	0,1279	0,0335	0,8460	0,7422
Modal	5	0,118	0,0264	0,1484	0,8724	0,8906
Modal	6	0,080	0,0209	0,0001	0,8932	0,8907
Modal	7	0,066	0,0002	0,0274	0,8934	0,9181
Modal	8	0,060	0,0437	0,0038	0,9371	0,9219
Modal	9	0,050	0,0005	0,0086	0,9376	0,9305
Modal	10	0,047	0,0065	0,0183	0,9441	0,9487
Modal	11	0,045	0,0047	0,0014	0,9489	0,9501
Modal	12	0,041	0,0000	0,0002	0,9489	0,9504

*Fuente: Elaboración Propia.*

Como podemos observar tanto en X como en Y se llega a más del 90% de participación de masas efectivas en el modo 8 y se tiene un periodo natural de vibración de 0.599 segundos en el modo 1.



### 3.3.5.5. Análisis del cortante basal dinámico y estático

Podemos verificar el valor del cortante basal estático multiplicando el valor del coeficiente sísmico que ya fue calculado y el peso sísmico de la estructura como se mencionó en el punto 3.3.4.

Cortante estático	Cortante dinámico
FY (tf)	FY (tf)
254,25	173,78

Figura 45: Comparación de cortantes basales sin escalas.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

### 3.3.5.6. Verificación de derivas de entrepiso

La Norma E.030 establece los límites de distorsión de entrepiso para Concreto Armado de 0,007 como se muestra en el punto 2.2.7. A continuación, se muestra la Tabla 16 donde se muestra la máxima distorsión de entrepiso tanto en el eje X como en el eje Y.

*Tabla 15: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional.*

Story	Elevation (m)	Location	X - Dir	Y - Dir	Max Drift	Verificación
<b>Azotea</b>	23,08	Top	0,002	0,003	0,007	Cumple
<b>N8</b>	22,18	Top	0,003	0,004	0,007	Cumple
<b>N7</b>	19,14	Top	0,005	0,004	0,007	Cumple
<b>N6</b>	16,1	Top	0,005	0,004	0,007	Cumple
<b>N5</b>	13,06	Top	0,005	0,004	0,007	Cumple
<b>N4</b>	10,02	Top	0,005	0,004	0,007	Cumple
<b>N3</b>	6,98	Top	0,004	0,003	0,007	Cumple
<b>N2</b>	3,94	Top	0,003	0,002	0,007	Cumple
<b>PB</b>	0,9	Top	0,001	0,001	0,007	Cumple

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 16: Máxima distorsión de entrepiso en los sentidos X e Y.*

Máx distorsión en x	Máx distorsión en y
0,0050	0,0040

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.5.7. Diseño de elementos estructurales

Para el diseño de los elementos estructurales, se realizará el procedimiento de diseño de un elemento específico de la estructura con planillas de elaboración propia en Mathcad Prime 7.0.0.0, comparando los resultados de la misma con los resultados que arroja el programa Robot Structural Analysis Professional al momento de diseñar o verificar elementos estructurales.

#### ▪ Diseño de Columnas

El programa Robot Structural Analysis Professional verifica si la columna resiste las solicitaciones con el diagrama de interacción, por esa razón se programó una hoja de cálculo en el programa PTC Mathcad Prime 7.0.0.0, la cual calculará el diagrama paso a paso, en este diagrama se introducirán las solicitaciones máximas mostrando que están dentro del diagrama, además se compararán los diagramas calculados con la planilla con los que nos ofrece el simulador.

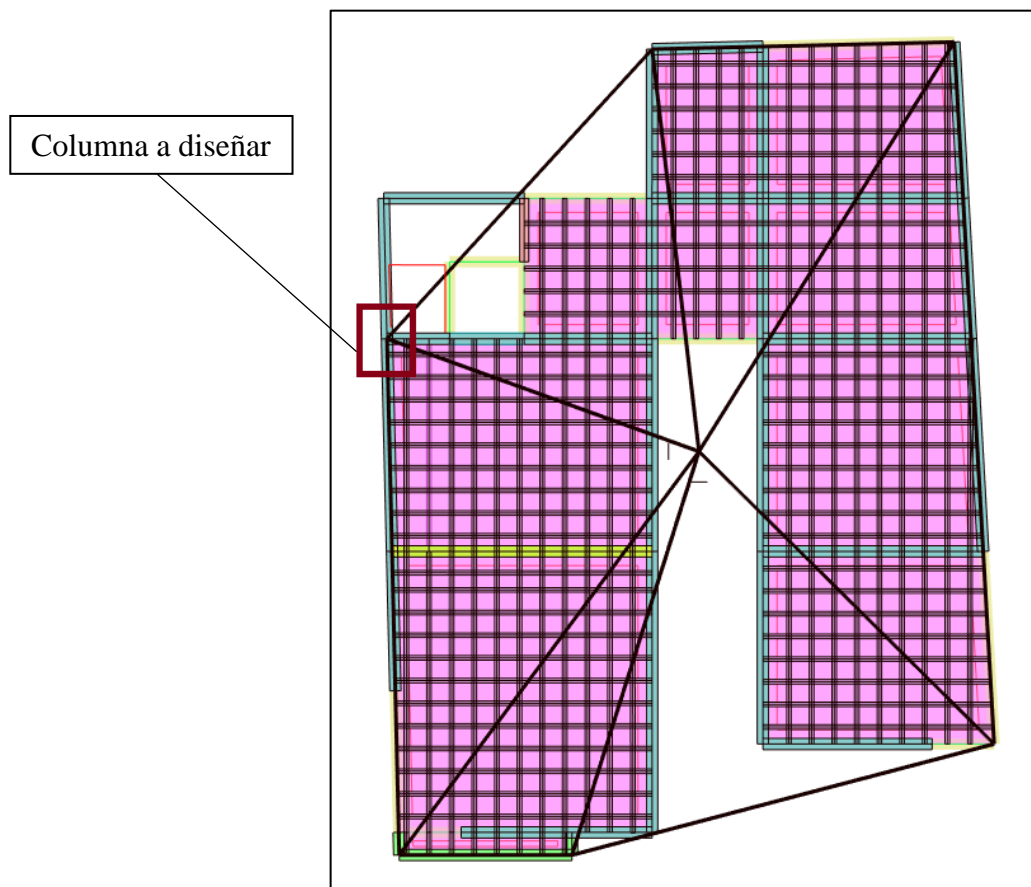


Figura 46: Columna a diseñar.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

Se diseñará la columna del eje 5-A al ser una columna lateral que continua hasta el último nivel y por tener las sollicitaciones más grandes. A continuación, se muestra el diagrama de interacción que calcula el Robot Structural Analysis Professional comparado con el diagrama calculado en Mathcad, el cálculo completo de puede encontrar en el punto 3.4.6.3.

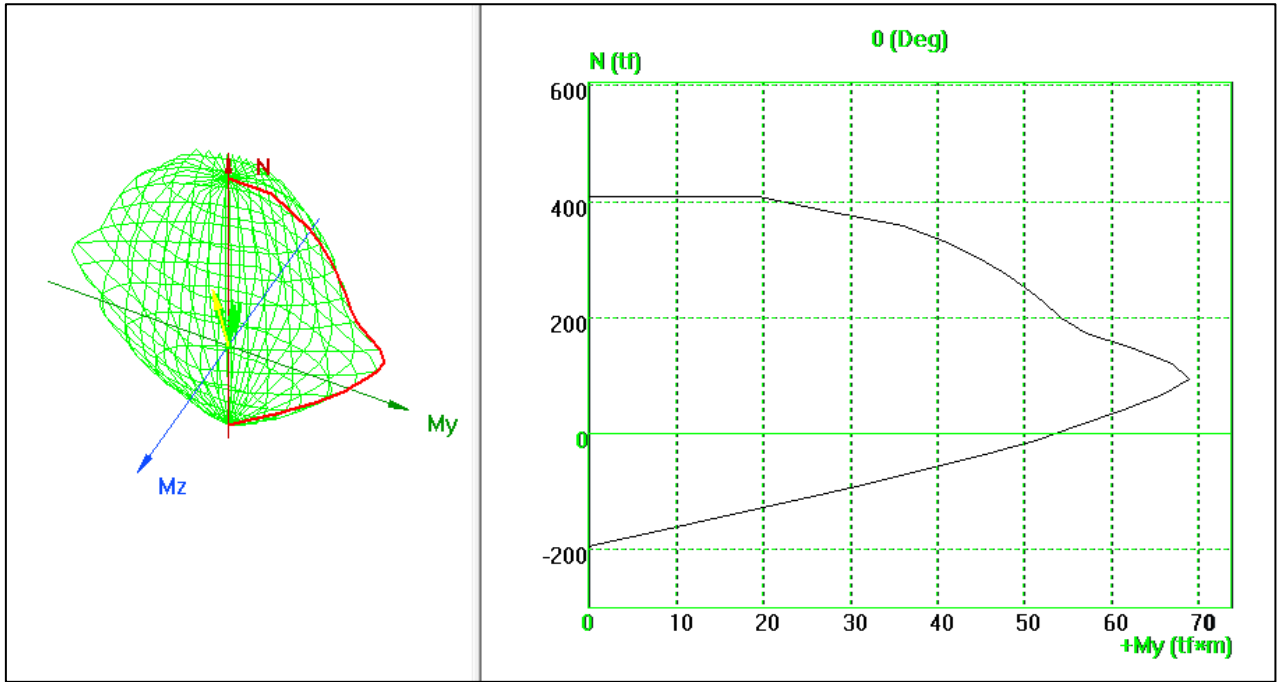


Figura 47: Diagrama de interacción.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

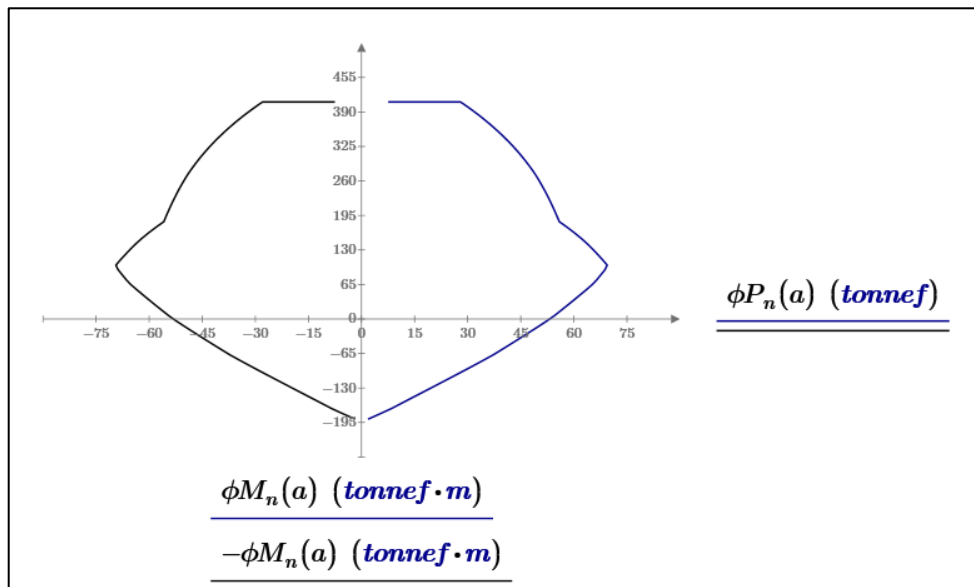


Figura 48: Diagrama de interacción.

Fuente: Mathcad Prime 7.0.0.

Así mismo, procedemos a colocar la armadura impuesta en la base de la columna C1 en diseño para observar en una vista 3D. Pudiendo evidenciar en la vista el acero longitudinal y los estribos con sus respectivos ganchos.

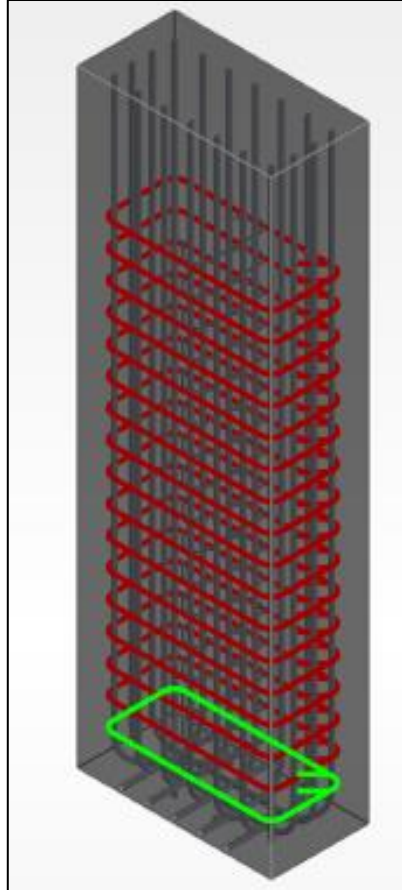


Figura 49: Armadura de la columna en Robot Structural Analysis Professional.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

### ▪ Diseño de Vigas

Se diseñará la viga tanto a flexión, corte, y torsión en el primer tramo del Eje 4 – Tramo AD de la planta tipo de la estructura como se muestra en la figura 3.1.

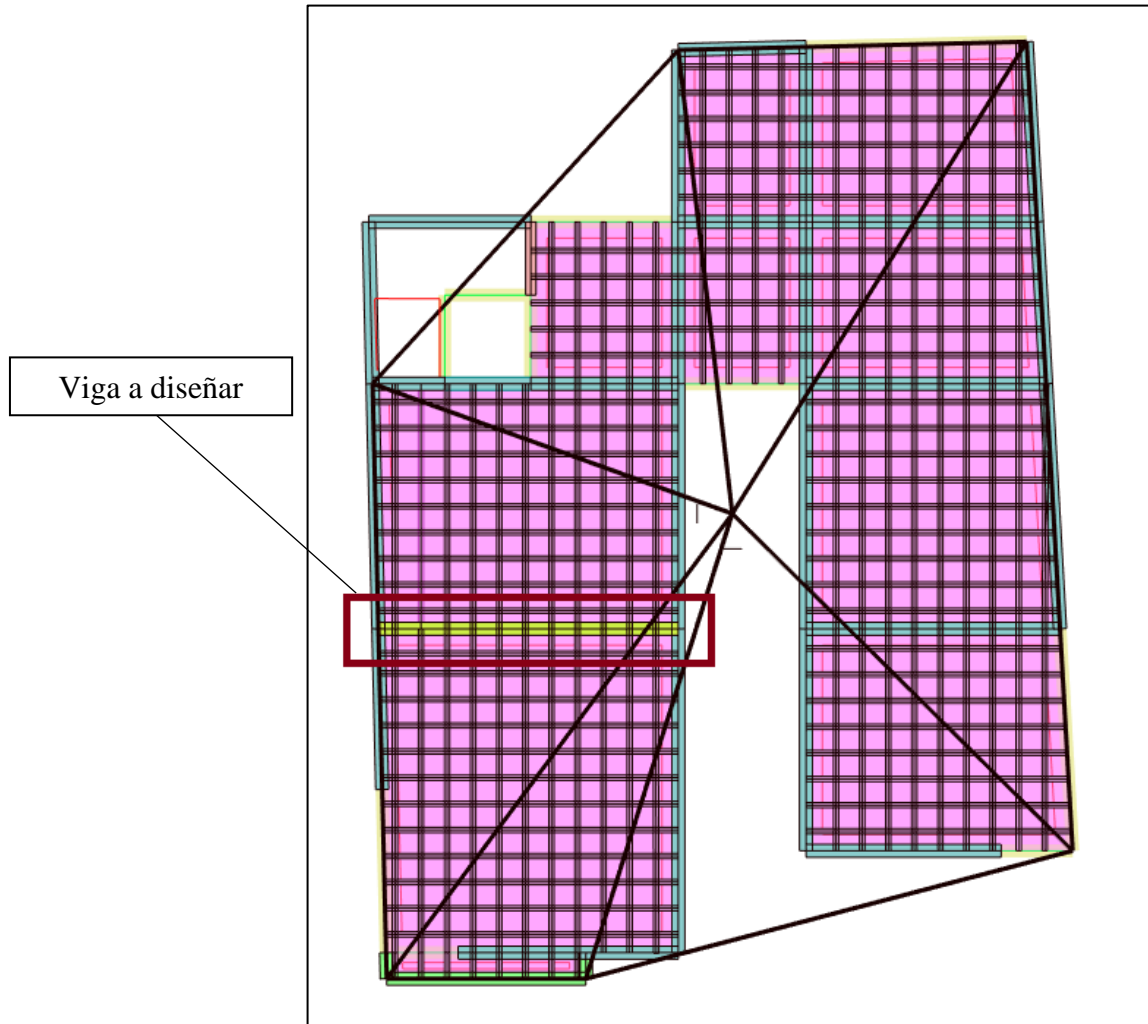


Figura 50: Vista en planta de la estructura en el tercer nivel.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

Para el diseño se presentan los diagramas de esfuerzos a momento flector, cortante y torsión de la viga tomando en cuenta la combinación envolvente en unidades de ton-m. El objetivo es hacer un cálculo manual en una planilla de MathCad Prime 7.0.0.0 para obtener un área de acero que será comparado con el área de acero obtenido por el simulador, con el fin de verificar los resultados.

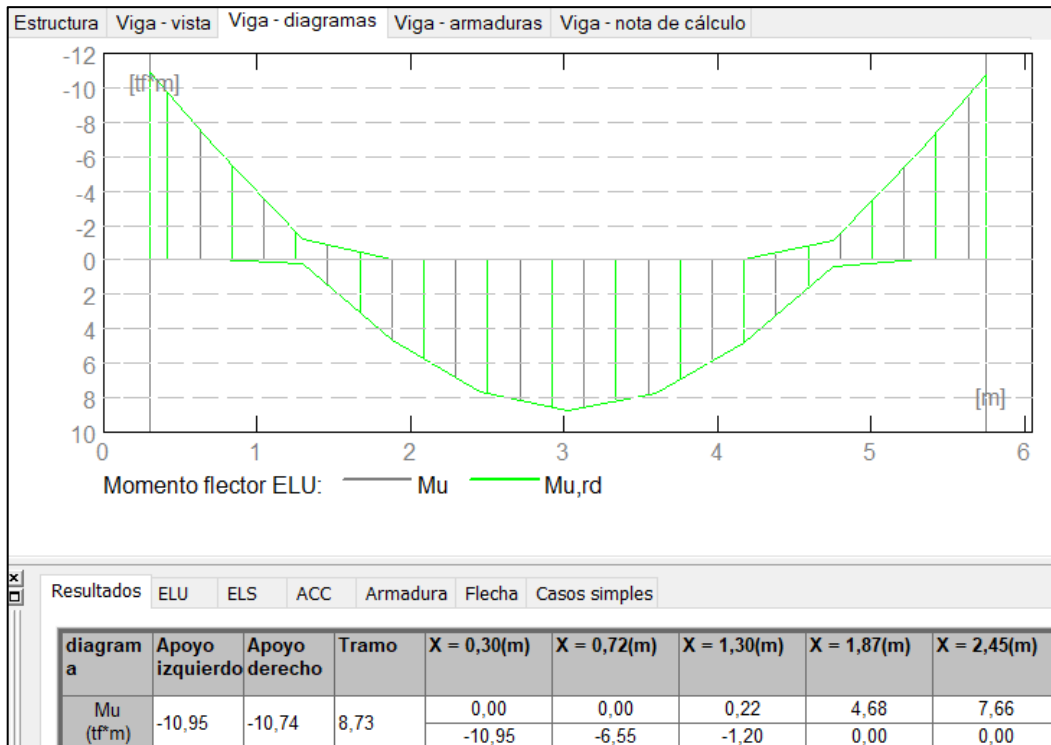


Figura 51: Diagrama de momento flector en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3 (Envolvente).

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

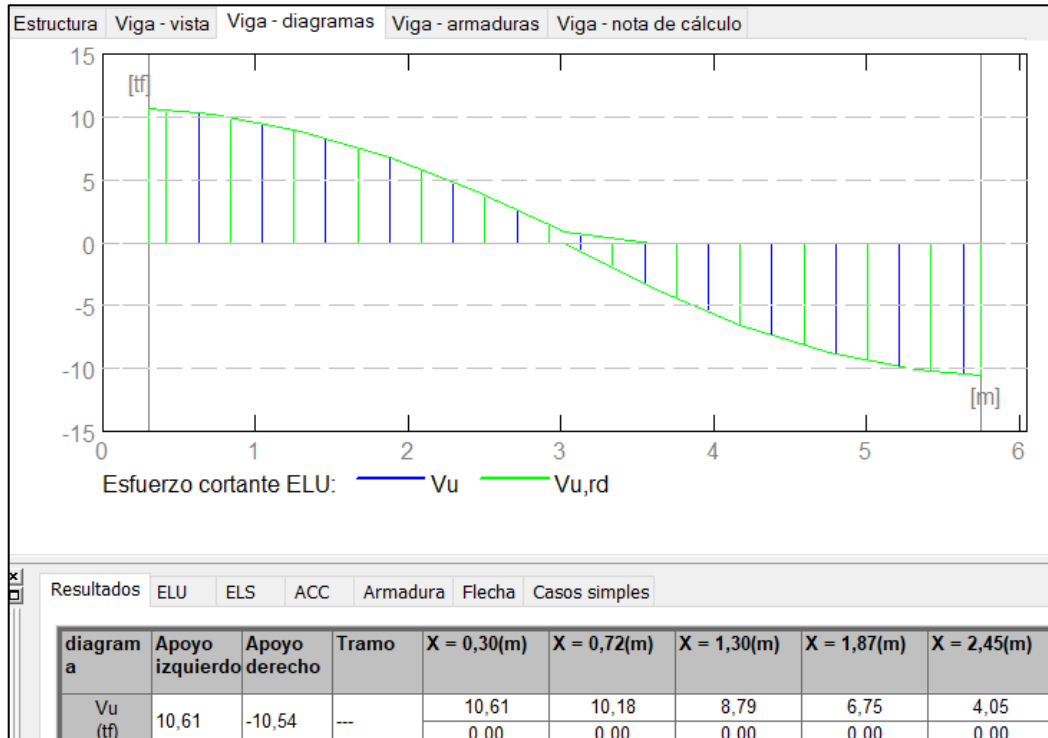


Figura 52: Diagrama de fuerzas cortantes en la viga del Eje 4 – Tramo AD en N3 (Envolvente).

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

A continuación, se muestran las áreas de acero calculadas por el simulador estructural Robot Structural Analysis Professional.

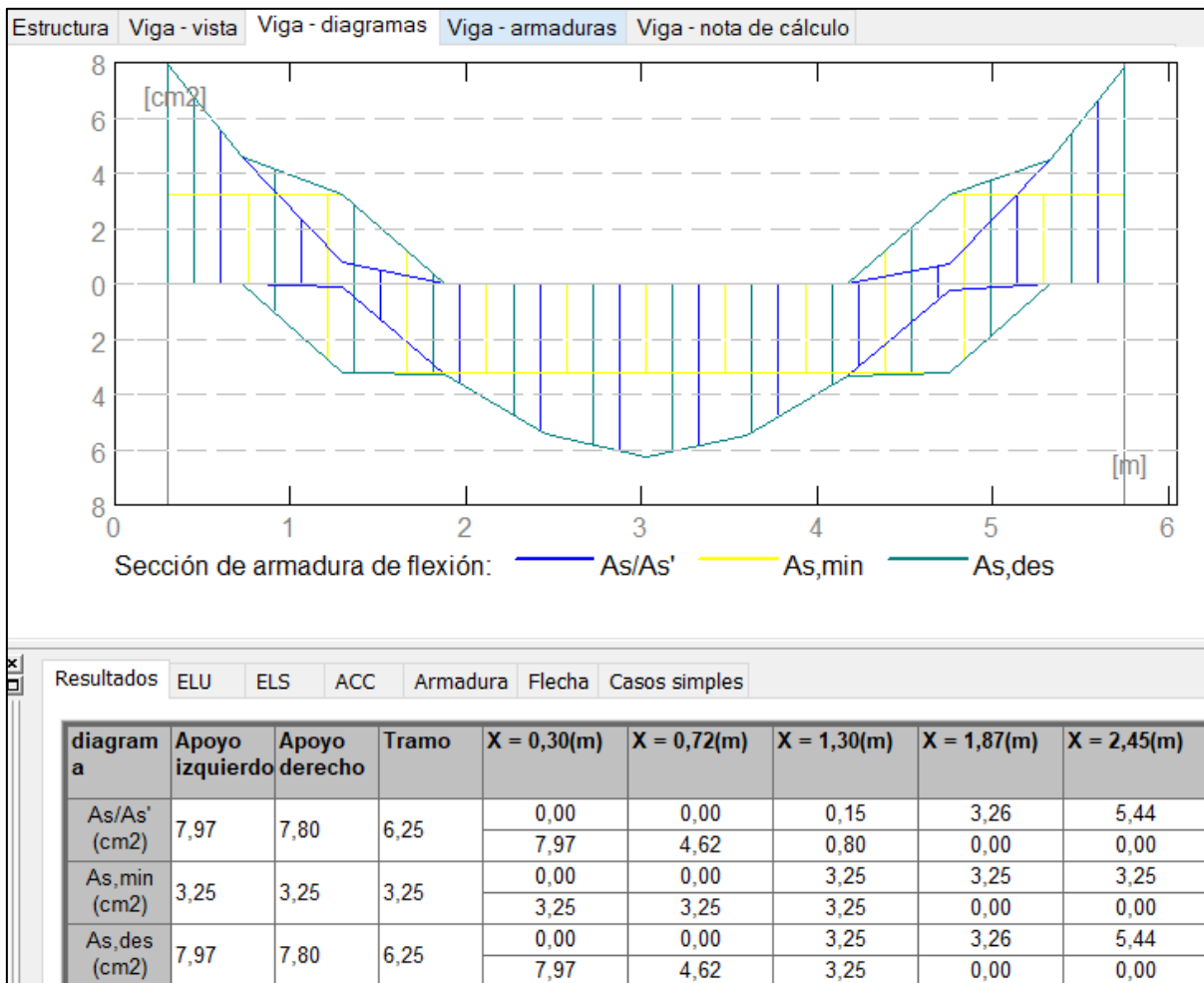


Figura 53: Área de acero en cm<sup>2</sup> calculado por flexión generado por el simulador aplicando el armado teórico (Envolvente).

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

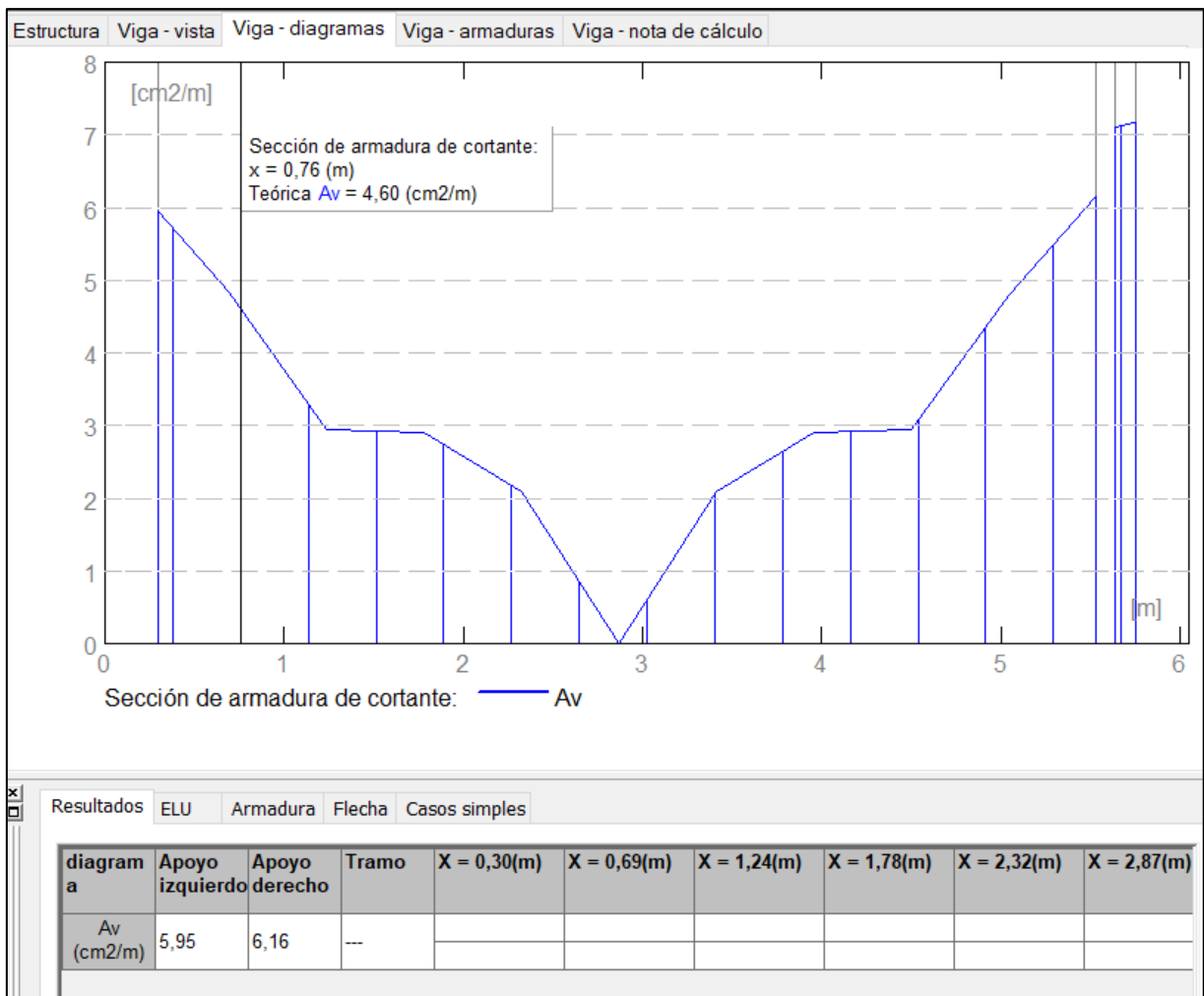


Figura 54: Área de acero/separación en cm<sup>2</sup>/cm calculado por cortante por el simulador.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

Las áreas de acero calculadas por el simulador se comprobaron con planillas de cálculo en Mathcad Prime 7.0.0.0 siguiendo los requerimientos que exige el ACI 318-19, el cálculo completo se puede encontrar en el punto 3.4.6.3.

Observando las áreas calculadas en Mathcad muy parecidas a las obtenidas con el simulador, por lo que podemos tomar como válido el diseño que realizado por el simulador estructural Robot Structural Analysis Professional.



Así mismo, procedemos a colocar la armadura impuesta en la viga en diseño para observar en una vista 3D. Pudiendo evidenciar en la vista el acero longitudinal y los estribos con sus respectivos ganchos.

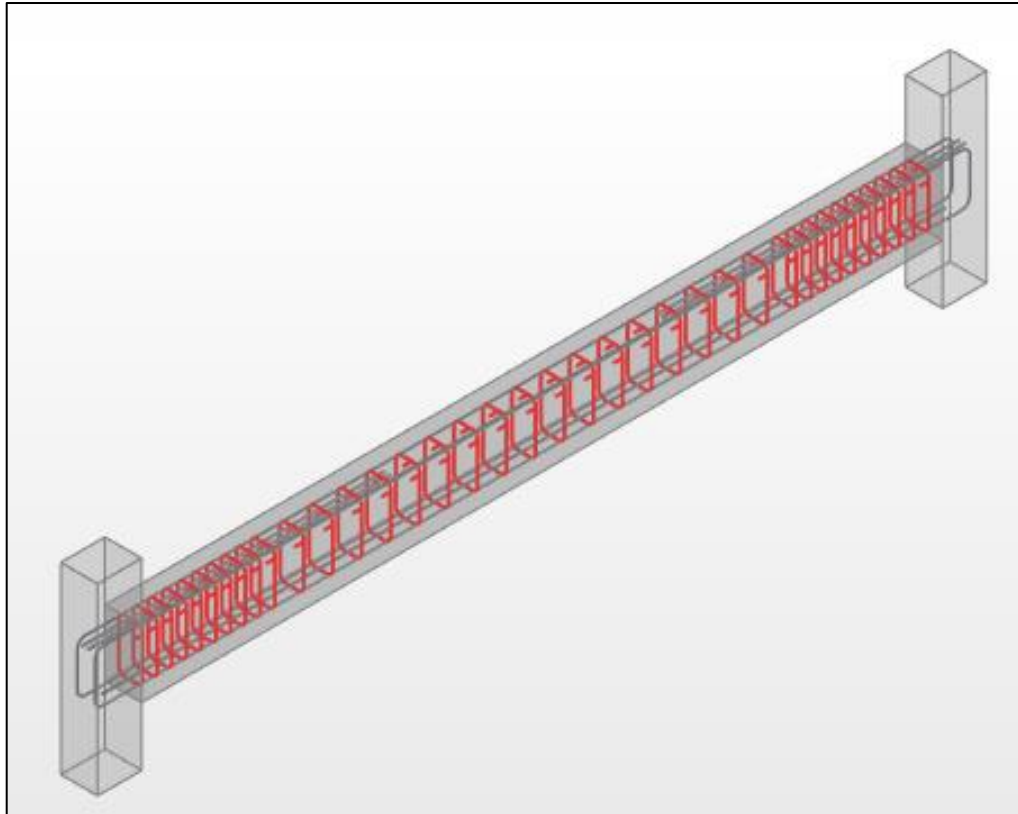


Figura 55: Armadura de la viga en Robot Structural Analysis Professional.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

## ▪ Diseño de Placas

Se realizó el diseño de las placas en el programa Robot Structural Analysis Professional, para validar resultados se diseñará el muro del ascensor de la planta baja correspondiente al eje “A” en una planilla de Mathcad Prime 7.0.0.0 de elaboración propia, se eligió este muro por ser continuo hasta la terraza y ser el más solicitado, se verificarán los resultados comparando los resultados obtenidos en Mathcad con los del simulador.

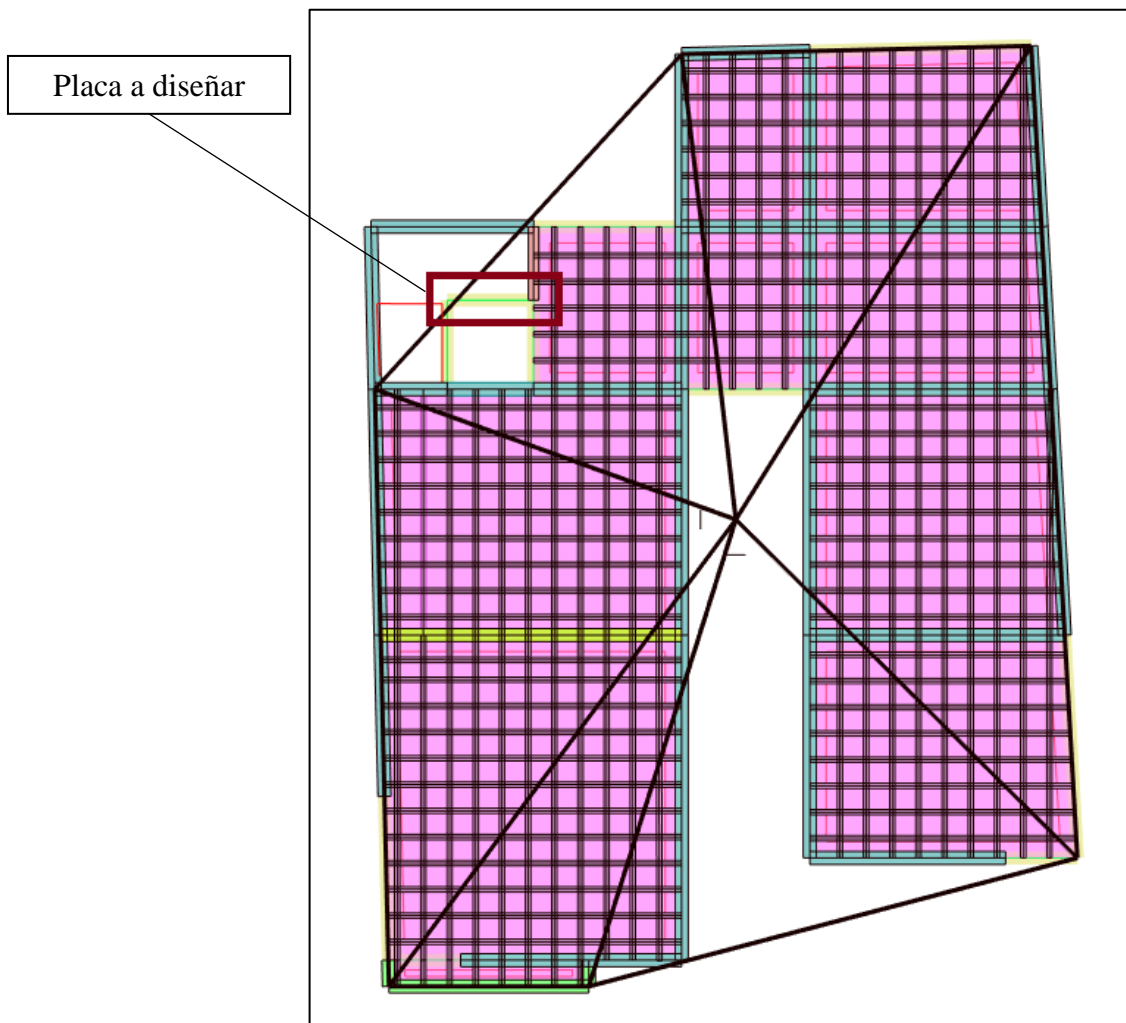


Figura 56: Placa a diseñar.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

A continuación, en la figura 56 se muestran las solicitaciones del muro como ser cortante, momento, y carga axial que soporta el muro en la planta baja, las cuales se utilizarán para el diseño en Mathcad Prime 7.0.0.0. El cálculo completo según requerimientos que exige la ACI 318-19 se puede encontrar en el punto 3.1.6.3.3.

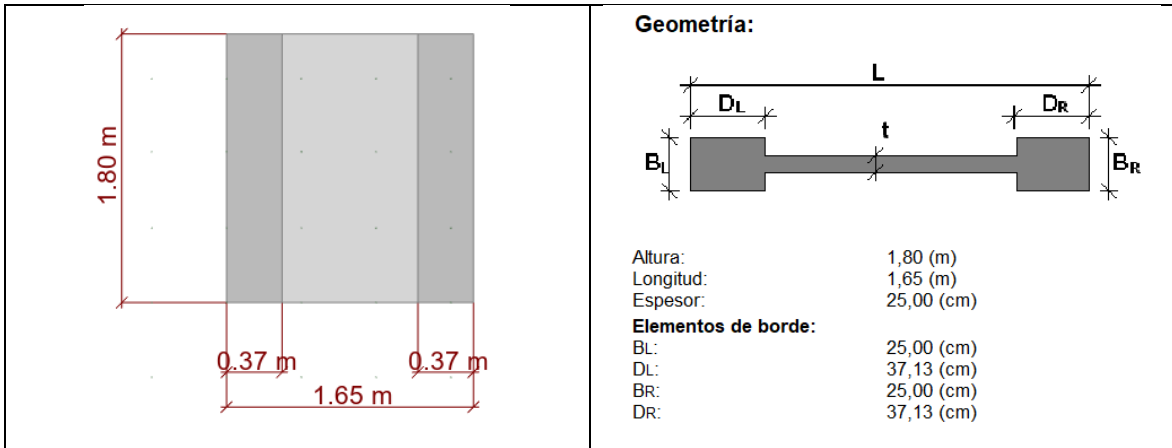


Figura 57: Consideraciones del elemento de borde según Robot Structural Analysis Professional.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

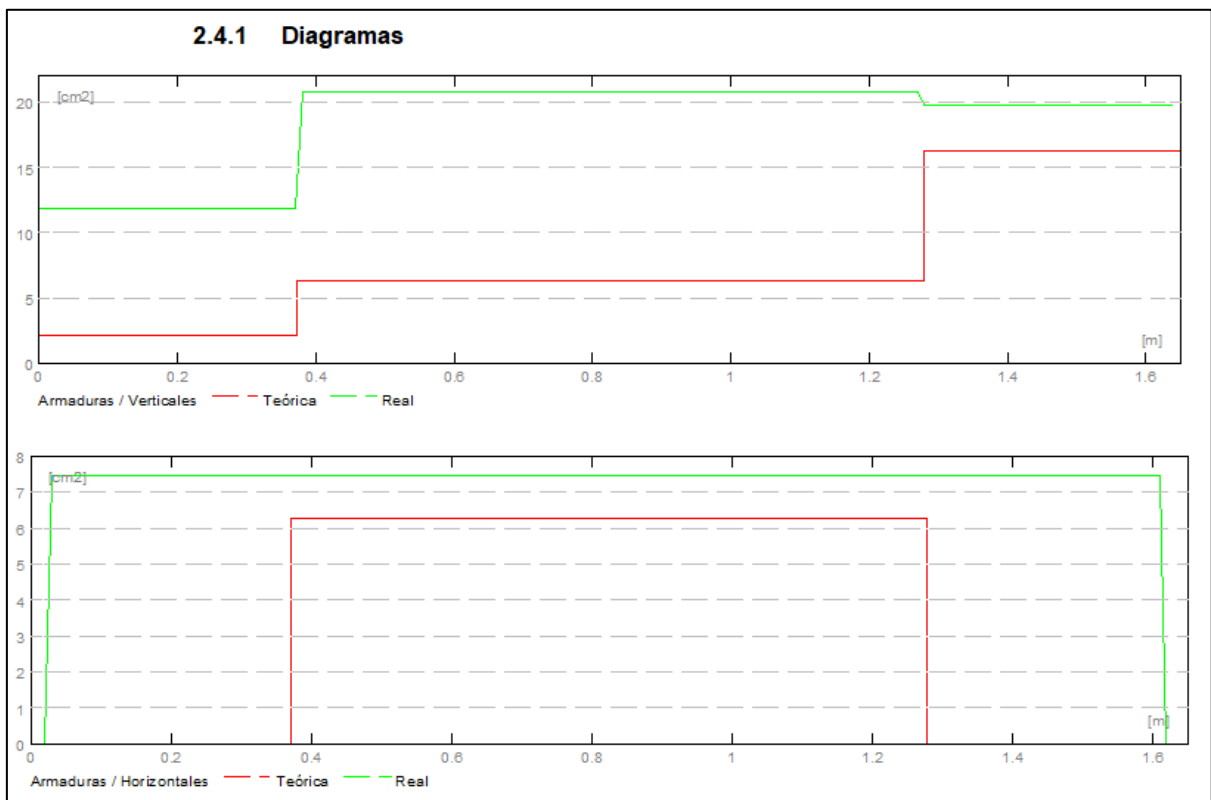


Figura 58: Diagrama de armadura teórica y real.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

### 2.4.2.2 Cizallamiento

Combinación dimensionante:: ELU.5

$$V_u = 22,23 \text{ (tf)}$$

$$M_u = -57,68 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

$$N_u = -38,71 \text{ (tf)}$$

$$A_{cv} = 0,41 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$V_{c1} = 40,61 \text{ (tf)} \quad (11.5.4.6)(d)$$

$$M_u/V_u - l_w/2 < 0 \quad (11.5.4.6)(e)$$

$$V_c = V_{c1}$$

$$V_c = 40,61 \text{ (tf)}$$

$$\phi = 0,7500$$

$$0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$15,23 \text{ (tf)} < 22,23 \text{ (tf)} < 30,46 \text{ (tf)}$$

=> La armadura de cortante no es necesaria (11.5.4.8)

$$\rho_t = \rho_{t \text{ min}} = 0,0025 \quad (11.6.2)$$

$$\rho_l = \rho_{l \text{ min}} = 0,0025 \quad (11.6.2)$$

### 2.4.2.3 Compresión/flexión

Borde izquierdo:

Combinación dimensionante:: ELU.6

$$M_u = -10,07 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

$$N_u = -32,23 \text{ (tf)}$$

$$A_{sL} = 2,17 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Borde derecho:

Combinación dimensionante:: ELU.5

$$M_u = -57,68 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

$$N_u = -38,71 \text{ (tf)}$$

$$A_{sR} = 16,21 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Figura 59: Solicitaciones de la placa.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

Así mismo, procedemos a colocar la armadura impuesta en la placa en diseño para observar en una vista 3D. Pudiendo evidenciar en la vista el acero vertical, horizontal y los elementos de borde con sus respectivos ganchos.

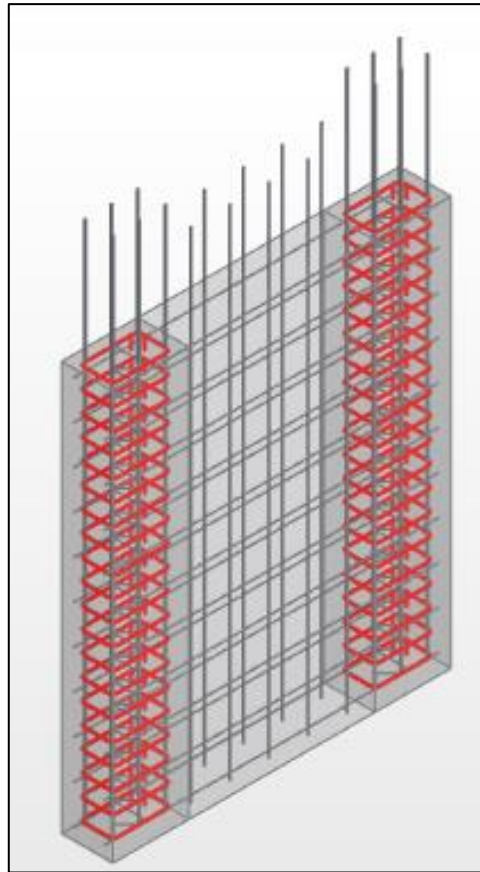


Figura 60: Armadura de la viga en Robot Structural Analysis Professional.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

**Distancia desde el extremo a compresión (distancia de confinamiento):**

$c - 0.1 \cdot h = 35.331 \text{ cm}$       $\frac{c}{2} = 25.915 \text{ cm}$      ACI (18.10.6.2.a)

$c := \max\left(c - 0.1 \cdot h, \frac{c}{2}\right) = 35.331 \text{ cm}$

Se debe confinar el elemento con estribos cerrados o grapas para mejorar el comportamiento del elemento

Elemento de borde

**RESUMEN DE RESULTADOS**

Acero longitudinal total:  $A_{st} := \sum_{i=1}^n A_{sf_{1,i}} = 35.628 \text{ cm}^2$       $\phi_{bl} = 0.625 \text{ in}$       $c/20\text{cm}$   
 $\frac{5}{8}''$

Acero a cortante:  $\max(A_{vETABS}, A_{vmin}) = 0.063 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$       $\phi_t = 0.375 \text{ in}$       $c/20\text{cm}$   
 $\frac{3}{8}''$

Elemento de borde:      $c = 0.35 \text{ m}$      Confinar una distancia "c" de cada extremo del muro con estribos y grapas

Figura 61: Cálculo completo de la placa con Mathcad Prime 7.0.0.0

Fuente: Elaboración propia.

▪ **Diseño Losa Nervada de entrepiso**

Se realizará el diseño de las losas nervadas de entrepiso en el programa de análisis estructural Robot Structural Analysis Professional, para el nivel 3 que corresponde al piso 2 de la estructura, el cual es el piso tipo. Se compararán los resultados obtenidos por el simulador estructural con los resultados obtenidos en base a una planilla de cálculo de elaboración propia en Mathcad Prime 7.0.0.0. A continuación, se muestra la planta tipo de la estructura en la que se pueden observar la nervadura reticular en sus dos direcciones.

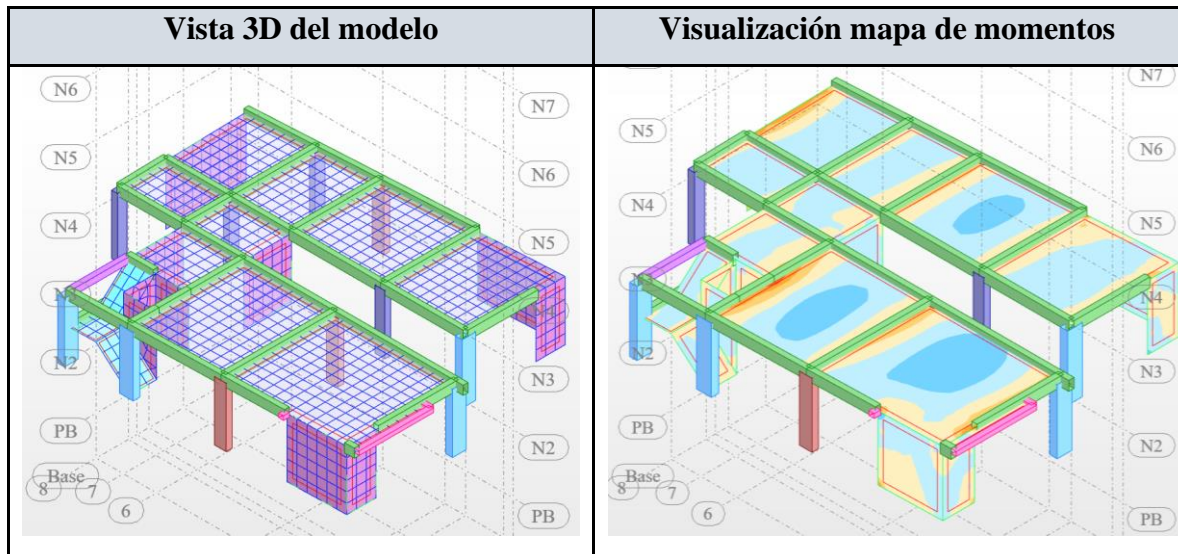


Figura 62: Planta tipo y mapa de momentos.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
8.91	8.91	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	8.91	8.91
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
8.91	8.91	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	8.91	8.91
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00
8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91	8.91
#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00	#3x12.00

Figura 63: Área de refuerzo longitudinal en la dirección x- en cm<sup>2</sup>/m.

Fuente: Robot Structural Analysis Professional.

En Robot Structural Analysis Professional podemos obtener el área de acero real que necesita la losa. El área de acero calculado con la planilla de Mathcad es similar a la del simulador, por lo que podemos tomar como válido el diseño que fue realizado por el simulador estructural Robot Structural Analysis Professional. El cálculo completo y procedimientos según requerimientos que exige la ACI 318-19 se puede encontrar en el punto 3.4.6.3.

Así mismo, procedemos a colocar la armadura impuesta en la losa nervada para observar en una vista 3D. Pudiendo evidenciar en la vista los empalmes de las barras y algunos refuerzos adicionales.

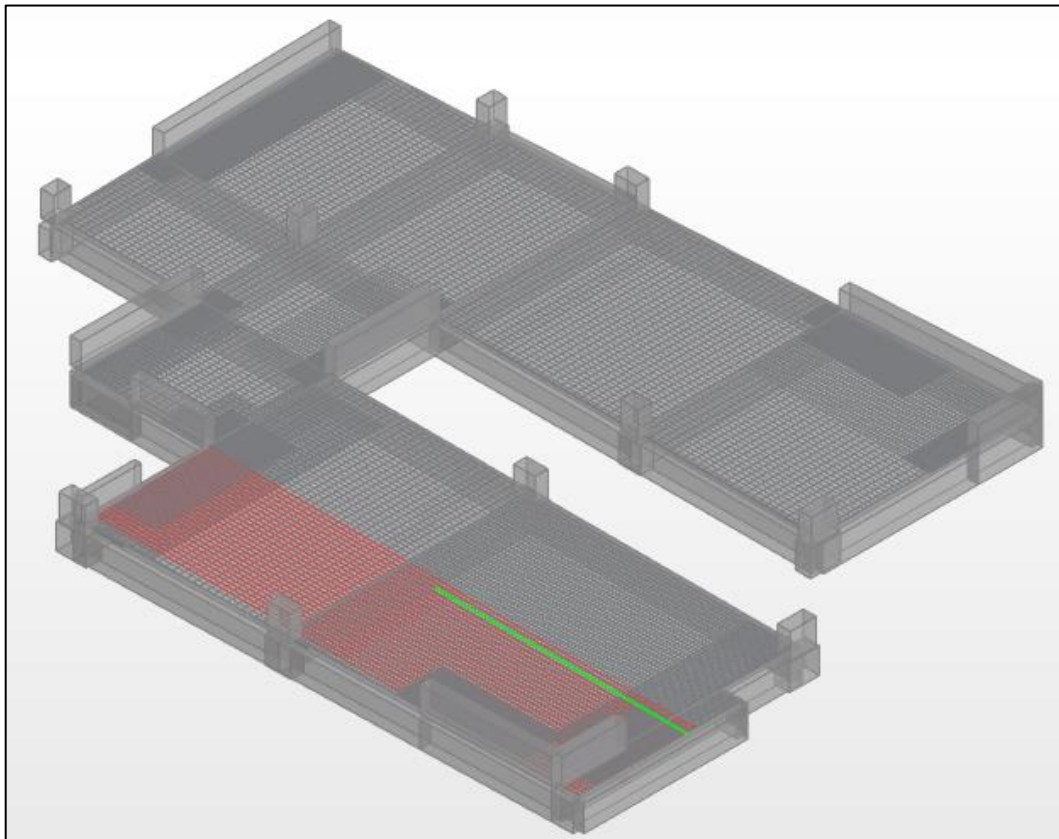


Figura 64: Armadura de la losa nervada en Robot Structural Analysis Professional.

*Fuente: Robot Structural Analysis Professional.*

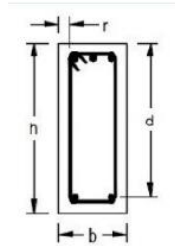
### 3.3.6. Validación del diseño de elementos estructurales

#### ▪ Verificación manual de vigas peraltadas

### DISEÑO DE VIGAS

#### DATOS

Resistencia a la compresión del concreto:	$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$
Resistencia a la fluencia del acero:	$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$
Módulo de elasticidad del acero:	$E_s := 2 \cdot 10^6 \frac{kgf}{cm^2}$
Deformación unitaria del concreto:	$\epsilon_c := 0.003$
Ancho:	$b_w := 25 \text{ cm}$
Altura:	$h := 45 \text{ cm}$
Recubrimiento:	$r := 4 \text{ cm}$



ACI.(22.2.2.1)

$\phi$ de barra longitudinal:	$\phi_{bl} := \frac{5}{8} \text{ in} = 15.875 \text{ mm}$
$\phi$ de barra de estribos:	$\phi_e := \frac{3}{8} \text{ in} = 9.525 \text{ mm}$

#### Altura útil

$$d := h - r - \phi_e - \frac{\phi_{bl}}{2} = 39.254 \text{ cm}$$

#### Cuantía mínima ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min1} := \frac{(0.7 \cdot \sqrt{f'_c}) \frac{kgf}{cm^2}}{f_y} \frac{\frac{kgf}{cm^2}}{\sqrt{\frac{kgf}{cm^2}}} = 0.0028$$

$$\rho_{min2} := \frac{14}{f_y} \frac{kgf}{cm^2} = 0.0033 \quad \text{ACI.(9.6.1.2 a y b)}$$

$$\rho_{min1} := \max(\rho_{min1}, \rho_{min2}) = 0.0033$$

$$A_{smin1} := \rho_{min1} \cdot b_w \cdot d$$

$$A_{smin1} = 3.27 \text{ cm}^2$$

#### Cuantía máxima

$$\beta_1 := \max \left( \min \left( 0.85, 1.05 - \frac{f'_c}{1400 \cdot \frac{kgf}{cm^2}} \right), 0.65 \right) = 0.85$$

ACI Tabla  
22.2.2.4.3



Cuantía balanceada:

$$\text{Def. unitaria: } \quad A_{s\rho_{bal}} := 0.5 \cdot \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.0021} \right) \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot (bw \cdot h) = 15.938 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon_s := 0.0021$$

$$\varepsilon_c := 0.003$$

$$A_{s_{DefUnit}} := \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.005} \right) \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot (bw \cdot h) = 20.32 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} := \min(A_{s\rho_{bal}}, A_{s_{DefUnit}}) = 15.938 \text{ cm}^2$$

**Acero a cortante**

$$\phi := 0.75$$

$$V_u := 16.87 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_c := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot bw \cdot d = 6.527 \text{ tonnef} \quad V_c := \frac{\phi V_c}{\phi} = 8.703 \text{ tonnef}$$

ACI (9.6.3.1)

$$\phi V_{max} := \phi \cdot \left( V_c + 2.2 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot bw \cdot d \right) = 33.622 \text{ tonnef} \quad \text{ACI (22.5.1.2)}$$

$$\text{Verificacion}_{\phi V_{max}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_u < \phi V_{max} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Falla la sección"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| \quad \text{ACI (9.6.3.3)}$$

Verificar que la separación no supere  $d/4$ , ni 15 cm (18.6.4.4)

$$\text{Verificacion}_{\phi V_{max}} = \text{"Cumple"}$$

donde:

$$E_{tabs} := 0.0842 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$A_{v1} := 0.2 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{bw}{f_y} = 0.02 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$A_{v2} := 3.5 \cdot \frac{bw}{f_y} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 0.021 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$A_v := \max(E_{tabs}, A_{v1}, A_{v2}) = 0.084 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$A_{vp} := 1.425 \text{ cm}^2 \quad (\text{Acero provisto a cortante}) \quad \text{Estribos} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi e^2}{4}$$

$$\text{Estribos} := 1.42 \text{ cm}^2$$

Estribos  $\phi 3/8'' = 1.42 \text{ cm}^2$  2 ramas

$$\text{sep} := \frac{A_{vp}}{A_v} = 16.924 \text{ cm} \quad (\text{Espaciamiento provisto a cortante})$$

(Usar mínimo 7 cm de sep para que entre la vibradora)

#### Separación mínima a extremos

ACI (9.7.2.3)

$$\text{sep\_extremos} := \min\left(\frac{d}{4}, 10 \cdot \phi bl, 24 \cdot \phi e, 30 \text{ cm}\right) = 9.813 \text{ cm}$$

(No debe ser mayor que lo requerido por fuerza cortante)

#### Número de estribos al extremo

$$n := \frac{2 \cdot h}{\text{sep\_extremos}} + 1 = 10 \quad (\text{No usar menos de 10 cm})$$

#### Separación mínima al medio

$$\text{sep\_medio} := \min\left(\frac{d}{2}, 30 \text{ cm}\right) = 19.627 \text{ cm}$$

**\* Confinamiento de vigas con estribos de 3/8":**

$$1 @0.05 + 10 @0.10 + \text{Resto}@0.20\text{cm}$$

▪ Verificación manual de vigas de arriostre

**DISEÑO DE VIGAS DE ARRIOSTRE**

**DATOS**

Resistencia a la compresión del concreto:  $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Resistencia a la fluencia del acero:  $f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$

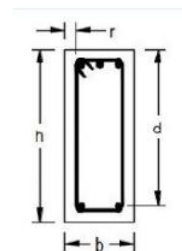
Módulo de elasticidad del acero:  $E_s := 2 \cdot 10^6 \frac{kgf}{cm^2}$

Deformación unitaria del concreto:  $\varepsilon_c := 0.003$

Ancho:  $b_w := 30 \text{ cm}$

Altura:  $h := 40 \text{ cm}$

Recubrimiento:  $r := 4 \text{ cm}$



ACI.(22.2.2.1)

$\phi$  de barra longitudinal:  $\phi_{bl} := \frac{5}{8} \text{ in} = 15.875 \text{ mm}$

$\phi$  de barra de estribos:  $\phi_e := \frac{3}{8} \text{ in} = 9.525 \text{ mm}$

**Altura útil**

$$d := h - r - \phi_e - \frac{\phi_{bl}}{2} = 34.254 \text{ cm}$$

**Cuantía mínima ( $\rho_{min}$ )**

$$\rho_{min1} := \frac{(0.7 \cdot \sqrt{f'_c}) \frac{kgf}{cm^2}}{f_y} \frac{kgf}{\sqrt{cm^2}} = 0.0028$$

$$\rho_{min2} := \frac{14}{f_y} \frac{kgf}{cm^2} = 0.0033$$

ACI.(9.6.1.2 a y b)

$$\rho_{min_1} := \max(\rho_{min1}, \rho_{min2}) = 0.0033$$

$$A_{smin_1} := \rho_{min_1} \cdot b_w \cdot d$$

$$A_{smin_1} = 3.43 \text{ cm}^2$$

**Cuantía máxima**

$$\beta_1 := \max \left( \min \left( 0.85, 1.05 - \frac{f'_c}{1400 \cdot \frac{kgf}{cm^2}} \right), 0.65 \right) = 0.85$$

ACI Tabla  
22.2.2.4.3

Cuantía balanceada:

Def. unitaria:  $As_{\rho_{bal}} := 0.5 \cdot \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.0021} \right) \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot (bw \cdot h) = 17 \text{ cm}^2$   
 $\varepsilon_s := 0.0021$

$\varepsilon_c := 0.003$

$As_{DefUnit} := \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.005} \right) \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot (bw \cdot h) = 21.675 \text{ cm}^2$

6.6.5 Redistribución de momentos en miembros continuos a flexión

6.6.5.1 Excepto cuando se empleen valores aproximados de los momentos, de acuerdo con 6.5, cuando los momentos se han calculado utilizando 6.8 ó bien cuando los momentos en losas en dos direcciones se han calculado utilizando la disposición de cargas especificada en 6.4.3.3, siempre y cuando se cumplan (a) y (b) se permite disminuir los momentos calculados por medio de la teoría elástica en las secciones de máximo momento negativo o máximo momento positivo para cualquier distribución de carga:

(a) Los miembros a flexión son continuos.

(b)  $\varepsilon_t \geq 0.0075$  en la sección donde se reduce el momento.

$As_{max} := \min(As_{\rho_{bal}}, As_{DefUnit}) = 17 \text{ cm}^2$

**Acero a cortante**

$\phi := 0.75$

$V_u := 25.83 \text{ tonnef}$

$\phi V_c := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot bw \cdot d = 6.835 \text{ tonnef}$

$V_c := \frac{\phi V_c}{\phi} = 9.113 \text{ tonnef}$

ACI (9.6.3.1)

$\phi V_{max} := \phi \cdot \left( V_c + 2.2 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot bw \cdot d \right) = 35.207 \text{ tonnef}$

ACI (22.5.1.2)

$Verificacion_{\phi V_{max}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_u < \phi V_{max} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Falla la sección"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\|$

ACI (9.6.3.3)

Verificar que la separación no supere d/4, ni 15 cm (18.6.4.4)

$Verificacion_{\phi V_{max}} = \text{"Cumple"}$

donde:

$E_{tabs} := 0.1757 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$A_{v1} := 0.2 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{bw}{f_y} = 0.024 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$A_{v2} := 3.5 \cdot \frac{bw}{f_y} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 0.025 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$A_v := \max(E_{tabs}, A_{v1}, A_{v2}) = 0.176 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$$A_{vp} := 1.425 \text{ cm}^2 \quad (\text{Acero provisto a cortante}) \quad \text{Estribos} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi e^2}{4}$$

$$\text{Estribos} := 1.42 \text{ cm}^2$$

Estribos  $\phi 3/8'' = 1.42 \text{ cm}^2$  2 ramas

$$\text{sep} := \frac{A_{vp}}{A_v} = 8.11 \text{ cm} \quad (\text{Espaciamiento provisto a cortante})$$

(Usar mínimo 7 cm de sep para que entre la vibradora)

#### Separación mínima a extremos

ACI (9.7.2.3)

$$\text{sep\_extremos} := \min\left(\frac{d}{4}, 10 \cdot \phi bl, 24 \cdot \phi e, 30 \text{ cm}\right) = 8.563 \text{ cm}$$

(No debe ser mayor que lo requerido por fuerza cortante)

#### Número de estribos al extremo

$$n := \frac{2 \cdot h}{\text{sep\_extremos}} + 1 = 10 \quad (\text{No usar menos de 10 cm})$$

#### Separación mínima al medio

$$\text{sep\_medio} := \min\left(\frac{d}{2}, 30 \text{ cm}\right) = 17.127 \text{ cm}$$

**\* Confinamiento de vigas con estribos de 3/8":**

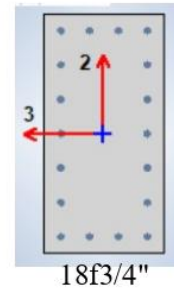
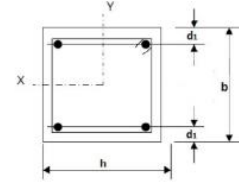
$$1 @0.05 + 10 @0.08 + \text{Resto}@0.17 \text{ cm}$$

▪ Verificación manual de columnas

**DISEÑO DE COLUMNAS**

**DATOS**

- Resistencia a la compresión del concreto:  $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$
- Resistencia a la fluencia del acero:  $f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$
- Lado corto de columna:  $b := 35 \text{ cm}$
- Lado largo de columna:  $h := 70 \text{ cm}$
- Módulo de elasticidad del acero:  $E_s := 2.1 \cdot 10^6 \frac{kgf}{cm^2}$
- Diámetro del acero longitudinal:  $\phi_{bl} := \frac{3}{4} \text{ in} = 1.905 \text{ cm}$
- Diámetro de estribos:  $\phi_e := \frac{3}{8} \text{ in} = 0.953 \text{ cm}$
- Recubrimiento de concreto para el refuerzo:  $r_1 := 4 \text{ cm}$
- Recubrimiento a centroide de barra longitudinal:  $r := r_1 + \phi_e + \frac{\phi_{bl}}{2} = 5.905 \text{ cm}$



**1. Área bruta**

$\phi := 0.65$   
 $A_g := b \cdot h \quad A_g = 2450 \text{ cm}^2$   
 $\epsilon_c := 0.003$   
 $\epsilon_s := 0.002$

**2. Número de barras**

$$barras := \begin{bmatrix} \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} \\ \phi_{bl} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \phi_{bl} \\ \phi_{bl} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \phi_{bl} \\ \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} \end{bmatrix}$$

$$barras = \begin{bmatrix} 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 \\ 1.905 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.905 \\ 1.905 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.905 \\ 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 & 1.905 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

$n := \text{cols}(barras) = 7$   
 $k := \text{rows}(barras) = 4$

### 3. Área de cada barra de acero en forma de matriz

$$A_{so} := \pi \cdot \frac{\overrightarrow{\text{barras}}^2}{4} = \begin{bmatrix} 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 \\ 2.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.85 \\ 2.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.85 \\ 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 & 2.85 \end{bmatrix} \text{ cm}^2$$

### 4. Área de cada fila de acero

ORIGIN := 1

$$A_{sf} := \sum_{i=1}^k A_{so}^{\widehat{i}} = [11.401 \ 5.7 \ 5.7 \ 5.7 \ 5.7 \ 5.7 \ 11.401] \text{ cm}^2$$

#### 4.1. Área de acero de refuerzo y cuantía

$$A_{st} := \sum_{i=1}^n A_{sf_{1,i}} = 51.304 \text{ cm}^2$$

$$\rho := \frac{A_{st}}{A_g} = 0.021$$

### 5. Ubicación de filas de acero

$$d_1 := r + \frac{\text{barras}_{1,n}}{2} = 6.858 \text{ cm}$$

$$s := \frac{h - 2 \cdot d_1}{n - 1} = 9.381 \text{ cm}$$

En donde:

d es la distancia de la cara hasta el centroide de la primera fila de acero.

s es la separación entre las barras de acero.

### 6. Creación de vector "d" con la ubicación de las filas de acero

$$i := 2 \dots n$$

$$d_i := d_{i-1} + s$$

$$d = \begin{bmatrix} 6.858 \\ 16.238 \\ 25.619 \\ 35 \\ 44.381 \\ 53.762 \\ 63.143 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

### 7. Caso de compresión pura

$$P_o := 0.85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \quad \text{ACI.(22.4.2.2)}$$

$$\phi P_{n,max} := \phi \cdot 0.8 \cdot P_o = 408.911 \text{ tonnef} \quad \text{Tabla (22.4.2.1)}$$

### 8. Caso de compresión y flexión

$$\beta_1 := \max \left( \min \left( 0.85, 1.05 - \frac{f'_c}{1400 \cdot \frac{kgf}{cm^2}} \right), 0.65 \right) = 0.85 \quad \text{Tabla (22.2.2.4.3)}$$

ACI.(22.2.2.4.1)

$$c(a) := \frac{a}{\beta_1}$$

#### 8.1. Esfuerzo en cada fila de acero

$$f_s(i, a) := \left\| \begin{array}{l} \varepsilon_s \leftarrow \varepsilon_c \cdot \frac{c(a) - d_i}{c(a)} \\ \text{sign}(\varepsilon_s) \min(E_s \cdot |\varepsilon_s|, f_y) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{negativo} = \text{tracción} \\ \text{positivo} = \text{compresión} \end{array}$$

En donde:

$\varepsilon_s$  es deformación unitaria de acero.

$$f_s(1, 20 \text{ cm}) = 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

#### 8.2. Factor de minoración

$$d_t := \max(d) = 63.143 \text{ cm}$$

$$\phi(a) := \left\| \begin{array}{l} \varepsilon_t \leftarrow \varepsilon_c \cdot \frac{c(a) - d_t}{c(a)} \\ \phi \leftarrow \max \left( \min \left( 0.9, 0.65 + 0.25 \cdot \frac{|\varepsilon_t| - \varepsilon_s}{0.005 - \varepsilon_s} \right), 0.65 \right) \end{array} \right. \quad \text{Tabla (21.2.2)}$$

$$\phi(40 \text{ cm}) = 0.65$$

Fig. (R21.2.2.b)

#### 8.3. Capacidad axial minorada de la columna

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

$$\phi P_n(20 \text{ cm}) = 98.233 \text{ tonnef}$$



#### 8.4. Momento resistente minorado

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

$$\phi M_n(10 \text{ cm}) = 43.944 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

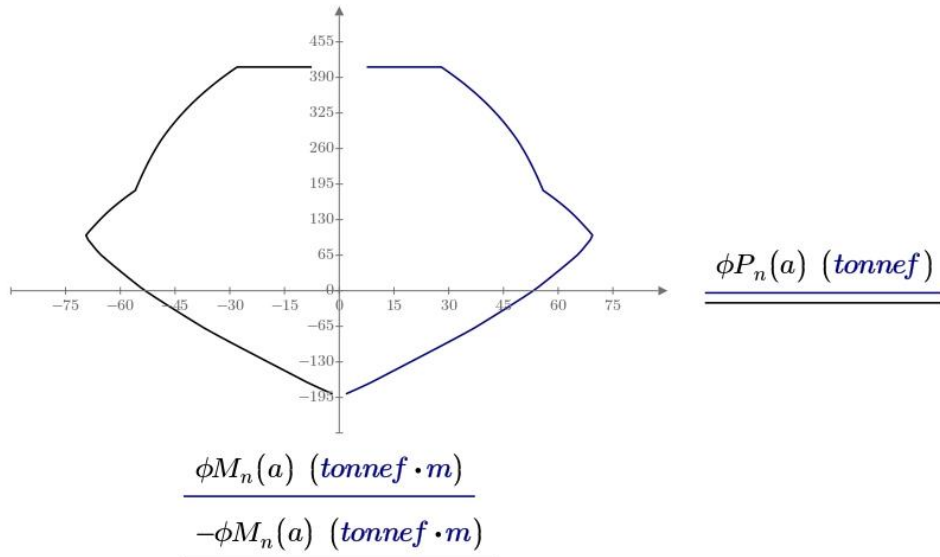
Momento horario: Positivo

Momento antihorario: Negativo

#### 8.5. Rango de valores de "a"

$$a := 0, \frac{h}{100} \dots h$$

#### 8.6. Diagrama de interacción



#### Refuerzo a corte en columnas

$$\phi := 0.75$$

$$factor := 1 + \frac{97618}{140 \cdot 35 \cdot 70} = 1.285$$

$$V_u := 7.20 \text{ tonnef} \quad (\text{Cortante último})$$

$$V_c := \phi \cdot 0.53 \cdot h \cdot b \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)^{0.5} \cdot factor = 20.93 \text{ tonnef} \quad (22.5.6.1)$$

#### Separación máxima de estribos a los extremos

$$s_1 := \min \left( 8 \cdot \phi_{bl}, \min \left( \frac{b}{2}, \frac{h}{2} \right), 10 \text{ cm} \right) = 10 \text{ cm}$$

$$L := 3.04 \text{ m}$$

### Separación máxima de estribos al medio

$$s_2 := \min(16 \cdot \phi_{bl}, 48 \cdot \phi_e, \min(b, h), 30 \text{ cm}) = 30 \text{ cm}$$

pero:  $s_2 \leq 2 \cdot s_1$  entonces:  $s_2 := 20 \text{ cm}$

### Longitud de confinamiento "Lo"

$$L_o := \max\left(\max(b, h), \frac{L}{6}, 50 \text{ cm}\right) = 70 \text{ cm}$$

$$A_v := 0.0586 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \quad (\text{Simulador})$$

$$\text{Estribos} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_e^2}{4} = 1.425 \text{ cm}^2$$

Estribos  $\phi 3/8" = 1.425 \text{ cm}^2$  2 ramas

$$A_{vp} := 1.425 \text{ cm}^2 \quad (\text{Acero provisto a cortante})$$

$$\text{sep} := \frac{A_{vp}}{A_v} = 24.317 \text{ cm} \quad (\text{Usar mínimo 7 cm de sep para que entre la vibradora})$$

(Entonces, sería cada 25 cm, en lugar de 30 cm)

**\* Confinamiento de columnas con estribos de 3/8":**

$$1 @0.05 + 7 @0.10 + \text{Resto}@0.20\text{cm}$$

▪ Verificación manual de placas

**DISEÑO DE PLACAS**

**DATOS**

Resistencia a la compresión del concreto:  $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Resistencia a la fluencia del acero:  $f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$

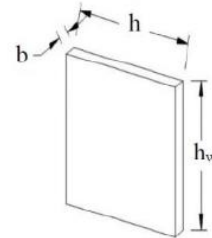
Lado corto de muro:  $b := 25 \text{ cm}$

Lado largo de muro:  $h := 165 \text{ cm}$

Módulo de elasticidad del acero:  $E_s := 2.1 \cdot 10^6 \frac{kgf}{cm^2}$

Diámetro del acero longitudinal:  $\phi_{bl} := \frac{5}{8} \text{ in} = 1.588 \text{ cm}$

Recubrimiento a centroide de barra longitudinal:  $r := 5 \text{ cm}$



**1. Area bruta**

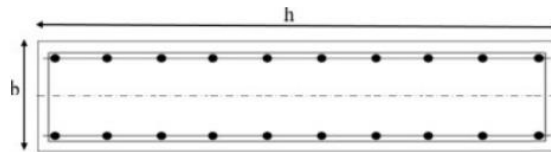
$\phi := 0.65$

$A_g := b \cdot h \quad A_g = 4125 \text{ cm}^2$

$\epsilon_c := 0.003$

$\epsilon_s := 0.002 \quad \text{ACI.(22.2.2.1)}$

$\text{ACI.(21.2.2.1)}$



**2. Número de barras (Refuerzo vertical)**

$barras := \begin{bmatrix} \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} \\ \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} & \phi_{bl} \end{bmatrix}$

$barras = \begin{bmatrix} 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 \\ 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 & 1.588 \end{bmatrix} \text{ cm}$

$n := \text{cols}(barras) = 9$

$k := \text{rows}(barras) = 2$

**3. Área de cada barra de acero en forma de matriz**

$A_{so} := \pi \cdot \frac{\overrightarrow{barras}^2}{4}$

$A_{so} = \begin{bmatrix} 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 \\ 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 & 1.979 \end{bmatrix} \text{ cm}^2$

#### 4. Área de cada fila de acero

ORIGIN := 1

$$A_{sf} := \sum_{i=1}^k A_{so} \widehat{i}$$

$$A_{sf} = [3.959 \ 3.959 \ 3.959 \ 3.959 \ 3.959 \ 3.959 \ 3.959 \ 3.959 \ 3.959] \text{ cm}^2$$

#### 4.1. Área de acero de refuerzo y cuantía

$$A_{st} := \sum_{i=1}^n A_{sf_{1,i}} = 35.628 \text{ cm}^2$$

ACI.(18.6.3.1)

$$\rho := \frac{A_{st}}{A_g} = 0.009 \quad \text{donde: } \rho_{min} := 0.0025$$
$$\rho_{min} := 0.0012$$
$$\rho_{max} := 0.02$$

ACI.(18.10.2.1)

#### 5. Ubicación de filas de acero

$$d_1 := r + \frac{\text{barras}_{1,n}}{2} = 5.794 \text{ cm}$$

$$s := \frac{h - 2 \cdot d_1}{n - 1} = 19.177 \text{ cm}$$

#### 6. Creación de vector "d" con la ubicación de las filas de acero

$$i := 2 .. n$$
$$d_i := d_{i-1} + s$$
$$d = \begin{bmatrix} 5.794 \\ 24.97 \\ 44.147 \\ 63.323 \\ 82.5 \\ 101.677 \\ 120.853 \\ 140.03 \\ 159.206 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

#### 7. Caso de compresión pura

$$P_o := 0.85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \quad \text{ACI.(22.4.2.2)}$$

$$\phi P_{n,max} := \phi \cdot 0.8 \cdot P_o = 583.912 \text{ tonnef} \quad \text{Tabla (22.4.2.1)}$$

### 8. Caso de compresión y flexión

$$\beta_1 := \max \left( \min \left( 0.85, 1.05 - \frac{f'_c}{1400 \cdot \frac{kgf}{cm^2}} \right), 0.65 \right) = 0.85 \quad \text{Tabla (22.2.2.4.3)}$$

ACI.(22.2.2.4.1)

$$c(a) := \frac{a}{\beta_1}$$

#### 8.1. Esfuerzo en cada fila de acero

$$f_s(i, a) := \left\| \begin{array}{l} \varepsilon_s \leftarrow \varepsilon_c \cdot \frac{c(a) - d_i}{c(a)} \\ \text{sign}(\varepsilon_s) \min(E_s \cdot |\varepsilon_s|, f_y) \end{array} \right\| \quad \begin{array}{l} \text{negativo} = \text{tracción} \\ \text{positivo} = \text{compresión} \end{array}$$

$$f_s(1, 14.77 \text{ cm}) = 4199.42 \frac{kgf}{cm^2}$$

#### 8.2. Factor de minoración

$$d_t := \max(d) = 159.206 \text{ cm}$$

$$\phi(a) := \left\| \begin{array}{l} \varepsilon_t \leftarrow \varepsilon_c \cdot \frac{c(a) - d_t}{c(a)} \\ \phi \leftarrow \max \left( \min \left( 0.9, 0.65 + 0.25 \cdot \frac{|\varepsilon_t| - \varepsilon_s}{0.005 - \varepsilon_s} \right), 0.65 \right) \end{array} \right\| \quad \begin{array}{l} \phi(21.29 \text{ in}) = 0.9 \\ \text{Tabla (21.2.2)} \end{array}$$

$$\phi(14.77 \text{ cm}) = 0.9$$

Fig. (R21.2.2.b)

#### 8.3. Capacidad axial minorada de la columna

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

$$\phi P_n(14.77 \text{ cm}) = -20.5 \text{ tonnef}$$

#### 8.4. Momento resistente minorado

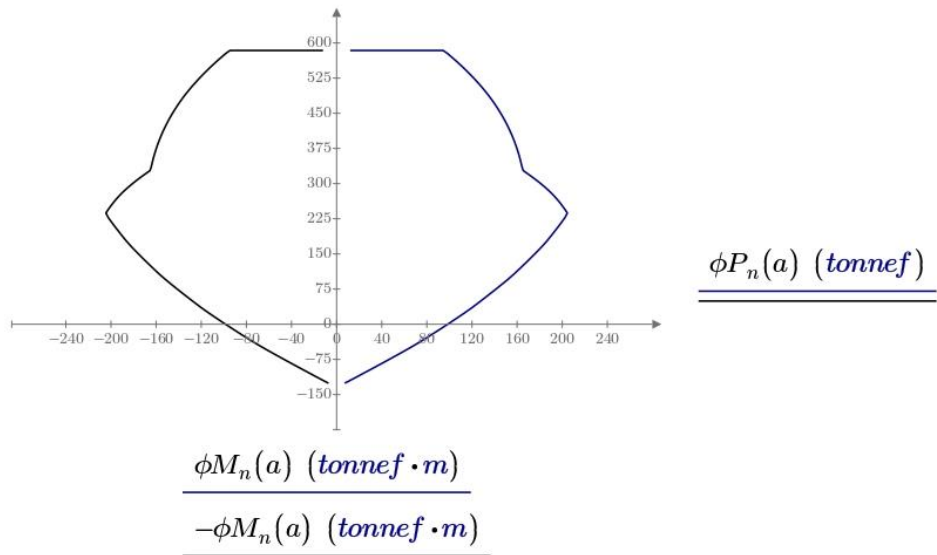
$$\phi M_n(a) := \phi(a) \cdot \left( 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \left( A_{sf_{1,i}} \cdot f_s(i, a) \cdot \left( \frac{h}{2} - d_i \right) \right) \right)$$

$$\phi M_n(14.77 \text{ cm}) = 85.33 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \begin{array}{l} \text{Momento horario: Positivo} \\ \text{Momento antihorario: Negativo} \end{array}$$

#### 8.5. Rango de valores de "a"

$$a := 0, \frac{h}{100} \dots h$$

#### 8.6. Diagrama de interacción



#### Refuerzo horizontal

$$V_u := 29.23 \text{ tonnef} \quad \phi := 0.75 \quad \text{ACI (21.2.4)}$$

#### Verificación a cortante máximo $V_{n_{max}}$

$$\phi V_{n_{max}} := \phi \cdot 2.12 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)^{0.5} \cdot h \cdot b \cdot 0.8 = 87.8 \text{ tonnef}$$

$$\text{Verif.} := \text{if } \phi V_{n_{max}} \geq V_u \quad \text{Verif.} = \text{"Cumple"} \quad \text{ACI (18.10.4.4)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\}$$

### Cortante que resiste el concreto $V_c$

$$V_c := 0.53 \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{kgf}{cm^2} \right)^{0.5} = 36.58 \text{ tonnef} \quad \text{ACI (11.5.4.6)}$$

$$\text{Diámetro asumido: } \phi_t := \frac{3}{8} \text{ in} = 9.525 \text{ mm} \quad A_v := \pi \cdot \frac{\phi_t^2}{4} \cdot 2 = 1.43 \text{ cm}^2$$

Área asumida de acero para 2 ramas

$$\text{Separación por cuantía mínima: } A_{vmin} := 0.0025 \cdot b \cdot 100 \text{ cm} \cdot \frac{1}{1 \text{ m}} = 0.0625 \frac{cm^2}{cm}$$

$$\text{Separación por descenso de cargas: } A_{vETABS} := 0.0 \frac{cm^2}{cm} \quad \frac{A_v}{A_{vmin}} = 22.802 \text{ cm}$$

$$S_{min} := \frac{A_v}{\max(A_{vETABS}, A_{vmin})} = 22.8 \text{ cm}$$

### Determinar si requiere elemento de borde por combinación de flexión y carga axial

$$\text{Acero longitudinal total puesto en el muro: } A_{st} := \sum_{i=1}^n A_{sf_{1,i}} = 35.628 \text{ cm}^2$$

#### Procedimiento Base - Desplazamiento:

$$\delta_u := 2.5 \text{ cm}$$

Desplazamiento horizontal en la parte superior del muro

$$h_w := 24.2 \text{ m}$$

Altura total del muro

$$\frac{\delta_u}{h_w} = 0.00103$$

$$\text{Drift} := \max\left(0.005, \frac{\delta_u}{h_w}\right) = 0.005 \quad \text{ACI (18.10.6.2)}$$

#### Diseño simplificado para calcular C:

$$\omega := \left( \frac{A_{st}}{b \cdot h} \right) \cdot \frac{f_y}{f'_c} = 0.13$$

$$\phi := 0.65 \quad \text{0.65 por aplastamiento, para los demás niveles 0.9}$$

ACI 21.2.1

$$\alpha := \frac{134.23 \text{ tonnef}}{\phi \cdot b \cdot h \cdot f'_c} = 0.1788$$

(CADENAS Y MAGURA)

$$c := \frac{h \cdot (\omega + \alpha)}{2 \cdot \omega + 0.85 \cdot \beta_1} \quad c = 51.831 \text{ cm} \quad C = \text{Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro}$$

$$\text{Verif.} := \text{if } \frac{h}{600 \cdot (1.5 \cdot \text{Drift})} < c \quad \left| \quad \frac{h}{600 \cdot (1.5 \cdot \text{Drift})} = 36.667 \text{ cm} \right.$$

|| “Necesita elemento de borde”

else

|| “No necesita elemento de borde”

ACI (18.10.6.2)

Verif. = “Necesita elemento de borde”

### Determinar si requiere elemento de borde por esfuerzos

$$P_n := 134.23 \text{ tonnef}$$

$$M_n := 35.77 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$Esf_1 := \frac{P_n}{A_g} + \frac{M_n}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = 640.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad \text{Límite: } Esf_{max} := f'_c \cdot 0.2 = 560 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$Esf_2 := \frac{P_n}{A_g} - \frac{M_n}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = 10.08 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad \text{Límite: } Esf_{max} := f'_c \cdot 0.2 = 560 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Verif.} := \text{if } \max(Esf_1, Esf_2) > Esf_{max} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{|| “Necesita elemento de borde”} \\ \text{else} \\ \text{|| “No necesita elemento de borde”} \end{array} \right.$$

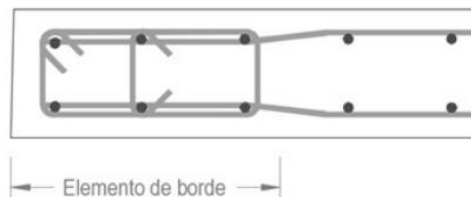
Verif. = “Necesita elemento de borde”

### Distancia desde el extremo a compresión (distancia de confinamiento):

$$c - 0.1 \cdot h = 35.331 \text{ cm} \quad \frac{c}{2} = 25.915 \text{ cm} \quad \text{ACI (18.10.6.2.a)}$$

$$c := \max\left(c - 0.1 \cdot h, \frac{c}{2}\right) = 35.331 \text{ cm}$$

Se debe confinar el elemento con estribos cerrados o grapas para mejorar el comportamiento del elemento







### Pier Muro 2:

Acero longitudinal total:

**BASE A N3:**  $\phi 5/8''$  c/20cm

Acero a cortante:  $\phi 3/8''$  c/20cm

**N4 A AZOTEA:**  $\phi 1/2''$  c/20cm

Elemento de borde:  $c = 0.60$  cm

### Pier Muro 3:

Acero longitudinal total:

**BASE A N3:**  $\phi 5/8''$  c/20cm

Acero a cortante:  $\phi 3/8''$  c/20cm

**N4 A AZOTEA:**  $\phi 1/2''$  c/20cm

Elemento de borde:  $c = 0.60$  cm

### Pier Muro en L 1:

Acero longitudinal total:

**BASE:**  $\phi 1''$  c/10cm

Acero a cortante:  $\phi 3/8''$  c/20cm

**N2 A N3:**  $\phi 5/8''$  c/10cm

**N4 A N6:**  $\phi 5/8''$  c/20cm

Elemento de borde:  $c = 0.65$  cm

### Pier Muro en L 2:

Acero longitudinal total:

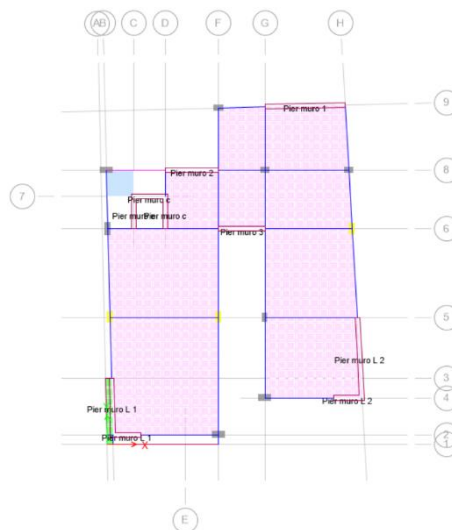
**BASE:**  $\phi 1''$  c/15cm

Acero a cortante:  $\phi 3/8''$  c/20cm

**N2 A N3:**  $\phi 5/8''$  c/15cm

**N4 A N6:**  $\phi 1/2''$  c/15cm

Elemento de borde:  $c = 0.95$  cm

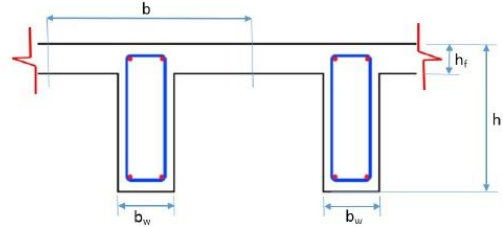


▪ **Verificación manual de losas nervadas**

**DISEÑO DE LOSA NERVADA**

**DATOS**

Ancho ala:	$b := 50 \text{ cm}$
Alma:	$b_w := 10 \text{ cm}$
Altura del ala:	$h_f := 5 \text{ cm}$
Altura total:	$h := 20 \text{ cm}$
Recubrimiento:	$r := 2 \text{ cm}$
Coefficiente de minoración:	$\phi := 0.9$
Resistencia a la compresión del con concreto:	$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
Resistencia a la fluencia del acero:	$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
Modulo de elasticidad del acero:	$E_s := (2.1 \cdot 10^6) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
Deformacion unitaria del concreto:	$\varepsilon_c := 0.003$
Deformacion unitaria del acero:	$\varepsilon_s := 0.005$



**Solicitud a momento positivo**

$M_u := 46175.39 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$        $M_u = 0.462 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

**Peralte efectivo "d" y Coeficiente de Whitney " $\beta_1$ "**

$d := h - r - \frac{0.635 \text{ cm}}{2} = 17.683 \text{ cm}$

Tabla 22.2.2.4.3 — Valores de  $\beta_1$  para la distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto.

$f'_c$ , MPa	$\beta_1$	
$17 \leq f'_c \leq 28$	0.85	(a)
$28 < f'_c < 55$	$0.85 - \frac{0.05(f'_c - 28)}{7}$	(b)
$f'_c \geq 55$	0.65	(c)

ACI 318-14 (22.2.2.4)

$$\beta_1 := \begin{cases} \text{if } f'_c \leq 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \parallel 0.85 \\ \text{else if } f'_c \geq 560 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \parallel 0.65 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.85 - 0.05 \cdot \frac{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} - 280}{70} \end{cases} \quad \beta_1 = 0.85$$

**Verificación de diseño a realizarse**

Altura del bloque de Whitney para todo el ancho de la sección transversal "a" para identificar el tipo de diseño a seguir

$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot w}$  (Ec. 1)       $A_s = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot \phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f'_c}} \right)$  (Ec. 2) ACI 318-14 (22.2.2.4)

Reemp. Ec. 2 en Ec. 1       $a := d - \sqrt{d^2 - \frac{2 M_u}{\phi \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b}} = 0.245529 \text{ cm}$



$$A_v = 0.0375 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$A_{vp} := 0.565 \text{ cm}^2 \quad (\text{Acero provisto a cortante})$$

$$\text{Estribos} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\left(\frac{1}{4} \text{ in}\right)^2}{4} = 0.633 \text{ cm}^2$$

$$\text{Estribos } \phi/1/4" = 0.633 \text{ cm}^2 \quad 2 \text{ ramas}$$

$$\text{sep.}d := \frac{A_{vp}}{A_v} = 15 \text{ cm} \quad (\text{Se obtiene una separación muy grande debido a que el cortante que resiste el concreto es mayor al cortante último } V_c > V_u)$$

Se asumirá una separación de estribos cada 40 cm por seguridad.

### Cálculo de área de acero por temperatura

$$A_{s_{min1}} := 0.0018 \cdot h_f \cdot 100 \text{ cm} = 0.9 \text{ cm}^2$$

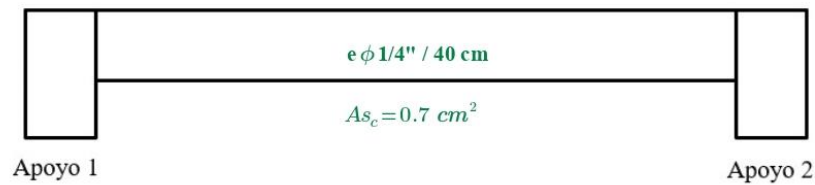
ACI 318-14  
(24.4.3.2)

$$\text{Número de barras por metro lineal: } N_1 := 4 \quad (\text{Asumiendo } 1 \phi \text{ } 1/4 \text{ c/30cm})$$

$$\text{Diámetro de barra por temperatura: } \phi := \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$\text{Acero provisto por temperatura: } A_s := N_1 \cdot \frac{\pi \cdot (\phi)^2}{4} = 1.267 \text{ cm}^2$$

### Resultados



▪ **Verificación manual de losa de fundación**

**DISEÑO DE LOSA DE FUNDACIÓN**

**DATOS**

Recubrimiento al centroide:  $r := 5 \text{ cm}$

Resistencia a la compresión del concreto:  $f'_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Altura de la losa:  $H := 60 \text{ cm}$

Verificación a corte por punzonamiento:  $\phi := 0.75$

Datos de la columna: Verificar si es columna central, de borde o de esquina

Carga axial última:	“Nu”	$Nu := 134.77 \text{ tonnef}$
Ancho de la columna:	“a”	$a := 30 \text{ cm}$ (Lado en la abertura en
Alto de la columna:	“b”	$b := 60 \text{ cm}$ caso de ser de borde)
Canto útil de la platea:	“d”	$d := H - r = 55 \text{ cm}$
Perímetro crítico:	$b_o$	$b_o := a + 2 \cdot b + 2 \cdot d = 260 \text{ cm}$
Coef: 40 interior, 30 borde, 20 esquina	“α”	$\alpha := 30$

**Cortante que resiste el concreto:**

$$\phi Vc_1 := \phi \cdot 1.06 \cdot \sqrt{\left(f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)} = 11.521 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi Vc_2 := \phi \cdot 0.27 \cdot \left(2 + \frac{\alpha \cdot d}{b_o}\right) \cdot \sqrt{\left(f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)} = 24.492 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{ACI 318-14 22.6.5.2}$$

$$\phi Vc_3 := \phi \cdot 0.53 \cdot \left(1 + \frac{2}{\frac{\max(a, b)}{\min(a, b)}}\right) \cdot \sqrt{\left(f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)} = 11.521 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi Vc := \min(\phi Vc_1, \phi Vc_2, \phi Vc_3) = 11.521 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**La resistencia a punzonamiento que es capaz de soportar la losa con el ábaco es igual a:**

$$P_z := \phi Vc \cdot b_o \cdot d = 164.745 \text{ tonnef}$$

$Abaco :=$  if  $Nu \leq P_z$   
 || “CUMPLE PUNZONAMIENTO”  
 else  
 || “NO CUMPLE PUNZONAMIENTO”

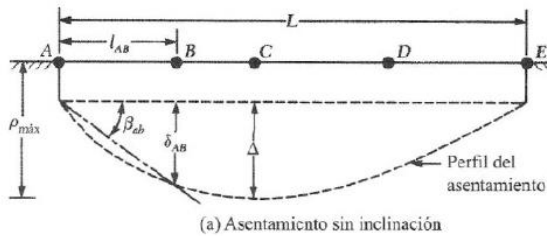
$Abaco =$  “CUMPLE PUNZONAMIENTO”

El ratio demanda capacidad es de :

$$\frac{Nu}{P_z} = 0.818$$

Se usará una losa de cimentación de 60 cm de espesor con vigas de cimentación de 35x70 cm

**Verificación de asentamientos admisibles:**



Los parámetros son

$\rho_i$  = desplazamiento vertical total en el punto  $i$

$\delta_{ij}$  = asentamiento diferencial entre los puntos  $i$  y  $j$

$\Delta$  = deflexión relativa

$\omega$  = inclinación

$\eta_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{l_{ij}} - \omega$  = distorsión angular

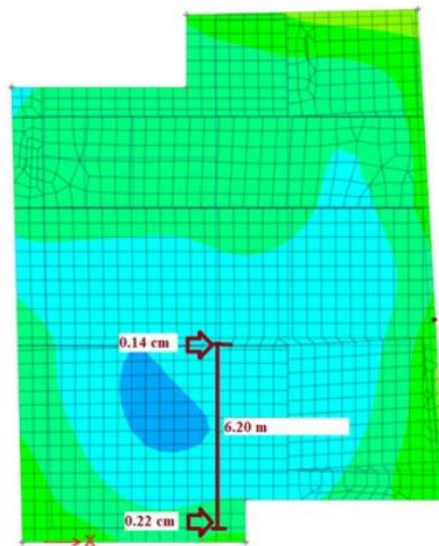
$\frac{\Delta}{L}$  = razón de deflexión

**Tabla 11.6** Distorsión angular límite según recomendada por Bjerrum (compilación de Wahls, 1981).

Categoría de daño potencial	$\eta$
Peligro a maquinaria sensible a asentamientos	1/750
Peligro a marcos con diagonales	1/600
Límite seguro para no tener ningún agrietamiento en edificios*	1/500
Primer agrietamiento de muros	1/300

(BRAJA M. DAS - CAP 11)

**Asentamientos máximos en la losa de cimentación por carga de servicio**



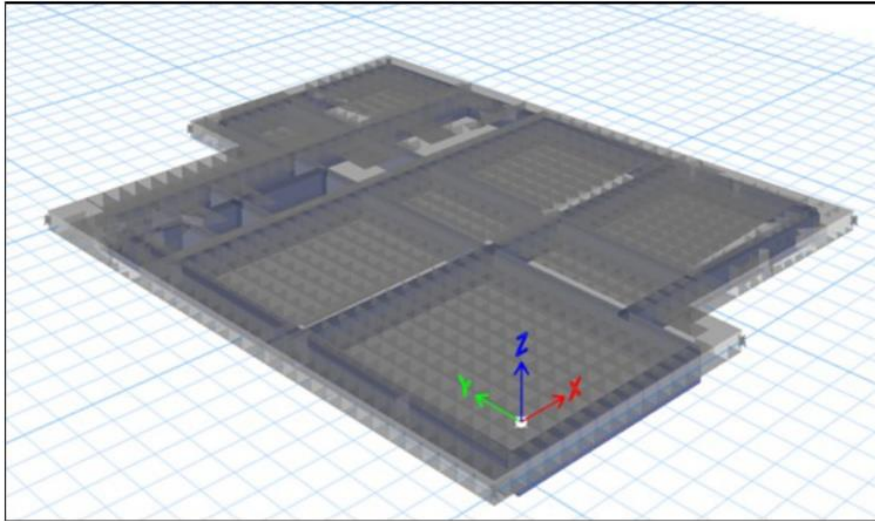
$$\text{Asentamiento\_Diferencial} := (0.22 \text{ cm} - 0.14 \text{ cm}) = 0.08 \text{ cm}$$

$$\text{Asentamiento\_Admisible} := \left( \frac{620 \text{ cm}}{500} \right) = 1.24 \text{ cm}$$

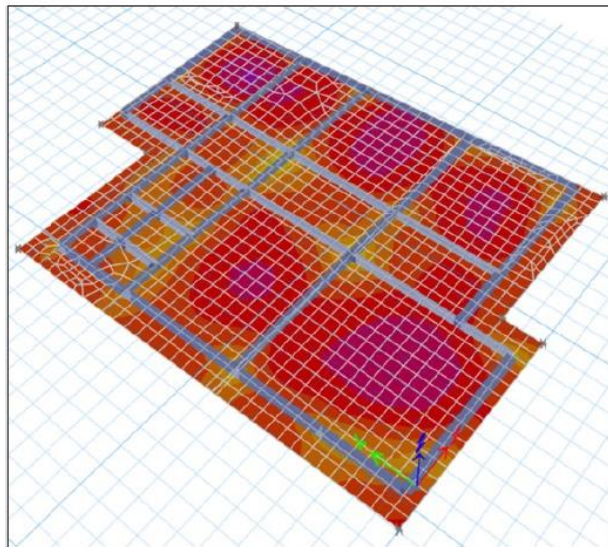
El asentamiento admisible es mayor al asentamiento diferencial; por lo tanto, **cumple**.

### Diseño de aceros en losa de cimentación:

Cimentación en 3D



Momentos en la Losa de cimentación



Con los momentos de diseño y las propiedades geométricas y mecánicas de la losa, se usa la siguiente ecuación para obtener el acero en la losa de cimentación.

$$A_s = \frac{0.85 * f'_c * B * d_s}{f_y} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mn}{0.85 * \phi * B * d_s^2 * f'_c}} \right)$$



▪ Verificación manual de vigas de cimentación

**DISEÑO DE VIGAS DE FUNDACIÓN**

**DATOS**

Resistencia a la compresión del concreto:  $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Resistencia a la fluencia del acero:  $f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$

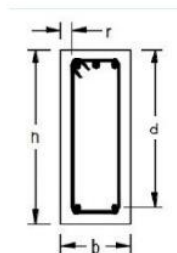
Módulo de elasticidad del acero:  $Es := 2 \cdot 10^6 \frac{kgf}{cm^2}$

Deformación unitaria del concreto:  $\epsilon_c := 0.003$

Ancho:  $bw := 35 \text{ cm}$

Altura:  $h := 70 \text{ cm}$

Recubrimiento:  $r := 4 \text{ cm}$



ACI.(22.2.2.1)

$\phi$  de barra longitudinal:  $\phi_{bl} := \frac{3}{4} \text{ in} = 19.05 \text{ mm}$

$\phi$  de barra de estribos:  $\phi_e := \frac{1}{2} \text{ in} = 12.7 \text{ mm}$

**Altura útil**

$$d := h - r - \phi_e - \frac{\phi_{bl}}{2} = 63.778 \text{ cm}$$

**Cuantía mínima ( $\rho_{min}$ )**

$$\rho_{min1} := \frac{(0.7 \cdot \sqrt{f'_c}) \frac{kgf}{cm^2}}{f_y} \frac{\frac{kgf}{cm^2}}{\sqrt{\frac{kgf}{cm^2}}} = 0.0028$$

$$\rho_{min2} := \frac{14}{f_y} \frac{kgf}{cm^2} = 0.0033 \quad \text{ACI.(9.6.1.2 a y b)}$$

$$\rho_{min1} := \max(\rho_{min1}, \rho_{min2}) = 0.0033$$

$$A_{smin1} := \rho_{min1} \cdot bw \cdot d$$

$$A_{smin1} = 7.44 \text{ cm}^2$$

**Cuantía máxima**

$$\beta_1 := \max \left( \min \left( 0.85, 1.05 - \frac{f'_c}{1400 \cdot \frac{kgf}{cm^2}} \right), 0.65 \right) = 0.85$$

ACI Tabla  
22.2.2.4.3

Cuantía balanceada:

Def. unitaria:  $As\rho_{bal} := 0.5 \cdot \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.0021} \right) \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot (bw \cdot h) = 34.708 \text{ cm}^2$   
 $\varepsilon_s := 0.0021$

$\varepsilon_c := 0.003$

$As_{DefUnit} := \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.005} \right) \cdot 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot (bw \cdot h) = 44.253 \text{ cm}^2$

**6.6.5 Redistribución de momentos en miembros continuos a flexión**

6.6.5.1 Excepto cuando se empleen valores aproximados de los momentos, de acuerdo con 6.5, cuando los momentos se han calculado utilizando 6.8 ó bien cuando los momentos en losas en dos direcciones se han calculado utilizando la disposición de cargas especificada en 6.4.3.3, siempre y cuando se cumplan (a) y (b) se permite disminuir los momentos calculados por medio de la teoría elástica en las secciones de máximo momento negativo o máximo momento positivo para cualquier distribución de carga:

- (a) Los miembros a flexión son continuos.
- (b)  $\varepsilon_t \geq 0.0075$  en la sección donde se reduce el momento.

$As_{max} := \min(As\rho_{bal}, As_{DefUnit}) = 34.708 \text{ cm}^2$

**Acero a cortante**

$\phi := 0.75$

$V_u := 39.78 \text{ tonnef}$

$\phi V_c := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot bw \cdot d = 14.847 \text{ tonnef}$        $V_c := \frac{\phi V_c}{\phi} = 19.797 \text{ tonnef}$

ACI (9.6.3.1)

$\phi V_{max} := \phi \cdot \left( V_c + 2.2 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot bw \cdot d \right) = 76.478 \text{ tonnef}$       ACI (22.5.1.2)

$Verificacion_{\phi V_{max}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_u < \phi V_{max} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{“Falla la sección”} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\|$       ACI (9.6.3.3)

Verificar que la separación no supere d/4, ni 15 cm (18.6.4.4)

$Verificacion_{\phi V_{max}} = \text{“Cumple”}$

donde:

$E_{tabs} := 0.1671 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$A_{v1} := 0.2 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{bw}{f_y} = 0.028 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$A_{v2} := 3.5 \cdot \frac{bw}{f_y} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 0.029 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$A_v := \max(E_{tabs}, A_{v1}, A_{v2}) = 0.167 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$

$$A_{vp} := 2.534 \text{ cm}^2 \quad (\text{Acero provisto a cortante}) \quad \text{Estribos} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi e^2}{4}$$

$$\text{Estribos} := 2.53 \text{ cm}^2$$

Estribos  $\phi 1/2'' = 2.53 \text{ cm}^2$  2 ramas

$$\text{sep} := \frac{A_{vp}}{A_v} = 15.165 \text{ cm} \quad (\text{Espaciamiento provisto a cortante})$$

(Usar mínimo 7 cm de sep para que entre la vibradora)

#### Separación mínima a extremos

ACI (9.7.2.3)

$$\text{sep\_extremos} := \min\left(\frac{d}{4}, 10 \cdot \phi_{bl}, 24 \cdot \phi_e, 30 \text{ cm}\right) = 15.944 \text{ cm}$$

(No debe ser mayor que lo requerido por fuerza cortante)

#### Número de estribos al extremo

$$n := \frac{2 \cdot h}{\text{sep\_extremos}} + 1 = 10 \quad (\text{No usar menos de 10 cm})$$

#### Separación mínima al medio

$$\text{sep\_medio} := \min\left(\frac{d}{2}, 30 \text{ cm}\right) = 30 \text{ cm}$$

#### \* Confinamiento de vigas con estribos de 1/2":

**Para perchero de 1":** 1 @0.05 + 10 @0.12 + Resto@0.30cm

**Para perchero de 3/4":** 1 @0.05 + 10 @0.15 + Resto@0.30cm

### 3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.4.1. *Tipo, nivel, diseño y método de investigación*

**3.4.1.1. Tipo de investigación:** Aplicativa.

**3.4.1.2. Nivel de investigación:** Descriptivo.

**3.4.1.3. Diseño de investigación:** Mixta (Cuantitativa y Cualitativa), No experimental y transversal.

**3.4.1.4. Método de investigación:**

Para el presente estudio se empleará como método general, el método científico y como método específico, el método descriptivo, basándonos en la observación, evaluando las características de la población y las variables en estudio para luego correlacionarlas.

#### 3.4.2. *Población de estudio*

La población en estudio son todos los edificios de planta irregular con 8 niveles que se encuentran en la ciudad de Cajamarca, que estén destinados a ser un Hotel, el cual forma parte del proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”.

#### 3.4.3. *Muestra*

La muestra en estudio es un edificio de planta irregular con 8 niveles, el cual está destinado a ser un Hotel, el cual forma parte del proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”.

#### 3.4.4. *Unidad de análisis*

La unidad de análisis es un edificio de planta irregular con 8 niveles que forma parte del proyecto “Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja en el Distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”.

### 3.4.5. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

- **Técnicas de recolección de datos**

- a) **Observación:** En el presente proyecto de edificación de 08 niveles, se realizará una observación estructurada en base al modelado, análisis y diseño estructural del mismo, de acuerdo al sistema estructural determinado cumpliendo con las normas peruanas del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- b) **Análisis bibliográfico:** Cursos de diseño de los distintos softwares a evaluar, normas, libros, artículos e información recopilada de tesis.

- **Instrumentos de recolección de datos**

- a) Normas E.020, E.030, E.050, E.060 del “Reglamento Nacional de Edificaciones”.
- b) Norma Técnica de Metrados.
- c) Normas ACI.
- d) AutoCAD 2021.
- e) Microsoft Excel y Mathcad Prime.
- f) Etabs 2019.
- g) Autocad Structural Detailing 2015.
- h) Robot Structural Analysis Professional 2022.
- i) Revit 2023.
- j) Safe 2016.
- k) Planos y modelado de la edificación de 08 niveles.

### 3.4.6. Presentación de resultados

#### 3.4.6.1. Revisión de resultados con el Software Etabs

- **Revisión del cortante basal estático y dinámico**

Tabla 17: Cálculo de factor de escala para escalado de las cortantes – ETABS.

Escalado de cortantes		
Cortantes	Valor (Tnf)	Factor de escala
Cortante estática	250,53	-
Cortante dinámica en x	162,23	1,544
Cortante dinámica en y	185,23	1,353

Fuente: Elaboración propia.

The screenshot shows the 'Story Forces' window in ETABS. The window title is 'Story Forces'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Format-Filter-Sort', 'Select', and 'Options'. The status bar shows 'Units: As Noted', 'Hidden Columns: No', 'Sort: None', and 'Story Forces'. The filter is set to '([Story] = 'PB') AND ([Output Case] = 'SISMO DIN X' OR [Output Case] = 'SISMO DIN Y') AND ([Location] = 'Bottom')'. The table below displays the results for the bottom story (PB) under dynamic seismic cases (SISMO DIN X and SISMO DIN Y). The columns are Story, Output Case, Case Type, Step Type, Step Number, Step Label, Location, P tonf, VX tonf, and VY tonf. The first row shows P tonf = 191,2711, VX tonf = 250,4143, and VY tonf = 124,4452. The second row shows P tonf = 166,4598, VX tonf = 107,9201, and VY tonf = 248,1332. The bottom of the window shows 'Record: 2 of 2' and buttons for 'Add Tables...' and 'Done'.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
PB	SISMO DIN X	LinRespSpec	Max			Bottom	191,2711	250,4143	124,4452
PB	SISMO DIN Y	LinRespSpec	Max			Bottom	166,4598	107,9201	248,1332

Figura 65: Cortantes escaladas - Sismo dinámico en X e Y – ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m	MY tonf-m
AZOTEA	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	4,5312	0	0	0,0001	55,8494	-10,1476
N8	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	56,6958	0	0	0,0013	804,371	-327,7363
N7	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	270,0076	0	0	-0,0021	2777,8002	-1748,1164
N6	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	484,1319	0	0	-0,0022	4757,0915	-3171,4788
N5	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	698,2562	0	0	-0,0039	6736,4165	-4594,8971
N4	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	912,3805	0	0	-0,0054	8715,7743	-6018,3511
N3	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	1129,6752	0	0	-0,0065	10723,6098	-7458,8952
N2	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	1349,0872	0	0	-0,0075	12733,7403	-8903,549
PB	PESO SÍSMICO	Combination				Bottom	1416,3044	0	0	-0,0068	13375,1961	-9343,4514

Figura 66: Peso sísmico – ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

- **Revisión de modos y periodos naturales de vibración**

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0,577	0,447	0,2162	0,0001	0,447	0,2162	0,0001	0,0469	0,0977	0,0739	0,0469	0,0977	0,0739
Modal	2	0,527	0,1316	0,495	0,0002	0,5786	0,7112	0,0003	0,1035	0,026	0,1098	0,1504	0,1237	0,1837
Modal	3	0,325	0,1658	0,0213	0,0001	0,7444	0,7325	0,0003	0,0063	0,0599	0,538	0,1568	0,1836	0,7217
Modal	4	0,139	0,1079	0,0364	0,0039	0,8524	0,7689	0,0042	0,0586	0,1831	0,0169	0,2154	0,3667	0,7386
Modal	5	0,13	0,0001	0,0057	0,1187	0,8525	0,7746	0,1229	0,0202	0,0305	7,541E-06	0,2355	0,3972	0,7386
Modal	6	0,122	0,0292	0,1272	0,0024	0,8816	0,9018	0,1253	0,218	0,0765	0,0093	0,4535	0,4737	0,7479
Modal	7	0,097	4,432E-05	0,0002	0,2937	0,8817	0,902	0,4191	0,001	0,0119	0,0005	0,4545	0,4856	0,7484
Modal	8	0,082	0,0216	0,0002	0,0065	0,9032	0,9023	0,4256	0,0038	0,0634	0,146	0,4583	0,549	0,8944
Modal	9	0,058	0,0012	0,0652	0,018	0,9044	0,9675	0,4436	0,0884	0,0004	4,006E-05	0,5467	0,5495	0,8945
Modal	10	0,058	0,0587	0,0024	0,0025	0,9631	0,9699	0,4461	0,0067	0,0995	0,0056	0,5534	0,649	0,9
Modal	11	0,053	2,585E-05	0,003	0,4214	0,9631	0,9729	0,8675	0,0432	0,0003	0,0062	0,5966	0,6493	0,9062
Modal	12	0,041	0,0064	0,0001	0,0279	0,9696	0,9729	0,8954	0,0002	0,0002	0,0562	0,5968	0,6495	0,9625

Figura 67: Periodo y masas participativas – ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	100	96,96
Modal	Acceleration	UY	100	97,29
Modal	Acceleration	UZ	100	89,54

Figura 68: Porcentaje de masas participativas – ETABS.

*Fuente: Elaboración propia.*

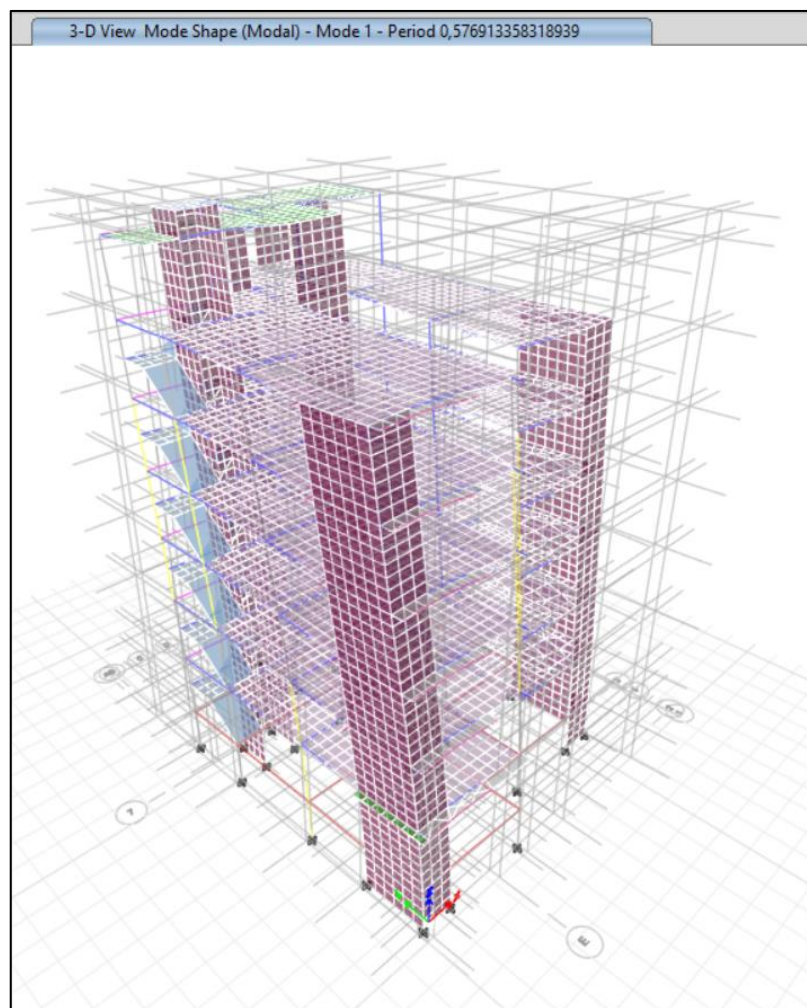


Figura 69: Periodo de 0.5769 – ETABS.

*Fuente: Elaboración propia.*



▪ Verificación de derivas de entrepiso

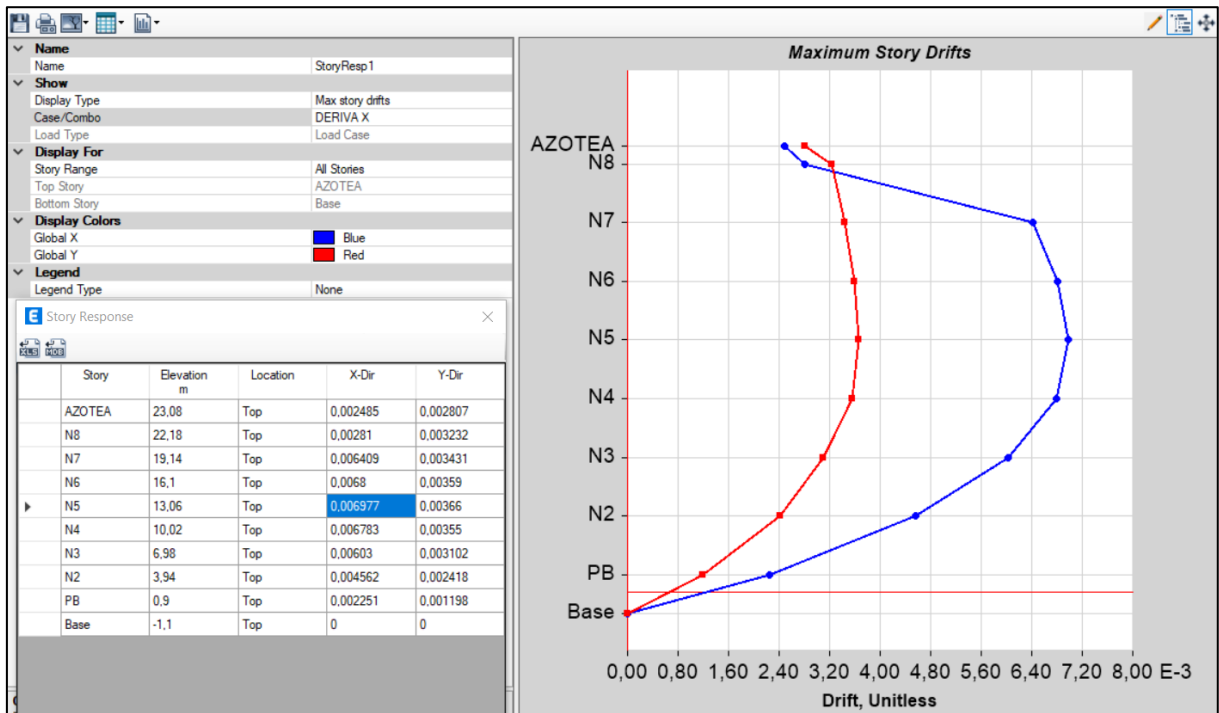


Figura 70: Deriva en x de 0.0069 – ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

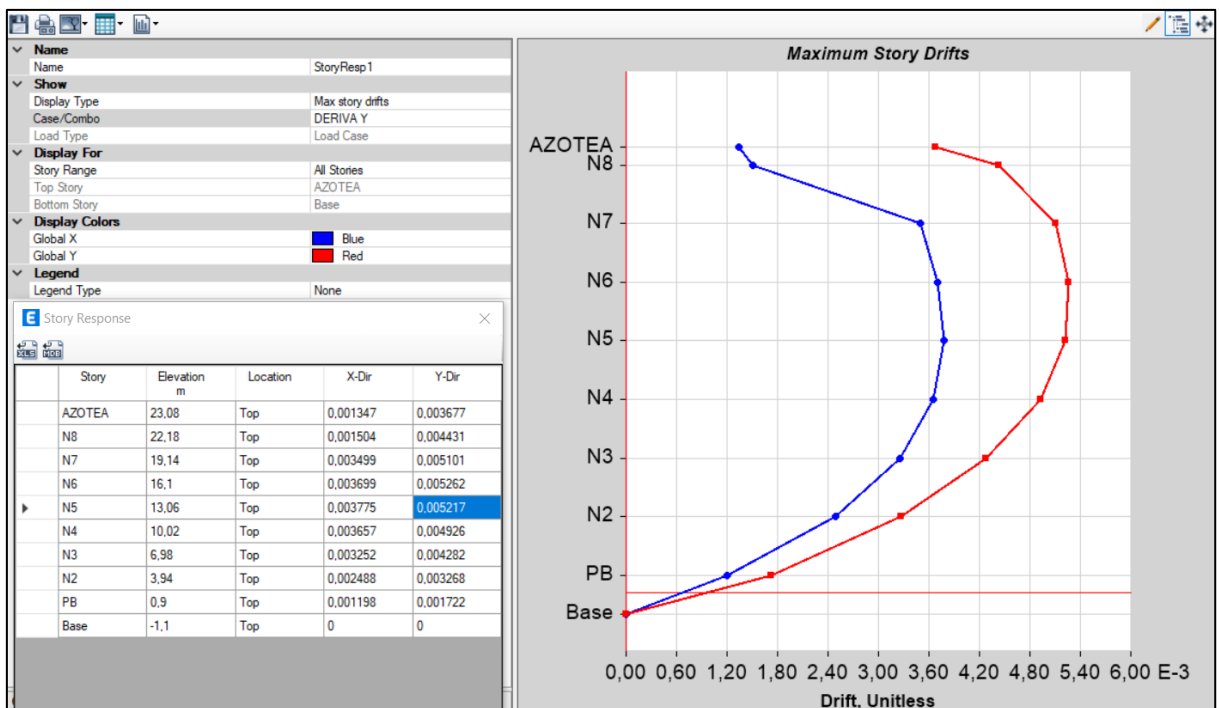


Figura 71: Deriva en y de 0.005 – ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Etabs – Derivas en X.

Story	Location (m)	X - Dir	Y - Dir
Azotea	23,08	0,0025	0,0028
N8	22,18	0,0028	0,0032
N7	19,14	0,0064	0,0034
N6	16,10	0,0068	0,0036
N5	13,06	0,0070	0,0037
N4	10,02	0,0068	0,0036
N3	6,98	0,0060	0,0031
N2	3,94	0,0046	0,0024
PB	0,90	0,0023	0,0012

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Etabs – Derivas en Y.

STORY	Location (m)	X - Dir	Y - Dir
AZOTEA	0,003	0,0013	0,0037
N8	0,004	0,0015	0,0044
N7	0,004	0,0035	0,0051
N6	0,004	0,0037	0,0053
N5	0,004	0,0038	0,0052
N4	0,004	0,0037	0,0049
N3	0,003	0,0033	0,0043
N2	0,002	0,0025	0,0033
PB	0,001	0,0012	0,0017

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.6.2. Revisión de resultados con el Software Robot Structural Analysis

- **Revisión del cortante basal estático y dinámico**

Tabla 20: Cálculo de factor de escala para escalado de las cortantes – Robot Structural Analysis Professional.

Escalado de cortantes		
Cortantes	Valor (Tnf)	Factor de escala
Cortante estática	254,25	-
Cortante dinámica en x	155,33	1,637
Cortante dinámica en y	173,78	1,463

Fuente: Elaboración propia.

Caso/Planta	Nombre	Masa (t)	G (x,y,z) (m)	R (x,y,z) (m)
9/ 1	PB	69,661	6,53 9,53 0,32	9,21 15,30 0,32
9/ 2	N2	216,883	6,56 9,00 3,49	9,11 15,30 2,89
9/ 3	N3	213,412	6,62 9,37 6,46	9,11 15,30 5,91
9/ 4	N4	211,811	6,70 9,16 9,44	9,13 15,33 8,97
9/ 5	N5	213,627	6,68 9,18 12,50	9,13 15,33 12,01
9/ 6	N6	216,221	6,65 9,23 15,52	9,13 15,33 15,05
9/ 7	N7	220,077	6,69 9,08 18,59	9,13 15,34 18,09
9/ 8	N8	56,980	6,26 14,46 21,11	2,60 16,23 21,04
9/ 9	AZOTEA	4,707	2,24 12,34 22,79	2,24 13,05 22,79
<b>Caso 9 Modal</b>		<b>1423,378</b>	<b>6,61 9,41 10,95</b>	

Figura 72: Peso sísmico – Robot Structural Analysis Professional.

Fuente: Elaboración propia.

▪ **Revisión de modos y periodos naturales de vibración**

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)
9/ 1	1,669	0,599	47,304	15,733	0,0	47,304	15,733	0,0
9/ 2	1,963	0,510	57,128	69,139	0,0	9,825	53,406	0,0
9/ 3	2,990	0,334	71,811	70,868	0,0	14,683	1,729	0,0
9/ 4	7,264	0,138	84,605	74,205	0,0	12,794	3,337	0,0
9/ 5	8,443	0,118	87,224	89,060	0,0	2,619	14,855	0,0
9/ 6	12,542	0,080	89,324	89,066	0,0	2,100	0,005	0,0
9/ 7	15,080	0,066	89,342	91,809	0,0	0,018	2,743	0,0
9/ 8	16,641	0,060	93,710	92,188	0,0	4,368	0,379	0,0
9/ 9	19,819	0,050	93,759	93,047	0,0	0,049	0,859	0,0
9/ 10	21,136	0,047	94,411	94,873	0,0	0,652	1,826	0,0
9/ 11	22,220	0,045	94,885	95,012	0,0	0,474	0,140	0,0
9/ 12	24,561	0,041	94,886	95,035	0,0	0,000	0,023	0,0

Figura 73: Periodo y masas participativas – Robot Structural Analysis Professional.

*Fuente: Elaboración propia.*

	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (t)	Total masas UY (t)	Total masas UZ (t)
<b>MAX</b>	32,481	0,599	96,881	97,337	0,0	47,304	53,406	0,0	1414,542	1414,545	0,0
Caso	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Modo	21	1	21	21	1	1	2	1	1	1	1
<b>MIN</b>	1,669	0,031	47,304	15,733	0,0	0,000	0,000	0,0	1414,542	1414,545	0,0
Caso	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Modo	1	21	1	1	1	20	19	1	1	1	1

Figura 74: Porcentaje de masas participativas – Robot Structural Analysis Professional.

*Fuente: Elaboración propia.*

▪ **Verificación de derivas de entrepiso**

El límite de distorsión de entrepiso para concreto armado de acuerdo a la Tabla N° 11 de la Norma E.030 es de 0.007. En base al artículo 28. Determinación de los desplazamientos laterales, tendremos que multiplicar por 0.85R a los resultados obtenidos del análisis, porque la estructura es irregular, lo cual se encuentra multiplicado dentro del programa.

Tabla 21: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional – Derivas en X.

Story	Location (m)	d UX	d UY
Azotea	23,08	0,0020	0,0020
N8	22,18	0,0030	0,0020
N7	19,14	0,0050	0,0030
N6	16,10	0,0050	0,0030
N5	13,06	0,0050	0,0030
N4	10,02	0,0050	0,0030
N3	6,98	0,0040	0,0020
N2	3,94	0,0030	0,0020
PB	0,90	0,0010	0,0010

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Derivas de entrepiso de la estructura utilizando Robot Structural Analysis Professional – Derivas en Y.

STORY	Location (m)	d UX	d UY
AZOTEA	0,003	0,0030	0,0030
N8	0,004	0,0020	0,0040
N7	0,004	0,0030	0,0040
N6	0,004	0,0030	0,0040
N5	0,004	0,0030	0,0040
N4	0,004	0,0030	0,0040
N3	0,003	0,0020	0,0030
N2	0,002	0,0020	0,0020
PB	0,001	0,0010	0,0010

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.6.1. Comparación de la respuesta estructural

#### ▪ Comparación del periodo fundamental de vibración

Tabla 23: Comparación del periodo fundamental de vibración

Software	Periodo (s)	Nº modo llega al 90%
Etabs	0.577	8
Robot Structural Analysis Professional	0.599	8
Variación (%)	3,813	

Fuente: Elaboración propia.

#### ▪ Comparación del cortante basal estático y dinámico

Tabla 24: Comparación del cortante basal estático y dinámico

Software	Cortante estático (Tn)	Cortante dinámico (Tn)
Etabs	250.530	185.230
Robot Structural Analysis Professional	254.25	173.78
Variación (%)	1.485	6,182

Fuente: Elaboración propia.

#### ▪ Comparación de las derivas de entrepiso

Tabla 25: Comparación de la distorsión de entrepiso en Azotea

Software	Deriva en x	Deriva en y
Etabs	0.0025	0.0037
Robot Structural Analysis Professional	0.0024	0.0035
Variación (%)	4,000	5,405

Fuente: Elaboración propia.

▪ **Diseño y cálculo de elementos estructurales**

- **Diseño y cálculo de acero de elementos a compresión y momento biaxial**

*Tabla 26: Comparación del diagrama de interacción en 0 grados de CI*

Cálculo	Momento M3 (Tn-m)	P (Tn)
Manual	69.415	408.911
Etabs	68.758	408.902
Robot Structural Analysis Professional (aprox)	68	408
Variación (%)	0,221	1,102

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Diseño y cálculo de acero de elementos sometidos a flexión y cortante unidireccional**

*Tabla 27: Comparación de momentos y cortantes*

Cálculo	Momento M3 (Tn-m)		Cortante V2 (Tn)	
	Mn (+)	Mn (-)	Vu (max)	Vu (min)
	x=3.02m	x=0.35m	x=5.00m	x=0.50m
Etabs	7.33	-10.66	11.18	-10.69
Robot Structural Analysis Professional	7.25	-10.95	10.61	-10.54
Variación (%)	1,09	2,72	5,10	1,40

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 28: Comparación de áreas de acero*

Cálculo	Área de acero (cm <sup>2</sup> ) por flexión en 3 puntos x=0.40m		
	Extremo izquierdo	Centro	Extremo derecho
	Etabs	7.98	6.14
Robot Structural Analysis Professional	7.97	6.25	7.80
Variación (%)	0,13	1,76	8,02

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.6.2. Presentación de planos

El dibujo y modelado de la estructura para obtener los planos se realizará con los Softwares Autocad Structural Detailing 2015 y Revit 2022, para posteriormente mencionar alguna de las ventajas de uno con respecto al otro en base a lo que se puede observar de manera gráfica. Los planos estructurales de cada uno de los elementos estructurales, tomando en consideración algunas vistas 3D en el caso del Software Revit se puede encontrar en el ANEXO 4.

### 3.4.6.3. Comparación de presentación de planos a diseño final

- **Calidad y cantidad de planos finales**

*Tabla 29: Calidad y cantidad de planos a diseño final*

Software	Calidad	Cantidad
Autocad Structural Detailing	9/10 pulcro	05
Revit	9/10 pulcro	08

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Tiempo de realización**

*Tabla 30: Tiempo de realización de planos a diseño final*

Software	Tiempo aproximado en horas
Autocad Structural Detailing	60
Revit	100

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Visualización 3D de la estructura**

*Tabla 31: Visualización 3D de la estructura*

Software	Vistas 3D
Autocad Structural Detailing	Ninguno
Revit	1 plano (13 detalles de uniones 3D)

*Fuente: Elaboración propia.*



### 3.4.6.4. Metrados

Para la realización de los metrados se utilizará hojas de Excel; así como, los softwares Autocad Structural Detailing y Revit. Considerando que solo se realizará el metrado de concreto y acero de los elementos estructurales (Vigas, columnas, placas, losas de piso y losa de fundación).

#### ▪ Metrados con Excel y Autocad Structural Detailing

Se realizará el metrado de concreto con Excel de manera manual y del acero de refuerzo con el Software Autocad Structural Detailing.

Tabla 32: Metrados resumen de concreto de manera manual - Excel

Metrados resumen de concreto - Excel			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Total
01	CONCRETO	m3	<b>513,969</b>
01.01	Vigas	m3	113,710
01.02	Columnas	m3	38,830
01.03	Placas	m3	137,730
01.04	Losas	m3	108,289
01.05	Losa de fundación	m3	115,410

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: Metrados de acero de refuerzo – Autocad Structural Detailing

Metrados de acero de refuerzo - Autocad Structural Detailing							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Longitudes por Ø (m)					
		1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"
02	ACERO DE REF.						
02.01	Vigas		7265,04	1372,04	3967,8	1282,45	372,5
02.02	Columnas		3545,720			3852,600	
02.03	Placas		7518,600	2902,800	3838,500		1687,500
02.04	Losas	12182,88	14813,4	80,000			
02.05	Losa de fundación				5974,620	709,500	
	<b>Long. Total por Ø</b>	12182,880	33142,760	4354,840	13780,920	5844,550	2060,000
	<b>Peso nominal (kg/m)</b>	0,222	0,560	0,994	1,552	2,235	3,973
	<b>Peso por Ø (kg)</b>	2704,599	18559,946	4328,711	21387,988	13062,569	8184,380
	<b>Peso Total (kg)</b>				<b>68228,193</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Metrados resumen de acero de refuerzo – Autocad Structural Detailing

Metrados resumen de acero - Autocad Structural Detailing			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Total
02	ACERO DE REFUERZO	kg	<b>68228,193</b>
02.01	Vigas	kg	15936,474
02.02	Columnas	kg	10596,164
02.03	Placas	kg	19757,589
02.04	Losas	kg	11079,623
02.05	Losa de fundación	kg	10858,343

*Fuente: Elaboración propia.*

▪ **Metrados con Revit**

Se realizará los metrados de concreto con el software Revit; así como, el metrado de acero de refuerzo.

Tabla 35: Metrados resumen de concreto – Revit

Metrados resumen de concreto - Revit			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Total
01	CONCRETO	m3	<b>518,080</b>
01.01	Vigas	m3	107,520
01.02	Columnas	m3	40,310
01.03	Placas	m3	143,540
01.04	Losas	m3	105,770
01.05	Losa de fundación	m3	120,940

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 36: Metrados de acero de refuerzo – Revit

Metrados resumen de acero de refuerzo - Revit							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Longitudes por Ø (m)					
		1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"
02	ACERO DE REF.						
02.01	Vigas		7183,760	1518,010	3974,350	1320,260	357,700
02.02	Columnas		3568,610			3649,990	
02.03	Placas		7969,070	3683,020	3670,632		1122,000
02.04	Losas	11099,550	14087,124	83,030			
02.05	Losa de fundación				6244,050	737,370	
	<b>Long. Total por Ø</b>	11099,550	32808,564	5284,060	13889,032	5707,620	1479,700
	<b>Peso nominal (kg/m)</b>	0,222	0,560	0,994	1,552	2,235	3,973
	<b>Peso por Ø (kg)</b>	2464,100	18372,796	5252,356	21555,778	12756,531	5878,848
	<b>Peso Total (kg)</b>				<b>66280,408</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Metrados resumen de acero de refuerzo – Revit

Metrados resumen de acero - Revit			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Total
02	ACERO DE REFUERZO	kg	<b>66280,408</b>
02.01	Vigas	kg	16071,922
02.02	Columnas	kg	10156,149
02.03	Placas	kg	18278,128
02.04	Losas	kg	10435,421
02.05	Losa de fundación	kg	11338,788

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.6.5. Comparación de metrados de concreto y acero

Tabla 38: Comparación de metrados de las partidas de concreto

Variación de metrados de las partidas de concreto					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Excel	Revit	Variación (%)
01	CONCRETO	m3	<b>513,969</b>	<b>518,080</b>	<b>-0,800</b>
01.01	Vigas	m3	113,710	107,520	5,444
01.02	Columnas	m3	38,830	40,310	-3,811
01.03	Placas	m3	137,730	143,540	-4,218
01.04	Losas	m3	108,289	105,770	2,326
01.05	Losa de fundación	m3	115,410	120,940	-4,792

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: Comparación de metrados de las partidas de acero de refuerzo

Variación de metrados de las partidas de acero de refuerzo					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Detailing	Revit	Variación (%)
02	ACERO DE REFUERZO	kg	<b>68228,193</b>	<b>66280,408</b>	<b>2,855</b>
02.01	Vigas	kg	15936,474	16071,922	-0,850
02.02	Columnas	kg	10596,164	10156,149	4,153
02.03	Placas	kg	19757,589	18278,128	7,488
02.04	Losas	kg	11079,623	10435,421	5,814
02.05	Losa de fundación	kg	10858,343	11338,788	-4,425

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.6.6. Costos de las partidas de concreto y acero

Para la realización de los costos de las partidas de concreto y acero utilizando las distintas metodologías, tanto la tradicional como la BIM se utilizará Precios Unitarios actualizados que se encuentran en el ANEXO 4.

#### ▪ Costos con los metrados de Excel y Autocad Structural Detailing

Tabla 40: Costos de las partidas de concreto - Excel

Costos de las partidas de concreto - Excel				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Metrado	P.U. (S/.)	Costo (S/.)
01	CONCRETO			<b>279565,383</b>
01.01	Vigas	113,710	603,373	68609,588
01.02	Columnas	38,830	670,874	26050,031
01.03	Placas	137,730	670,874	92399,453
01.04	Losas	108,289	589,873	63876,790
01.05	Losa de fundación	115,410	248,068	28629,521

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Costos de las partidas de acero de refuerzo – Autocad Structural Detailing

Costos de las partidas de acero - Autocad Structural Detailing				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Metrado	P.U. (S/.)	Costo (S/.)
02	ACERO DE REFUERZO			<b>483943,515</b>
02.01	Vigas	15936,474	6,992	111427,635
02.02	Columnas	10596,164	6,992	74088,253
02.03	Placas	19757,589	6,992	138144,823
02.04	Losas	11079,623	7,484	82917,242
02.05	Losa de fundación	10858,343	7,125	77365,562

Fuente: Elaboración propia.

▪ **Costos con los metrados de Revit**

*Tabla 42: Costos de las partidas de concreto - Revit*

Costos de las partidas de concreto - Revit				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Metrado	P.U. (S/.)	Costo (S/.)
01	CONCRETO			<b>280607,096</b>
01.01	Vigas	107,520	603,373	64874,707
01.02	Columnas	40,310	670,874	27042,924
01.03	Placas	143,540	670,874	96297,230
01.04	Losas	105,770	589,873	62390,899
01.05	Losa de fundación	120,940	248,068	30001,336

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 43: Costos de las partidas de acero de refuerzo – Revit*

Costos de las partidas de acero - Revit				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Metrado	P.U. (S/.)	Costo (S/.)
02	ACERO DE REFUERZO			<b>470071,724</b>
02.01	Vigas	16071,922	6,992	112374,685
02.02	Columnas	10156,149	6,992	71011,674
02.03	Placas	18278,128	6,992	127800,451
02.04	Losas	10435,421	7,484	78096,189
02.05	Losa de fundación	11338,788	7,125	80788,725

*Fuente: Elaboración propia.*

3.4.6.7. Comparación de costos de concreto y acero

*Tabla 44: Comparación de costos de las partidas de concreto*

Variación de costos de las partidas de concreto				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Excel	Revit	Variación (%)
01	CONCRETO	<b>S/ 279.565,383</b>	<b>S/ 280.607,10</b>	<b>-0,373</b>
01.01	Vigas	S/ 68.609,588	S/ 64.874,71	5,444
01.02	Columnas	S/ 26.050,031	S/ 27.042,92	-3,811
01.03	Placas	S/ 92.399,453	S/ 96.297,23	-4,218
01.04	Losas	S/ 63.876,790	S/ 62.390,90	2,326
01.05	Losa de fundación	S/ 28.629,521	S/ 30.001,34	-4,792

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 45: Comparación de costos de las partidas de acero de refuerzo

Variación de costos de las partidas de acero de refuerzo				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Detailing	Revit	Variación (%)
02	ACERO DE REFUERZO	S/ 483.943,515	S/ 470.071,72	2,866
02.01	Vigas	S/ 111.427,635	S/ 112.374,69	-0,850
02.02	Columnas	S/ 74.088,253	S/ 71.011,67	4,153
02.03	Placas	S/ 138.144,823	S/ 127.800,45	7,488
02.04	Losas	S/ 82.917,242	S/ 78.096,19	5,814
02.05	Losa de fundación	S/ 77.365,562	S/ 80.788,73	-4,425

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.6.8. Ventajas y desventajas de Robot Structural Analysis Professional frente a Etabs

Para evaluar las ventajas y desventajas del uso de los softwares de cálculo estructural como Etabs y Robot Structural Analysis Professional se ha considerado la experiencia propia durante el diseño estructural; así como, el uso de Autocad Structural Detailing y Revit para la documentación de planos. También, consideramos algunos beneficios encontrados en bibliografías.

Tabla 46: Ventajas y desventajas de Robot Structural Analysis Professional frente a ETABS

Softwares	ETABS	Robot Structural Analysis Professional
Facilidad de introducción de geometrías complejas	9/10	9/10
Facilidad de introducción de cargas	9/10	9/10
Facilidad de verificación de resultados	9/10	7/10
Facilidad de verificación de resultados en gráficos	9/10	6/10
Facilidad de manejo de la interfaz	9/10	7/10
Presentación de dibujos de elementos estructurales	5/10	4/10
Visualización 2D del modelo físico	9/10	9/10
Visualización 3D del modelo físico	9/10	9/10
Visualización 3D de la armadura al diseñar	2/10	8/10

Facilidad de obtención de metrados aproximados de concreto	9/10	7/10
Facilidad de exportación de modelo físico y armadura tipo hacia software Revit	5/10	7/10
Licencia gratuita (Estudiante)	-	9/10
Suma de puntos en beneficio	84	91
Variación (%)		7,69

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 47: Ventajas y desventajas de Autocad Structural Detailing frente a Revit*

Softwares	ASD	REVIT
Evaluación de la facilidad de introducción de geometrías complejas	7/10	9/10
Evaluación de la facilidad de introducción de cargas	-	9/10
Evaluación de la facilidad de manejo de la interfaz	9/10	8/10
Presentación de dibujos de elementos estructurales	10/10	10/10
Presentación de planos en Autocad	10/10	10/10
Presentación de planos en Revit	-	10/10
Visualización 2D	9/10	9/10
Visualización 3D	-	9/10
Calidad de planos	9/10	9/10
Automatización de planos en base a lo modelado (Exportación de modelo físico y armadura a Revit)	4/10	7/10
Automatización de metrados de concreto	-	9/10
Automatización de metrados de acero de refuerzo	9/10	8/10
Fácil interpretación de los planos	9/10	9/10
Verificación de detalles en 3D	-	9/10

Trabajo colaborativo y vinculación del modelo con otras especialidades	-	9/10
Reducción de errores	7/10	9/10
Corrección automática de un detalle en todas las tablas y planos	9/10	9/10
Corrección automática de metrados	9/10	9/10
Optimización de tiempo	7/10	9/10
Licencia gratuita (Estudiante)	-	9/10
Suma de puntos en beneficio	82	108
Variación (%)	24,07	

*Fuente: Elaboración propia.*

Resaltando que Revit también presenta algunas herramientas para el modelo analítico estructural en donde se pudo notar que debemos tener mucho cuidado con el dibujo de los elementos barra y panel para que no exista ningún elemento que no esté correctamente unido y alineado, para lo cual para la alineación es mejor hacer uso de las grillas y posteriormente alinear en todos los pisos. Este modelo es exportado hacia Robot, en donde se finaliza el diseño estructural con la colocación de la armadura de los elementos tipo de vigas, columnas, losas y placas que se intenta exportar de vuelta hacia Revit teniendo solamente un pequeño avance del modelado de acero, porque la armadura de losas y muros no puede ser exportada. Tomando en cuenta, que luego de esto debemos realizar algunas modificaciones que llevan también mucho tiempo. Sin embargo, el modelo físico se exporta adecuadamente, ahorrando un tiempo en dibujar nuevamente la estructura y teniendo una visualización 3D de la misma. Por otro lado, Revit nos ha permitido vincular la visualización 2D y 3D del modelado de la arquitectura que se obtuvo por la exportación del modelo de Archicad hacia Revit.

La visualización 3D y automatización de metrados son de las grandes ventajas que se presentará posteriormente de usar Robot Structural Analysis Professional, con la ayuda de Revit. Así como, el posterior trabajo colaborativo que podrá hacer la especialidad de estructuras con otras especialidades dentro del proyecto. También, reducimos errores y corregimos automáticamente los planos con el modelado 3D. Por tanto, optimizaremos tiempo y reduciremos errores en construcción al tener mayor exactitud de metrados de concreto y acero.



A continuación, se presenta gráficamente la cantidad de puntos en beneficio que tenemos al usar softwares con una metodología más tradicional (Etabs y ASD) y softwares aplicando metodología BIM (Robot Structural Analysis Professional y Revit).

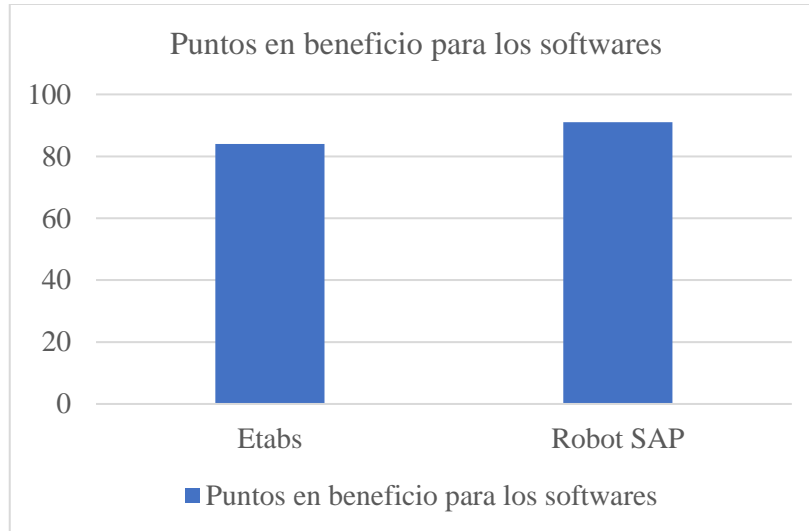


Figura 75: Puntos en beneficio para los softwares de cálculo Etabs y Robot Structural Analysis Professional

*Fuente: Elaboración propia.*

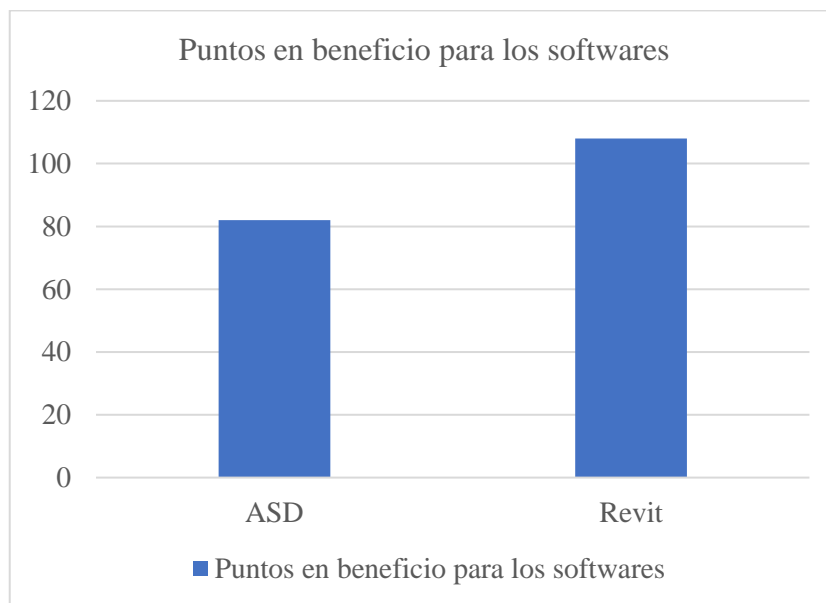
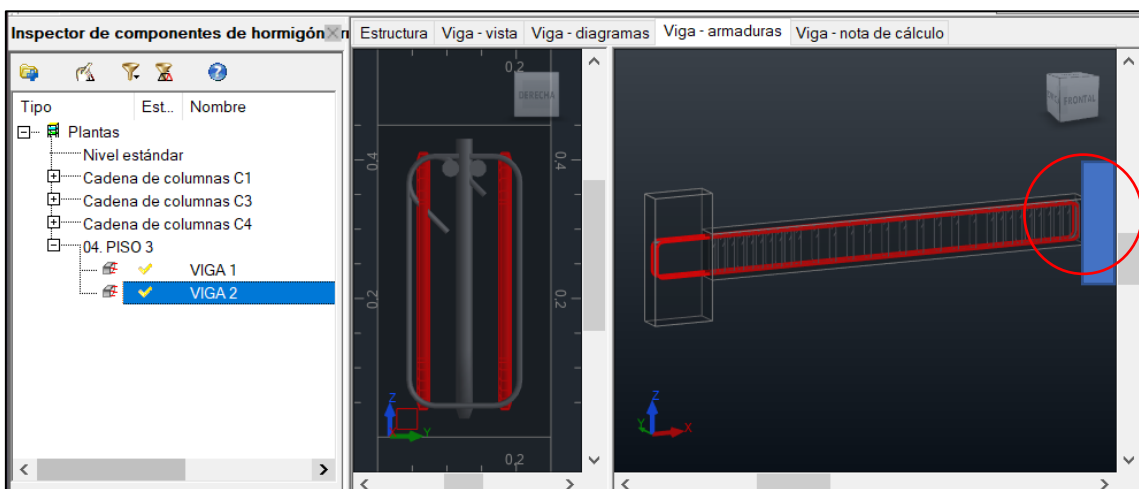


Figura 76: Puntos en beneficio para los softwares ASD y Revit

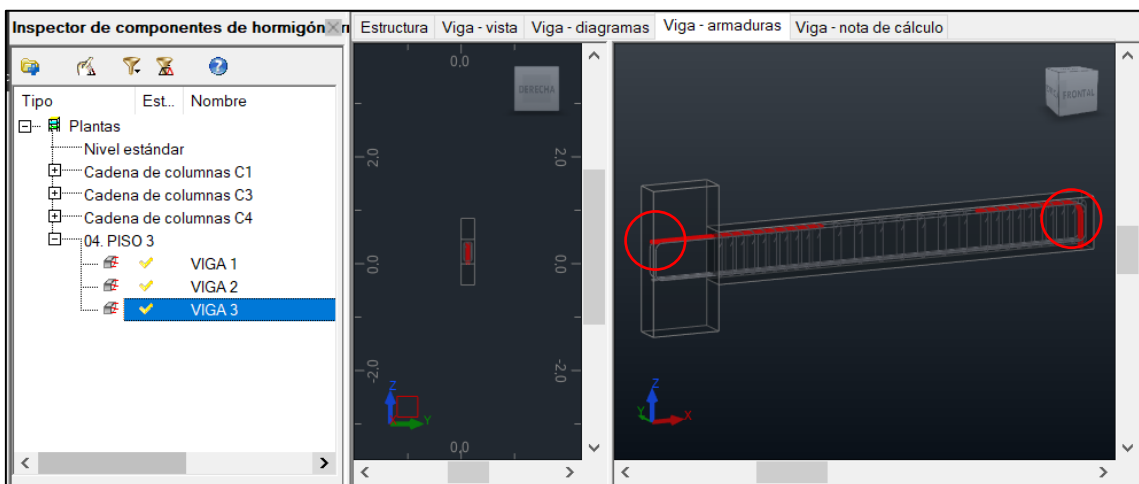
*Fuente: Elaboración propia.*

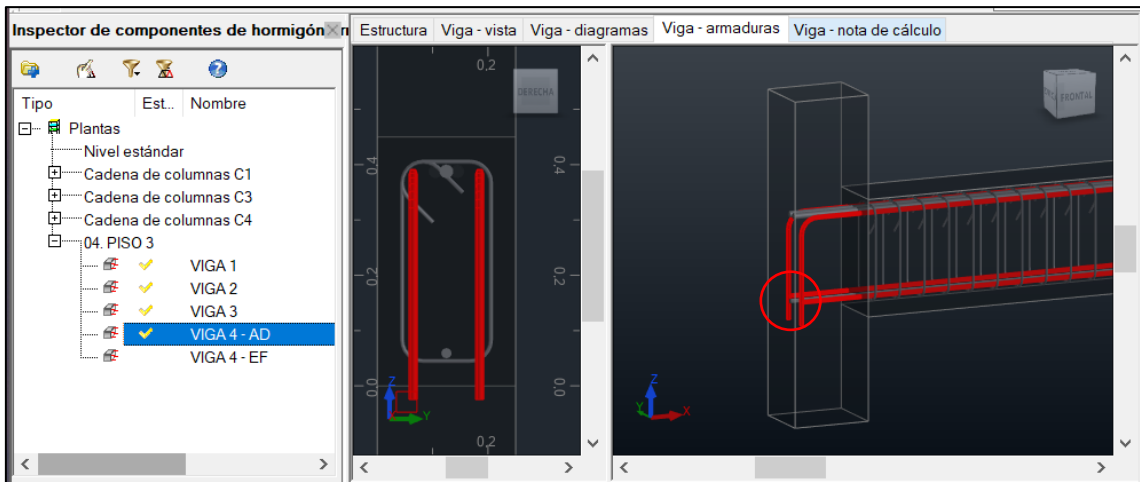
Así mismo, es de gran importancia mencionar que de la ventaja de la automatización de planos en base a lo modelado. Se tuvo la expectativa de realizar la exportación del modelo físico completo y de la armadura. Cabe decir que, con el modelo físico no se tuvo ningún problema; pero para la exportación de armadura solo debemos exportar armadura de elementos tipo de columnas y vigas, representando menos del 50% de la armadura. Para posteriormente, realizar algunas copias y modificaciones. Tomando en cuenta algunas consideraciones representadas en las siguientes capturas.

1. La longitud del acero longitudinal no va hasta la columna.



2. La colocación de ganchos la toma el programa de una manera. Si colocamos con ganchos, se colocarían en ambos extremos del acero superior adicional.

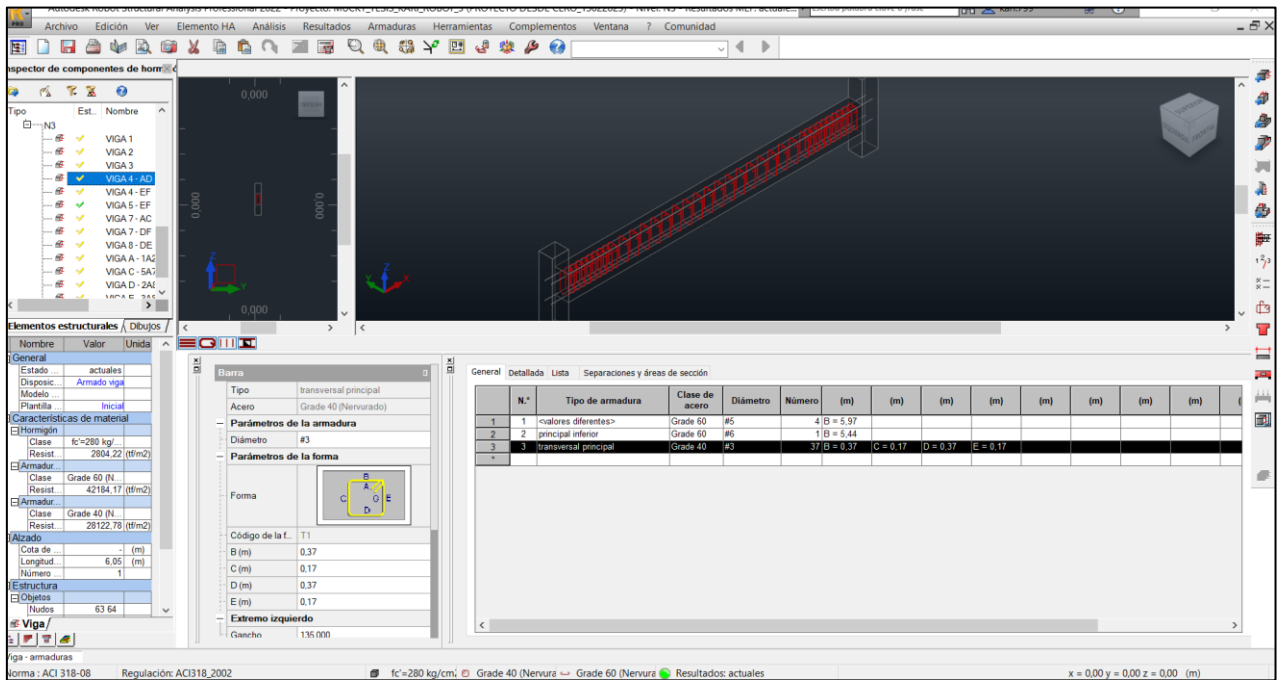




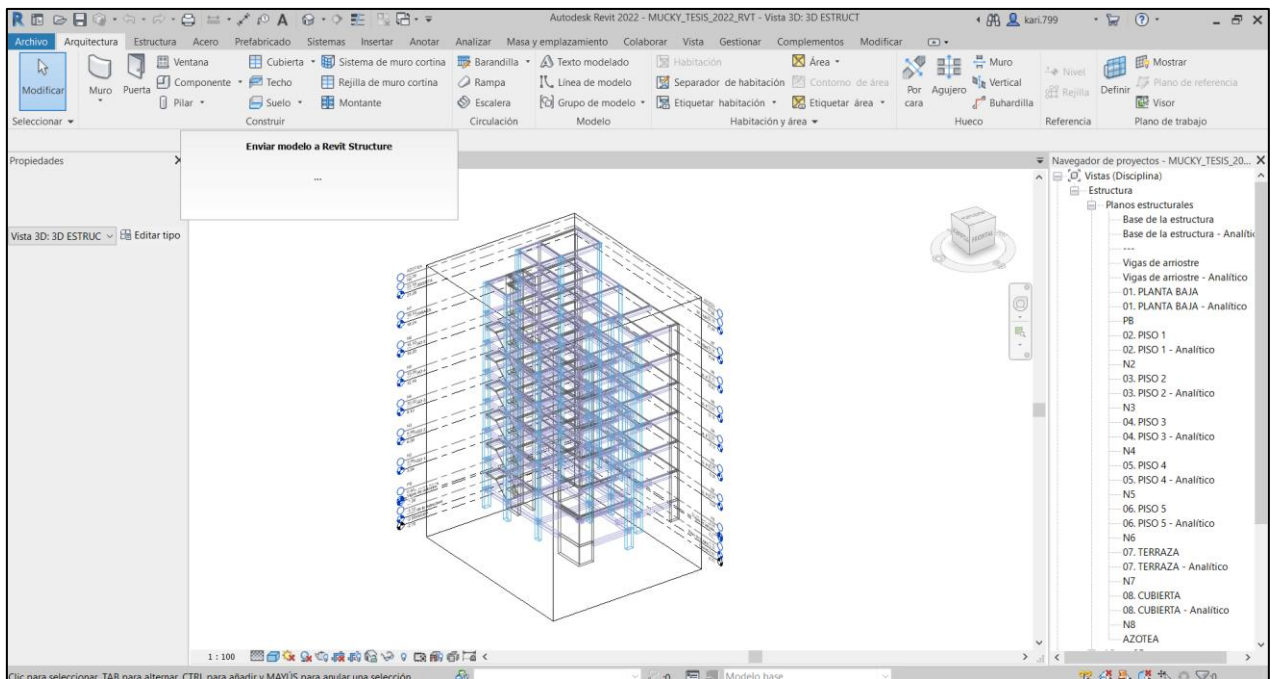
3. Armadura de columnas tipo C1, C3 y C4 para exportación de manera correcta.

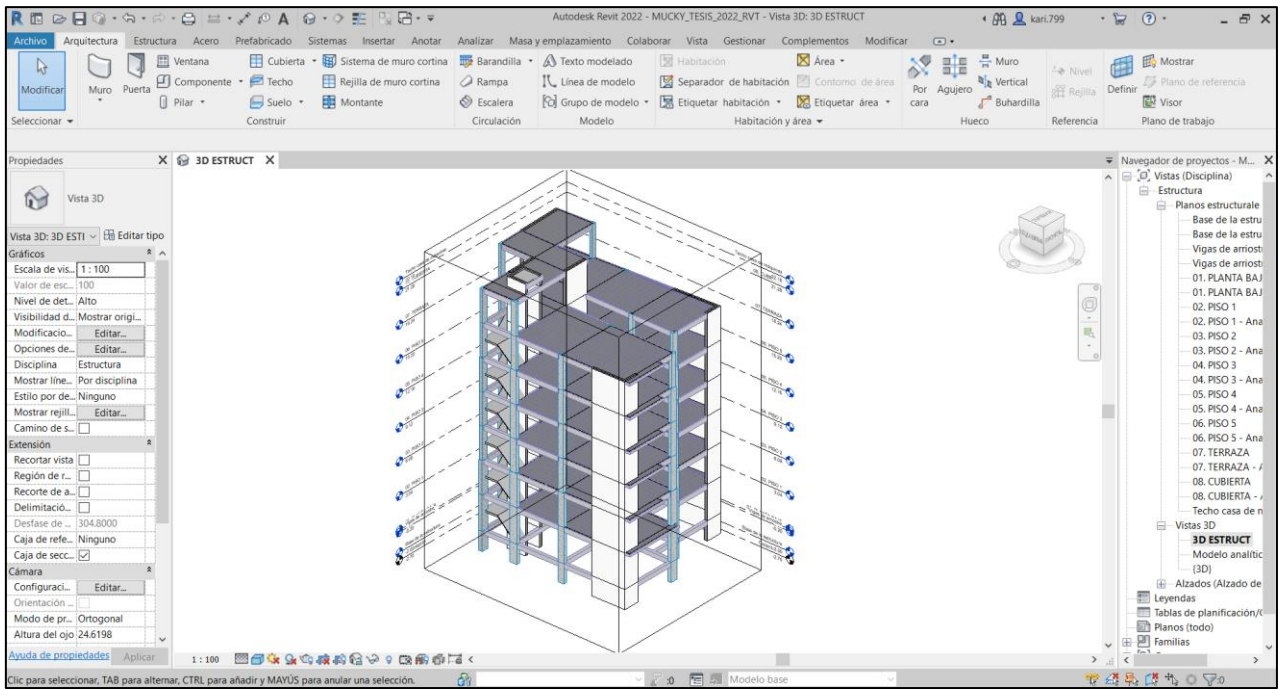
N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro	Número	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	1	principal	Grade 60	#6	4	B = 2.77	C = 0.25	D = 0.87	H = 0.16			
2	2	principal	Grade 60	#6	14	L1 = 2.77	L2 = 0.22	L3 = 0.86				
3	3	transversal	Grade 60	#3	22	B = 0.52	C = 0.27	D = 0.62	E = 0.27			
4	4	transversal	Grade 60	#3	22	B = 0.27						

#### 4. Armadura de vigas tipo del piso 2 para exportación de manera correcta.

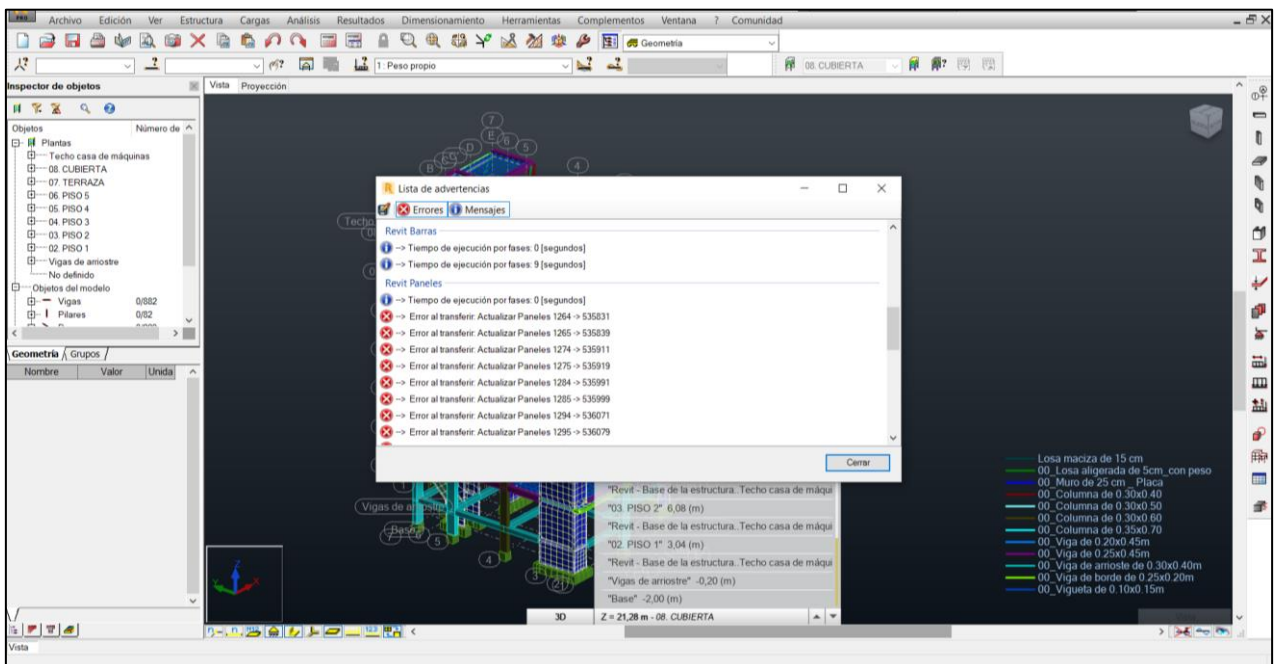


#### 5. El modelo físico se exporta adecuadamente.

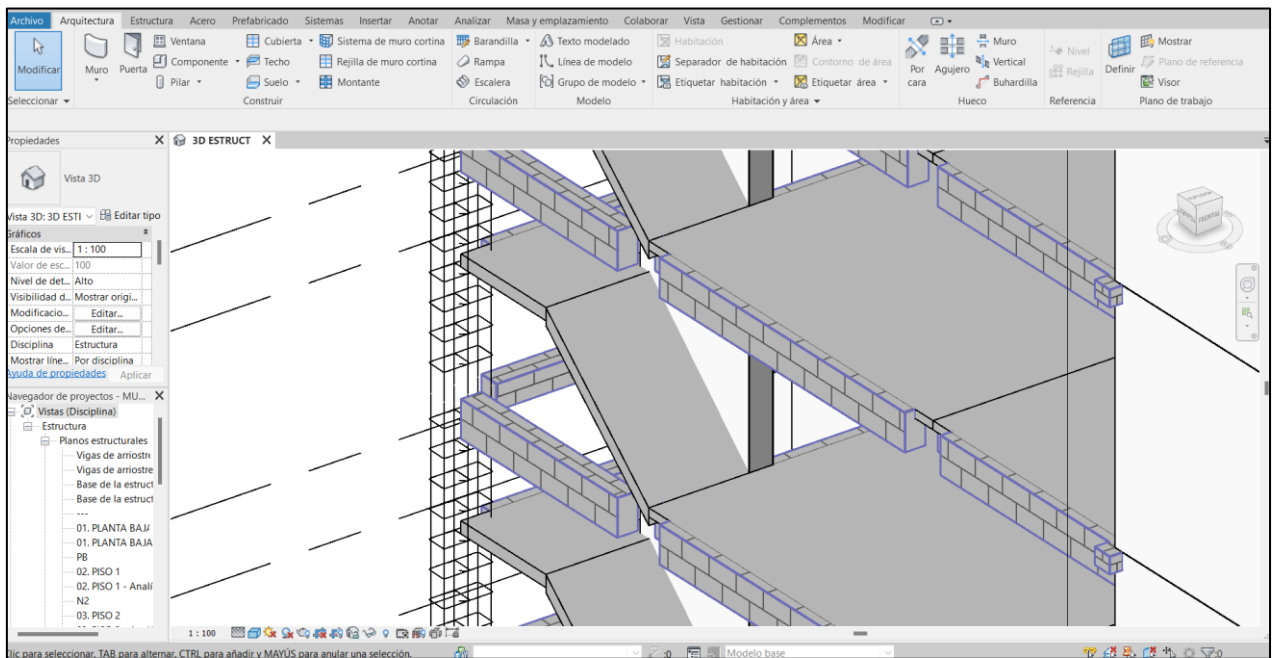
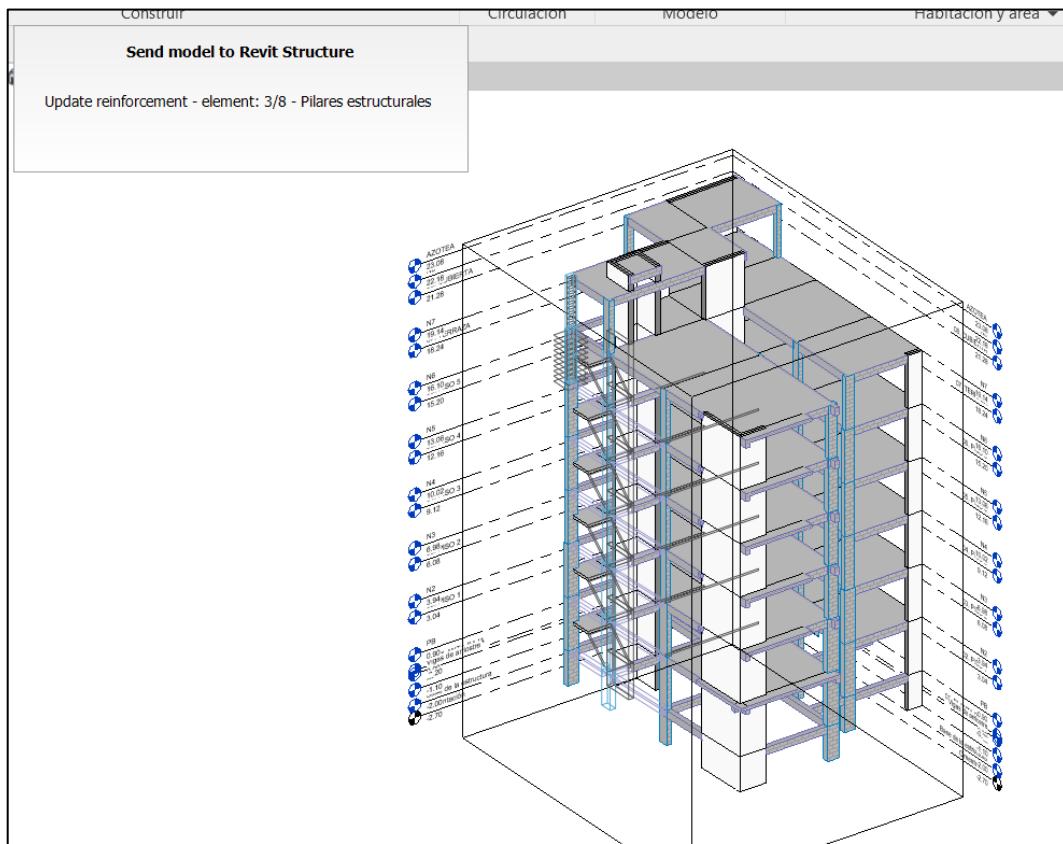


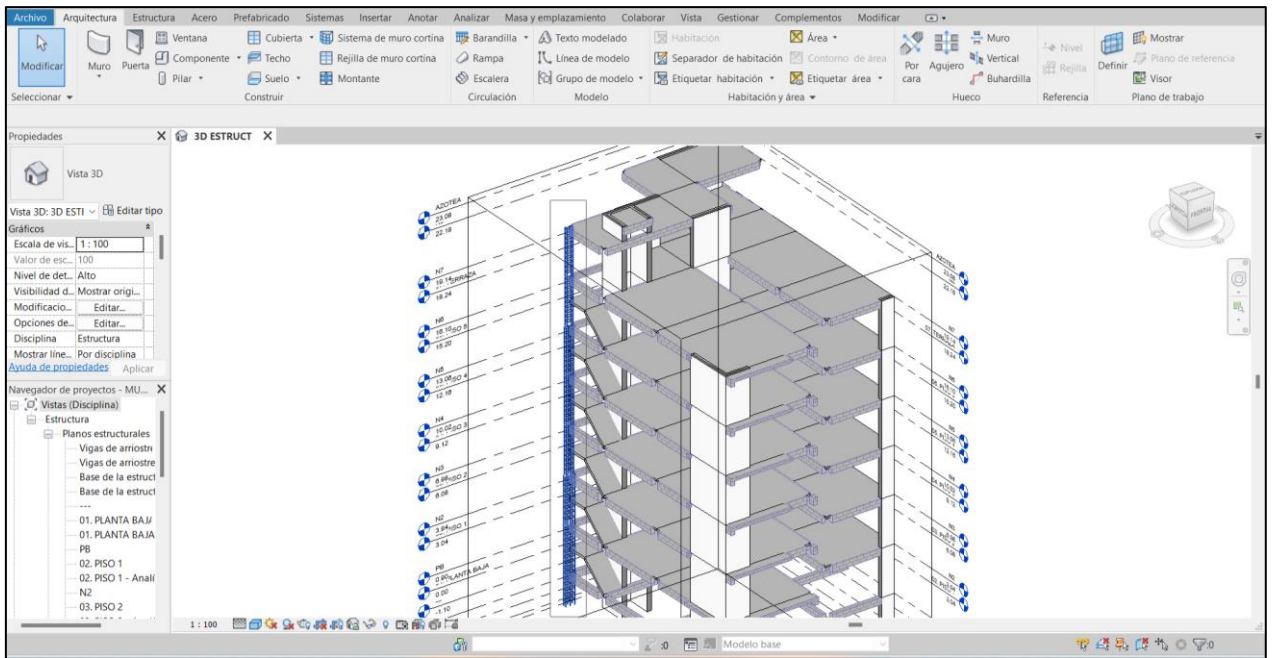


6. Para la exportación de la armadura de muros y losas existen algunos problemas, no se exporta la armadura.

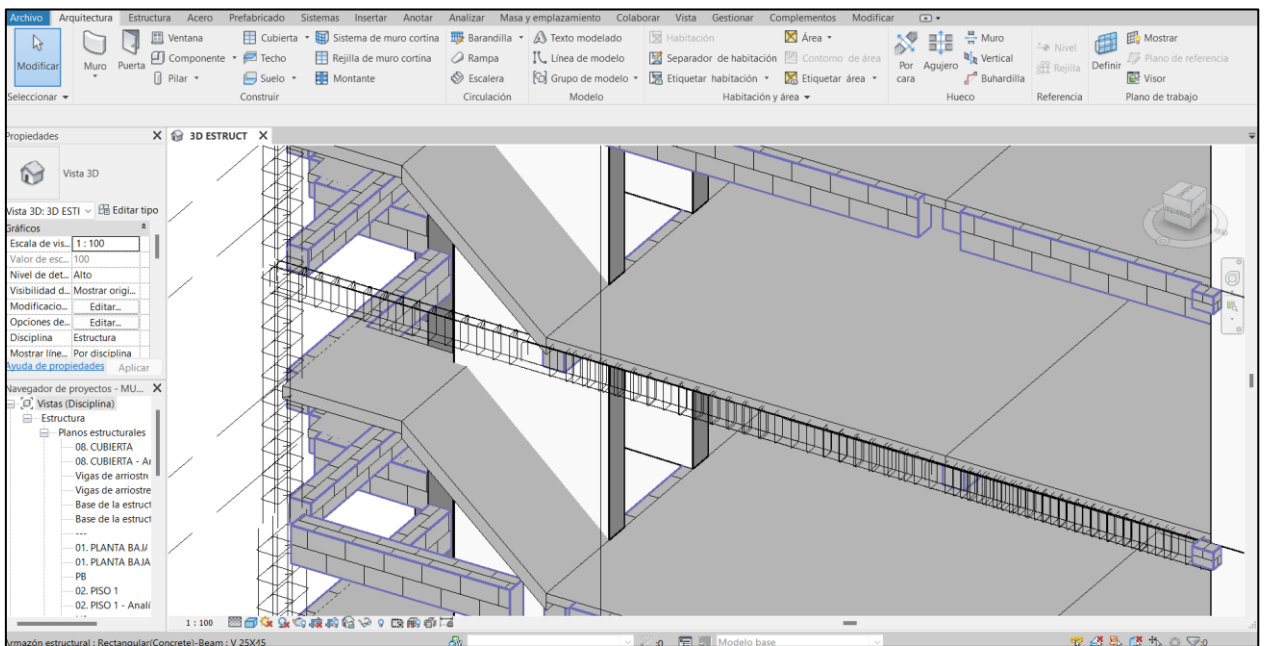


## 7. Armadura de elementos tipo de columna se exporta adecuadamente.





8. Armadura de elementos tipo de columna se exporta adecuadamente.



## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se indicó previamente en los objetivos de la presente investigación, se tiene como finalidad comparar la respuesta estructural obtenida por los softwares Etabs y Robot Structural Analysis Professional. También, comparar los planos a diseño final y el cálculo de metrados realizados con los softwares Autocad Structural Detailing y Revit. Además de evaluar el desempeño global determinando las ventajas y desventajas de utilizar un software más tradicional y un software BIM.

### 4.1. COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL

Al comparar la respuesta estructural; se consideró el periodo fundamental de vibración, la cortante basal estática, la cortante basal dinámica, las derivas de entrepiso y, por último, los resultados en el cálculo de elementos estructurales. Teniendo en cuenta que, ambos softwares deberían mostrar resultados muy similares, ya que las propiedades y configuraciones que se realizaron en cada software, fueron las mismas. En la Tabla 23, se determinó que el periodo que nos brinda Etabs a comparación del que nos brinda Robot Structural Analysis Professional obtuvo una variación del 3.813%, la cual se encuentra dentro del rango esperado. Así mismo, ambos softwares llegaron a más del 90% de la masa participativa en el octavo modo. Para este dato, analizamos que el tiempo en correr el software para ejecutar el análisis modal es mayor en Robot; más aún, si es que hay algunos avisos en la verificación del modelo analítico debido a la exportación del modelo completo de Revit a Robot. Por lo tanto, lo propio es que no exista ninguna advertencia ni aviso al realizar esta verificación para hacer el proceso fluido y sin problemas.

En la Tabla 24, se mostró que la variación al calcular el cortante estático es menor en un 4.697% al determinar el cortante dinámico. El cortante estático tiende a ser mayor en Robot Structural Analysis Professional; sin embargo, al introducir las cargas del sismo, el cortante dinámico es mayor en Etabs. En este caso, la cortante dinámica se escala en base a la estática; por lo cual, esto no causa ningún problema, pues la variación en el cálculo del cortante estático en cada software es menor al 1.5%. También, en la Tabla 25, se señaló que el cálculo de las derivas tanto para x como para y, tienen el mismo valor hasta la milésima cifra, teniendo en promedio una variación de 4.703% entre lo que calculó cada software. Es decir,



la diferencia de desplazamientos laterales de un piso a otro dividido entre su altura, tiende a ser la misma en el software y calculado manualmente. Para la visualización de las derivas en forma gráfica, Etabs tiene una opción de “Story Response Plots”, añadiendo que también puedes ver de forma gráfica no solo las derivas, sino todas las fuerzas de sismo creadas en el software, lo cual se ve mayormente en tablas en el software Robot Structural Analysis Professional.

Por otro lado, al ver los resultados del diseño y cálculo de elementos estructurales, observamos en la Tabla 26 los momentos y la carga axial que mostraría el diagrama de interacción de un elemento a compresión y momento biaxial. La variación del cálculo manual y en softwares es bastante despreciable; sin embargo, podemos destacar que Etabs muestra tablas para cada 90° alrededor del eje del diagrama, así como, su respectivo diagrama cuando van cambiando los valores. En Robot Structural Analysis Professional, esto se muestra en tablas en base a las combinaciones creadas, pero no se puede observar los valores precisos de momentos y cargas axiales en tablas para cada 90°, sino solo el dibujo del diagrama.

En la Tabla 27, se indicó que los valores de momento y cortante en elementos sometidos a flexión y cortante unidireccional tienen una variación mínima; sin embargo, el cortante máximo tiende a variar más, pero está dentro del rango aceptable. En este punto, tenemos que tomar en cuenta en qué punto del elemento estamos verificando el valor. Robot Structural Analysis Professional nos muestra valores cada cierto tramo específico y en Etabs podemos colocar a qué distancia queremos observar el valor o que nos muestre los valores máximos y mínimos. Además, el cálculo de las áreas de acero a flexión en tres puntos del elemento que se muestran en la Tabla 28 tienen en promedio una variación del 3.30%, valores que nos servirán para determinar cuántas varillas de acero y de qué diámetro se necesita para cumplir con los requerimientos de diseño después de aplicar los parámetros de diseño necesario en cada norma y en base a la norma ACI 318 -19.

#### 4.2. COMPARACIÓN DE PRESENTACIÓN DE PLANOS A DISEÑO FINAL

Para realizar los planos a diseño final se consideró la calidad, cantidad, tiempo de realización de los planos y la visualización 3D de la estructura. Considerando los detalles 3D de acero que nos permite ver el software Revit en base a lo modelado y unas tablas resumidas por tipo de elementos para el cálculo del metrado de concreto y acero, obtuvimos unos planos

más en este software; sin embargo, la calidad de planos con ambos softwares es bastante similar. Tenemos que resaltar que, si bien es cierto, la visualización 3D es una de las grandes ventajas de Revit, el tiempo de modelado que se invierte en éste es notablemente mayor que en Autocad Structural Detailing. Por lo tanto, se debe evaluar el nivel de detalle requerido por cada proyecto y sacar el máximo provecho de cada uno de los softwares por si solo.

#### 4.3. COMPARACIÓN DE METRADOS DE CONCRETO Y ACERO

En el cálculo del metrado de las partidas de concreto y acero de refuerzo; pudimos observar que, en este último, la variación es mayor. Considerando que el metrado de concreto se realizó manualmente y en el software Revit; la máxima variación que se obtuvo en el metrado de concreto fue en las vigas, pero es menor al 5.5%. Teniendo una variación total de menos del 1%, lo cual es realmente mínimo. Por otro lado, el metrado de acero de refuerzo que realiza Autocad Structural Detailing se podría decir que es similar a Revit, pero en dimensión 2D, porque va a cuantificar lo que dibujemos. En este caso, se tiene la mayor variación en los elementos de placas; pero considerando una variación general por partida, tenemos un valor menor al 3%.

#### 4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL FRENTE A ETABS

En este caso, lo más adecuado es evaluar ventajas y desventajas entre softwares de cálculo y softwares de modelado. Primero, al evaluar Etabs con Robot Structural Analysis Professional, la diferencia más notable es en la visualización 3D de la armadura al realizar el diseño de los elementos estructurales considerando que podemos dejar que el software coloque la armadura que cumpla con el requerimiento demandado o que también podemos colocar la armadura que nosotros creamos conveniente. Esta misma armadura que se puede visualizar en Robot Structural Analysis Professional es la que se puede exportar al software Revit, considerando que solo exportará la armadura de los elementos tipo de vigas y columnas. En base a esto, podemos deducir que esta sería una de las más grandes ventajas, junto con el uso de una licencia gratuita de estudiante. Por otro lado, la visualización de resultados en general y en gráficos es mucho mejor en Etabs; pues, nos permite tener un mejor entendimiento de estos. Además, el manejo de la interfaz es más controlado y fluido con Etabs; ya que, en Robot Structural Analysis Professional cambia totalmente toda la

ventana y opciones de la misma. Mientras que, en Etabs trabajamos con la misma ventana durante todo el proceso de diseño sismorresistente de la estructura. Por lo tanto, Etabs se desenvuelve de manera muy competente para diseñar edificios evaluando solamente el cálculo estructural. Sin embargo, Robot Structural Analysis Professional resulta ser más ventajoso debido a la vista 3D del acero de refuerzo en los elementos estructurales y su interoperabilidad con Revit.

Por otra parte, Revit al ser una herramienta que logra impulsar BIM presenta claramente varias ventajas frente a Autocad Structural Detailing. Entre las ventajas más resaltantes de Revit están las configuraciones para el modelo analítico, la visualización 3D de la estructura (concreto y acero de refuerzo), la importación de la armadura desde Robot Structural Analysis Professional, la automatización del metrado de concreto y la licencia gratuita de estudiante. Además de que, Revit nos permitirá tener un trabajo colaborativo con otras especialidades para así poder reducir errores y optimizar tiempo. En este caso, se debe considerar los requerimientos del proyecto para la documentación; pues, si no necesita trabajar con BIM, Autocad Detailing Structural es una muy buena opción para trabajar los planos y cuantificación del acero de refuerzo. Sin embargo, debido a lo provechoso que resulta ser el software Revit y la necesidad de la adopción BIM hacia el año 2030 en proyectos según (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021), este software resulta ser la mejor opción.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Ejecutando la respuesta estructural, podemos decir que el uso del software ETABS para el diseño sismorresistente obtiene cálculos ligeramente menores y que el tiempo en correr del software para ejecutar el análisis modal es levemente menor usando ETABS. Así mismo, al realizar la comparación de dichos resultados, obtenemos lo siguiente:
  - Los valores del periodo fundamental tienen una variación de 3.813% y llegan al 90% en el mismo modo en ambos softwares.
  - Los valores de la cortante basal estática varían en 1.485% y de esta con respecto a la cortante basal dinámica, 4.697%. Incluso la cortante estática se verifica correctamente con el peso sísmico y el coeficiente sísmico horizontal.
  - Las derivas en “x” y en “y”, tienen en promedio una variación de 4.703% y cumple con lo establecido en la Norma E.030 sobre la deriva máxima en concreto armado. Es importante destacar también que Etabs nos permite ver de manera gráfica y en tablas estos resultados, a diferencia de Robot Structural Analysis Professional que no muestra mucho en gráficos.
  - En el diseño y cálculo de acero de elementos a compresión y momento biaxial, la variación de la carga axial máxima en el elemento a diseñar es de menos de 1 Tn, teniendo una variación del 1.102%; también pasa lo mismo para el momento, teniendo menos de 1 Tn-m de diferencia con 0.221% de variación. Por lo cual, los diagramas de interacción mostrados por ambos softwares y el calculado manualmente son casi iguales.
  - En el diseño y el cálculo de acero de elementos sometidos a flexión y cortante unidireccional, los momentos y cortantes calculados tienen en promedio una variación de 1.90 % y 3.25% respectivamente. Por último, las áreas de acero calculadas por flexión tienen una variación en promedio de 3.30%. Por lo tanto, no existe una diferencia significativa en la respuesta estructural que muestra ambos softwares.

- Contrastando los planos estructurales a diseño final, obtuvimos más planos (considerando los detalles de uniones 3D) y empleamos más tiempo usando Revit pero con una calidad igual de buena que usando Autocad Structural Detailing.
- Comparando los metrados; podemos concluir que, la variación en la partida de concreto es realmente mínima de 0.8%; por otro lado, la variación en la partida de acero de refuerzo es un poco significativa de 2.86%, pero se encuentra dentro del rango esperado.
- Al realizar la comparación del proyecto estructural de un hotel de 8 niveles podemos deducir que el uso del software ETABS netamente para el cálculo estructural de edificios es más especializado para mostrar resultados más entendibles y con un manejo de la interfaz más sencillo que el uso del software Robot Structural Analysis Professional; sin embargo, se considera más provechoso debido a algunas ventajas adicionales de este último como la exportación de armadura de elementos tipo y licencias gratuita de estudiante, lo cual no presenta ETABS, pero no le afecta en lo absoluto para ejecutar un excelente diseño. Así mismo, Robot Structural Analysis Professional trabaja de excelente manera para la transferencia de modelo hacia Revit.
- El software Robot Structural Analysis Professional presenta ventanas totalmente nuevas para realizar otros procedimientos, mientras que con ETABS siempre manejas la misma interfaz durante todo el diseño estructural sismorresistente. Sin embargo, el punto fuerte del uso de un software con el que puedes aplicar la metodología BIM como Robot Structural Analysis Professional trae muchas ventajas y beneficios para los siguientes pasos, como la documentación de planos y cálculo de metrados.
- El uso del software Revit para el modelamiento de concreto y acero de la estructura presenta más ventajas que el uso de un software tradicional como Autocad Structural Detailing. Las herramientas para el modelo analítico, la importación del modelo desde Robot, la visualización 3D de detalles de acero, la automatización de metrados de concreto y la oportunidad de realizar un trabajo colaborativo con otras especialidades son las ventajas más notorias que presenta el software de Autodesk Revit.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener conocimiento del uso de los softwares de cálculo y modelado como ETABS, SAFE, Autocad Structural Detailing, Robot Structural Analysis Professional y Revit para tener un desarrollo fluido del proyecto. Así como, de programas como Excel y Mathcad Prime que es de mucha ayuda para la verificación de los cálculos durante el diseño sismorresistente y el diseño de concreto armado de los elementos de la estructura.
- Se recomienda seguir estrictamente las normativas de diseño sismorresistente como la Norma E.020, E.030, E.050. y E.060. Así como la norma de diseño ACI y la Norma Técnica de Metrados.
- Se recomienda usar y tener instalada solamente la versión 2022 de Robot Structural Analysis Professional y Revit para no tener problemas en la exportación de la armadura de los elementos tipo de vigas y columnas.
- Se recomienda que el modelado de las viguetas sea como de una losa nervada completa y no separar la losa de 5 cm con las viguetas para no tener problemas en el diseño de los elementos estructurales con refuerzo proporcional en Robot Structural Analysis Professional.
- Se recomienda realizar una comparación del software BIM Robot Structural Analysis Professional con otro como CYPECAD para poder escoger la mejor opción aplicando una misma metodología.

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2011). *ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary & PCA Notes On 318-11*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- BibLus. (Marzo de 2022). *¿Qué es el Virtual Design and Construction (VDC)?* Obtenido de BibLus: <https://biblus.accasoftware.com/es/que-es-la-vdc-bim/>
- Blanco Blasco, A. (1995). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Lima.
- Chacón, D., & Cuervo, G. (2017). *Implementación de la metodología BIM para elaborar proyectos mediante el software Revit*. Estado de Carabobo.
- Colonia, Y., & Valentin, A. (2020). *Implementación de la metodología BIM en el diseño estructural sismorresistente en la construcción del edificio multifamiliar en Huaraz, Ancash, 2020*. Huaraz.
- Condori, J. (2020). *Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna*. Tacna.
- CSI Computers & Structures. (2021). *CSICertificacions.us*. Obtenido de Manual ETABS v19.1: <https://www.csicertificacions.us/Manuals/Manual%20de%20ETABS%20v19.pdf>
- CSI Spain. (2021). *Compatibilidad BIM*. Obtenido de CSI Spain: <https://www.csiespana.com/estat/27/compatibilidad-bim#>
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Cengage Learning.
- Harmsen, T. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima.
- K. Chopra, A. (2014). *Dinámica de estructuras*. México: Pearson Educación.
- Lucía Espinoza, M. A., & Mamani Huanca, M. A. (2020). *Análisis Sísmico Comparativo del Sistema de Losas Postensadas frente a un sistema con losas nervadas con vigas planas*. Cochabamba-Bolivia.
- McCormac, J. (2017). *Diseño de concreto reforzado*.
- Meli Piralla, R. (2011). *Diseño estructural*. México: Limusa Noriega.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Plan BIM Perú - Hitos*. Obtenido de MEF: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/BIM/documento/INFOGRAFIA-HITOS-BIM\\_FINAL.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/BIM/documento/INFOGRAFIA-HITOS-BIM_FINAL.pdf)
- Ministerio de Economía y Finanzas. (Julio de 2021). *Plan BIM Perú - Guía Nacional BIM*. Obtenido de MEF: [https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia\\_nacional\\_BIM.pdf](https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia_nacional_BIM.pdf)
- Morales, R. (2006). *Diseño en Concreto Armado*. Lima: ICG.
- Murguía, D. (2017). *Primer estudio de Adopción BIM en proyectos de edificación en Lima y Callao 2017*. Lima.
- Predimensionamiento de vigas y columnas*. (Abril de 2016). Obtenido de Slideshare: <https://es.scribd.com/document/309597193/Predimensionamiento-de-Vigas-y-Columnas>
- Rojas, J. (2017). *Análisis Comparativo del rendimiento en la producción de planos y metrados, especialidad de estructuras usando métodos tradicionales y la metodología BIM en la empresa IMTEK*. Cusco.
- Rojas, R. (2019). *Comparativa en el diseño estructural de una edificación de 04 niveles, aplicando métodos tradicionales y metodología BIM*. Huancayo.

- Solnosky, R. (2013). Current Status of BIM Benefits, Challenges, and the Future Potential for the Structural Discipline. *Structure Congress 2013: Bridging your passion with your profession*, (págs. 849-858). Pittsburgh, Pennsylvania.
- Thea, G., & Salluca, R. (2019). *Desarrollo de protocolos de interoperabilidad BIM estructural para proyectos de edificación*. Juliaca.
- Vivienda. (2006). *Norma E.020 Cargas*. Lima.
- Vivienda. (2009). *Norma E.060 Concreto Armado*. Lima.
- Vivienda. (2010). *Norma Técnica Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas*. Lima.
- Vivienda. (2018). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima.
- Vivienda. (2018). *Norma Técnica E030*. LIMA: SENCICO.

## **CAPÍTULO VII. ANEXOS**

ANEXO 1: Estudio de suelos.





**REGISTRO No. 028-21**

**GEOTECNIA & PROYECTOS SAC**

**NDECOPI N° 00849-2007**

**RUC N° 20491609843**

Av. Mártires de Uchuracay 1811

976 710 364

giovaniml@hotmail.com

**CAJAMARCA**

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS**

## **ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN**

**PROYECTO**

***CONSTRUCCIÓN EDIFICIO  
MULTIFAMILIAR EN AGOSPAMPA BAJA  
(FRENTE A LA CERVECERÍA MUKY  
BEER) EN EL DISTRITO DE JESÚS,  
PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA***



## CONTENIDO

- I. GENERALIDADES
  - 1. Introducción
  - 2. Ubicación
  - 3. Acceso al área de estudio
  - 4. Localización del proyecto
  - 5. Condición climática
  - 6. Objetivo del estudio
  
- II. RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN
  - 1. Tipo de cimentación
  - 2. Estrato de apoyo a la cimentación
  - 3. Parámetros de diseño para la cimentación
  - 4. Agresividad del suelo a la cimentación
  - 5. Recomendaciones adicionales
  
- III. INFORMACIÓN PREVIA
  
- IV. INVESTIGACIÓN DE CAMPO
  
- V. ENSAYOS DE LABORATORIO
  
- VI. PERFIL ESTRATIGRÁFICO
  - 1. Clasificación de suelos
  - 2. Perfil estratigráfico
  - 3. Nivel freático
  
- VII. ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN
  - 1. Profundidad de cimentación
  - 2. Tipo de cimentación
  - 3. Análisis de la Capacidad portante
  
- VIII. CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS
  
- IX. SALES AGRESIVAS
  
- X. CONSIDERACIONES SISMICAS
  
- XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
  
- XII. BIBLIOGRAFÍA
  
- ANEXOS
  - Perfil estratigráfico
  
  - Certificados de ensayo
  
  - Diseño de cimentaciones
  
  - Galería Fotográfica



## INFORME TÉCNICO

### I. GENERALIDADES

#### 1. INTRODUCCIÓN

A solicitud del Sr Kevin Cesar Bazán Bautista, se ha efectuado el presente estudio de suelos con la finalidad de evaluar las características geomecánicas del suelo el cual forma parte del proyecto **“Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja (frente a la cervecería Muky Beer) en el distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”**; por medio de trabajos de campo a través de pozos de exploración a cielo abierto o Calicatas, ensayos de laboratorio estándar a fin de obtener las principales características físicas y mecánicas del suelo, sus propiedades de resistencia y deformación y labores de gabinete en base a los cuales se define el perfil estratigráfico, tipo y profundidad de cimentación, Capacidad Portante Admisible, Asentamientos Inmediatos, las conclusiones y recomendaciones generales para la cimentación de los módulos educativos.

El programa de trabajo realizado con este propósito ha consistido en:

- Toma de muestras
- Recepción de Muestras Alteradas.
- Ejecución de Ensayos de Laboratorio.
- Evaluación de los Trabajos de Campo y Laboratorio.
- Perfiles Estratigráficos.
- Análisis de la Capacidad Portante Admisible.
- Cálculo de Asentamientos Inmediatos.
- Conclusiones y Recomendaciones.

#### 2. UBICACIÓN

UBIGEO	UBICACIÓN	
6	Departamento	Cajamarca
060101	Provincia	Cajamarca
060106	Distrito	Jesús
	Centro Poblado	La Colpa
	Altura	2 564 m.s.n.m
	Región Geográfica	Sierra

#### 3. ACCESO AL AREA DE ESTUDIO

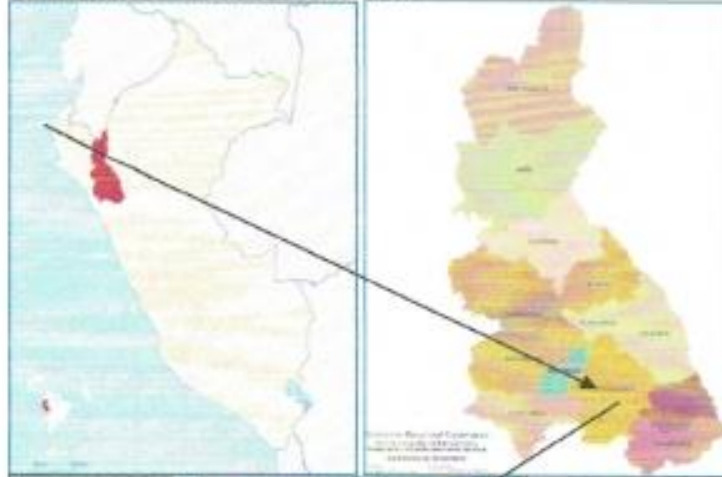
La vía de acceso al proyecto es través de la zona denominada la colpa. A continuación, se muestra un cuadro resumen para llegar a la zona del proyecto.

**CUADRO N° 01: RUTA A LA ZONA DEL PROYECTO**

RUTA	TIEMPO	TIPO DE VÍA
Cajamarca – Av. San Martín Av.	15 MINUTOS	pavimentada
San Martín – Agospampa Baja	10 MINUTOS	trocha



**4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**





**5. CONDICIÓN CLIMÁTICA**

En Agospampa Baja, el verano es ameno y de cielo encubierto; el invierno es corto, fresco, seco y de cielo parcialmente cubierto. A lo largo del año, en general la temperatura varía de 5°C a 19°C y rara vez es inferior a 3°C o superior a 21°C.

**6. OBJETIVO DEL ESTUDIO**

El objetivo principal que persigue el presente informe técnico, es el determinar las características físicas y de resistencia del material muestreado, debiéndose realizar la clasificación unificada de suelos y obtener la capacidad admisible del suelo a nivel de cimentación en la zona de estudio, para ello se cuenta con el informe de resultado de ensayos que se adjuntan en el anexo.

**II. RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN**

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las condiciones de cimentación, para las estructuras a proyectar que forman parte del presente proyecto.

<b>RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN</b>	
<b>Profesional Responsable (PR):</b> Ing. Civil CIP: Javier Mothimer Colina Bernal	<b>REG CIP. 58967</b>
<b>Tipo de Cimentación:</b> Rectangular	
<b>Estrato de apoyo de la Cimentación:</b> C1 (SC)	
<b>Profundidad de la Napa Freática:</b> No se ubicó	<b>Fecha:</b> 2021/08/24
<b>Parámetros de Diseño de la Cimentación:</b> Profundidad de Cimentación: 1,80 m Presión Admisible: 1,82 kg/cm <sup>2</sup> Factos de Seguridad por Corte: 3,00 Asentamiento Diferencial Máximo Aceptable: 0,04 cm.	
<b>Parámetros Sísmicos del Suelo (De acuerdo a la Norma E 0.30)</b> Zona Sísmica: Z 3 Tipo de perfil del suelo: S <sub>2</sub> Factor del Suelo (S): 1,20 Periodo TP (s): 0,6 Periodo TL (s): 2,0	
<b>Agresividad del Suelo a la Cimentación:</b> DESPRECIABLE,	
<b>Problemas Especiales de Cimentación</b> Licuación: No detectado Colapso: No detectado Expansión: No detectado	
<b>Recomendaciones Adicionales:</b> NO DEBE CIMENTARSE SOBRE TURBA, SUELO ORGANICO, TIERRA VEGETAL, DESMONTE O RELLENO SANITARIO Y QUE ESTOS MATERIALES INADECUADOS DEBERAN SER REMOVIDOS EN SU TOTALIDAD, ANTES DE CONSTRUIR LA CIMENTACION Y SER REEMPLAZADOS CON MATERIALES ADECUADOS.	



### III. INFORMACIÓN PREVIA

La persona contratante alcanzó los datos referenciales donde se puede apreciar la superficie que tiene pequeñas diferencias de nivel, siendo el terreno parcialmente llano. En dicho plano se puede apreciar los puntos para realizar las exploraciones a cielo abierto, los mismos que coinciden con las obras a edificar.

Las edificaciones a proyectar se encuentran dentro del terreno con un frontis de 14.35 ml. Con la carretera a la colpa, lado derecho con la propiedad de la Sra. Elvia Sangal con 17.43 ml, por el lado izquierdo con la calle de 5 m. de ancho con 17.43 ml y por el fondo con la propiedad de la Sra. Elvia Sangal con 14.35 ml.

Por lo tanto, el presente estudio no toma en cuenta los efectos de los fenómenos de geodinámica externa y no se aplica en los casos que haya evidencia y presunción de la existencia de ruinas arqueológicas; galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial. En ambos casos deben efectuarse estudios específicamente orientados a confirmar y solucionar dichos problemas por un profesional competente de especialidad pudiendo arqueólogo o geólogo.

### IV. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Con la finalidad de determinar el Perfil Estratigráfico del área en estudio se ha realizado una excavación a cielo abierto o Calicata, localizada convenientemente a la profundidad de tres metros:

Calicata	COORDENADAS UTM WGS-84	
	Este	Norte
C1	780 007,69	9 202 570,01
C2	780 022,15	9 202 575,72

Fuente: Google Earth.

Al momento de realizar las excavaciones no se han encontrado restos del tipo arqueológicos, que pudieran ser de interés del Ministerio de Cultura, no siendo responsables si durante las excavaciones masivas para la cimentación pudieran existir restos.

En esta fase se han tomado muestras alteradas en las calicatas de acuerdo a las técnicas de muestreo según NTP 339.162:2015 SUELOS. Guía normalizada para caracterización de campo con fines de diseño de ingeniería y construcción, para realizar los ensayos de clasificación e identificación de suelos.

La profundidad alcanzada en las calicatas donde estarán ubicados los ambientes es de 4,00 m, el registro de exploración anotándose las principales características del tipo de suelo encontrado, tales como: espesor, humedad, compacidad, plasticidad, etc. se presenta en el anexo.



## V. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos Estándar de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del grupo Geotecnia & Proyectos – Ingeniería, bajo las Normas N.T. P. (Norma Técnica Peruana), según se reportan al Instituto Nacional de la Calidad (INACAL).

### Ensayos Estándar

Se realizaron los siguientes ensayos:

Cant.	Ensayos	Normas NTP
01	Contenido de humedad	339.127:2019
01	Granulometrías	339.128:2019
01	Límites de Atterberg	339.129:2019

### Ensayos Especiales

- No se realizaron ensayos especiales algunos a solicitud del solicitante.

### Clasificación de Suelos

Las muestras ensayadas en el laboratorio se han clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

**CUADRO DE CLASIFICACIÓN**

CALICATA	C - 1		C - 2		
	M-1	M-2	M-1	M-2	M-3
Profundidad (m)	1,40 – 3,00	3,00 – 4,00	0,30 – 2,10	2,10 – 2,60	2,60 – 4,00
% Holonecias > 3"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Pasa Tamiz N.º 4	70	59	94	52	68
% Pasa Tamiz N.º 200	23	17	25	18	23
Límite Líquido	28	27	30	28	28
Índice Plástico	7	6	8	7	7
Coef. Uniformidad (Cu)	-	-	-	-	-
Coef. Curvatura (Cc)	-	-	-	-	-
Diámetro Efectivo(D <sub>10</sub> )	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad	4	9	12	19	13
Clasificación de Suelos "SUCS"	SC-SM	SC-SM	SC	GM-GC	SC

## VI. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

### 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación de suelos se realiza en base al método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) con NTP 339.134:2019.



## 2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En base a los trabajos de campo y ensayos de laboratorio se deduce la siguiente conformación:

La Calicata C-1 Presenta la siguiente estratigrafía:

**Primer Horizonte (E0)** De 0,00 a 1,40 m., es un material de relleno no controlado y no sirve como material de fundación, se recomienda eliminar este material por no ser considerado un estrato de posible cimentación.

**Segundo Horizonte (E1)** De 1,40 a 3,00 m., es una arena limo arcillosa de color rojo amarillento del tipo SC-SM y con una potencia de 1,60 m. El cual está semi seco ( $W\%=4$ ), plasticidad media ( $LL=28$  e  $IP=7$ ) y posible nivel de cimentación. Este horizonte es considerado un estrato por ser terreno de fundación.

**Tercer Horizonte (E2)** De 3,00 a 4,00 m., es una arena limo arcillosa de color marrón rojizo del tipo SC-SM y con una potencia de 1,00 m. El cual está húmedo ( $W\%=9$ ), plasticidad media ( $LL=27$  e  $IP=6$ ) y posible nivel de cimentación. Este horizonte es considerado un estrato por ser terreno de fundación.

La Calicata C-2 Presenta la siguiente estratigrafía:

**Primer Horizonte (E0)** De 0,00 a 0,30 m., es un material de relleno no controlado y no sirve como material de fundación, se recomienda eliminar este material por no ser considerado un estrato de posible cimentación.

**Segundo Horizonte (E1)** De 0,30 a 2,10 m es gravo arcilloso color rojo amarillento del tipo SC y con una potencia de 1,80 m. El cual está húmedo ( $W\%=12$ ), plasticidad media a baja ( $LL=30$  e  $IP=8$ ) y posible nivel de cimentación. Este horizonte es considerado un estrato por ser terreno de fundación.

**Tercer Horizonte (E2)** De 2,10 a 2,60 m., es una grava limo arcillosa de color gris oscuro del tipo GM-GC y con una potencia de 0,50 m. El cual está húmedo ( $W\%=19$ ), plasticidad media ( $LL=28$  e  $IP=7$ ) y posible nivel de cimentación. Este horizonte es considerado un estrato por ser terreno de fundación.

**Cuarto Horizonte (E3)** De 2,60 a 4,00 m., es una arena limo arcillosa de color marrón rojizo del tipo SC-SM y con una potencia de 1,40 m. El cual está húmedo ( $W\%=13$ ), plasticidad media ( $LL=28$  e  $IP=7$ ) y posible nivel de cimentación. Este horizonte es considerado un estrato por ser terreno de fundación.

## 3. NIVEL FREÁTICO

Se debe señalar que no se encontró el nivel freático en las calicatas C-1 y C-2, a una profundidad de - 4,00 m.; pero se aprecia que a una profundidad de 2,10 m. hay presencia de agua por filtración, al cual se debe tener en cuenta a la hora de diseñar la cimentación.





## VII. ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN

### 1. PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

Según la Norma **E.050:2018 Suelos y Cimentaciones**. Cimentaciones Superficiales, la profundidad de cimentación mínima no será menor de 0,80 metros en cualquier tipo de cimentación de elementos portantes o no portantes no arriostrados lateralmente.

Asimismo, la presión admisible del terreno aumenta a mayor profundidad de desplante, también los costos de construcción, por lo tanto, es necesario adoptar una profundidad de desplante que satisfaga los requerimientos de economía y asistencia aceptable, en este caso además del factor resistencia se requiere una profundidad de desplante que garantice seguridad contra los cambios de humedad del terreno, por lo tanto, se recomienda asumir una profundidad de desplante de 1,80 m. con respecto al nivel del terreno actual, apoyados directamente sobre el estrato conformado por una arcilla con arenas y finos plásticos. (escogiendo el suelo menos estable siendo la calicata C1).

### 2. TIPO DE CIMENTACIÓN

De acuerdo a las condiciones del suelo, y de la estructuración de la edificación:

- Si la estructura es de muros portantes y/o albañilería estructural se recomienda utilizar una cimentación corrida con viga de cimentación armada.
- Si la estructura es aporticado se recomienda utilizar cimentación superficial, mediante zapatas aisladas, debidamente conectadas y armadas.
- Si la estructura es de albañilería confinada con cobertura liviana, se recomienda utilizar cimentación superficial mediante zapatas aisladas, con cimientos corridos para muros portantes.

### 3. ANÁLISIS CAPACIDAD PORTANTE

A la profundidad antes mencionada los cimientos se apoyarán sobre el estrato de arcillas limosas con arenas y finos plásticos, cuyas características de resistencia están dados principalmente por el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y su cohesión, teniendo en cuenta el único estrato desfavorable de la calicata menos estable para la cimentación, siendo la calicata C-1, muestra M-1 (de 1,40 m a 4,00 m. de profundidad), considerándose para tal fin los siguientes parámetros:

Tipo de Suelo	= SC-SM
Ángulo de fricción interna	$\phi = 25.0^\circ$
Cohesión	$C = 0.0 \text{ kg/cm}^2$
Peso Específico Húmedo	$\gamma_h = 1.82 \text{ g/cm}^3$
Ancho de la Zapata	$B = 1.20 \text{ m.}$
Largo de la Zapata	$L = 1.50 \text{ m.}$

Luego, aplicando la formula según la norma E.050-2018 "Suelos y Cimentaciones" en su artículo 20.2, la Capacidad Portante Admisible para un suelo friccionantes (gravas, arenas y gravas arenosas) será de:

$$q_d = i_q \gamma_1 D_f N_q + 0,5 s_y i_y \gamma_2 B' N_\gamma$$



Donde:

Coef. de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la cohesión	$S_c = 1,16$
Coef. de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la cohesión	$i_c = 0,52$
Cohesión del suelo ubicado bajo la zapata	$C = 0,0$
Coefficiente de capacidad de carga correspondiente a la cohesión	$N'_c = 20,72$
Coefficiente de capacidad de carga correspondiente a la sobre carga	$N'_q = 10,66$
Coefficiente de capacidad de carga correspondiente a la fricción	$N'_\gamma = 10,88$
Factor de Seguridad	$F.S. = 3,00$

Pero:

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{D}{L} \quad t_c = t_q = \left(1 - \frac{\alpha^\phi}{90^\circ}\right)^2$$

$$N_c = (N'_c - 1) \text{ctg } \phi \quad N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) e^{\pi \tan \phi}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$q_{ad} = 1,82 \text{ kg/cm}^2$$

## VIII. CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Para el análisis de cimentaciones tenemos los llamados asentamientos totales y asentamientos diferenciales, de los cuales los asentamientos diferenciales son los que podrían comprometer la seguridad de la estructura si sobrepasa una pulgada (1"), que es el asentamiento máximo permisible para estructuras del tipo convencional.

El asentamiento de la cimentación se calculará en base a la teoría de la elasticidad, considerando dos tipos de cimentación superficial recomendado. Se asume que el esfuerzo neto transmitido en uniforme en ambos casos.

El asentamiento elástico inicial será:

Aplicando el Método Elástico:

$$S_i = \frac{qB(1-\mu^2)}{E_s} I_f$$

Donde:

- $S_i$  : Asentamiento probable (cm)
- $\mu$  : Relación de Poisson
- $E_s$  : Módulo de Elasticidad (Tn/m<sup>2</sup>)
- $I_f$  : Factor de influencia que depende de la forma de rigidez (cm/m)
- $q$  : Presión de Trabajo (Tn/m<sup>2</sup>)
- $B$  : Ancho de la Cimentación (m)

Las propiedades elásticas de la cimentación fueron asumidas a partir de tablas publicadas con valores para el tipo de suelo existente donde irá desplantada la cimentación.



Para este tipo de suelos donde irá desplantada la cimentación es conveniente considerar un modulo de elasticidad de  $E_s = 8\,500 \text{ Tn/m}^2$  y un coeficiente de Poisson  $\mu = 0.15$ .

Los cálculos de asentamiento se han realizado considerando que los esfuerzos transmitidos sean iguales a la capacidad admisible de carga.

Reemplazando valores se tiene el siguiente cuadro:

ZAPATA	CIMENTO FLEXIBLE		
	ESQUINA	CENTRO	MEDIO
Asentamiento Probable (cm)	0,02	0,04	0,03

$$S_{i_{\max}} = 0,04 \text{ cm.}$$

#### IX. SALES AGRESIVAS

No se realizaron los análisis de ensayos de sales agresivas a petición del solicitante

#### X. CONSIDERACIONES SISMICAS

A partir de las investigaciones de los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú y el mapa de zona sísmica de máximas intensidades observadas en el Perú. Lo cual esta basada en isosistas de Sismos Peruanos y datos de intensidades del sismo histórico y reciente se concluye que, de acuerdo al área sísmica de la zona de estudio existe la posibilidad de que ocurra un sismo de intensidad alta.





El Perú por estar comprendido como una de las regiones de alta actividad sísmica, forma parte del cinturón circunpacifico, que es una de las zonas más activas del mundo.

Dentro del territorio peruano se ha establecido diversas zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de sismos. Según el mapa de zonificación sísmica y de acuerdo a las Normas Sismo Resistente E.030-2019, del Reglamento Nacional de Construcciones, la zona de estudio se encuentra comprendida en la zona 3. Correspondiente a una sismicidad de intensidad media V a VII en la escala de Mercalli.

La fuerza horizontal o cortante en la base debido a la acción sísmica se determina por la siguiente formula:

$$H = \frac{ZUCSP}{R_d}$$

Para el diseño estructural debe tenerse en cuenta los siguientes valores:

Factor	Valor	Observaciones
Factor de zona (Z)	0,35	Zona 3 del mapa de zonificación del Perú
Factor de uso (U)	1,00	C Edificaciones comunes
Factor de suelo (S)	1,20	Tabla N° 3 Zona Vs. Suelo
Periodo de vibración del suelo ( $T_p$ )	0,6	Tabla N° 4 Periodos Vs Perfil de suelos
Periodo de vibración del suelo ( $T_1$ )	2,0	Tipo de suelo S <sub>2</sub> Suelos intermedios

## XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Correlacionando la investigación de campo realizada con los resultados de los ensayos de laboratorio y según el análisis efectuado en el transcurso del informe, establecemos las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El terreno en Estudio se encuentra ubicado en el distrito de Jesús provincia y región de Cajamarca.
- En el Proyecto: **“Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja (frente a la cervecería Muky Beer) en el distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”**, donde se construirá un edificio familiar, el suelo de fundación está constituido básicamente por arena limo arcilloso y gravo arcilloso, clasificadas en el sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) como suelos SC-SM, se encuentra húmedas, medianamente consolidadas.
- Dada la naturaleza del terreno a cimentar y el tipo de estructura a proyectar, se recomienda para la edificación, utilizar cimentación superficial tal como zapatas aisladas, y si los asentamientos diferenciales son superiores al máximo permisible, se deberá proyectar zapatas aisladas con vigas de conexión.



**ESTUDIOS DE GEOTÉCNIA, MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

- El nivel de cimentación mínimo a adoptar será de 1,80 m., referidos al nivel del terreno natural.
- La cimentación de la edificación a proyectar será dimensionada de tal forma que aplique al terreno una carga no mayor de 1,82 kg/cm<sup>2</sup>.
- Hasta la profundidad muestreada (4,00 m) no se detectó la presencia de nivel freático, pero hay presencia de agua por filtración. En este caso se revisaría al momento de la excavación de zapatas, este problema persiste se tendrá que profundizar la excavación (por 0.50 m) y colocar un over piedra subredondeado a fin de eliminar cualquier ascensión del agua por capilaridad.
- El asentamiento máximo es de aproximadamente 0.12 cm, que es menor de 1" (2.54 cm) recomendado para este tipo de estructuras, no presentándose problemas de asentamiento.
- El concreto no estará en contacto con material natural, sino con material granular. Tomar medidas adicionales para minimizar el efecto de la expansibilidad.
- El suelo de actividad de cimentación no está sujeto a socavaciones ni deslizamientos, así como no se ha encontrado evidencias de hundimientos ni levantamientos en el terreno.
- Los suelos de la zona en estudio con respecto a la concentración de sales agresivas hay indicios que no comprometen a la estructura por lo que se opta como "despreciable, por lo tanto, se recomienda utilizar el cemento apropiado, tal como cemento de uso general a nivel de cimentación y superestructura.
- El área en estudio se encuentra ubicada dentro de la zona de sismicidad 3 (zona de sismicidad media), por lo que se deberá tener presente la posibilidad de que ocurran sismos de magnitud, con intensidad media V a VII en la escala de Mercalli modificado.
- De acuerdo con la nueva Norma Técnica de edificación E.30-2019 Diseño Sismo Resistente y el predominio de suelo bajo la cimentación, se recomienda adoptar en los análisis sismorresistentes, los siguientes parámetros:

Factor	Valor	Observaciones
Factor de zona (Z)	0,35	Zona 3 del mapa de zonificación del Perú
Factor de uso (U)	1,00	C edificaciones comunes
Factor de suelo (S)	1,20	Tabla N° 3 Zona Vs. Suelo
Periodo de vibración del suelo (T <sub>p</sub> )	0,6	Tabla N° 4 Periodos Vs Perfil de suelos
Periodo de vibración del suelo (T <sub>r</sub> )	2,0	Tipo de suelo S <sub>2</sub> Suelos intermedios

- El coeficiente de balasto vertical para el modelamiento de la cimentación no será mayor a la siguiente expresión:  
 $K = \text{Capacidad Admisible (kg/cm}^2\text{) / Asentamiento Máximo Permisible}$   
 $K = 6\,924 \text{ kg/cm}^3$ .



- El concreto a utilizar debe ser diseñado por un especialista en Tecnología del Concreto, empleando agregados que deben cumplir con la Norma A.S.T.M. C33/C33M-18. El agua a ser utilizada para las mezclas de concreto, debe cumplir con la Norma N.T.P. 339.088:2019. Así mismo, se debe emplear cemento acorde con el posible contenido de sales agresivas que presente el estrato donde va a cimentarse para esto se recomienda el Pacasmayo Portland tipo MS (proporción de sulfatos mayor a 150 p.p.m.).
- Se recomienda utilizar agregados para concreto de río, previamente lavados y tamizados acorde al huso granulométrico de la Especificación Técnica vigente.
- Se debe utilizar un método de curado adecuado para el concreto de la cimentación, acorde a la Norma A.S.T.M. C31/C31M-19, con la finalidad de alcanzar el grado de hidratación y por ende la resistencia mecánica requerida en obra.
- Se recomienda realizar ensayos de resistencia a la compresión de concreto de los elementos estructurales que están proyectados a construir, con el fin de evaluar el control de Calidad del concreto, acorde al Reglamento ACI 318-19.
- Finalmente, podemos concluir, que para la ejecución del Proyecto: **“Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja (frente a la cervecería Muky Beer) en el distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”**, se deberá tener en cuenta todas las conclusiones y recomendaciones antes descritas, dada la importancia de la obra, de tal suerte, que se asegure mayor estabilidad y durabilidad de la estructura a construir.
- El presente informe técnico se refiere a la zona de cimentación de las obras para la **“Construcción edificio multifamiliar en Agospampa Baja (frente a la cervecería Muky Beer) en el distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca”**, Las conclusiones y recomendaciones dadas en el no podrán ser usadas para otra obras o terrenos por más cercanos que se encuentren al área de estudios.

Cajamarca setiembre del 2021

## BIBLIOGRAFÍA

- Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz.
- Propiedades Geofísicas de los Suelos, Joseph Bowles.
- Norma Peruana de Edificación E.050-2018, Suelos y Cimentaciones
- Norma Peruana de Diseño Sismo Resistente E.030-2019



**Datos de la muestra recibida**

ID Laboratorio : **LAB - CAJ 01** Registro No. : **028-21**

Humedad de Recepción (%) : **36** Tamaño Máximo de Partículas (Visual) : **3/8 in.** Retenido en Tamiz No. 40 (%) : **20**

**Preparación del Espécimen**

Humedo  Lavado sobre el Tamiz No. 40  Agua de Mezcla  
 Secado al Aire  Tamizado en seco sobre el Tamiz No. 40  Destilada   
 Secado al horno  Empujado Mecánicamente sobre el Tamiz No. 40  Desmineralizada   
 Mezclado en Capas y Homogenizadas las Partículas de Arena  Otro

**Equipo Empleados**

Límite Plástico: Rodillo Manual  Límite Líquido: Equipo Manual  Remanecer Casagrande / ASTM: Metálico   
 Dispositivo de Rodado Mecánico  Equipo Mecánico  Plástico

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el laboratorio de Geotecnia & Proyectos S.A.C.

**Resultos y Cálculos del Ensayo**

**LÍMITE LÍQUIDO**

Número de Tara		D11	D12	D13
Masa de la Tara	(g)	16,07	15,64	15,94
Masa de la Tara + Suelo Húmedo	(g)	25,48	25,05	25,72
Masa de la Tara + Suelo Seco	(g)	23,18	23,32	23,53
Masa de Suelo Seco	(g)	2,30	2,33	2,19
Masa de Agua	(g)	7,11	7,68	7,99
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	32,35	30,34	28,85
Número de Golpes		15	24	34
LÍMITE LÍQUIDO UNPUNTO ASTM		---	---	

**LÍMITE PLÁSTICO**

Número de Tara		D14	D15
Masa de la Tara	(g)	15,36	15,57
Masa de la Tara + Suelo Húmedo	(g)	21,86	21,28
Masa de la Tara + Suelo Seco	(g)	20,06	20,25
Masa de Suelo Seco	(g)	1,18	1,01
Masa de Agua	(g)	5,32	4,68
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22,18	21,58
PROMEDIO		21,88	

LÍMITE LÍQUIDO, LL	<b>30</b>
LÍMITE PLÁSTICO, LP	<b>22</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, IP	<b>8</b>
ÍNDICE DE LIQUEZ, IL	---
COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN, R <sup>2</sup>	<b>1,00</b>
CLASIFICACIÓN SEGUN CARTA DE PLASTICIDAD	

Observaciones

---



---

Realizado Por: **Giovani A. Montoya L.**  
 Firma y Sello: **GEOTECNIA & PROYECTOS SAC**  
  
**Giovani A. Montoya L.**  
 LABORATORIO  
 603 AHR 210000

Revisado Por: **Javier M. Colina B.**  
 Firma y Sello: **GEOTECNIA & PROYECTOS**  
  
**Ing. Javier M. Colina Bernal**  
 D. C. SUELOS + PAVIMENTOS  
 50997



ANEXO 2: Cálculo del Análisis Sísmico Estático.

**ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO**

**DATOS**

- \* Tipo de estructura = *IMF*  
(Pórticos intermedios de concreto resistentes a momento **IMF**)
- \* Número de niveles =  $N := 8$
- \* Altura total del edificio =  $h_n := 23.28 m$



**PARÁMETROS SEGÚN NORMA E.030**

- **FACTOR DE ZONA (Z)**

(Art. 10)

Tabla N° 1  
FACTORES DE ZONA "Z"

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

$Z := 0.35$

CAJAMARCA	ENGAÑADA	2	ONCE DISTRITOS
	ASUNCIÓN		
	CAJAMARCA		
	CHETILLA		
	COSPAÑ		
	JESUS		
	LLACANORA		
	LOS BAÑOS DEL INCA		
	MAGDALENA		
	MATARA		
	NAMORA		
SAN JUAN			





• **PERFIL DE SUELO (S)**

(Art. 12)

PERFIL: S2 (Intermedio) ▾

Perfil	$V_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_u$
S <sub>0</sub>	> 1500 m/s	-	-
S <sub>1</sub>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S <sub>2</sub>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S <sub>3</sub>	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS		

SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>P</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

• **PARÁMETROS DE SITIO (S, T<sub>P</sub> Y T<sub>L</sub>)**

(Art. 13)

$$S := 1.15 \quad T_P := 0.6 \quad T_L := 2.0$$

• **FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C)**

(Art. 14)

$$T := 0.547 \quad (\text{Periodo fundamental modelo estructural simulador})$$

$$\begin{array}{l}
 T < T_P \quad C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\
 T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)
 \end{array}
 \quad C := \begin{array}{l}
 \text{if } T < T_P \\
 \quad \parallel 2.5 \\
 \text{else if } T_P \leq T < T_L \\
 \quad \parallel 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\
 \text{else if } T > T_L \\
 \quad \parallel 2.5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)
 \end{array} = 2.5$$

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad T_{teórico} := \frac{h_n}{45} = 0.517 \quad (\text{Art. 28.4})$$

• **CATEGORÍA DE EDIFICACIÓN Y FACTOR DE USO (U)**

(Art. 15)

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes centros, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	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
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

CATEGORÍA: C (Común) ▾

$$U := 1$$

• **CATEGORÍA Y SISTEMA ESTRUCTURAL**

(Art. 17)

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
A1	4 y 3	Aislamiento Sísmico con cualquier sistema estructural.
	2 y 1	Estructuras de acero tipo SCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada.
A2 (**)	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada.
	1	Cualquier sistema.
B	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Pórticos, Sistema Dual, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada. Estructuras de madera
	1	Cualquier sistema.
C	4, 3, 2 y 1	Cualquier sistema.

IMF

(Pórtico intermedio resistente a momento)

(ACI 318-19, Tabla 18.2)

• **SISTEMA ESTRUCTURAL Y COEF. BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R<sub>0</sub>)**

(Art. 18)

Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción R <sub>0</sub> (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

$$R_0 := 6$$

(Concreto Armado - Muros estructurales)

- **FACTORES DE IRREGULARIDAD (I<sub>a</sub>, I<sub>p</sub>)**

(Art. 20)

Factor de irregularidad en altura  $I_a := 1$  (Tabla N° 8)

Factor de irregularidad en planta  $I_p := 0.85$  (Tabla N° 9)

- **COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R)** (Art. 22)

$$R := R_0 \cdot I_a \cdot I_p = 5.1$$

- **FUERZA CORTANTE EN LA BASE Vest (Método estático)**

(Art. 28.2)

$$V_{Est} := 0.9 \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} = 0.178 \quad \text{Coeficiente sísmico horizontal}$$

Debe cumplir:  $\frac{C}{R} \geq 0.11$

$$\frac{C}{R} = 0.49$$

- **EXPONENTE RELACIONADO CON EL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA (K)**

(Art. 28.3.2)

- a) Para  $T$  menor o igual a 0,5 segundos:  $k = 1,0$ .
- b) Para  $T$  mayor que 0,5 segundos:  $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$ .

$$K := \begin{cases} 1 & \text{if } T \leq 0.5 \\ (0.75 + 0.5 \cdot T) & \text{else if } T > 0.5 \end{cases} = 1.024$$

- **FUERZA CORTANTE EN LA BASE Vest (Método dinámico)**

(Art. 29.2)

**29.4. Fuerza Cortante Mínima**

Horizontal:

29.4.1. Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

$$V_{Din.reg} := 0.8 \cdot V_{Est} = 0.142$$

29.4.2. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se escalan proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

$$V_{Din.irreg} := 0.9 \cdot V_{Est} = 0.16$$

## 28.6. Fuerzas Sísmicas Verticales

28.6.1. La fuerza sísmica vertical se considera como una fracción del peso igual a  $2/3 Z \cdot U \cdot S$ .

28.6.2. En elementos horizontales de grandes luces, incluyendo volados, se requiere un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 29.2.

Vertical:

$$\frac{2}{3} V_{Din.reg} = 0.095$$

$$\frac{2}{3} V_{Din.irreg} = 0.107$$

## • REVISIÓN DE DERIVAS

(Art. 29.2)

### Artículo 31.- Determinación de Desplazamientos Laterales

31.1. Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por  $0,75 R$  los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por  $0,85 R$  los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.  
31.2. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se consideran los valores mínimos de  $C/R$  indicados en el numeral 28.2 ni el cortante mínimo en la base especificado en el numeral 29.4.

### Factor amplificador de derivas (Cd)

$$Cd_{reg} := 0.75 \cdot R = 3.825$$

$$Cd_{irreg} := 0.85 \cdot R = 4.335$$

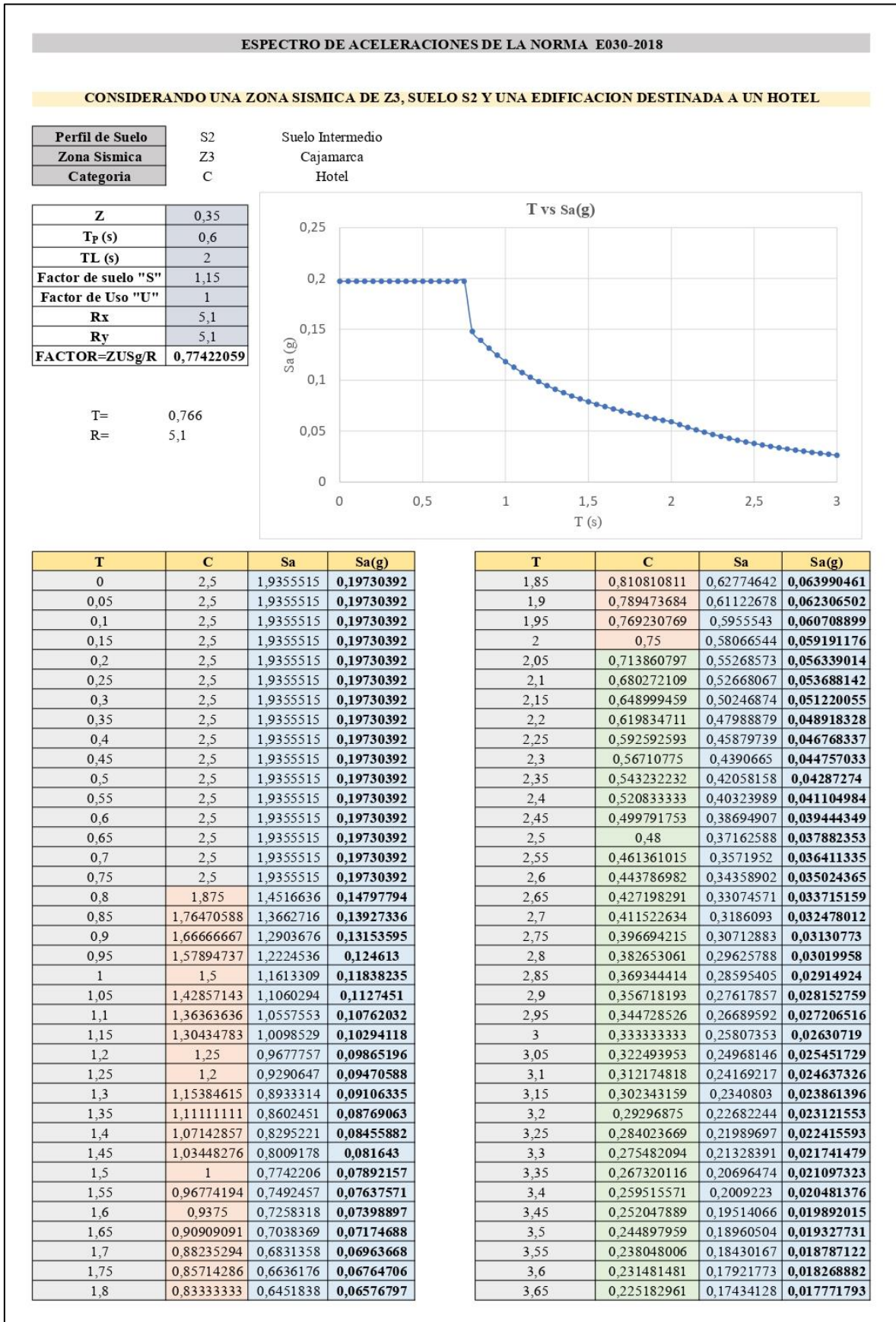
### Artículo 32.- Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	$(\Delta_i / h_{ei})$
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial son establecidos por el proyectista, pero en ningún caso exceden el doble de los valores de esta Tabla.

ANEXO 3: Cálculo del Análisis Sísmico Dinámico



T	C	Sa	Sa(g)
3,7	0,21913806	0,1696612	<b>0,01729472</b>
3,75	0,21333333	0,1651671	<b>0,0168366</b>
3,8	0,20775623	0,1608492	<b>0,01639645</b>
3,85	0,20239501	0,1566984	<b>0,01597333</b>
3,9	0,19723866	0,1527062	<b>0,01556638</b>
3,95	0,19227688	0,1488647	<b>0,01517479</b>
4	0,1875	0,1451664	<b>0,01479779</b>
4,05	0,18289895	0,1416041	<b>0,01443467</b>
4,1	0,1784652	0,1381714	<b>0,01408475</b>
4,15	0,17419074	0,1348621	<b>0,01374741</b>
4,2	0,17006803	0,1316702	<b>0,01342204</b>
4,25	0,16608997	0,1285903	<b>0,01310808</b>
4,3	0,16224986	0,1256172	<b>0,01280501</b>
4,35	0,15854142	0,122746	<b>0,01251234</b>
4,4	0,15495868	0,1199722	<b>0,01222958</b>
4,45	0,15149602	0,1172913	<b>0,0119563</b>
4,5	0,14814815	0,1146993	<b>0,01169208</b>
4,55	0,14491004	0,1121923	<b>0,01143653</b>
4,6	0,14177694	0,1097666	<b>0,01118926</b>
4,65	0,13874436	0,1074187	<b>0,01094992</b>
4,7	0,13580806	0,1051454	<b>0,01071818</b>
4,75	0,13296399	0,1029435	<b>0,01049373</b>
4,8	0,13020833	0,10081	<b>0,01027625</b>
4,85	0,12753746	0,0987421	<b>0,01006546</b>
4,9	0,12494794	0,0967373	<b>0,00986109</b>
4,95	0,12243649	0,0947928	<b>0,00966288</b>
5	0,12	0,0929065	<b>0,00947059</b>
5,05	0,11763553	0,0910758	<b>0,00928398</b>
5,1	0,11534025	0,0892988	<b>0,00910283</b>
5,15	0,11311151	0,0875733	<b>0,00892694</b>
5,2	0,11094675	0,0858973	<b>0,00875609</b>
5,25	0,10884354	0,0842689	<b>0,0085901</b>
5,3	0,10679957	0,0826864	<b>0,00842879</b>
5,35	0,10481265	0,0811481	<b>0,00827198</b>
5,4	0,10288066	0,0796523	<b>0,0081195</b>
5,45	0,1010016	0,0781975	<b>0,0079712</b>
5,5	0,09917355	0,0767822	<b>0,00782693</b>
5,55	0,09739469	0,075405	<b>0,00768654</b>
5,6	0,09566327	0,0740645	<b>0,00754989</b>
5,65	0,0939776	0,0727594	<b>0,00741686</b>
5,7	0,0923361	0,0714885	<b>0,00728731</b>
5,75	0,09073724	0,0702506	<b>0,00716113</b>
5,8	0,08917955	0,0690446	<b>0,00703819</b>
5,85	0,08766163	0,0678694	<b>0,00691839</b>
5,9	0,08618213	0,066724	<b>0,00680163</b>
5,95	0,08473978	0,0656073	<b>0,0066878</b>
6	0,08333333	0,0645184	<b>0,0065768</b>
6,05	0,08196161	0,0634564	<b>0,00646854</b>
6,1	0,08062349	0,0624204	<b>0,00636293</b>
6,15	0,07931787	0,0614095	<b>0,00625989</b>
6,2	0,0780437	0,060423	<b>0,00615933</b>
6,25	0,0768	0,0594601	<b>0,00606118</b>
6,3	0,07558579	0,0585201	<b>0,00596535</b>
6,35	0,07440015	0,0576021	<b>0,00587178</b>
6,4	0,07324219	0,0567056	<b>0,00578039</b>
6,45	0,07211105	0,0558299	<b>0,00569112</b>
6,5	0,07100592	0,0549742	<b>0,0056039</b>
6,55	0,06992599	0,0541381	<b>0,00551867</b>
6,6	0,06887052	0,053321	<b>0,00543537</b>
6,65	0,06783877	0,0525222	<b>0,00535394</b>
6,7	0,06683003	0,0517412	<b>0,00527433</b>
6,75	0,06584362	0,0509775	<b>0,00519648</b>
6,8	0,06487889	0,0502306	<b>0,00512034</b>

T	C	Sa	Sa(g)
6,85	0,063935212	0,04949996	<b>0,005045867</b>
6,9	0,063011972	0,04878517	<b>0,004973004</b>
6,95	0,062108587	0,04808575	<b>0,004901707</b>
7	0,06122449	0,04740126	<b>0,004831933</b>
7,05	0,060359137	0,04673129	<b>0,004763638</b>
7,1	0,059512002	0,04607542	<b>0,004696781</b>
7,15	0,058682576	0,04543326	<b>0,004631321</b>
7,2	0,05787037	0,04480443	<b>0,00456722</b>
7,25	0,057074911	0,04418857	<b>0,004504441</b>
7,3	0,05629574	0,04358532	<b>0,004442948</b>
7,35	0,055532417	0,04299434	<b>0,004382705</b>
7,4	0,054784514	0,0424153	<b>0,00432368</b>
7,45	0,054051619	0,04184788	<b>0,004265839</b>
7,5	0,053333333	0,04129176	<b>0,00420915</b>
7,55	0,052629271	0,04074666	<b>0,004153585</b>
7,6	0,051939058	0,04021229	<b>0,004099112</b>
7,65	0,051262335	0,03968836	<b>0,004045704</b>
7,7	0,050598752	0,0391746	<b>0,003993333</b>
7,75	0,049947971	0,03867075	<b>0,003941972</b>
7,8	0,049309665	0,03817656	<b>0,003891596</b>
7,85	0,048683517	0,03769178	<b>0,003842179</b>
7,9	0,04806922	0,03721618	<b>0,003793698</b>
7,95	0,047466477	0,03674952	<b>0,003746129</b>
8	0,046875	0,03629159	<b>0,003699449</b>
8,05	0,04629451	0,03584216	<b>0,003653635</b>
8,1	0,045724737	0,03540103	<b>0,003608668</b>
8,15	0,045165418	0,034968	<b>0,003564526</b>
8,2	0,0446163	0,03454286	<b>0,003521188</b>
8,25	0,044077135	0,03412543	<b>0,003478637</b>
8,3	0,043547685	0,03371551	<b>0,003436852</b>
8,35	0,043027717	0,03331294	<b>0,003395815</b>
8,4	0,042517007	0,03291754	<b>0,003355509</b>
8,45	0,042015336	0,03252914	<b>0,003315916</b>
8,5	0,041522491	0,03214757	<b>0,00327702</b>
8,55	0,041038268	0,03177267	<b>0,003238804</b>
8,6	0,040562466	0,0314043	<b>0,003201253</b>
8,65	0,040094891	0,03104229	<b>0,003164352</b>
8,7	0,039635355	0,03068651	<b>0,003128084</b>
8,75	0,039183673	0,03033681	<b>0,003092437</b>
8,8	0,038739669	0,02999305	<b>0,003057395</b>
8,85	0,03830317	0,0296551	<b>0,003022946</b>
8,9	0,037874006	0,02932284	<b>0,002989076</b>
8,95	0,037452015	0,02899612	<b>0,002955772</b>
9	0,037037037	0,02867484	<b>0,002923021</b>
9,05	0,036628919	0,02835886	<b>0,002890812</b>
9,1	0,036227509	0,02804808	<b>0,002859132</b>
9,15	0,035832661	0,02774238	<b>0,00282797</b>
9,2	0,035444234	0,02744166	<b>0,002797315</b>
9,25	0,035062089	0,02714579	<b>0,002767155</b>
9,3	0,034686091	0,02685469	<b>0,002737481</b>
9,35	0,034316109	0,02656824	<b>0,002708281</b>
9,4	0,033952014	0,02628635	<b>0,002679546</b>
9,45	0,033593684	0,02600892	<b>0,002651266</b>
9,5	0,033240997	0,02573586	<b>0,002623432</b>
9,55	0,032893835	0,02546708	<b>0,002596033</b>
9,6	0,032552083	0,02520249	<b>0,002569061</b>
9,65	0,03221563	0,024942	<b>0,002542508</b>
9,7	0,031884366	0,02468553	<b>0,002516364</b>
9,75	0,031558185	0,024433	<b>0,002490621</b>
9,8	0,031236985	0,02418432	<b>0,002465272</b>
9,85	0,030920663	0,02393941	<b>0,002440307</b>
9,9	0,030609122	0,02369821	<b>0,00241572</b>
9,95	0,030302265	0,02346064	<b>0,002391502</b>
10	0,03	0,02322662	<b>0,002367647</b>

ANEXO 4: Precios unitarios de concreto y acero de refuerzo para cada uno de los elementos estructurales.

**ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS**

**DOSIFICACIÓN DE MATERIALES Y COSTOS DE MANO DE OBRA**

RESIST CONCRET f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	a/c AGUA/ CEMENTO	ASENTA MIENTO SLUMP (pulg)	TAMAÑO AGREGADO (PULG)	DOSIFICACION EN VOLUMEN Cemento/Arena /Piedra	MATERIALES POR m <sup>3</sup>			
					CEMENTO BOLSAS	ARENA (m <sup>3</sup> )	PIEDRA (m <sup>3</sup> )	AGUA (m <sup>3</sup> )
140	0.61	4	¾	1:2.5:3.5	7.01	0.51	0.54	0.184
175	0.51	3	½	1:2.5:2.5	8.43	0.54	0.55	0.185
210	0.45	3	½	1:2:2	9.73	0.52	0.53	0.186
245	0.38	3	½	1:1.5:1.5	11.5	0.5	0.51	0.187
<b>280</b>	<b>0.38</b>	<b>3</b>	<b>½</b>	<b>1.1:1.5</b>	<b>13.34</b>	<b>0.45</b>	<b>0.51</b>	<b>0.189</b>

COSTOS MANO DE OBRA (S/.)	
Operario	26,06
Oficial	20,49
Peón	18,53

**CÁLCULO DE PRECIOS UNITARIOS**

Partida  CONCRETO f'c = 280 kg/cm2 EN VIGAS  
 Rendimiento m3/DIA MO. 18 EQ. 18 Costo unitario directo por : m3 **603,37**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	2	0,8889	26,06	23,16
OFICIAL	hh	2	0,8889	20,49	18,21
PEÓN	hh	10	4,4444	18,53	82,36
					123,73
<b>Materiales</b>					
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		13,34	25,00	333,50
ARENA GRUESA DE RÍO	m3		0,45	140,00	63,00
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0,51	140,00	71,40
AGUA PARA CONCRETO	m3		0,189	2,50	0,47
					468,37
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	123,73	3,71
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11 P3-18HP	hm	1	0,4444	12,00	5,33
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1	0,4444	5,00	2,22
					11,27

Partida  CONCRETO f'c = 280 kg/cm2 EN COLUMNAS  
 Rendimiento m3/DIA MO. 12 EQ. 12 Costo unitario directo por : m3 **670,87**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	2	1,3333	26,06	34,75
OFICIAL	hh	2	1,3333	20,49	27,32
PEÓN	hh	10	6,6667	18,53	123,53
					185,60
<b>Materiales</b>					
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		13,34	25,00	333,50
ARENA GRUESA DE RÍO	m3		0,45	140,00	63,00
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0,51	140,00	71,40
AGUA PARA CONCRETO	m3		0,189	2,50	0,47
					468,37
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	185,60	5,57
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11 P3-18HP	hm	1	0,6667	12,00	8,00
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1	0,6667	5,00	3,33
					16,90

Partida  CONCRETO f'c = 280 kg/cm2 EN PLACAS  
 Rendimiento **m3/DIA** MO. **12** EQ. **12** Costo unitario directo por : m3 **670,87**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	2	1,3333	26,06	34,75
OFICIAL	hh	2	1,3333	20,49	27,32
PEÓN	hh	10	6,6667	18,53	123,53
					185,60
<b>Materiales</b>					
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		13,34	25,00	333,50
ARENA GRUESA DE RÍO	m3		0,45	140,00	63,00
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0,51	140,00	71,40
AGUA PARA CONCRETO	m3		0,189	2,50	0,47
					468,37
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	185,60	5,57
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11 P3-18HP	hm	1	0,6667	12,00	8,00
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1	0,6667	5,00	3,33
					16,90

Partida  CONCRETO f'c = 280 kg/cm2 EN LOSAS  
 Rendimiento **m3/DIA** MO. **20** EQ. **20** Costo unitario directo por : m3 **589,87**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	2	0,8000	26,06	20,85
OFICIAL	hh	2	0,8000	20,49	16,39
PEÓN	hh	10	4,0000	18,53	74,12
					111,36
<b>Materiales</b>					
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		13,34	25,00	333,50
ARENA GRUESA DE RÍO	m3		0,45	140,00	63,00
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0,51	140,00	71,40
AGUA PARA CONCRETO	m3		0,189	2,50	0,47
					468,37
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	111,36	3,34
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11 P3-18HP	hm	1	0,4000	12,00	4,80
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1	0,4000	5,00	2,00
					10,14

Partida  CONCRETO f'c = 210 kg/cm2 EN LOSA DE FUNDACIÓN  
 Rendimiento **m3/DIA** MO. **65** EQ. **65** Costo unitario directo por : m3 **248,07**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	2	0,2462	26,06	6,41
OFICIAL	hh	2	0,2462	20,49	5,04
PEÓN	hh	10	1,2308	18,53	22,81
					34,26
<b>Materiales</b>					
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2	M3		1,02	208,00	212,16
					212,16
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	34,26	1,03
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1	0,1231	5,00	0,62
					1,64



Partida  ARMADURA DE ACERO FY=4200 KG/CM2 EN VIGAS  
 Rendimiento **kg/DIA** MO. **250** EQ. **250** Costo unitario directo por : kg **6,99**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1	0,032	26,06	0,83
OFICIAL	hh	1	0,032	20,49	0,66
					1,49
<b>Materiales</b>					
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0,035	5,32	0,19
ACERO CORRUGADO fy=4200 Kg/cm2 GRADO 60	kg		1,07	4,81	5,15
					5,33
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1,49	0,04
DISCO DE CORTE METAL 115 x 1 mm	und		0,005	8,00	0,04
AMOLADORA 2000 R.P.M. DE 7 WATTS	hm	1	0,032	2,65	0,08
					0,17

Partida  ARMADURA DE ACERO FY=4200 KG/CM2 EN COLUMNAS  
 Rendimiento **kg/DIA** MO. **250** EQ. **250** Costo unitario directo por : kg **6,99**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1	0,032	26,06	0,83
OFICIAL	hh	1	0,032	20,49	0,66
					1,49
<b>Materiales</b>					
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0,035	5,32	0,19
ACERO CORRUGADO fy=4200 Kg/cm2 GRADO 60	kg		1,07	4,81	5,15
					5,33
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1,49	0,04
DISCO DE CORTE METAL 115 x 1 mm	und		0,005	8,00	0,04
AMOLADORA 2000 R.P.M. DE 7 WATTS	hm	1	0,032	2,65	0,08
					0,17

Partida  ARMADURA DE ACERO FY=4200 KG/CM2 EN PLACAS  
 Rendimiento **kg/DIA** MO. **250** EQ. **250** Costo unitario directo por : kg **6,99**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1	0,032	26,06	0,83
OFICIAL	hh	1	0,032	20,49	0,66
					1,49
<b>Materiales</b>					
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0,035	5,32	0,19
ACERO CORRUGADO fy=4200 Kg/cm2 GRADO 60	kg		1,07	4,81	5,15
					5,33
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1,49	0,04
DISCO DE CORTE METAL 115 x 1 mm	und		0,005	8,00	0,04
AMOLADORA 2000 R.P.M. DE 7 WATTS	hm	1	0,032	2,65	0,08
					0,17

Partida **02.04** ARMADURA DE ACERO FY=4200 KG/CM2 EN LOSAS  
 Rendimiento **kg/DIA** MO. **200** EQ. **200** Costo unitario directo por : kg **7,48**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1	0,04	26,06	1,04
OFICIAL	hh	1	0,04	20,49	0,82
					1,86
<b>Materiales</b>					
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0,06	5,32	0,32
ACERO CORRUGADO fy=4200 Kg/cm2 GRADO 60	kg		1,07	4,81	5,15
					5,47
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1,86	0,06
CIZALLA P/CORTE DE FIERRO	hm	1	0,04	2,50	0,10
					0,16

Partida **02.05** ARMADURA DE ACERO FY=4200 KG/CM2 EN LOSA DE FUNDACIÓN  
 Rendimiento **kg/DIA** MO. **250** EQ. **250** Costo unitario directo por : kg **7,12**

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1	0,032	26,06	0,83
OFICIAL	hh	1	0,032	20,49	0,66
					1,49
<b>Materiales</b>					
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0,06	5,32	0,32
ACERO CORRUGADO fy=4200 Kg/cm2 GRADO 60	kg		1,07	4,81	5,15
					5,47
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1,49	0,04
DISCO DE CORTE METAL 115 x 1 mm	und		0,005	8,00	0,04
AMOLADORA 2000 R.P.M. DE 7 WATTS	hm	1	0,032	2,65	0,08
					0,17

### RESUMEN ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

01	<b>CONCRETO</b>	<b>P.U</b>
01.01	VIGAS	S/. 603,37
01.02	COLUMNAS	S/. 670,87
01.03	PLACAS	S/. 670,87
01.04	LOSAS	S/. 589,87
01.05	LOSA DE FUNDACIÓN	S/. 248,07
02	<b>ACERO DE REFUERZO</b>	<b>P.U</b>
02.01	VIGAS	S/. 6,99
02.02	COLUMNAS	S/. 6,99
02.03	PLACAS	S/. 6,99
02.04	LOSAS	S/. 7,48
02.05	LOSA DE FUNDACIÓN	S/. 7,12

ANEXO 5: Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología	Tipo y Diseño
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General			
¿Qué software ETABS o ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL tiene más ventajas al realizar el proyecto estructural: Respuesta estructural, presentación de planos y metrados de un hotel de 8 niveles?	Comparar el proyecto estructural de un hotel de 8 niveles utilizando los softwares ETABS y ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL.				
Problemas secundarios	Objetivos Específicos				
¿Cuáles son las ventajas y desventajas del uso de los softwares BIM como Robot Structural Analysis Professional y Revit frente a los tradicionales como Autocad y Etabs para realizar el análisis y diseño estructural de un hotel de 8 niveles?	Determinar las ventajas y desventajas del uso del software BIM ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL frente a uno tradicional como ETABS.	El software Robot Structural Analysis Professional tiene más ventajas al determinar la respuesta estructural, presentación de planos y metrados de un hotel de 8 niveles en comparación a Etabs.	Proyecto estructural	Para el presente estudio se empleará como método general, el método científico y como método específico, el método descriptivo, basándonos en la observación, evaluando las características de la población y las variables en estudio para luego correlacionarlas.	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicativa</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental y transversal.</p>
	Evaluar qué software muestra una respuesta estructural mayor tanto a cargas gravitacionales típicas, como a cargas laterales como el sismo.				
	Contrastar los planos estructurales a diseño final, ya sean manuales o automatizados.				
	Comparar los metrados de concreto y acero de refuerzo de cada uno de los elementos estructurales realizados de manera manual y automática.		Etabs y Robot Structural Analysis Professional		

## ANEXO 6: Reconocimiento del lugar

1. La topografía del lugar es parcialmente llana y cuenta con pequeñas diferencias de nivel. En este sitio no existen evidencias de hundimiento del terreno ni deslizamientos.



2. Teniendo en cuenta que cuando se realizó el estudio de suelos, se excavaron calicatas de 4 m y visualizando la topografía superficial, el primer estrato de suelo debe ser retirado de manera obligatoria.



3. El tipo de vegetación que se pudo observar en el lugar es pasto y en el límite del terreno se observó algunos árboles que no determinan ningún problema. El tipo de suelo según la clasificación SUCS que se realizó al hacer el estudio de sueños es de suelo areno limoso arcilloso en su mayor parte y gravo arcilloso.



4. Se observó las construcciones vecinas y no se encontró huellas de niveles altos de agua. Así mismo, según el estudio de suelos realizado el nivel freático se encuentra a 2.10 m. Se debe tener cuidado al realizar la excavación para no generar derrumbes y tener una bomba funcionando todo el tiempo. Considerando nuestro nivel de fondo de cimentación a 2.80 m, colocar el solado de 10 cm.



5. El tipo de construcción vecina es de muros portantes. Cuenta con un nivel totalmente construido y en la azotea tiene muros parapetos. Al visualizar la estructura no se observó ninguna grieta en las paredes.



ANEXO 7: Planos de arquitectura del hotel de 8 niveles que se encuentran en  
ARCHICAD.

ANEXO 8: Planos de estructuras del hotel de 8 niveles utilizando AUTOCAD  
STRUCTURAL DETAILING.



ANEXO 9: Planos de estructuras del hotel de 8 niveles utilizando REVIT