UPN
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

"DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO EDUCATIVO, MEDIANTE LA METODOLOGÍA BUILDING INFORMATION MODELING (BIM), EN LA CIUDAD DE TRUJILLO – 2022"

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Ghiann Jesus Emanuel Alcantara Cabrera

Sebastian Rodas Alvarado

Asesor:

Mg. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García
Código ORCID https://orcid.org/0000-0002-3441-8005

Trujillo - Perú

2022

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	**Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina**	**41526075**
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	**Mg. Ing. Eduar José Rodríguez Beltrán**	**18213588**
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	**Mg. Ing. Cinthya Vanessa Alvarado Ruiz**	**71412783**
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y todo lo que tengo, ya que sin Él no sería nada, a mi madre, por todo sus consejos, esfuerzos y sacrificios, los cuales me han servido para mi formación personal y profesional, a mi familia y amigos, que siempre estuvieron acompañándome en todo este proceso.

Ghiann Jesús Emanuel Alcantara Cabrera

A mi madre, por convertirse en padre y madre a la vez, aconsejándome siempre durante mi formación, para ser un profesional de bien, a mi padre porque a pesar de su ausencia, llevo presente todos los días de mi vida sus recuerdos y enseñanzas.

Sebastian Rodas Alvarado

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y todo lo que necesito.

A mi madre por su amor y sacrificio para poder obtener una carrera profesional.

A mis tíos, por ser como mis padres, y estar conmigo en todo momento.

A mis hermanos, primos y amigos, que fueron un gran sustento en los momentos difíciles.

Al ingeniero Gonzalo Díaz por su ayuda y dedicación para culminar con este trabajo.

Ghiann Jesús Emanuel Alcantara Cabrera

A Dios, por permitirme superar múltiples obstáculos y llegar a esta etapa de mi vida.

A mi madre por darme la oportunidad de formarme como profesional.

A mis tíos, por brindarme el apoyo necesario durante mi etapa universitaria en Trujillo.

A mis hermanos, por mantenernos unidos y apoyarnos a pesar de la distancia.

A nuestro asesor, el ingeniero Gonzalo Díaz García, por su apoyo constante para poder culminar este trabajo.

Sebastian Rodas Alvarado

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR 2
DEDICATORIA 3
AGRADECIMIENTO 4
ÍNDICE DE TABLAS 7
ÍNDICE DE FIGURAS 8
RESUMEN 9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 10
1.1. Realidad problemática 10
1.1.1. Antecedentes de la investigación 16
1.1.2. Bases teóricas 25
1.1.2.1. Diseño Estructural 25
1.1.2.1.1 Cargas 25
1.1.2.1.2 Estructuración y Predimensionamiento 29
1.1.2.1.3 Diseño Sismorresistente 32
1.1.2.1.4 Análisis Estructural 42
1.1.2.1.5 Diseño en Concreto Armado 47
1.1.2.2. Building Information Modeling (BIM) 54
1.1.2.2.1 BIM en el Perú 57
1.1.2.2.2 Level of Development (LOD's) 61
1.1.2.2.3 Level of Information (LOI's) 62
1.1.2.2.4 Softwares 63
1.1.2.2.5 Roles de BIM 66
1.1.2.2.6 Dimensionamiento BIM 67
1.1.2.3. Edificación esencial 68
1.2. Formulación del problema 68
1.3. Objetivos 68
1.3.1. Objetivo general 68
1.3.2. Objetivos específicos 69
1.4. Hipótesis 69
1.4.1. Hipótesis general 69
1.4.2. Hipótesis específicas 69
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 71
2.1. Tipo de investigación 71
2.1.1. Por el propósito: 71
2.1.2. Según el diseño: 71
2.1.3. Diseño de investigación: 71
2.2. Variables 72
2.3. Clasificación de variables (matriz de clasificación de variables) 72

2.4. Operacionalización de variables /Matriz de operacionalización de variables. 73

2.5. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) 74
2.5.1. Población 74
2.5.2. Muestra 74
2.5.2.1. Técnicas de muestreo 74
2.5.2.2. Tamaño de la muestra 74
2.5.3. Materiales 75

2.6. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos 75
2.6.1. Técnica de recolección de datos. 75
2.6.1.1. Análisis documental 75
2.6.2. Instrumento de recolección de datos 75
2.6.3. Análisis de datos: 76
2.6.4. Validación de datos 77

2.7. Procedimiento 78

CAPÍTULO III. RESULTADOS 83

3.1. Predimensionamiento y Modelamiento Arquitectónico 83
3.1.1. Predimensionamiento 83
3.1.2. Modelamiento Arquitectónico 85

3.2. Análisis Sísmico 91
3.2.1. Distorsiones de entrepisos estática y dinámica 91
3.2.1.1. Derivas estáticas máximas 91
3.2.1.2. Derivas dinámicas máximas 91
3.2.2. Evaluación de Irregularidades 92
3.2.3. Fuerza Sísmica de Diseño 92

3.3. Diseño de Elementos de Concreto Armado 92
3.3.1. Disposición del Refuerzo corrido en Vigas y Losa Aligerada 92
3.3.2. Disposición del Refuerzo en Columnas y Muros estructurales 93
3.3.3. Disposición del Refuerzo en Escalera 94
3.3.4. Disposición del Refuerzo en Cimentaciones 95

3.4. Planos Estructurales 96

3.5. Guía de modelamiento 111

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 112

4.1. Discusión 112

4.2. Conclusiones 117

4.3. Recomendaciones 119

REFERENCIAS 120

ANEXOS 123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Pesos Unitarios 26
Tabla 2: Losas aligeradas armadas en una dirección de concreto armado 26
Tabla 3: Cargas Vivas Mínimas Repartidas 28
Tabla 4: Peraltes mínimos de losas macizas 30
Tabla 5: Factores de zona 35
Tabla 6: Factor del suelo "S" 36
Tabla 7: Periodos "Tp" Y "Tl" 36
Tabla 8: Categoría, descricpión y Factor "U" para edificaciones esenciales 38
Tabla 9: Categoría y sistema estructural de las edificaciones esenciales A2 39
Tabla 10: Sistema estructural de concreto armado 40
Tabla 11: Irregularidades estructurales en altura 41
Tabla 12: Irregularidades estructurales en planta 41
Tabla 13: Categoría y regularidad de las edificaciones 42
Tabla 14: LOI's con respecto a distintos LOD's 63
Tabla 15: Diseño de investigación transversal 71
Tabla 16: Clasificación de variables 72
Tabla 17: Materiales 75
Tabla 18: Técnicas e instrumentos de recolección de datos para la variable 76
Tabla 19: Predimensionamiento de Losa Aligerada 83
Tabla 20: Clasificación de la viga por ejes y módulos 83
Tabla 21: Clasificación de las columnas por ejes y niveles 83
Tabla 22: Muros estructurales 84
Tabla 23: Espesor de garganta 84
Tabla 24: Derivas estáticas máximas 91
Tabla 25: Derivas dinámicas máximas 91
Tabla 26: Irregularidades probables de presentarse 92
Tabla 27: Fuerzas sísmicas de diseño por módulo 92
Tabla 28: Refuerzo en vigas 93
Tabla 29: Refuerzo en losa aligerada 93
Tabla 30: Sección y disposición de acero en columnas 94
Tabla 31: Sección y disposición de acero de los muros estructurales 94
Tabla 32: Sección y disposición de acero en la escalera 94
Tabla 33: Sección y disposición de acero en las zapatas 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación sísmica en el Perú 34
Figura 2. Diagrama Interacción teórico 53
Figura 3. Ciclo de vida de una edificación 55
Figura 4. Curva de esfuerzo del proceso constructivo 56
Figura 5. Interoperabilidad de BIM 57
Figura 6. BIM en Latinoamérica 58
Figura 7. Level of Development (LOD's) 63
Figura 8. Diseño de investigación transversal 71
Figura 9. Planta de Distribución Arquitectónica Nivel 01. 85
Figura 10. Planta de Distribución Arquitectónica Nivel 02. 86
Figura 11. Azotea. 87
Figura 12. Cortes y Elevaciones. 88
Figura 13. Cortes y Elevaciones 89
Figura 14. Cortes y Elevaciones 90
Figura 15. Planta de cimentaciones. 96
Figura 16. Detalles de cimientos y columnas. 97
Figura 17. Detalles de cimentaciones y escalera. 98
Figura 18. Detalle de viga de cimentación. 99
Figura 19. Plano de techo 01 (Módulo 1 y 2). 100
Figura 20. Plano de techo 02 (Módulo 1 y 2). 101
Figura 21. Detalles de vigas módulo 1. 102
Figura 22. Detalles de vigas módulo 1. 103
Figura 23. Detalles de vigas módulo 1. 104
Figura 24. Detalles de vigas módulo 1. 105
Figura 25. Detalles de vigas módulo 1. 106
Figura 26. Detalles de vigas módulo 2. 107
Figura 27. Detalles de vigas módulo 2. 108
Figura 28. Detalles de vigas módulo 2. 109
Figura 29. Detalles de vigas módulo 2. 110
Figura 30: Guía de modelamiento 111

RESUMEN

La construcción civil sigue siendo un tema de gran relevancia para todo el mundo, por ello, constantemente se están realizando estudios que buscan mejorar los proyectos civiles, brindando mayor seguridad para toda la población en cuanto a las estructuras diseñadas. Debido a ello, el objetivo de la presente investigación es determinar el diseño estructural de un edificio educativo, mediante la metodología Building Information Modeling (BIM), en la ciudad de Trujillo, 2022. Dicho trabajo según el propósito, es de tipo aplicada y según el diseño es no experimental. Como resultados, se obtuvo el modelamiento y diseño estructural de un centro educativo, con su respectivo análisis sísmico, donde se comprobaron las derivas máximas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, además se desarrolló una guía de modelamiento. Finalmente, se concluye que BIM es una metodología con gran proyección en el Perú y que brindará grandes beneficios en el flujo de trabajo que se necesita en los proyectos de construcción civil.

Palabras clave: Buildin Information Modelling, diseño, estructuras, modelamiento, trabajo colaborativo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el mundo de la ingeniería civil, el análisis y diseño de estructuras, es un tema que continuamente viene siendo estudiado con el pasar del tiempo, para tratar de entender los fenómenos que se presentan y describir adecuadamente su comportamiento y respuesta frente a estos. La principal prueba a las que son sometidas son fenómenos eventuales como los sismos, es así que muchos países con la recurrencia de estos, aprenden mucho de la experiencia, como es el caso de Chile y su terremoto en 2010, Japón y su evento sísmico en 2011 y México con su último evento telúrico de gran magnitud registrado en 2017. Por ello, analizar a profundidad el comportamiento de las estructuras, resulta ser una demanda sumamente necesaria, para la presentación de cualquier proyecto de ingeniería que tenga como necesidad fundamental garantizar funcionalidad y seguridad.

En Chile, luego de los daños ocasionados en torno al sismo de Maule en 2010, con magnitud de 8.8 Mw, el gobierno decidió invertir en la reformulación de los códigos de diseño estructural, más específicamente en las normas que orientan el diseño sísmico y el concreto armado. Para diciembre del 2011 se oficializaron los cambios, entre los que se destaca que se relajaron algunas exigencias, pero se implementaron nuevos requerimientos. Así mismo, se llegó a la conclusión de definir un nuevo espectro de diseño, de tal manera que se pueda incorporar los cambios realizados (Ledezma, 2017).

Por otro lado, en Japón, la estricta normativa de diseño estructural, permite apreciar resultados de baja escala, como, por ejemplo, considerando el sismo del 2011, con una magnitud de 9 grados, la cantidad de víctimas ascendió a 21 000 personas aproximadamente. Lo que sucede es en este país el cumplimiento de sus códigos, así

como los criterios de estructuración se mantienen con el cuidado debido, a pesar de contar con suelos blandos. Esto los lleva a invertir en la mejoría de sus fundaciones, con diferentes técnicas como la reposición de suelos externos o algún sistema de protección sísmica como los aisladores de base. Por eso, Japón es considerado hoy, como el único país en el mundo, capaz de resistir eventos telúricos de gran envergadura, gracias a una adecuada concepción de su diseño desde las etapas iniciales (Guerrero, 2011).

A su vez, en México, la realidad presentada durante su último gran sismo, el 19 de setiembre del 2017, dejó en evidencia muchas peculiaridades en sus códigos que rigen el diseño estructural. Por ejemplo, las consideraciones respecto a las posibles aceleraciones a presentarse durante el evento sísmico, resultaron ser muy cercanas a las contempladas en su reglamento. Por otra parte, la cantidad de damnificados, no rige directamente con malos cálculos, muchos casos, desprenden males que acontece el rubro, como la autoconstrucción y la práctica con materiales de mala calidad. Ante esto el diseño estructural de edificaciones bien elaboradas, dejó constar respuestas esperadas, quedando en evidencia que, trabajando con rigurosidad y responsabilidad, se pueden conseguir óptimos resultados (Pérez-Gavilán, Aguirre, & Ramírez, 2018).

El Perú es un país sísmicamente activo, según el Reglamento Nacional de Edificaciones, tenemos múltiples códigos que regulan el diseño estructural. Aún con eso, el proceso de aprendizaje no es estático, por el contrario, en el país se vienen actualizando nuestras normas, como es el caso de la última modificación que tuvo nuestra E.030 en el año 2018. La necesidad recalca en que, en el país se viene dando una dinámica actividad constructora, es por ello que los comités de evaluación, vienen ajustando los requerimientos, con el propósito de esperar que, ante cualquier evento sísmico, se prevea al máximo, la seguridad de la vida humana.

En la ciudad de Trujillo, tenemos investigaciones como las de Cruz y Dieguez (2015), donde detallan un diseño estructural en concreto armado para una edificación multifamiliar de 5 niveles más azotea, con la entonces norma vigente de diseño sismorresistente E.030. También tenemos más investigaciones que involucran no solo el concreto reforzado, sino también, la albañilería confinada como otro material estructural.

El diseño estructural de cualquier edificación realizada en el Perú, debe cumplir normativas establecidas en nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones. El desarrollo de todo diseño estructural contemplará siempre las normas E.020 Cargas, E.030 Diseño sismorresistente y E.050 Suelos y cimentaciones. Según se emplee algún material en particular o aislamiento sísmico se requerirá cumplir con sus requerimientos respectivos.

Briones y Álvarez (2018), encontraron que la elaboración de un diseño estructural de una edificación de cinco pisos (4 pisos y un semisótano) en ETABS y ROBOT S.A.P. nos da resultados muy similares con algunas diferencias, a pesar de que se realizaron de manera muy semejante y ambos trabajan con el método de elementos finitos. El software ROBOT S.A.P. tiene grandes ventajas en comparación del Etabs al momento de realizar un diseño estructural. Elaborar un proyecto estructural en el software ROBOT S.A.P. es mucho más rápido que realizarlo con ETABS, debido a que ROBOT S.A.P. ofrece más herramientas tanto en la modelación, diseño en concreto armado, dibujo de planos y metrados, los cuales permiten concluir el trabajo en un tiempo más corto, ocasionando un menor costo en la elaboración de un proyecto estructural. Debido al corto tiempo que tiene el software ROBOT S.A.P. (8 años) en el mercado en comparación con ETABS (40 años), el uso de este programa es limitado ya que hay poca información disponible; en cambio hay mucha información difundida del

programa ETABS la cual está al alcance de todos, esto logra que ETABS sea el programa más utilizado por los ingenieros estructuritas principalmente por los que están comenzando su carrera.

Flores (2018), encontró que al realizar el diseño estructural considerando el análisis sísmico de un edificio 7 niveles, el comportamiento sismorresistente de la estructura tanto para el análisis sísmico estático y dinámico presentó un buen desempeño de los resultados obtenidos de Robot Structural - BIM 3D, cumpliendo así con todos los requisitos de desempeño ante esfuerzos y desplazamiento.

Domínguez y Moreno (2018), encontraron que debían integrar algunos elementos en el diseño estructural, como lo son los muros estructurales en zonas que se requerían, estos permitieron minimizar los desplazamientos excesivos encontrados al realizar los análisis respectivos. La estructura solo conto con una irregularidad en planta esto redujo el factor de coeficiente sísmico en ambas direcciones Ro =6.3 esto provocó un aumento en la fuerza cortante basal.

Luego de analizar las investigaciones citadas, podemos notar que, durante los últimos años, el empleo de las herramientas BIM para el diseño estructural, viene tomando forma a partir de evidenciarse beneficios en el proceso de diseño, como en los productos finales de todo proyecto. A su vez, estas investigaciones detallan el procedimiento a seguir para la obtención de resultados, así como algunos criterios utilizados por los estructuralistas, para poder cumplir, las estándares máximos y mínimos, que nuestra de diseño sismorresistente E.030 estipula. Estos pasos a seguir serán tomados en cuenta con el criterio debido, para mostrar resultados que respondan las hipótesis de esta investigación.

La reconocida empresa nacional Cosapi (2015) comenta que: En apenas 20 meses, logró construir la futura sede del Banco de la Nación en la avenida Javier Prado Este,

en San Borja, que con sus 30 pisos y cuatro sótanos es el edificio más alto del Perú con 135.5 metros de altura. Para construir los 66,539 metros cuadrados de esta megaestructura, Cosapi implementó un conjunto de metodologías y tecnologías de construcción. Por ejemplo, usó el sistema de trabajo fast-track para la ingeniería y construcción en paralelo y unificó la ingeniería, el diseño estructural y el control de la construcción con la plataforma Building Information Modeling (BIM) combinada con las tecnologías REVIT, Lean Construction y Last Planner. Asimismo, empleó por primera vez en el Perú un sistema de encofrado y grúa torre autotrepantes y protección perimetral a nivel de núcleo, que asciende con un sistema de gatas hidráulicas a medida que avanza la obra, obteniendo un sistema constructivo con altos estándares de seguridad. Todo ello permitió que su diseño y construcción se realicen con la más alta eficiencia, con ahorros en tiempo y costo, con una logística y planificación impecables.

La antigua y vanguardista empresa Graña y Montero (2013) argumenta que: se empleó la metodología BIM, en el proceso de diseño estructural y ejecución del Edificio Educativo de la Universidad del Pacífico, el cual consta de 5 niveles más una azotea. La experiencia que comentan es que sirvió para encontrar errores en el diseño con respecto a la adaptación con otras especialidades, logrando finalmente llevar a cabo el proyecto y ser ahora una de sus obras emblemas.

El diseño estructural tradicionalmente conocido en el rubro de la construcción, está aislado con el resto de especialidades como arquitectura, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas y no trabajan de una manera colaborativa en los proyectos. Es así que, vincular la información de todas las ramas en una obra y ejecutarla, resulta ser un proceso tedioso y no rentable en la gran mayoría de construcciones, porque deja notar que existen interferencias entre estas y provocan cambios probablemente en el

diseño, que usualmente demandan tiempo en la ejecución, y además atrasos, por consecuencia una variedad de adicionales (Campaña, 2019).

Cabe mencionar que, la elaboración de planos estructurales a detalle, provoca una recurrencia de malas prácticas en los expedientes que se licitan, dejando en evidencia que algunos proyectistas agregan diseños similares y no analizan a profundidad el trabajo a realizar. Esto va de la mano, con una revisión ineficiente por la extensa cantidad de documentos, lo que conlleva a que el problema siga persistiendo.

También es necesario reconocer, que le damos poca importancia a capacitarnos de herramientas nuevas, por el tiempo necesario y la inminente reducción de rentabilidad al inicio de todo cambio significativo en los procesos de aprendizaje (Gonzales, 2018).

A su vez, el emplear herramientas tradicionales que tienen en el mercado una gran cantidad de tiempo, como los Softwares SAP 2000 o Etabs (45 años) y SAFE (27 años) provoca la inminente aplicación de estos, por ser de uso común para los docentes que realizan proyectos de esta manera. Por otra parte, el desconocimiento desde los inicios, de algún nuevo diseñador con respecto a otras alternativas en herramientas para el cálculo estructural que involucran un entorno colaborativo y de accesible manejo, produce la poca difusión de softwares como el Robot, Cypecad, Tekla, entre otros.

Por todo lo mencionado, podemos notar que el trabajo empleando la metodología BIM, viene avanzando poco a poco. La presente investigación desea realizar el diseño estructural, comenzando desde un predimensionamiento de los elementos estructurales, análisis estructural, mediante la norma de diseño sismorresistente actual la E.030-2018, diseño de las secciones de concreto, tomando como referencia la norma E.060 de concreto armado y la norma E.050 de suelos y cimentaciones, culminando con la elaboración planos de un edificio educativo como es la I.E N°1733 Mi Mundo Maravilloso, del distrito y provincia de Trujillo, Región La Libertad, aplicando la

metodología Building Information Modeling (BIM), para trabajar de manera conjunta con la especialidad de arquitectura, buscando comprobar los beneficios que se viene hablando del BIM y como esto repercute en el diseño.

La importancia de este trabajo, reflejará cuan valioso resulta aprender a trabajar, desde la parte estructural de manera colaborativa, nuestros proyectos de pequeña, mediana y gran envergadura. No solo para minimizar costos o para reducir tiempo y automatizar, sino para entender la necesidad de los usuarios y beneficiar al cliente en lo máximo de las posibilidades. Cabe resaltar, que el rol de todo profesional es mantenerse actualizado de las herramientas y en este caso sobre la ingeniería civil, aplicar e investigar cómo trabajan estas novedades, para determinar cómo nos aporta en nuestro ejercicio profesional, logrando resultados más exactos, precisos y acordes con respecto a datos y tiempo. A su vez, el estado peruano viene trabajando en que el BIM se venga aplicando de manera progresiva en los proyectos de inversión pública, con el decreto supremo N°289 - 2019 MEF. Es por eso, que se busca plasmar una manera de trabajo, que con el tiempo resultará una necesidad por parte de los proyectistas y contratistas de todo proyecto en nuestro país.

1.1.1. Antecedentes de la investigación

Briones & Alvarez, (2018), en su investigación se propuso comparar la eficiencia en el modelamiento, diseño sismorresistente y diseño en concreto armado de los softwares Etabs y Robot Stuctural Analysis Professional, aplicado en un edificio de cinco niveles (cuatro pisos y un semisótano), para determinar el más óptimo (p.28). De acuerdo a la finalidad de la investigación y condición de la investigación, se empleó la forma descriptiva y comparativa, ya que analizará y describirá consecuentemente la información teórica de tesis y libros existentes, de acuerdo a su respectiva aplicación de normatividad (p.89). Como resultado se obtuvo que el tiempo empleado por una

persona para realizar un proyecto estructural en el software ETABS es de 324 horas, mientras que en Robot S.A.P. se demora 174 horas. Además, el costo de la elaboración del proyecto usando ETABS es de 14725.80 soles y con Robot S.A.P. es de 7908.30 soles. En conclusión, el software ROBOT S.A.P. tiene grandes ventajas en comparación del ETABS al momento de realizar un proyecto estructural. Elaborar un proyecto estructural en el software ROBOT S.A.P. es mucho más rápido que realizarlo con ETABS, debido a que ROBOT S.A.P. ofrece más herramientas tanto en la modelación, diseño en concreto armado, dibujo de planos y metrados, los cuales permiten concluir el trabajo en un tiempo más corto, ocasionando un menor costo en la elaboración de un proyecto estructural.

La presente investigación aporta el conocimiento de las diferencias que puede haber entre dos softwares específicos para el diseño estructural de una edificación. Además, este aporte ayuda a conocer como la metodología Building Information Modelling (BIM) está causando grandes beneficios en la construcción de obras, ya que Robot Structural Analysis es un software que pertenece a esta metodología, mientras que ETABS no lo es.

Huaraca (2018), planteó como objetivo realizar el análisis comparativo aplicando el software Robot Structural Analysis y Etabs para evaluar el comportamiento estructural de viviendas autoconstruidas en el distrito de Pucará, Huancayo, 2017 (p.29). El método de investigación es el científico, de tipo de investigación aplicada, de nivel descriptivo - correlacional y el diseño de la investigación es no experimental; la población está conformada por todas las viviendas autoconstruidas en el distrito de Pucará y el muestreo es no probabilístico intencional o dirigido, corresponde a una vivienda autoconstruida ubicado en el Jr. Puno N° 250 distrito de Pucará (p.64). Con respecto a resultados al verificar el diseño de las vigas y columnas, se obtuvieron

resultados no satisfactorios en ambos softwares, ya que las secciones son deficientes para la vivienda de 4 niveles (p.86). En conclusión, Los resultados obtenidos del diseño de los elementos estructurales en ambos softwares son similares, no cumpliendo las exigencias de la Norma E.060, ya que los aceros existentes no son suficientes para soportar cargas. Y se demuestra la eficacia que posee el software Robot Structural que nos permite realizar el armado detallado de los aceros en el mismo software y pudiendo visualizar la armadura tridimensional de manera real; en cuanto a Etabs solo nos muestra las áreas de los aceros y se tiene que utilizar plantillas de cálculo en Excel (p.88).

La presente investigación aporta la observación de la poca variación que existen con respecto a los datos al hacer el análisis estructural de viviendas autoconstruidas con dos softwares: ETABS y Robot Structural Analysis. Conociendo así que Robot Structural Analysis, a pesar de ser un nuevo software de la metodología Building Information Modelling (BIM), proporciona datos muy similares a lo que provee uno de los softwares más utilizados a través del tiempo, como es el ETABS.

Dominguez & Moreno (2018), consideraron como finalidad realizar el Diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles bajo la metodología Building Information Modelling (BIM) ubicado en la provincia de Pomabamba, Ancash (p.28). Para la metodología, la investigación se realiza la simulación y se observa el comportamiento de la estructura ante cargas sísmicas analizando los resultados obtenidos. Además, el proyecto de investigación describe las características encontradas en el análisis basada en una metodología de trabajo (p.28). En cuanto a resultados, el diseño estructural sismorresistente realizado, calcularon y definieron las dimensiones de las vigas, columnas, muros estructurales, escalera principal losa de

cimentación y zapatas aisladas. Fueron calculados sus áreas de acero. Bajo la metodología BIM. Existe el modelo estructural tridimensional con la distribución de aceros y definidas las medidas de los elementos estructurales mencionados (p.99). En conclusión, se realizó el cálculo de las áreas de acero y se elaboró los planos estructurales de los elementos de la superestructura y subestructura del edificio con las herramientas computacionales BIM: Autodesk Robot Structural y el Revit 2018. Las herramientas integradas en el programa permitieron realizar el diseño, de manera más automática, cuidando que cumplan los planteamientos aprendidos en el curso rediseño de concreto armado, las cuales son: cuidar que cumplan las normas respectivas y los criterios económicos y si también como los criterios de trabajabilidad en el momento de la ejecución (p.104).

La presente investigación aporta el conocimiento del proceso del diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles con la metodología Building Information Modelling (BIM), con el software en particular llamado Robot Structural Analysis, Obteniendo así mayor automatización durante el proceso de diseño. Además, se da a conocer la interrelación que hay entre las diferentes especialidades para la elaboración de todo un proyecto integrado de construcción civil.

Villena (2017), centró su investigación en realizar la Modelación de un Edificio Irregular de 5 niveles mediante la utilización del programa especializado "REVIT STRUCTURE" y su análisis mediante un programa especializado "ROBOT STRUCTURAL ANALISYS" (p.4). Con respecto a la metodología, el estudio experimental y aplicada del tema tratado es necesario para determinar la confiabilidad y rentabilidad del sistema Building Information Modelling (BIM) como metodología para el diseño y modelación de una estructura, y a su vez compararlo con un programa

especializado de uso comercial que permita verificar los resultados obtenidos (p.21). Como resultado, se llegó a hacer el diseño y modelación de un edificio irregular mediante la metodología Building Information Modelling (BIM), usando el código ACI-318 y comparándolo con el programa ETABS que corresponde a la metodología tradicional. Es así como, los resultados obtenidos con los programas de diseño estructural "Robot Structural Analysis" y "Etabs" son muy similares, presentando diferencias entre el 1% y el 6 % como es el caso de las reacciones obtenidas de acuerdo con el peso propio de la estructura que varían en un 5.2% en sus reacciones en la dirección de la gravedad (p.76). Finalmente, se concluye que los programas especializados "Revit" y "Robot Structural Analysis" permiten una conexión directa de su plataforma de trabajo, usando un solo documento digital y optimizando el tiempo empleado en el diseño y representación gráfica del proyecto en estudio. Con el paso del tiempo la innovación tecnológica del BIM ha demostrado las mejoras de utilizar su sistema haciendo que las ventajas de utilizarlo demuestren la gran ayuda que aportan en el ámbito de la construcción, es así que el software de representación gráfica "Revit" permite realizar resúmenes de obra, cronogramas de actividad y cuantificación de materiales, alcanzando grandes beneficios en tiempo – trabajo para la planificación y desempeño de obras de construcción (p.76).

El presente trabajo aporta el conocimiento de la conexión que puede haber entre los softwares forman parte de la metodología Building Information Modelling (BIM), como soy Revit y Robot Structural Analysis, los cuales ayudan a conformar un solo documento para poder optimizar los tiempos de la elaboración del diseño. Además, gracias a estos softwares se logra obtener una cuantificación de materiales, lo cual ayuda a reducir el nivel de trabajo.

Baños & Rosales (2018), tuvieron el objetivo de realizar un diseño sísmico estructural de una edificación debido a que Ecuador se encuentra en una zona sísmica y por lo tanto está expuesto a sufrir terremotos y sismos (p.43). Por ello, todos los diseños de proyectos de construcción civil deben buscar controlar el impacto que tienen las fuerzas sísmicas sobre las edificaciones, logrando así salvaguardar la vida de las personas que habitan esas obras. Se utilizó la norma ecuatoriana de construcción (NEC), la cual está basada en la norma estadounidense ASCE. La elaboración de planos, metrado y todo lo que conlleva el diseño de una edificación fue hecha con metodología BIM, utilizando principalmente el software Revit. Con respecto a la metodología, se usó la recolección de información histórica y se investigó los parámetros a considerar en un diseño sismorresistente (p.44). como resultados se obtuvo el diseño de 4 alternativas utilizando diferentes sistemas estructurales (p.371). Finalmente, se concluyó que el diseño era correcto, ya que satisfacía las condiciones antisísmicas y, además, tenía un impacto ambiental positivo (p.371).

El presente trabajo aporta en cuando al diseño estructural de un proyecto ya que da una visión clara de alternativas de diseño, combinándola con una nueva tecnología, la cual se trata de BIM. Obteniendo resultados favorables como que no hay un impacto ambiental negativo. Además, se ve una de las ventajas que ofrece BIM como el mejoramiento de del tiempo de la elaboración del proyecto.

Bilbao (2019), en su trabajo de investigación contó con el objetivo de mostrar las ventajas que tiene el software de cálculo SDS/2 con respecto a otros programas como el Tekla. Para realizar la comparativa, se realiza el diseño estructural de una torre. Además, proporciona la definición y la historia de la metodología Building Information Modelling (BIM). Además, alega que SDS/2 podría ser utilizado como una herramienta BIM tranquilamente, con grandes beneficios (p.1). Con respecto a la

metodología, se realizó un conjunto de preguntas a una empresa que utiliza el software de Tekla. Las normas de cálculo tomadas por el autor, para el diseño estructural, son específicamente de Chile, donde se toma en cuenta las normas según "El Instituto Americano de Construcción de Acero (AISC)" y "El Instituto Chileno del Acero (ICHA)". Al realizar el análisis, ambos programas entregaron como resultado del modelado de la torre, cada uno de los planos de miembros, fabricación y montaje, con la única diferencia que en Tekla, el detallamiento de estos es manual, y en SDS/2 es automático (p.41). Finalmente, se concluye que SDS/2 es un software superior a Tekla, debido a que posee una gran cantidad de herramientas y el modelado se hace en menor tiempo. Además, se añade que con Tekla se necesita hacer el detallamiento e planos de forma manual, mientras que con SDS/2 es automático (p.41).

El presente trabajo de investigación aporta la visión del amplio campo de programas de cómputo que posee la metodología BIM, además que deja ver que aún se puede mejorar en esta tecnología, buscando la mayor automatización. Conforme a ello, se ve que hay varias propuestas de software para el diseño estructural, buscando mejorar cada vez más el proceso de diseño de un proyecto de construcción civil.

Pretell (2018), en su objetivo de investigación tuvo el analizar las características sismorresistentes del edificio multifamiliar de 9 pisos con su diseño convencional y con la implementación de aisladores sísmicos (p.26). La investigación se diseña como descriptiva comparativa (p.27). En los resultados obtenidos, la estructura aislada presenta su mayor desplazamiento relativo en la interfaz de aislación y en los pisos superiores se observa poco incremento entre ellos, mientras que la estructura con el sistema dual no presenta desplazamiento en la base, pero si mayores desplazamientos relativos y menor desplazamiento máximo con relación al sistema aislado (p.102). En conclusión, La

aplicación de aisladores sísmicos del tipo HDR, nos permite obtener mayores periodos de la estructura al hacer el análisis dinámico. Con lo que se obtiene una considerable reducción de las aceleraciones y consecuentemente la acción de las fuerzas del sismo será menor. Esto nos permite reducir elementos estructurales al momento de considerar los criterios de diseño (p.119).

La presente investigación aporta al conocimiento de la importancia del diseño estructural y todas las consideraciones que se deben tener al momento de elaborar dicho diseño. Además, el presente trabajo presenta un análisis sísmico con toda la normativa correspondiente e implementado nueva tecnología como aisladores sísmicos, proporcionando información valiosa, en especial porque el Perú se encuentra en el cinturón de fuego.

Cruz & Dieguez (2015), desarrollaron el objetivo de realizar el análisis y diseño estructural en concreto armado para una vivienda multifamiliar aplicando la nueva norma de diseño sismorresistente en la urbanización Soliluz – Trujillo (p.4). En la metodología, para la elaboración del diseño estructural del presente proyecto se seguirá los siguientes pasos: 1° Evaluación de capacidad portante del suelo, 2° Estructuración y predimensionamiento de elementos estructurales 3° Análisis sísmico de la estructura con nueva norma E.030 (2014) y 4° Análisis y diseño de elementos estructurales (Principales y complementarios) y 5° Elaboración de planos estructurales (p.39). Los resultados de este proyecto en particular muestran que los requisitos de rigidez (control de desplazamientos laterales) de la norma peruana E.030 (2014) diseño sismorresistente conducen a estructuras de muros estructurales con dimensiones importantes de columnas. Se obtuvieron columnas con lados de 25 a 70 cm. para el presente edificio (p.97). Un criterio muy usado actualmente en el diseño sismorresistente es incluir muros de corte en ambas direcciones, los cuales

proporcionan una gran rigidez lateral al edificio, este criterio se ha aplicado en el presente proyecto. Evaluando los resultados podemos concluir que efectivamente es un buen criterio pues las placas han tomado el 80% de porcentaje del cortante sísmico y se han limitado los desplazamientos horizontales (p.99).

El presente trabajo de investigación aporta el procedimiento realizado para el diseño estructural utilizando los conceptos y lineamiento de la nueva norma E.030. Logrando así verificar que el diseño es gobernado por los esfuerzos que ofrece el sismo a la edificación, además de concluir que, si bien el software utilizado es de gran ayuda, lo importante es la interpretación de datos, lo cual pertenece al diseñador.

Escamilo (2017), en su investigación tuvo como objetivo desarrollar una metodología para el diseño de una edificación de albañilería confinada de más de 5 pisos (p.5). Para el presente estudio se empleó el Método Descriptivo-Aplicativo; es decir describir y analizar sistemáticamente lo que existe con respecto a las variaciones o las condiciones de la situación, aplicando luego lo encontrado a un modelo especifico (p.6). En cuanto a los resultados, los cálculos demuestran que los muros de edificaciones altas de albañilería confinada deben diseñarse siguiendo los requisitos de la norma técnica E0.70 (p.119). Para concluir, se verificó que el cortante actuante en todos los muros sea menor que el 55% del cortante resistente (V'm), de esta manera aseguramos que el edificio se comporte elásticamente bajo un sismo moderado, y no sufran ninguna fisura de consideración frente a movimientos telúricos de mayor ocurrencia (p.119).

La presente investigación aporta el procedimiento que se tiene que hacer para el diseño estructural del sistema de albañilería confinada siguiendo los requerimientos E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Además, aporta

el diseño de elementos estructurales de concreto armado presentes también en dicho sistema, ayudando así a conocer la metodología utilizada

1.1.2. Bases teóricas

1.1.2.1. Diseño Estructural

La estructura es la percepción de un sistema con múltiples componentes que al combinarlos deben estar listos para cumplir una cierta función. Como todo sistema, debe proyectarse a alcanzar ciertos objetivos y cumplir con ciertas restricciones. El proceso es repetitivo; se parte de consideraciones generales, que se afinan en aproximaciones sucesivas, a medida que se acumula información sobre lo que se necesita. Idealmente el objeto del diseño de un sistema es la optimización del mismo, es decir la obtención de todas las mejores soluciones posibles. El lograr una solución óptima no es fácil de alcanzar, sin embargo, es útil optimizar de acuerdo con determinado criterio, tal como el peso o costo mínimo; teniendo en cuenta que no existen soluciones únicas como razonables, por eso un problema diseño es susceptible a múltiples opiniones (Oviedo, 2016,p.1).

1.1.2.1.1 Cargas

Las cargas se definen como la acción de las fuerzas u otros efectos que determinen el peso de los materiales de construcción, los habitantes, los asentamientos diferenciales o algún cambio brusco de temperatura (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

1.1.2.1.1.1 Carga Muerta

Las cargas muertas se definen como el peso de los materiales propios de los elementos que conforman la edificación, como pueden ser los elementos estructurales, los muros que conforman una tabiquería fija u otros elementos permanentes, en los cuales la variación de su magnitud en el tiempo es pequeña (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006)

- Según la norma E.020 Cargas (2006) el análisis de los materiales será:

  Se considerará el peso real de los materiales que conforman y los que deberán soportar la edificación, calculados en base a los pesos unitarios que aparecen en la Tabla 1 y 2, pudiéndose emplear pesos unitarios menores cuando se justifiquen debidamente. El peso real se podrá determinar por medio de análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos de los fabricantes (pág.1).

Tabla 1
Pesos Unitarios

MATERIALES	PESO kN/m^3 (Kgf/m^3)
Albañilería de:	
Unidades de arcilla cocida sólida	18,0 (1800)
Unidades de arcilla cocida huecas	13,5 (1350)
Concreto simple de:	
Grava	23,0 (2300)
Concreto armado	Anadir 1,0 (100) al peso del concreto simple.

Nota: Esta tabla los pesos unitarios de algunos de los materiales más utilizados en los proyectos de construcción.
Fuente: E.020 Cargas.
Elaboración de los autores de la tesis.

Tabla 2
Losas aligeradas armadas en una dirección de concreto armado

Espesor del aligerado (m)	Espesor de la losa superior en metros	Peso propio kPa (Kgf/m^2)
0,17	0,05	2,8 (280)
0,20	0,05	3,0 (300)
0,25	0,05	3,5 (350)
0,30	0,05	4,2 (420)

Nota: Esta tabla los pesos repartidos para losas aligeradas con 0,10 m de ancho de vigueta y 0,40 m de espaciamiento entre ejes.
Fuente: E.020 Cargas.
Elaboración de los autores de la tesis.

- Según la norma E.020 Cargas (2006) se calculan los dispositivos de servicio y equipos así:

Se considerará el peso de todos los dispositivos de servicio de la edificación, incluyendo las tuberías, ductos, equipos de calefacción y aire acondicionado, instalaciones eléctricas, ascensores, maquinaria para ascensores y otros dispositivos fijos similares. El peso de todo este material se incluirá en la carga muerta. El peso de los equipos con los que se amueble una zona dada, será considerado como carga viva (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

- Según la norma E.020 Cargas (2006) para los tabiques "se considerará el peso de todos los tabiques, usando los pesos reales en las ubicaciones que indican los planos" (pág.1).

1.1.2.1.1.2 Carga Viva

Se considera carga viva al peso de los ocupantes, materiales, equipos, muebles y todo aquel elemento que pueda ser movibles y por lo tanto su posición no resulta ser 100% fija en la edificación (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

i. Carga viva del Piso

Se considerarán estas cargas para todos los niveles que se encuentran distribuidos en la altura de la edificación, sin considerar el último techo.

- Carga viva mínima repartida: Se considera esta carga según el uso del piso y será proyectada en el área correspondiente según la Tabla 3. De no existir alguno de estos usos, el proyectista deberá sustentar por medio de análisis el valor aproximado. Así mismo, en el plano se deberá detallar las cargas que se emplearon para el análisis (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

Tabla 3
Cargas Vivas Mínimas Repartidas

OCUPACIÓN O USO	CARGAS REPARTIDAS kPa (kgf/m^2)
Centros de Educación.	
Aulas.	2,5 (250)
Talleres.	3,5 (350)
Auditorios, Gimnasios, etc.	De acuerdo a los lugares de asamblea.
Laboratorios.	3,0 (300)
Corredores y Escaleras.	4,0 (400)

Nota: Esta tabla detalla las cargas vivas mínimas repartidas únicamente para el uso de centros de educación.
Fuente: E.020 Cargas.
Elaboración de los autores de la tesis.

- Carga viva concentrada: Para pisos y techos en que reciban directamente la carga de alguna maquinaria especial u otra carga viva concentrada superior a 5,0 kN (500 kgf) incluyendo el peso de los apoyos o bases, se deberá considerar esa carga concentrada con el valor computado por todas sus partes y de existir varias, se evaluará para un grupo de cargas (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).
- Tabiquería móvil: El peso de la tabiquería móvil se aplicará como carga viva repartida. Para el caso de divisiones de media altura el valor mínimo a considerar es 0,5 kPa (50 kgf/m^2) y para aquella tabiquería de altura completa se asume valores de 1,0 kPa (100 kgf/m^2). Cuando se contemple este tipo de carga viva, se deberá mencionar en los detalles del proyecto (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

ii. Carga viva del Techo

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), se diseñarán los techos, considerando cargas vivas, de sismo, viento y otras prescritas a continuación. La carga vivas mínima a considerar son las siguientes es la correspondiente a techos

con inclinación de 3° o menos respecto a la horizontal, se considerará 1,0 kPa (100 kgf/m^2) (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

1.1.2.1.2 Estructuración y Predimensionamiento

La estructuración es el procedimiento por el cual se ubican los elementos estructurales, esta etapa debe ser lo más simple y limpia posible. Es aquí donde se debe idealizar el mecanismo de trasmisión de cargas para que solo trabajen los elementos estructurales y no intervenga ningún otro elemento que distorsione las cargas, resultando luego con daños por no estar diseñado para determinada función (Blanco, 1990).

El ingeniero Antonio Blanco Blasco en su texto "Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado" (1990), el PhD. Genner Villarreal Castro y el ingeniero Roberto Morales Morales nos brindan criterios de predimensionamiento, que básicamente sirven para un primer tanteo en las secciones de los elementos estructurales, ya que aún no se sabe si mantendrán estas dimensiones. Algunas de estas consideraciones serán tomadas en cuenta y estas son:

a) Predimensionamiento de Losa Aligerada:

Según Villarreal (2020), recomienda para el cálculo del peralte de la losa aligerada, emplear la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{H = \frac{LL}{25}}$$

Donde:

LL = Luz libre o longitud del lado menor, la cual es paralela al sentido del aligerado.

Esta ecuación solo contempla sobrecargas que varían entre 300 a 350 kgf/m^2.

b) Predimensionamiento de Losa Maciza:

Mediante las sugerencias del ingeniero Antonio Blanco Blasco (1990), se recomiendan diferentes peraltes como, por ejemplo, los de la tabla 4:

Tabla 4

Peraltes mínimos de losas macizas

H (cm)	Luces menores o igual a
12 a 13	4,00 m
15	5,50 m
20	6,50 m
25	7,50 m

Nota: Esta tabla detalla las recomendaciones de peraltes para losas macizas, planteadas por el ingeniero Antonio Blanco.
Fuente: Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado.
Elaboración de los autores de la tesis.

c) Predimensionamiento de Vigas:

Las vigas principales son aquella que soportarán directamente el aligerado. Según Villarreal (2020), para las vigas principales, se deben considerar los siguientes criterios:

$$\boldsymbol{H = \frac{LL}{10} o \frac{LL}{12}}$$

Donde:

LL=Luz libre entre columnas.

$$\boldsymbol{B = \left(\frac{1}{2} o \frac{2}{3}\right) H}$$

$B_{mín}$ = 25 cm.

d) Predimensionamiento de Vigas Chatas:

Las vigas chatas son elementos que se sitúan sobre muros que tienen una ubicación establecida, con el fin de evitar el congestionamiento de las viguetas por una carga distribuida como es el caso del muro (Blanco, 1990).

e) Predimensionamiento de Columnas:

Las columnas se diseñarán según su ubicación y su área tributaria, es así que Villarreal (2020), nos define criterios para columnas centradas como para columnas esquineras y excéntricas.

i. Columnas centradas:

$$\text{Á}\boldsymbol{rea\ de\ la\ columna} = \frac{\boldsymbol{P(Servicio)}}{\boldsymbol{0.45f'c}}$$

ii. Columnas excéntricas y esquineras:

$$\text{Á}\boldsymbol{rea\ de\ la\ columna} = \frac{\boldsymbol{P(Servicio)}}{\boldsymbol{0.35f'c}}$$

Donde:

P(Servicio) = Peso en servicio para el área tributaria de la columna.

f' c = Resistencia a la compresión del concreto para la columna.

Como sugerencia, ya que solo es un dimensionamiento previo, para el "P(Servicio)" se pueden utilizar las siguientes consideraciones:

$$\boldsymbol{P(Servicio) = P.A.N}$$

A = Área tributaria.

N = Número de pisos.

P = Peso estimado dependiendo del uso (Edificaciones esenciales=1500 kgf/m^2, Edificaciones importantes=1250 kgf/m^2 y Edificaciones comunes=1000 kgf/m^2).

f) Predimensionamiento de Muros Estructurales:

Los muros estructurales pueden tener un espesor de 10 cm, pero usualmente se consideran de 15 cm para edificaciones de pocos pisos y 20,25,30 cm para edificaciones altas. En Perú se han ejecutado edificaciones de hasta 20 pisos con un espesor de 25 cm, aclarando que se tuvieron longitudes apreciables, además, si existieran solo muros de concreto armado en una dirección, estos serían de 40,50 o 60

cm. Así mismo, se recalca que es difícil predimensionarlas, puesto que solo se verán resultados alentadores, luego de los análisis sísmicos respectivos (Blanco, 1990).

g) Predimensionamiento de Escalera:

El ingeniero Roberto Morales (2006) nos proporciona un predimensionamiento de la garganta de la escalera, el cual será definido por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{t = \frac{LL}{20} o \frac{LL}{25}}$$

Donde:

t = Espesor de la garganta.

LL = Luz libre mayor del ducto de la escalera.

1.1.2.1.3 Diseño Sismorresistente

El diseño sismorresistente en Perú, está regulado actualmente mediante la norma E.030, con su última modificación en el año 2018. La norma presenta condiciones mínimas en el diseño sismorresistente de edificaciones y obliga a que otros tipos de proyectos de diferentes usos y que no contemplen una normativa específica, se vean forzados a definir sus parámetros sísmicos por esta norma. La filosofía de diseño es evitar pérdidas humanas, se debe asegurar la funcionalidad continua de los servicios básicos y se deben minimizar los daños ocasionados en el inmueble. La norma es clara en manifestar que, diseñar una estructura con una protección integral frente a sismos, no resulta económicamente factible, por lo que permite daños, así sean importantes, frente a sismos severos en el lugar del proyecto y también debe soportar movimientos del suelo moderados para el lugar del proyecto. En cuanto a las edificaciones esenciales, se deberá tener un cuidado especial, puesto que se debe garantizar su uso, luego de una sismo severo (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018).

La Norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) menciona que se aprueban los usos de otros sistemas estructurales, diferentes a los estipulados en este reglamento,

solamente si quedan demostrados sus estudios previos y estos garantizan una adecuada rigidez, resistencia sísmica y ductilidad, ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Por lo expuesto la normativa vigente considera tomar en cuenta algunos aspectos generales, con el fin de garantizar una respuesta real, similar a la calculada (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), se deben considerar estos aspectos en el diseño:

a) Simetría, tanto en la distribución de masas como de rigideces.
b) Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
c) Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
d) Resistencia adecuada, en ambas direcciones principales, frente a las cargas laterales.
e) Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación.
f) Ductilidad, entendida como la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico.
g) Deformación lateral limitada.
h) Inclusión de líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural).
i) Consideración de las condiciones locales.
j) Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

Cabe resaltar que nuestra norma permite no diseñar simultáneamente los efectos de viento y sismo. Debe considerarse también el efecto de elementos no estructurales, en los elementos que si forman parte de sistema sismorresistente.

1.1.2.1.3.1 Peligro sísmico

a) Zonificación

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), el país se divide en 4 zonas sísmicas (Figura N°1).

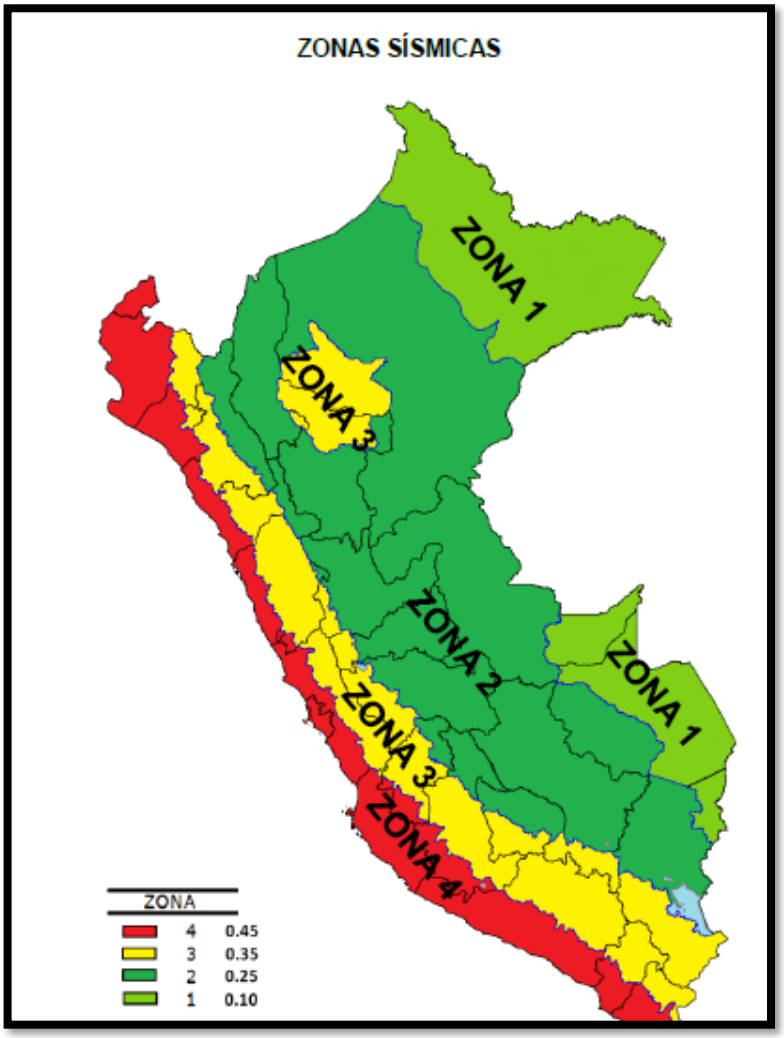


Figura 1. Zonificación sísmica en el Perú

Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018). Mapa de zonificación sísmica, el cual divide al Perú en 4 zonas [imagen].

A cada zona le corresponde un factor Z indicado en la Tabla N° 5. Este valor se entiende como una aceleración máxima horizontal para un suelo rígido con una ocurrencia de 10% de ser excedida en 50 años. Por eso resulta ser una fracción de la gravedad (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018).

Tabla 5
Factores de zona

Zona	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Nota: Esta tabla detalla el valor de factor de zona para cada zona sísmica.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

b) Perfiles de Suelo

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), especifica que por la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, por medio de los resultados de un ensayo de penetración estándar o de un promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada, se puede dividir al suelo en 5 perfiles:

i. Perfil Tipo S_0: Roca Dura

Definido por rocas sanas con velocidad de propagación de las ondas de corte mayor que 1500 m/s.

ii. Perfil Tipo S_1: Roca o Suelos muy rígidos

Le corresponde rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y suelos muy rígidos con velocidad de propagación de onda de corte entre 500 m/s y 1500 m/s.

iii. Perfil Tipo S_2: Suelos Intermedios

Caracterizados por suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte entre 180 m/s y 500 m/s.

iv. Perfil Tipo S_3: Suelos blandos

Aquellos suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte menor o igual a 180 m/s.

v. Perfil Tipo S_4: Condiciones Excepcionales

Correspondiente a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde se encuentre un terreno sumamente desfavorable.

c) Parámetros de sitio (S, T_P y T_L)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), los parámetros tanto de zona como de perfil de suelo, le corresponde un valor de factor de suelo al proyecto, el cual está asignado por la Tabla N° 6.

Tabla 6
Factor de Suelos "S"

Zona/Suelo	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z_3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z_2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z_1	0,80	1,00	1,60	2,00

Nota: Esta tabla detalla el factor de suelo "S" para cada zona sísmica.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)

A su vez, para un perfil de suelo específico, le corresponde según la Tabla N° 7, un periodo corto "T_p" y un periodo largo "T_L" determinado.

Tabla 7
Periodos "T_P" Y "T_L"

Periodos	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Nota: Esta tabla detalla el periodo "T_p" y "T_L" para cada perfil de suelo específico.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)

d) Factor de amplificación sísmica

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), este coeficiente determina el valor de amplificación que recibe la aceleración de la estructura, con respecto a la aceleración del suelo. De acuerdo a los parámetros del sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

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

$T_P < T < T_L$ $\quad$ $C=2,5.\ (T_P / T)$

$T > T_L$ $\quad$ $C=2,5.\ (T_P.T_L / T^2)$

Donde: T = Periodo fundamental de la edificación.

1.1.2.1.3.2 Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones

a) Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), las edificaciones se clasifican por su factor de uso o importancia (U), correspondiente a la Tabla N° 8. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se considerará U=1. El Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma antes mencionada, divide las edificaciones en Edificaciones Esenciales (A), Edificaciones Importantes (B), Edificaciones Comunes (C) y Edificaciones Temporales (D). Para este trabajo se mostrará la descripción para edificaciones esenciales.

Tabla 8
Categoría, descripción y Factor "U" para edificaciones esenciales

Categoría	Descripción	Factor U
A Edificaciones Esenciales	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: Las edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.	1,5

Nota 1: Las edificaciones nuevas de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico 1 y 2, el valor de *U* será como mínimo 1,5.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

b) Sistemas Estructurales

Los sistemas estructurales principales que contempla la norma son estructuras de concreto armado, estructuras de acero, estructuras de albañilería, estructuras de madera y estructuras de tierra (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018). Para este trabajo, se profundizará sobre las estructuras de concreto armado, porque son motivo de diseño.

Según la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), las estructuras de concreto que forman parte del sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con el capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la norma técnica E.060 Concreto Armado. Además, se especifica 4 tipos:

i. Pórticos: En este sistema mínimo el 80% de la fuerza cortante en la base, actúa en las columnas de los pórticos.

ii. Muros Estructurales: En este sistema los muros predominantemente aportarán la resistencia sísmica como mínimo en un 70% de la cortante en la base.

iii. Dual: La acción de los sismos está restringido por la resistencia que proporciona los pórticos y los muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros varía entre 20% y 70% del cortante en la base del edificio.

iv. Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL): Estas edificaciones estarán conformadas por un sistema de muros de concreto armado con espesor delgado, sin elementos de borde y con una sola capa de refuerzo vertical. Se puede construir como máximo 8 pisos.

c) Categoría y Sistemas Estructurales

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), argumenta que de acuerdo a la ubicación y la categoría de la edificación deberán proyectarse los sistemas estructurales que se indican en la Tabla N° 9.

Tabla 9

Categoría y Sistema estructural de las edificaciones esenciales A2

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
A2	4, 3 y 1	Estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto armado: Dual, Muros de concreto armado.
	1	Cualquier sistema

Nota: Esta tabla detalla una asignación del sistema estructural para determinada categoría de edificación y en una zona respectiva. Además, se sugiere que, en escuelas y postas rurales, se puede usar materiales tradicionales siguiendo las recomendaciones de las normas, correspondientes a los mismos.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

d) Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_0)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), los sistemas estructurales se clasificarán según el material empleado y la estructuración sismorresistente en cada dirección. Una vez identificado se procederá a definir el coeficiente de reducción sísmica según la Tabla N° 10.

Tabla 10
Sistema estructural de concreto armado.

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_0
Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Nota: Esta tabla detalla el coeficiente básico de reducción para cada tipo de sistema estructural de concreto armado.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

e) Regularidad Estructural

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), las estructuras serán clasificadas como regulares e irregulares. Esta clasificación deberá cumplir con las restricciones de irregularidad, que están detalladas luego. Así mismo, su identificación es clave para determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas y realizar el análisis estructural.

i. Estructuras Regulares: Aquellas que mediante análisis de las tablas 11 y 12, no presentan ni irregularidad en planta, ni en altura y por consiguiente su I_a y I_p, será igual a 1,0.

ii. Estructuras Irregulares: Aquellas que mediante análisis se determina al menos una irregularidad, sea en planta o altura.

f) Factores de Irregularidad (I_a, I_p)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), se contemplan dos tipos de irregularidades, la cuales se mostrarán a partir de las tablas 11 y 12.

Tabla 11
Irregularidades estructurales en altura.

Tipo de Irregularidad	Factor de Irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0,75
Irregularidad de Resistencia – Piso Débil	0,75
Irregularidad Extrema de Rigidez	0,50
Irregularidad Extrema de Resistencia	0,50
Irregularidad de Masa o Peso	0,90
Irregularidad Geométrica Vertical	0,90
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	0,80
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	0,60

Nota: Esta tabla detalla las distintas irregularidades en altura, que se pueden presentar en una edificación.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

Tabla 12
Irregularidades estructurales en planta.

Tipo de Irregularidad	Factor de Irregularidad I_p
Irregularidad Torsional	0,75
Irregularidad Torsional Extrema	0,60
Esquinas Entrantes	0,90
Discontinuidad de Diafragma	0,85

Sistemas no Paralelos	0,90

Nota: Esta tabla detalla las distintas irregularidades en planta, que se pueden presentar en una edificación.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

g) Restricciones a la Irregularidad

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), de acuerdo a la categoría de la edificación y la zona en que se ubique, se deberá proyectar respetando las restricciones de la Tabla N° 13.

Tabla 13
Categoría y Regularidad de las Edificaciones.

Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas

Nota: Esta tabla detalla la restricción de irregularidades que deben presentar las edificaciones esenciales en las distintas zonas sísmicas.
Fuente: Diseño Sismorresistente E.030 (2018)
Elaboración de los autores de la tesis.

h) Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), se determinará el coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, como el producto de coeficiente básico R_0, la menor irregularidad en planta y la menor en altura.

$$\boldsymbol{R = R_0 . I_a . I_p}$$

1.1.2.1.4 Análisis Estructural

a) Modelos para el Análisis

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), aclara que se debe considerar una distribución espacial de masas y rigideces adecuadas, con el fin de tener una mayor aproximación al

comportamiento dinámico de la estructura. Así mismo, las estructuras de concreto armado pueden ser analizadas como secciones brutas, sin considerar agrietamiento ni refuerzo. Para el análisis de los pisos de edificios, se puede suponer según sea el caso, que se comportan como diafragmas rígidos y se puede usar un modelo de masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma.

b) Estimación del Peso (P)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), el peso (P) se estimará a partir de adicionar a la carga permanente, un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se definirá a partir de la siguiente manera:

i. Las edificaciones que pertenezcan a las categorías A y B, se calcularán considerando el 50% de la carga viva.

c) Procedimientos de Análisis Sísmico

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), se deberá utilizar el análisis estático o el análisis dinámico modal espectral. Los análisis se ejecutarán considerando un comportamiento lineal y elástico, con solicitaciones sísmicas reducidas.

d) Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), este método busca representar un conjunto de fuerzas que actúan en los centros de masas de cada nivel de la edificación. Las edificaciones que deben analizarse con este procedimiento son la estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, estructuras regulares de 30 m de altura como máximo, que estén hechas con muros portantes de concreto armado y albañilería confinada o armada de 15 m de altura como máximo, aun siendo irregulares.

i. Fuerza Cortante en la Base

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), se debe determinar la fuerza cortante total en la base de la estructura, para la dirección que se desee analizar, a partir de la siguiente expresión:

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

Así mismo, C/R no debe asumirse si es menor que:

$$\boldsymbol{\frac{C}{R} \geq 0,125}$$

ii. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), las fuerzas sísmicas horizontales en la dirección de análisis, para el nivel *i*, se calculará de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{F_i = \alpha_i . V}$$

$$\boldsymbol{\alpha_i = \frac{P_i (h_i)^k}{\sum_{j=1}^{n} P_j (h_j)^k}}$$

Así mismo, *n* es el número de pisos de la edificación, *k* es un exponente que tiene una relación con el periodo fundamental de vibración de la estructura *(T)*, para la dirección considerada, calculada de acuerdo a:

- ✓ Para *T* menor o igual a 0,5 segundos: *k*= 1,0.
- ✓ Para *T* mayor que 0,5 segundos: *k*= (0,75 + 0,5T) <= 2,0

iii. Excentricidad Accidental

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), dentro de sus consideraciones previas en que se asume diafragmas rígidos, la fuerza de cada nivel (F_i) actúa en el centro de masas del

respectivo nivel, se debe considerarse además de la excentricidad propia de la estructura, el efecto de excentricidades accidentales (para cada dirección de análisis) como se manifiesta a continuación:

- ✓ Para el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se considerará un momento torsor accidental (M_n) que se calcula como $\boldsymbol{M_{ti}} = \pm \boldsymbol{F_i} \,.\, \boldsymbol{e_i}$. En cada dirección de análisis, la excentricidad accidental de cada nivel (e_i), será considerada como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

e) Análisis Dinámico Modal Espectral

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), cualquier estructura puede ser diseñada a partir de los resultados de los análisis dinámicos obtenidos por combinación modal espectral, de acuerdo a esta sección de la normativa.

i. Modos de vibración

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), los modos de vibración se determinarán a través de un procedimiento de análisis que considere las características de rigidez y la distribución de masas. Para cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración, que contiene una suma de masas efectivas mínima del 90% de la masa total, tomando en cuenta los tres primeros modos predominantes para la dirección analizada.

ii. Aceleración Espectral

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), para cada dirección horizontal de análisis, se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

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

iii. Criterios de combinación

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), se podrá estimar la máxima respuesta elástica esperada (*r*) tanto para las fuerzas sísmicas como las fuerzas internas de los elementos, como para los parámetros globales como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso. Esta respuesta máxima esperada (*r*) se debe al efecto conjunto de los distintos modos de vibración empleados y podrá determinarse usando la combinación cuadrática completa de los valores obtenidos por cada modo de vibración.

iv. Fuerza Cortante Mínima

Como afirma el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), la fuerza cortante del primer entrepiso no podrá ser menor al 80% de la cortante estática para edificaciones regulares, ni del 90% para las irregulares.

v. Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), la variabilidad para localizar el centro de masas real es tal, que se considera utilizar una excentricidad accidental de 0,05 veces la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

1.1.2.1.4.1 Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad

a) Determinación de Desplazamientos Laterales

Para estructuras regulares, se calcularán los desplazamientos laterales multiplicando por 0,75R los resultados del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. En tanto, para estructuras irregulares, se modificarán los desplazamientos

laterales, a partir de multiplicar por R, los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

b) Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), el máximo desplazamiento relativo de entrepiso (distorsión) calculado anteriormente, no debe exceder de 0,007, en este caso para lo que respecta a concreto armado.

c) Separación entre Edificios (*s*)

La separación entre edificios vecinos no será menor que 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes, ni menor que 0,006 h >= 0,03 m (Siendo h la altura por evaluar).

d) Redundancia

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), si sobre algún elemento de la estructura, sea muro o pórtico, actúa el 30% o más, de la fuerza cortante horizontal del piso descrito, dicho elemento será diseñado para soportar el 125% de la fuerza encontrada.

1.1.2.1.5 Diseño en Concreto Armado

Los análisis y requerimientos de esta sección, obedecerán las exigencias de la norma de Diseño en Concreto Armado E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, respecto a su última versión, la cual fue publicada en el año 2009, por parte del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

1.1.2.1.5.1 Método de diseño por resistencia y servicio

a) Requisitos por Resistencia

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Concreto Armado E.060 (2009), las secciones de todos los elementos estarán diseñados para que su

resistencia provista ($\emptyset \boldsymbol{Rn}$), sea por lo menos igual a la requerida (Ru), la cual es originaria a partir de la exposición de cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se explicarán posteriormente. Es decir, debe cumplirse que:

$$\emptyset \boldsymbol{Rn} \geq \boldsymbol{Ru}$$

La Norma Peruana E.060 de Concreto Armado separa los requerimientos de resistencia para la seguridad estructural en dos partes: factores de carga y factores de reducción de capacidad (Oviedo, 2016).

i. Factores de Carga

El uso de los factores de carga, es proyectarnos a un aumento en las cargas de servicio y que este cambio no produzca alguna falla importante en la edificación (Oviedo, 2016).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Concreto Armado E.060 (2009):

La resistencia requerida para cargas muertas (CM) y cargas vivas (CV) será como mínimo:

$$\boldsymbol{U = 1,4CM + 1,7CV}$$

Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de viento (CV_i), la resistencia requerida será como mínimo:

$$\boldsymbol{U = 1,25(CM + CV + CV_i)}$$

$$\boldsymbol{U = 0,90CM + 1,25CV_i}$$

Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de sismo (CS), la resistencia requerida será como mínimo:

$$\boldsymbol{U = 1,25(CM + CV) \pm CS}$$

$$\boldsymbol{U = 0,90CM \pm CS}$$

ii. Factores de Reducción de Capacidad

Los factores de reducción de capacidad ϕ, sirven para considerar las inexactitudes que pueden haber en los cálculos, como en el procedimiento de ejecución, las dimensiones en obra, así como en la calidad de materiales y por consiguiente en su resistencia (Oviedo, 2016).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Concreto Armado E.060 (2009), tenemos en el reglamento los siguientes factores de reducción de capacidad:

Por Flexión: $\phi = 0{,}90$

Por Cortante y Torsión: $\phi = 0{,}85$

Por Flexo-compresión: $\phi = 0{,}75$ (Columnas con espirales)

$\phi = 0{,}70$ (Columnas estribadas)

b) Requisitos por Servicio

La evaluación por cargas de servicio, debe satisfacer básicamente que, ante estas cargas, los elementos no presenten deflexiones excesivas que denoten una concentración de esfuerzos importantes, ya que pueden encontrarse dentro de un rango de deflexiones aceptables. Además, deben satisfacer un control de agrietamiento, puesto que no debe perderse la apariencia y durabilidad de los elementos y sus componentes. Es así que los anchos de las grietas bajo cargas de servicio deben estar dentro de los parámetros especificados.

1.1.2.1.5.2 Diseño de Vigas y Losas

a) Losas

El diseño de losas aligeradas en una dirección es similar a una viga T, puesto que la vigueta y la losa superior de 5cm, asumen la función de trabajar por flexión. Además, se deberá realizar la verificación por corte, para contrastar que la sección, para el caso

más desfavorable, no requiere un refuerzo por corte o algún ensanchamiento de viguetas en los extremos (Oviedo, 2016).

i. Diseño por Flexión

Se debe garantizar que, en caso de falla, esta sea dúctil. Además, se debe evaluar la ubicación del bloque de compresiones, para satisfacer la ecuación $\boldsymbol{\emptyset Mn = \emptyset As.fy.(d - a/2)}$ y poder determinar el refuerzo en tracción, para momentos positivos y negativos (Oviedo, 2016).

ii. Diseño por Corte

Como ya se especificó, los esfuerzos por corte deben ser absorbidos netamente por el alma de la vigueta. En caso no se pueda, se recomienda ensancharla, a este procedimiento de aumentar esta sección, se le denomina ensanche por corte (Oviedo, 2016).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Concreto Armado E.060 (2009), se puede medir la capacidad por corte del alma a partir de la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\emptyset Vc = \emptyset\ 0,17\sqrt{f'c}\ b_w d}$$

iii. Diseño por Contracción y Temperatura

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Concreto Armado E.060 (2009), la armadura por contracción y temperatura para losas deberá proporcionar como mínimo una cuantía de 0,0018.

b) Vigas

El diseño del acero en vigas, obedece entender un comportamiento progresivo de deformaciones y agrietamiento, que tiene consigo el momento flector y al momento de agrietamiento como protagonistas. Lo que sucede es que las vigas deben estar listas para desarrollar un comportamiento dúctil en su tiempo de servicio, es así que la

presencia de sobreesfuerzos sobre esta, sean visibles y den aviso a reducir las cargas. Una inadecuada distribución de acero en la sección provocará fallas frágiles, las cuales no deseamos que se presenten (Oviedo, 2016).

i. Diseño por Flexión

Como manifiesta Oviedo (2016), para garantizar una falla dúctil, se debe proporcionar una cuantía que sea mayor que la cuantía mínima, pero menor que la cuantía máxima. Por ello, el área mínima puede ser calculada como:

$$\boldsymbol{A_{min} = 0,22\left(f'c^{0,5}\right)b_w d/fy}$$

Mientras que, para la cuantía máxima, esta se puede estimar a partir de:

$\boldsymbol{\rho_{max} = 0,75\rho_b}$, para elementos que no resisten movimientos sísmicos.

$\boldsymbol{\rho_{max} = 0,50\rho_b}$, para elementos que resisten movimientos sísmicos.

ii. Diseño por Corte

Como argumenta Oviedo (2016), el diseño por corte, también desea mantener el criterio del estado límite de resistencia:

$$\boldsymbol{\emptyset Vn \geq Vu}$$

A su vez, esa resistencia que debemos dar en la sección, debe estar compuesta por la resistencia a corte del concreto más la que aporta los elementos de confinamiento (estribos o zunchos):

$$\boldsymbol{Vn = Vc + Vs}$$

1.1.2.1.5.3 Diseño de Columnas

Como manifiesta Oviedo (2016), las columnas serán diseñadas a partir de entender que trabajan a flexión y a compresión. Por ende, estos dos comportamientos deben estar incluidos en los cálculos. La forma de integrarlos es a través de los diagramas de interacción, el cual es una gráfica que delimita la zona de falla del elemento, así mismo este debe evaluarse para cada caso de carga y no con respecto a resultados producto

de una envolvente. Es necesario entender que se debe iniciar, definiendo una distribución de aceros para la sección dada y evaluar ese comportamiento bajo condiciones de flexión biaxiales. Este procedimiento, permite tener un análisis más completo del elemento, por lo que se crea una superficie de falla en tres dimensiones. Según Roberto Morales (2006), esta gráfica significa exponer las diferentes condiciones de esfuerzos a la que es sometida determinada una sección de columna y su respectiva distribución de acero. Es por ello que existen puntos y zonas especiales a la cual denominaremos de la siguiente manera y se pueden reconocer con la figura siguiente:

- Punto "A": Corresponde a la condición de compresión pura, siendo para esta gráfica una condición teórica, puesto que el límite de la gráfica viene a ser Pn_{max}.
- Punto "B": Correspondiente a la falla balanceada, o también llamado ubicación límite entre la falla frágil y la dúctil.
- Punto "C": También llamado punto de flexión pura, puesto que se encuentra una resultante de fuerzas axiales de "0" y únicamente existiendo momento sobre el mismo.
- Punto "D": Denominado punto de tracción pura, puesto que todas las fibras se encuentran trabajando ante fuerza axial de tracción.

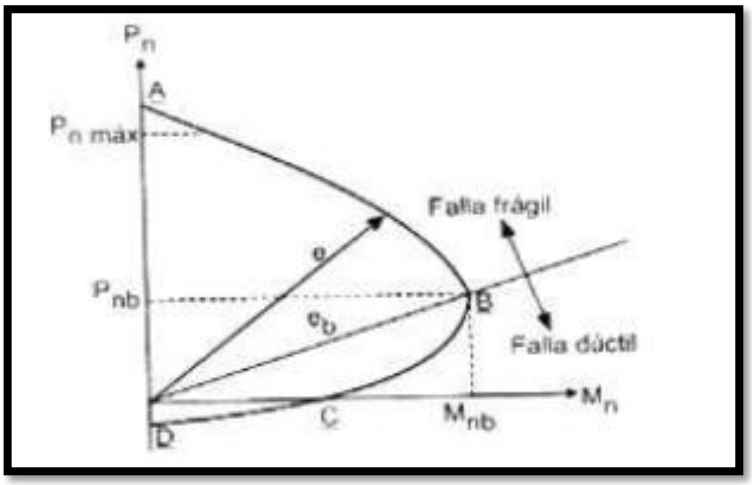


Figura 2. Diagrama Interacción teórico
Fuente: Roberto Morales Morales (2006). "Diseño en Concreto Armado". [imagen]

1.1.2.1.5.4 Diseño de Cimentaciones

Las cimentaciones como todo elemento estructural, debe tener la importancia debida por ser el punto de apoyo para toda la edificación y está sobre un material no homogéneo denominado "suelo", sobre el que se hacen muchas suposiciones sobre sus propiedades y comportamiento.

Según nuestra norma de Concreto Armado E-060, se debe calcular el área de las cimentaciones en planta, a partir de cargas no mayoradas o amplificadas. Así mismo, la dimensión del peralte deberá ser controlada a partir de condiciones como:

- Permitir el anclaje de los elementos sobre la cimentación.
- Controlar el corte en 1 y dos direcciones (Punzonamiento)
- Aplastamiento de la sección crítica.

  Una vez analizada la sección y cumpliendo debidamente con todas las condiciones previamente descritas, se procede a realizar el diseño por flexión con dos premisas muy claras:

  1. Cumplir la cuantía mínima de 0.0018
  2. Diseñar la sección como una viga y disponer del acero con el cálculo del acero a flexión.

1.1.2.1.5.5 Diseño de Nodos

Desde el punto de vista de Oviedo (2016), los nodos viga – columna deben ser rígidos y además debe cuidarse el proceso de creación de rótulas plásticas, ya que esta concentración de esfuerzos, como característica de la disipación propia energía está sujeta a sufrir daños. Por lo expuesto, se debe cumplir que:

$$\sum \boldsymbol{Resistencia\ de\ las\ columnas} \geq \mathbf{1,2} \sum \boldsymbol{Resistencia\ de\ las\ vigas}$$

Cumpliéndose la ecuación anterior, la formación de rótulas plásticas estará más orientada a las vigas y de ser el caso, se les incrementará el refuerzo por confinamiento.

1.1.2.1.5.6 Diseño de Muros Estructurales

Desde la posición de Oviedo (2016), los muros estructurales por su elevada capacidad de soportar fuerza cortante y momentos flectores en su longitud mayor, estará diseñada para absorber esta enorme cantidad de esfuerzos cortantes. A su vez, en los bordes existirán elementos de amarra que deberán tener un adecuado confinamiento, para brindarle mejor rigidez y estabilidad a la estructura intermedia. Las cuantías horizontal y vertical tienen una relación directa, por ende, debe mantenerse el cuidado una sobre otra.

Entonces, las cuantías tanto verticales como horizontales no deben ser menores que 0,0025. La cuantía horizontal será determinada con la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\rho_h = \frac{Vs}{Acw.fy}}$$

Mientras que la cuantía vertical será:

$$\boldsymbol{\rho_v = 0,0025 + 0,5\left(2,5 - \frac{Hm}{Lm}\right)(\rho_h - 0,0025)}$$

1.1.2.2. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling es una nueva metodología que se está implantando alrededor del mundo, el cual implica un proceso colaborativo y unificado donde se buscar representar proyectos de construcción civil de la forma más realista y precisa posible para contribuir a la mejora de la toma de decisiones en las diferentes etapas del ciclo de vida de una obra. Así mismo, permite la optimización de los tiempos, costos y procedimientos, logrando así, un mayor grado de calidad con respecto a la metodología tradicional (F. Villena, García, Ballesteros, & Pellicer, 2019)

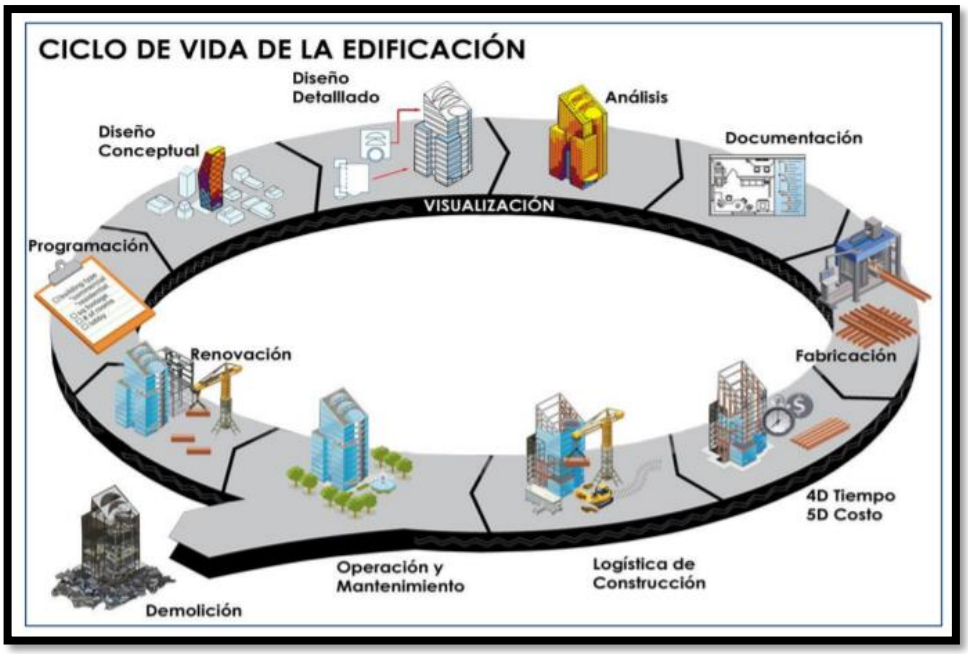


Figura 3. Ciclo de vida de una edificación
Fuente: BIM Forum Chile. (2017). "Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones". [imagen]

BIM es mucho más que la actualización de un software, ya que consiste en generar una modificación total en el diseño de las diferentes especialidades de un proyecto. Es así, que esta metodología busca representar la edificación de tal forma que pueda ayudar a no solo tener el dibujo en 2D o 3D, sino que se pueda saber detalles del proceso constructivo, lo que permitiría tomar las mejores decisiones y tener control para plasmarlo de la misma forma cuando se tenga que ejecutar dicho proyecto. Por lo expuesto anteriormente, BIM es toda la información que debe contener una edificación y que está subida a una base de datos en común, donde lo que se busca es conservar dicha información cuando se pase por las diferentes etapas y especialidades del proyecto. Esta es una de las principales diferencias con respecto a la metodología tradicional que se ha venido trabajando a lo largo de los años, donde la información que se iba creando de la edificación se perdía en cierto porcentaje, ocasionando así

errores que se veían plasmadas al momento de ejecutar la obra.

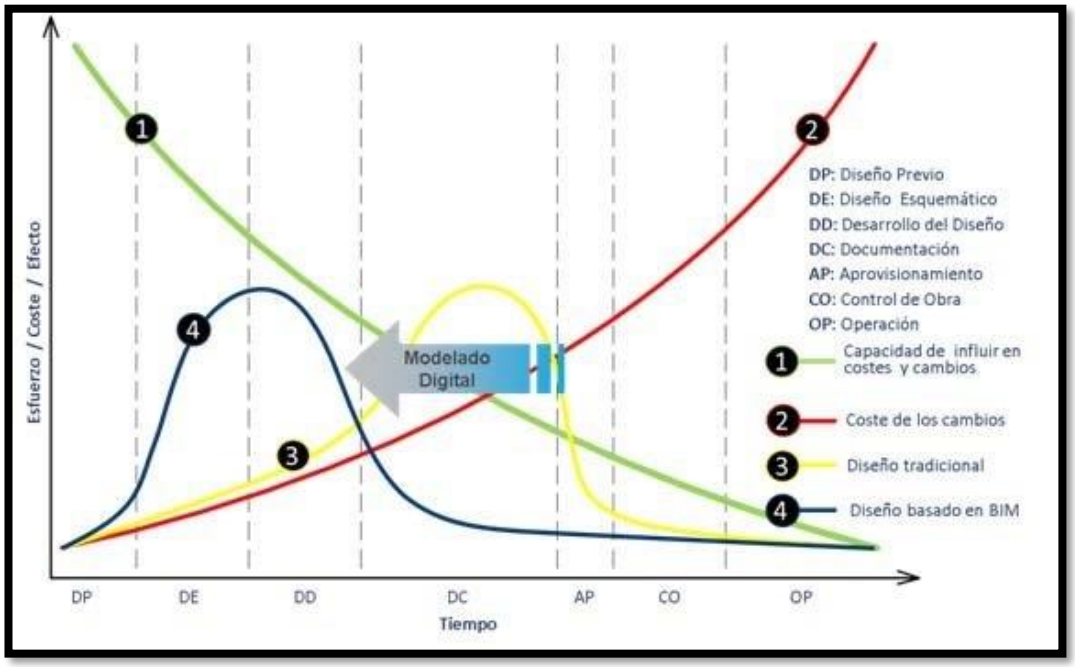


Figura 4. Curva de esfuerzo del proceso constructivo
Fuente: MACLEAMY. "Curva de MacLeamy". [imagen]

Uno de los requisitos para que BIM pueda funcionar de manera óptima es la interoperabilidad de los documentos de cada una de las especialidades que tiene una edificación, como: estructuras, arquitectura, instalaciones sanitarias y eléctricas, entre otras. Es por ello, que los softwares BIM han sido creados para que exista la compatibilidad entre ellos y se pueda generar la automatización de procesos al momento de crear la información del edificio como el diseño de planos, metrados, presupuestos, entre otros (Gonzales, 2018).

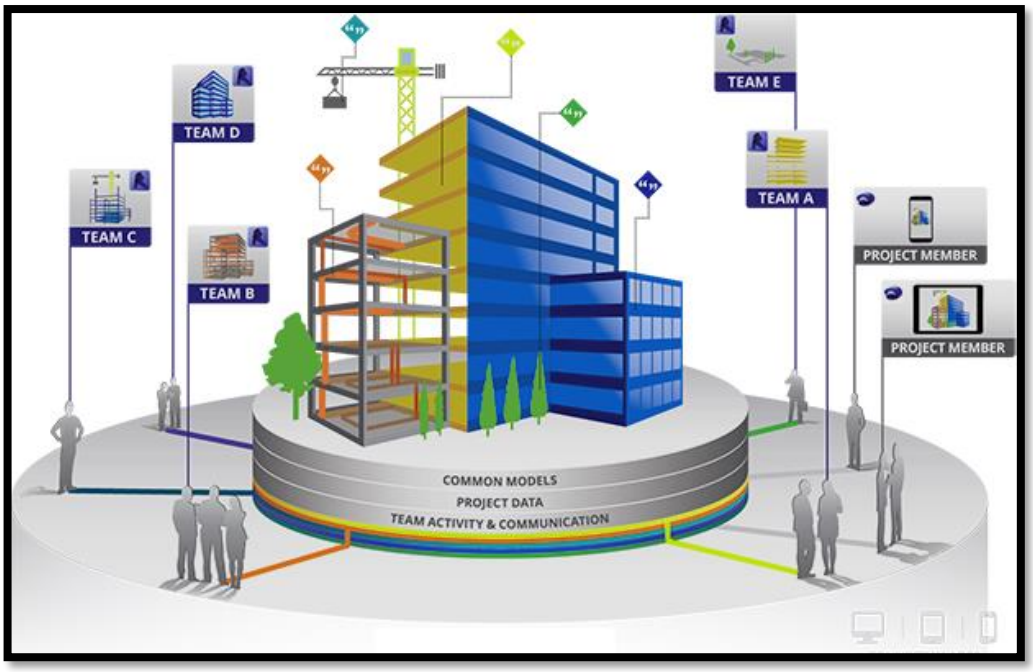


Figura 5. Interoperabilidad de BIM
Fuente: Hildebrant Gruppe. (2016). "Comunicar e implementar información usando BIM". [imagen]

1.1.2.2.1 BIM en el Perú

Los proyectos pertenecientes a las inversiones públicas en el Perú han sufrido durante años, muchas deficiencias, desde su diseño hasta la ejecución de la obra, ocasionando pérdidas que pudieron ser controladas con una correcta metodología. Otra de las consecuencias de la metodología tradicional en el Perú, es que, por la falta de control que hay, da pie a la entrada de la corrupción en los proyectos, reflejados sobrecostos en la obra. Por ello, el Perú forma parte de los países donde se está implementando la metodología BIM en las inversiones públicas para poder obtener una mejor calidad en los proyectos, es decir, donde haya mayor transparencia, eficiencia y precisión en los resultados (Ministerio de Economía y Finanzas, 2020). Es así como se desarrolla el siguiente marco legal:

- Según el Decreto Legislativo N° 1252 se argumenta la creación del sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones junto con sus modificatorias.

- Según el Decreto Legislativo N° 1486, se establece las diferentes capacidades para mejorar la ejecución de obras en inversiones públicas.
- Según el Decreto Supremo N° 284-2018-EF, se admite el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1252 y su modificatoria.
- Según el Decreto Supremo N° 289-2019-EF, se aceptan las nuevas normas para la implementación de la metodología Building Information Modelling (BIM) en la inversión pública.
- Según el Decreto Supremo N° 237-2019-EF, Decreto Supremo se consiente el Plan Nacional de Competitividad y Productividad.
- Según la Directiva N° 001-2019-EF/63.01, la Directiva General del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones instituye las normas para el funcionamiento del sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones.

Figura 6. BIM en Latinoamérica
Fuente: Editeca. (2020). "BIM en Latinoamérica". [imagen]

1.1.2.2.1.1 Beneficios de la implementación de la metodología BIM en inversiones públicas:

- **Eficiencia**

BIM permite la optimización de los recursos establecidos en la obra de inversión pública, es decir, busca reduce los costos y atrasos con respecto que se ocasionaban cuando se hacía un proyecto por el método tradicional. Se genera más eficiencia al tener un mayor control en las obras, lo que conlleva al uso adecuado de cada recurso proyectado a la ejecución de obra. Además, dicha eficiencia aumenta por la interoperabilidad y automatización que existe por parte de los softwares BIM junto con el flujo de trabajo que se maneja en dicha metodología.

- **Calidad**

La mejoría en la calidad de la edificación se debe al control que la persona o grupo de personas a cargo puedan tener sobra la obra, es así como, BIM al representar la edificación de manera real, ofrece el control de material en cuanto a su tipo y cantidad, lo cual es necesario para aumentar la calidad de la obra. Es así como con esta metodología se puede estar preparado ante cualquier imprevisto, reduciendo riesgos que pongan en peligro a la obra.

- **Colaboración**

BIM por su propia definición se concibe como una metodología colaborativa, debido a que involucra a dientitos agentes involucrados en el desarrollo del proyecto, en cada una de las etapas y especialidades de la obra. Esto resulta ser muy beneficio debido a que todo proyecto está conformado por un grupo de personas, por ello se requiere que exista la mejor sincronización en el trabajo colaborativo.

- **Transparencia**

La transparencia de los proyectos de inversión pública ha sido un tema que siempre ha sido de suma importancia para el Perú, debido a todos los casos de corrupción que siempre se ha escuchado. BIM ofrece tener la documentación registrada y explícita, de la forma que pueda estar a la mano toda la información del proyecto y las decisiones que se han tomado durante el proceso.

- **Tiempo**

El tiempo es uno de los beneficios más importantes que ofrece la metodología BIM, debido a que permite tener una planificación precisa para la ejecución de obra. Además, como es conocido el tiempo va relacionado con los costos, por ello, al tener una optimización de tiempo se tendrá el mismo efecto en los costos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2020).

1.1.2.2.1.2 Usos BIM en las inversiones públicas:

- **Cuantificar costos y tiempos**

La metodología BIM permite obtener información detallada en la fase de inversión para la estimación de costos y tiempos, lo cual conlleva a tener un proyecto preciso, optimo y sin sobrecostos.

- **Analizar y procesar información:**

BIM permite analizar el proyecto de forma integrada, es decir, analiza las diferentes partes de la obra para ver si se cumple con los requerimientos de acuerdo con el reglamento nacional de edificaciones. Es así como se pueden tomar las mejores decisiones para obtener un proyecto de calidad.

- **Coordinar procesos de diseño y construcción:**

Utilizar BIM en un proyecto ayuda a tener una coordinación entre las diferentes especialidades que se manejan en obra. Normalmente es muy difícil obtener dicha

coordinación entre todos los profesionales encargados y que no haya conflictos entre los diseños, pero gracias a que BIM es una metodología colaborativa e integral, esto puede ser logrado. Además, con esta nueva metodología se puede ejecutar en obra, lo mismo que se ha diseñado, lo cual reduce y prevé los errores que ocurren normalmente.

- **Comunicar e intercambiar:**

BIM puede ser utilizado para poder intercambiar información del proyecto entre los diferentes involucrados en el proyecto, lo que conlleva a una mejor compresión entre ellos. Todo esto es posible debido a que BIM concentra toda la información en una nube y es facilitada hacia todos los agentes responsables (Ministerio de Economía y Finanzas, 2020).

1.1.2.2.2 Level of Development (LOD's)

Es la determinación de la información que debe ir conteniendo el modelo en BIM, es decir, son los niveles de desarrollo que va teniendo el proyecto que será utilizados para diferentes actividades como en la visualización del proceso constructivo, la elaboración de presupuestos, entre otros (Rodrigo & Fuentes, 2017).

Según Rodrigo y Fuentes (2017), existen diferentes niveles de LOD con las siguientes características:

- **LOD 100:** Corresponde al nivel de desarrollo inicial, es decir, al más bajo. Es en este nivel donde realiza el primer boceto definiendo la volumetría exterior y con el cual ya se pueden obtener aproximaciones iniciales de precios por área. Además, deben incluirse condiciones externas como: normativas o condiciones del entorno.
- **LOD 200:** Es el segundo nivel de desarrollo, donde ya se muestra la volumetría básica exterior, la distribución interior y los usos. Cabe resaltar que las dimensiones aún no son definidas, pero algunos elementos ya pueden encontrar su posición en este nivel de desarrollo.

- **LOD 300:** En este nivel de desarrollo los elementos ya quedan definidos en las distintas especialidades, aunque todavía falte la coordinación entre sí. Gracias a ello ya se puede hacer un análisis de costos con bases de fabricación y puesta en obra.
- **LOD 400:** Las dimensiones de todas las especialidades ya están definidas y coordinas entre sí, es decir, ya el modelado ya está listo para la construcción en la realidad. El uso de este nivel de desarrollo es variado, aunque fácilmente con esta información se podría hacer la programación de obra, coordinación, entre otros.
- **LOD 500:** Corresponde al modelo As build, donde ya se corrigieron todo tipo de interferencias con respecto al nivel de desarrollo anterior (LOD 400), el cual fue utilizado para la construcción. Por lo tanto, este nivel de desarrollo corresponde a lo que se ha construido realmente.

  Además de los niveles de desarrollo mencionados, ya se ha comenzado a utilizar el **LOD 600,** el cual corresponde al modelado de edificaciones ya existentes (Campaña, 2019).

1.1.2.2.3 Level of Information (LOI's)

Corresponde a los niveles de información que se debe tener conforme al LOD desarrollado (Campaña, 2019)**.**

Tabla 14
LOI's con respecto a distintos LOD's

LOD	LOI
100	Nombre de los elementos.
200	Nombre, medidas y fabricantes de los elementos.
300	Nombre, medidas, fabricante, especificación, norma aplicable.
400	Nombre, medidas, fabricante, especificación, valor, norma aplicable.
500	Nombre, medidas, fabricante, especificación, valor, mantenimiento, garantías, norma aplicable.

Nota: Esta tabla detalla los tipos de LOI's que corresponden a cada LOD's
Fuente: Campaña, D. (2019). "Una ojeada a la metodología BIM"
Elaboración de los autores de la tesis.

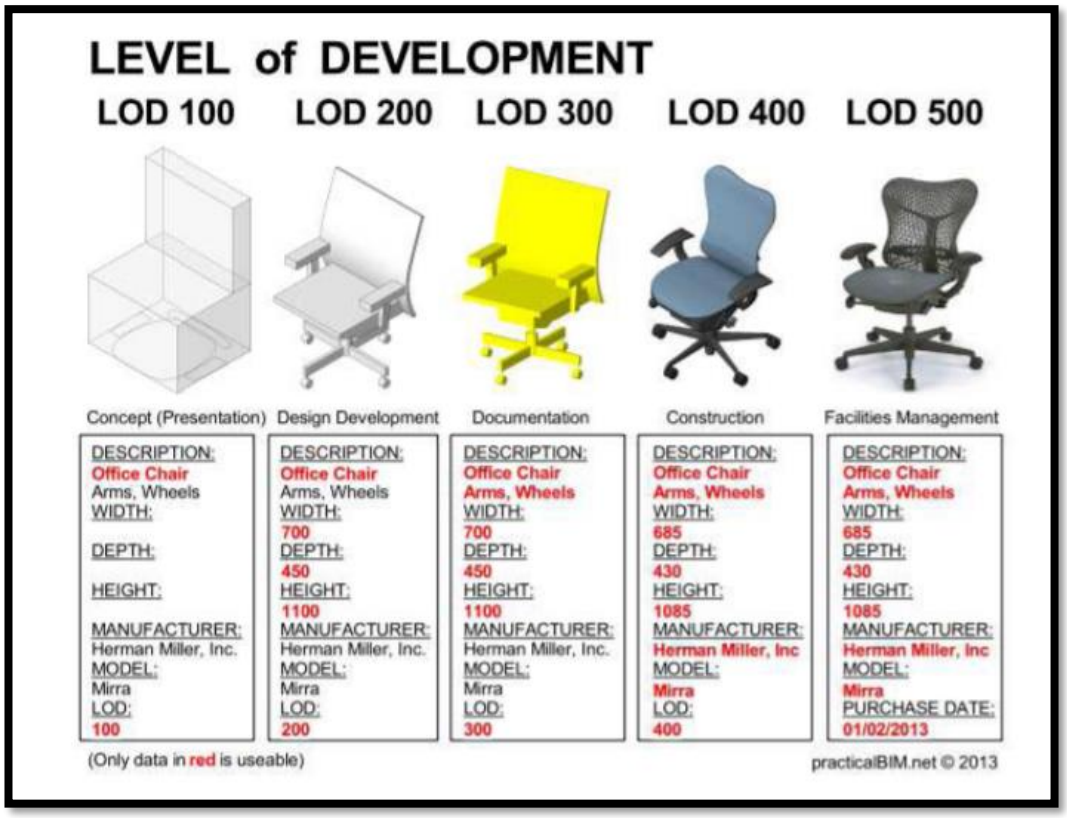


Figura 7. Level of Development (LOD's)
Fuente: Rodrigo. J y Fuentes. J. (2017). "Relación entre los LODs en proyectos BIM con los mapas de procesos y las áreas de conocimiento del PMBoK ". [imagen]

1.1.2.2.4 Softwares

- **Revit Architecture**

Revit Architecture es el software de modelamiento para la metodología BIM desarrollado en la actualidad por la empresa Autodesk. Una de las principales características de Revit Architecture es que todos los documentos que proporcional el software están interconectado, es decir, si el usuario al hacer el modelamiento en una vista en planta hace alguna modificación, esta se actualiza en las demás vistas de forma automática. Además de ello, Revit Architecture es compatible con CAD, permitiendo vincular archivos por medios de sus diferentes extensiones.

Al compartir una base datos de un proyecto, se crea un archivo central de la cual los usuarios realizan una copia de este archivo para comenzar a trabajar sobre este. Los usuarios que van a trabajar guardar en el archivo central las copias para que así se pueda actualizar. Otro punto interesante es que Revit Architecture detecta cuando se comienza a trabajar en un elemento del archivo central, lo cual hace que se evite que dos personas trabajen de forma simultánea y que se cree conflictos (Gonzales, 2018).

- **Revit Structure**

Revit Structure es un software BIM de modelado de estructuras, el cual ofrece modelos físicos y analíticos. Básicamente tiene funciones parecidas a Revit Architecture, pero la principal diferencia corresponde a la vinculación bidireccional que hay entre este software en mención y otros softwares BIM como Robot Structural Analysis. Es así como, gracias a esta interoperabilidad que existe entre Revit Structure y otros softwares BIM permite que haya un mejor diseño, documentación y coordinación con respecto a las estructuras (Gonzales, 2018).

- **Robot Structural Analysis**

Robot Structural Analysis es un software BIM dedicado al modelamiento, análisis y diseño estructural de diferentes tipos de estructuras. Este programa tiene gran versatilidad con respecto a su compatibilidad, por ejemplo, Robot Structural Analysis

puede ser vinculado de forma bidireccional desde Revit Structure, el cual también es un software BIM.

Otra de las funciones novedosas de este software es que permite exportar planos con un nivel alto de detalle en otros softwares como AutoCad Structural (Villarroel, 2016).

Ventajas

• Permite una operatividad más dinámica, ya que se puede realizar diferentes simulaciones y análisis para distintas estructuras que pueden existir en el mundo de la construcción, todo esto realizado en el menor tiempo posible y con resultados precisos (Villena, 2017).

• Tiene interoperabilidad con los demás softwares BIM, lo cual permite procesar los datos de forma más completa. Además, debido a dicha interoperabilidad, el modelado está presto a realizar modificaciones en tiempo real y así poder corregir interferencias que se pueden presentar en el proyecto (Villena, 2017).

• Usa diferentes normas internacionales estructurales, lo que provoca que se puedan realizar trabajos no solo nacionales, sino que de otras partes del mundo (Villena, 2017).

• Permite el modelamiento 3D de las estructuras, lo cual ayuda a una mejor visualización antes posibles interferencias.

- **Navisworks**

Navisworks es uno de los softwares que forma parte de la metodología BIM, el cual está orientado a la visualización y exploración de modelos. Este programa sofisticado trabaja con modelos en 3D, en pocas palabras, funciona como un videojuego donde se puede analizar cualquier interferencia que pueda haber en dicho modelo. La finalidad de este software es que exista una interoperabilidad entre lo diseñado y lo ejecutado en obra.

Unas de las herramientas más utilizadas e importantes del software en mención es Clash Detective, el cual es capaz de encontrar los fallos en el diseño donde elementos de diferentes especialidades puedan chocar y crear conflicto al momento de ser construidos. Es así como, Navisworks tiene una gran versatilidad para lograr la interoperabilidad entre el diseño en computadora y la ejecución real en obra (Gonzales, 2018).

1.1.2.2.5 Roles de BIM

- **Modelador BIM**

Es la persona que está encargada de hacer el modelo del proyecto en cuestión. Jerárquicamente es el inicio proyecto generado con la metodología BIM, por lo tanto, se encuentra bajo la supervisión de un coordinador BIM. Normalmente, se recomienda que cada especialidad involucrada en el proyecto tenga un modelador, pero si no fuera el caso se puede tener un modelador para todas las especialidades, pero este debería ser un ingeniero civil con experiencia en construcción para así poder plasmarlo dentro del modelo (Campaña, 2019).

- **Coordinador BIM**

Es el encargado de la analizar y revisar el modelamiento de las diferentes especialidades que forman parte del proyecto. Además, es responsable de corregir los errores que puedan haber sucedido durante el modelamiento y también tiene que proporcionar toda la información recolectada de los modelos al BIM Manager, apoyándolo también en la elaboración de la panificación de la obra, el dimensionamiento en 3D, 4D y 5D (Campaña, 2019).

- **BIM Manager**

Conlleva el rol con mayor responsabilidad debido a que tiene que garantizar la correcta ejecución del proyecto. Además de ello tiene muchas responsabilidades como, por

ejemplo, revisar si el modelo cumple con el LOD 400 el cual indica que se puede seguir a la fase de construcción. Junto con ello, está encargado de coordinar con el equipo, la forma en que se controlará la ejecución del proyecto en cuestión.

Debido a la gran responsabilidad encomendada hacia este rol, la persona a cargo debe tener mucha experiencia en construcción y gerencia de proyecto, por lo cual se recomienda un ingeniero civil o arquitecto (Campaña, 2019).

1.1.2.2.6 Dimensionamiento BIM

Según Gonzales (2015), BIM abarca una serie de dimensionamientos como:

- **Dimensionamiento 3D: Modelado**

Es la representación geométrica en tres dimensiones del proyecto, donde el modelamiento se hace de manera detallada mediante parámetros donde se especifica toda la información necesaria de cada elemento a modelar.

- **Dimensionamiento 4D: Tiempos**

Al modelado se le añade la variable tiempo, para tener un control del parámetro temporal. El dimensionamiento 4D se puede realizar con simulaciones en las etapas de ejecución y revisión si la obra está con retraso o adelanto.

- **Dimensionamiento 5D: Costos**

Comprende todo el tema de costos, tanto control como la estimación de gastos. Busca el análisis del presupuesto obtenido por el modelamiento, anticipando cualquier inconveniente que pueda generar un costo que no esté especificado.

- **Dimensionamiento 6D: Sostenibilidad**

Comprende la variable medioambiental, la cual al día hoy es un tema de suma relevancia. Dentro de la parte ambiental se analiza el uso energético, durabilidad de los materiales, entre otras.

- **Dimensionamiento 7D: Mantenimiento**

Corresponde a la última fase del proyecto donde se permite el control logístico del proyecto durando la vida útil, es decir, el modelo al contener toda la información que se ha venido mencionando, estará listo para responder ante cualquier avería que se pueda presentar.

1.1.2.3. Edificación esencial

Una edificación esencial es aquel inmueble que tiene la particularidad de que está diseñado para que luego de la ocurrencia de un sismo severo, este continúe sus funciones de manera inmediata y sin ser interrumpido (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018).

Como señala el Reglamento Nacional de Edificaciones, en su norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018), este tipo de edificaciones está conformado por establecimientos de salud, puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicación, estaciones de bomberos, cuarteles de fuerzas armadas y policía. También están comprendidos las instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y tratamiento de agua, instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. A su vez, se incluyen edificaciones en la que su colapso representa un riesgo adicional como hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el resultado del diseño estructural de un edificio educativo, mediante la metodología Building Information Modeling, en la ciudad de Trujillo, 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el diseño estructural de un edificio educativo, mediante la metodología Building Information Modeling (BIM), en la ciudad de Trujillo, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1: Predimensionar los elementos estructurales y modelar la arquitectura del proyecto por medio del software BIM Revit 2021.

OE2: Calcular el análisis sísmico estático y dinámico de la edificación a partir de los lineamientos de la norma E.030-2018.

OE3: Diseñar en concreto armado las secciones de los elementos estructurales cumpliendo los requisitos de la norma E.060.

OE4: Elaborar los planos estructurales del proyecto en base al modelo trabajado generando detalles.

OE5: Elaborar una guía del modelamiento de un edificio educativo mediante la metodología building information modeling (BIM).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El diseño estructural mediante BIM, resulta ser eficiente durante el proceso de análisis, diseño, elaboración del plano en la parte estructural de un edificio educativo, añadiendo también una mayor automatización con la vinculación con otras especialidades, en la ciudad de Trujillo, 2022.

1.4.2. Hipótesis específicas

HE1: La arquitectura del proyecto se modela mediante el software BIM Revit 2021, añadiendo el predimensionamiento inicial de los elementos estructurales, buscando la armonía entre las especialidades de arquitectura y estructuras.

HE2: El análisis sísmico estático y dinámico de la edificación es calculado a partir de los lineamientos de la norma E.030-2018 de manera satisfactoria, teniendo resultados óptimos, lo que garantiza que el proyecto esté diseñado ante cualquier evento sísmico.

HE3: Las secciones de los elementos estructurales es diseñado en concreto armado cumpliendo los requisitos de la norma E.060, garantizando un adecuado comportamiento de cada elemento estructural.

HE4: Los planos estructurales del proyecto son elaborados en base al modelo trabajado generando detalles, originando un diseño preciso y con mejor visualización para el proyectista y el cliente.

HE5: La guía de modelamiento del edificio educativo mediante la metodología BIM es elaborada para facilitar el proceso de análisis, diseño y modelamiento correspondiente a una nueva forma de trabajo que se viene implementando en nuestro país.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Por el propósito:

Según el propósito, la investigación es de tipo aplicada, debido a que el enfoque radica en la solución a un problema basándose en teorías descritas y sustentadas mediante reglamentos y trabajos de investigación.

2.1.2. Según el diseño:

Según el diseño, la presente investigación es no experimental, porque la variable independiente no manipula a ninguna otra variable, ya que resulta la única.

2.1.3. Diseño de investigación:

Según el diseño de investigación no experimental, el presente trabajo es de tipo transversal descriptivo, debido a que la recolección de datos es en un solo periodo. Además, dicha información será analizada para describir su comportamiento.

Tabla 15

Diseño de investigación transversal

ESTUDIO	T1
M: I.E. N° 1733 MI MUNDO MARAVILLOSO ubicado en el distrito Trujillo, 2022.	O1: Comportamiento

Nota: Esta tabla detalla la estructura del diseño de investigación transversal

M: Muestra
O: Observación

Figura 8. Diseño de investigación transversal

2.2.Variables

Diseño estructural

La estructura es la percepción de un sistema con múltiples componentes que al combinarlos deben estar listos para cumplir una cierta función. Como todo sistema, debe proyectarse a alcanzar ciertos objetivos y cumplir con ciertas restricciones. El proceso es repetitivo; se parte de consideraciones generales, que se afinan en aproximaciones sucesivas, a medida que se acumula información sobre lo que se necesita. Idealmente el objeto del diseño de un sistema es la optimización del mismo, es decir la obtención de todas las mejores soluciones posibles. El lograr una solución óptima no es fácil de alcanzar, sin embargo, es útil optimizar de acuerdo con determinado criterio, tal como el peso o costo mínimo; teniendo en cuenta que no existen soluciones únicas como razonables, por eso un problema diseño es susceptible a múltiples opiniones (Oviedo, 2016, p.1).

2.3.Clasificación de variables (matriz de clasificación de variables)

Tabla 16
Clasificación de variables

Variable	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Diseño Estructural	Independiente	Cuantitativa continua	Razón	Multidimensional	Indirecta

Nota: Esta tabla detalla la clasificación de la variable

2.4. Operacionalización de variables /Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Forma de medición
Diseño Estructural	La estructura es la percepción de un sistema con múltiples componentes que al combinarlos deben estar listos para cumplir una cierta función. Como todo sistema, debe proyectarse a alcanzar ciertos objetivos y cumplir con ciertas restricciones. El proceso es repetitivo; se parte de consideraciones generales, que se afinan en aproximaciones sucesivas, a medida que se acumula información sobre lo que se necesita. Idealmente el objeto del diseño de un sistema es la optimización del mismo. El lograr una solución óptima no es fácil de alcanzar, sin embargo, es útil optimizar de acuerdo con determinado criterio, tal como el peso o costo mínimo; teniendo en cuenta que no existen soluciones únicas como razonables, por eso un problema diseño es susceptible a múltiples opiniones (Oviedo, 2016, p.1).	Se obtendrán las secciones de los elementos, para posterior análisis de las derivas laterales, determinando la fuerza de diseño por sismo y procediendo al diseño bajo el estado límite de resistencia.	Modelamiento arquitectónico y Predimensionamiento	• Planos de distribución arquitectónica.	Nominal
				• Planos de cortes y elevaciones.	Nominal
				• Secciones de vigas, losas aligeradas, losas macizas, columnas y muros estructurales.	Razón
			Análisis Sísmico	• Distorsiones de entrepisos estática y dinámica.	Razón
				• Evaluación de Irregularidades.	Razón
				• Fuerzas de sismo para diseño.	Razón
			Diseño en Concreto Armado	• Disposición de acero en los elementos estructurales.	Razón
				• Secciones finales de los elementos de concreto armado	Razón
			Planos estructurales	• Detalle del refuerzo en los elementos estructurales vigas, columnas, losas aligeradas, losas macizas, muros estructurales y zapatas.	Razón
			Guía de modelamiento	• Procedimiento detallado del diseño estructural y su modelamiento.	Ordinal

2.5. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.5.1. Población

Un edificio educativo en la ciudad de Trujillo, 2022.

2.5.2. Muestra

2.5.2.1. Técnicas de muestreo

La muestra está determinada por medio del muestreo no probabilístico por juicio de expertos, considerando que fue seleccionada en base al criterio de los investigadores y el asesor, tomando en cuenta la necesidad en la infraestructura educativa, plasmada en las plataformas del Ministerio de Economía y Finanzas, para los proyectos de inversión pública.

2.5.2.2. Tamaño de la muestra

Como bien se conoce, la necesidad de cerrar brechas por parte del estado es tal, que continuamente se promueven proyectos de inversión pública para tratar de cubrir estas necesidades. Es así, que los investigadores decidieron dar solución a un proyecto de infraestructura educativa, desde la especialidad de estructuras y trabajando con la metodología BIM. Por ello que, a través de las "Aplicaciones Informáticas – MEF", se accedió al registro de las consultas de inversiones, para buscar un proyecto interesante y con la documentación necesaria, para que la investigación se pueda dar en práctica. Filtrando la información, para ubicar una necesidad existente en la localidad, se eligió trabajar con la I.E. N° 1733 MI MUNDO MARAVILLOSO ubicada en MZ F LOTE 15 ETAPA I en el distrito Trujillo, provincia Trujillo, región La Libertad, Perú, 2022.

2.5.3. Materiales

Tabla 17
Materiales

Variable	Cantidad	Unidad
Computadora	2	Und
Microsoft Word	2	Und
Microsoft Excel	2	Und
Revit	2	Und
Robot Structural Analysis	2	Und
Internet	20	Mbps

2.6.Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.6.1. Técnica de recolección de datos.

2.6.1.1. Análisis documental

Esta técnica permitirá la recolección de información necesaria para realizar el diseño estructural de la institución educativa N° 1733 Mi Mundo Maravilloso, como lo es, el estudio de suelos y los diferentes requerimientos que conlleva el proyecto. Todo ello servirá para la justificación de la presente investigación.

2.6.2. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos por utilizar para la recolección de datos serán los siguientes:

Matriz de datos: tendrá la información seleccionada y organizada de la ficha técnica, los cuales serán vitales para el diseño estructural a realizar. (Verificar anexo N°1)

Tabla 18

Técnicas e instrumentos de recolección de datos para la variable

Variable	Fuente	Técnica	Herramienta	Instrumento
Diseño estructural	SEACE	Análisis documentario	Microsoft Excel	Matriz de datos

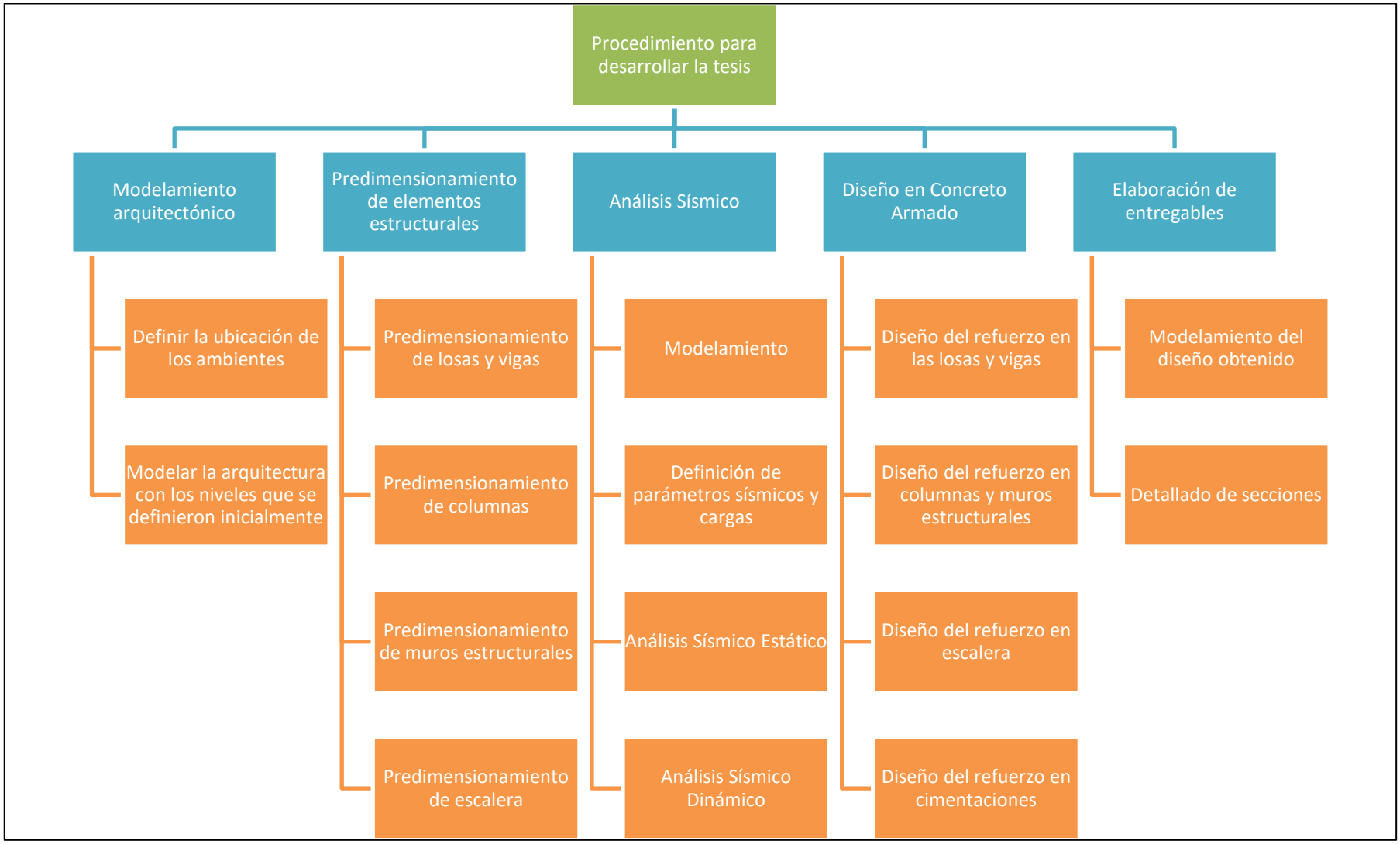
2.6.3. Análisis de datos:

La presente investigación es un diseño no experimental, transversal y descriptiva debido a que la recolección y análisis de datos solo será en un periodo de tiempo, buscando analizar y describir el comportamiento de la variable en cuestión. Para ello, se necesitó de la estadística descriptiva ayudados por el software Microsoft Excel. La estadística descriptiva es un método de análisis matemático, el cual busca recolectar, ordenar y analizar la información que se pueda tener. En el proceso de mostrar resultados no numéricos como los modelados arquitectónicos, se emplearon las figuras, donde se presentarán los planos correspondientes, tanto para arquitectura como para la especialidad de estructuras, los cuales forman parte de los objetivos de la presente investigación. Para los resultados numéricos que requieran una descripción ordenada, se emplearon tablas de distribución de frecuencias, los cuales relacionan la cantidad de unidades de análisis que tiene cada uno de las dimensiones o indicadores en estudio, por ejemplo, para determinar las irregularidades y derivas, analizar la cantidad de acero requerida y dispuesta para cada módulo, etc. Además, es posible utilizar el gráfico de barras y gráfico de sectores, los cuales representan básicamente frecuencias relativas y porcentajes.

2.6.4. Validación de datos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron validados por el Ing. Roger Ramírez Mercado CIP 43831, docente de diferentes cursos de la rama estructural en la Universidad Privada del Norte, el cual lleva en su haber años de experiencia en la rama del diseño estructural en la ingeniería civil, por ello su validación a merita el nivel de calidad que se le quiere dar al presente trabajo de investigación.

2.7.Procedimiento



El procedimiento de las tesis consistió en que, a partir de la distribución de los ambientes requeridos y basándose en la arquitectura propuesta por la unidad formuladora, se decidió, llevarla a un entorno BIM con el software Revit 2021. A través de un LOD 300 y mediante un trabajo colaborativo por parte de ambos autores de esta investigación es que se pudo ir modelando y proyectando un modelo estructural apto. Por ello, se logró definir parámetros importantes para el diseño estructural como lo son alturas de pisos, usos, dimensiones y ubicación de los ambientes. Estos datos fueron determinantes para empezar a tener una primera idealización del proyecto y poder definir bajo qué sistema estructural se iba a trabajar, tomando como premisa que la norma E.030 Diseño Sismorresistente, para este tipo de edificaciones, no permite el uso del sistema aporticado ni irregularidades.

Para poder empezar con un análisis se necesitó tener elementos definidos por ahora sobre las luces y el requerimiento del área. Con esto, se predimensionó las secciones de los elementos estructurales, bajo los criterios de distancias libres, solicitaciones de ambientes y con las fórmulas dadas, por los ingenieros antes descritos, los cuales son ampliamente reconocidos por su producción intelectual. El predimensionamiento fue lo más genérico posible, para optar con las distancias más críticas y avanzar con el diseño. Como se sabe, es elegir una sección inicial a evaluar, el cual debe superar las condiciones mínimas que establece la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Es así que, las dimensiones obtenidas se plasmaron dentro del modelo arquitectónico, a fin de comprobar que la edificación mantenga la distribución dispuesta en sus ambientes.

Una vez culminado el proceso anterior, se procedió a discretizar bajo el criterio de evitar las irregularidades en planta y altura, ocasionadas por las dimensiones del terreno, ya que esto es un requisito primordial de la norma de Diseño Sismorresistente

E.0.30. Se vinculó la ubicación de los ejes y la forma de las secciones al software BIM de análisis estructural Robot 2021.

Posterior a ello, se modeló los elementos estructurales dentro del software estructural, con archivos distintos para cada módulo, considerando sus dos plantas y la profundidad de desplante del estudio de mecánica de suelos con el que cuenta el proyecto. Así mismo, se definió el diafragma rígido de manera manual y se añadieron las cargas muertas y vivas al modelo, con referencia a la norma E.020 Cargas. De igual manera, se definió los parámetros del análisis modal y posteriormente el espectral, según sus parámetros sísmicos de zona (Z), uso (U), amplificación sísmica (C), suelo (S) y reducción sísmica (R). De igual manera, para el análisis sísmico estático, se calcularon las fuerzas de manera manual, para ingresarlas en el centro de masas contemplando las excentricidades accidentales como momentos nodales. Una vez el culminado el análisis, el siguiente paso fue verificar los resultados encontrados en las derivas estáticas como dinámicas, ya que la norma de E.030, detalla que el valor máximo es 0.007, así también comprobar las irregularidades de cada módulo, como son las de Piso Blando, Piso débil, Resistencia y Torsión, ya que estas son verificables una vez realizado un primer análisis.

Con las dimensiones finales se diseñó el refuerzo para cada sección, y se evaluaron las condiciones de resistencia, para los diseños por corte y flexión. El diseño de las vigas, fue apoyado por el software Excel, trabajándolo como hojas de cálculo típicas para poder replicar el procedimiento en cada eje. En lo que respecta a las columnas, se dispuso empezar con la cuantía mínima (1%) para las distintas secciones, y corroborar en el mismo software Robot Structural 2021, mediante sus respectivos diagramas de interacción, si esta preselección de acero, era lo suficiente para las demandas requeridas en cada caso de carga. Cabe precisar que se debía garantizar el

comportamiento sísmico de los elementos de concreto armado, por eso es que muchas veces el diseño de los estribos, estuvo orientado y fue más demandante las separaciones por el capítulo 21 de la E.060 Concreto Armado. El diseño de los muros estructurales, está ligado a muchas verificaciones, por lo que requiere revisar continuamente los capítulos de cortante y disposición sísmica E.060. La losa aligerada requirió un análisis independiente para cada caso donde variaba la ubicación de los apoyos y la sobrecarga a la que estaban expuestas los distintos tramos. Por ello, se permitió disponer de un modelo independiente de una viga "T", para definir el diseño de la vigueta, ya que, principalmente resistirá cargas de gravedad. Es importante para todas las vigas, definir su recubrimiento porque es un valor determinante para contar con la precisión adecuada de los cálculos del programa y estos puedan ser verificados por un cálculo manual. La escalera también se calculó como un modelo independiente para cada tramo, con ello obtener un momento máximo y mínimo de diseño y disponer acero sobre el ancho de la sección, añadiéndole un refuerzo transversal mínimo y distribuido en toda su longitud. Para las cimentaciones, el software Robot Structural resultaba ser insuficiente en el alcance que tiene con respecto a zapatas conectadas. Es así que, se procedió a trabajar con el programa Safe 2016, para el análisis y diseño de las mismas.

Culminado este proceso, se trató de vincular Robot Structural 2021 con el programa Revit 2021, encontrando un error en esta etapa por el peso del archivo original de Robot. Por eso, se importó solo las grillas del modelamiento arquitectónico y con estas ubicaciones, se empezó a modelar los resultados del diseño. Primordialmente se modelaron las columnas, las cimentaciones, vigas y escaleras con sus aceros respectivos. La losa aligerada se modeló en base a la ubicación de sus viguetas, pero no se colocó refuerzo en el modelo, solo se describió la ubicación que le corresponde.

Paralelo a todo este trabajo, y de manera más explícita se estuvo trabajando una guía de modelamiento, análisis y diseño en concreto armado, describiendo todo el procedimiento realizado. El detallado de cada paso con capturas de pantalla de los mismos y una breve descripción, permitirá a cualquier lector, tomar en consideración los pasos realizados para cualquier otro empleo del procedimiento en sus distintas aplicaciones o similares.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1.Predimensionamiento y Modelamiento Arquitectónico

3.1.1. Predimensionamiento

El espesor obtenido para las losas aligeradas del primer y segundo piso fue de 0.20 m como se detalla en la tabla 19.

Tabla 19
Predimensionamiento de Losa Aligerada.

Tipo de losa	Espesor (m)	Nivel
Losa Aligerada	0.20	1° y 2°

Nota: Esta tabla detalla el espesor para todas las losas de la edificación.

Para el predimensionamiento de las vigas se obtuvieron diferentes secciones que fueron usadas en distintos ejes de la edificación, tal y como está en la tabla 20.

Tabla 20
Clasificación de las vigas por ejes y módulos.

Sección	Ejes	Módulo
Viga 0.25x0.30	Eje 1	1
Viga 0.30x0.60	Eje 2-3/AD y Eje 7/F-M	1 y 2
Viga 0.25x0.40	Eje 3-4-5-6-7	1
Viga 0.25x0.20	Eje 4-5/A-D	1
Viga 0.25x0.50	Eje A-D-F-H	1
Viga 0.30x0.50	Eje F/12-13	2

Nota: Esta tabla detalla las dimensiones para todas las vigas de la edificación.

Las secciones de las columnas fueron diseñadas para compatibilizar con la arquitectura presentada, es por ellos que se manejaron los valores presentados en la tabla 21.

Tabla 21
Clasificación de las columnas por módulos y niveles.

Sección	Niveles	Módulo
L 30x30x60x60	1° y 2°	1 y 2
T 30x30x90x60	1° y 2°	1 y 2
30x30	1° y 2°	1
25x25	1° y 2°	2

Nota: Esta tabla detalla las dimensiones para todas las columnas de la edificación.

Para muros estructurales se hizo uso de un espesor típico de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones, expresado en la tabla 22.

Tabla 22
Muros Estructurales.

Espesor (cm)	Ubicación	Módulo	Nivel
25	Eje 1 / B-C	1	1° y 2°
25	Eje 3 - 4 / A - B	1	1° y 2°
25	Escalera	1	1° y 2°
25	Eje I – L / 9 - 11	2	1° y 2°

Nota: Esta tabla detalla el espesor los muros estructurales de la edificación.

La tabla 23 detalla el predimensionamiento del espesor de la garganta de la escalera, la cual será corroborada con el diseño en concreto armado.

Tabla 23
Espesor de garganta.

Espesor (cm)	Elemento	Nivel
17	Escalera	1° a 2°

Nota: Esta tabla detalla el espesor los del espesor de la garganta de la escalera de la edificación.

3.1.2. Modelamiento Arquitectónico

Para comenzar con el proyecto se hizo el diseño arquitectónico, el cual fue modelado mediante el software Revit Architecture 2021, de donde se obtuvo planos de planta, techos, cortes, elevaciones y el modelado en 3D.

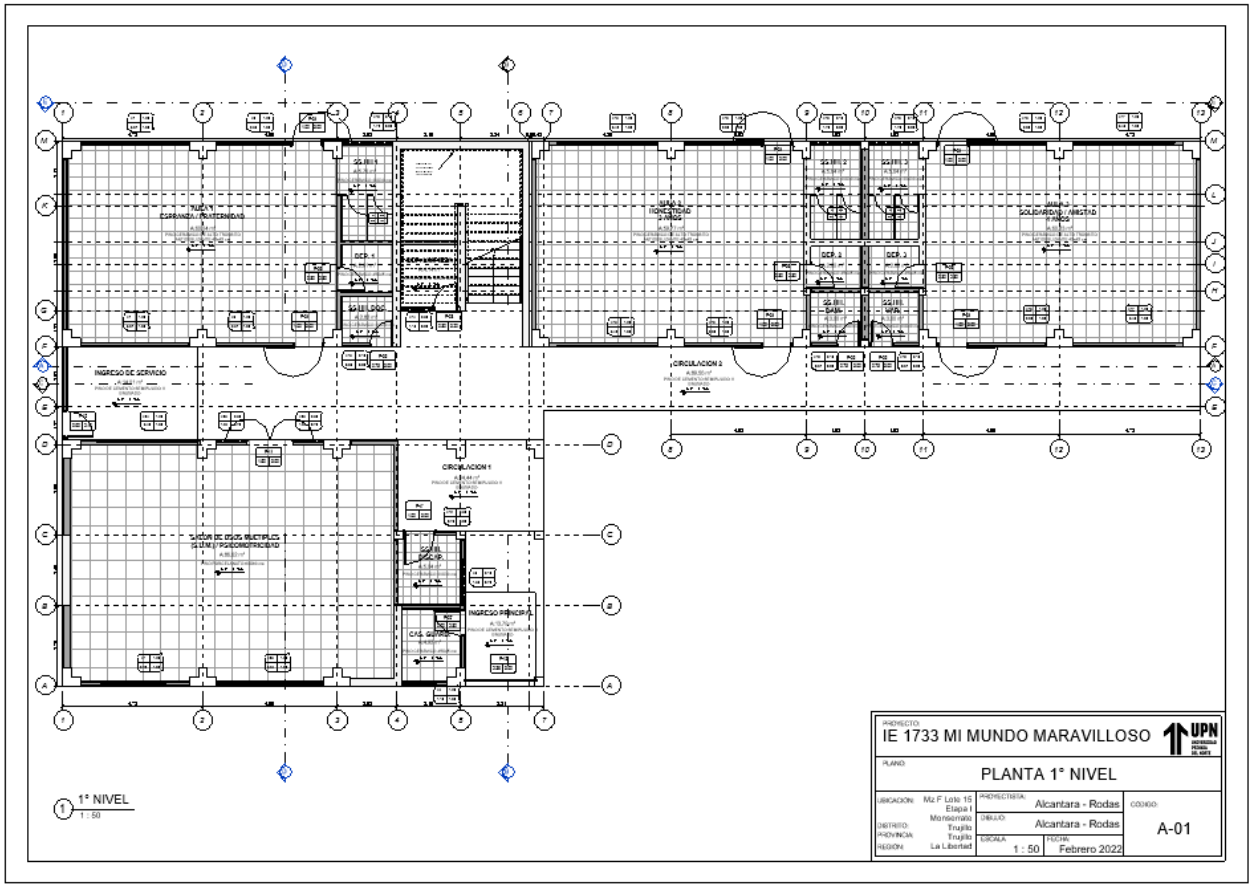


Figura 9. Planta de Distribución Arquitectónica Nivel 01.

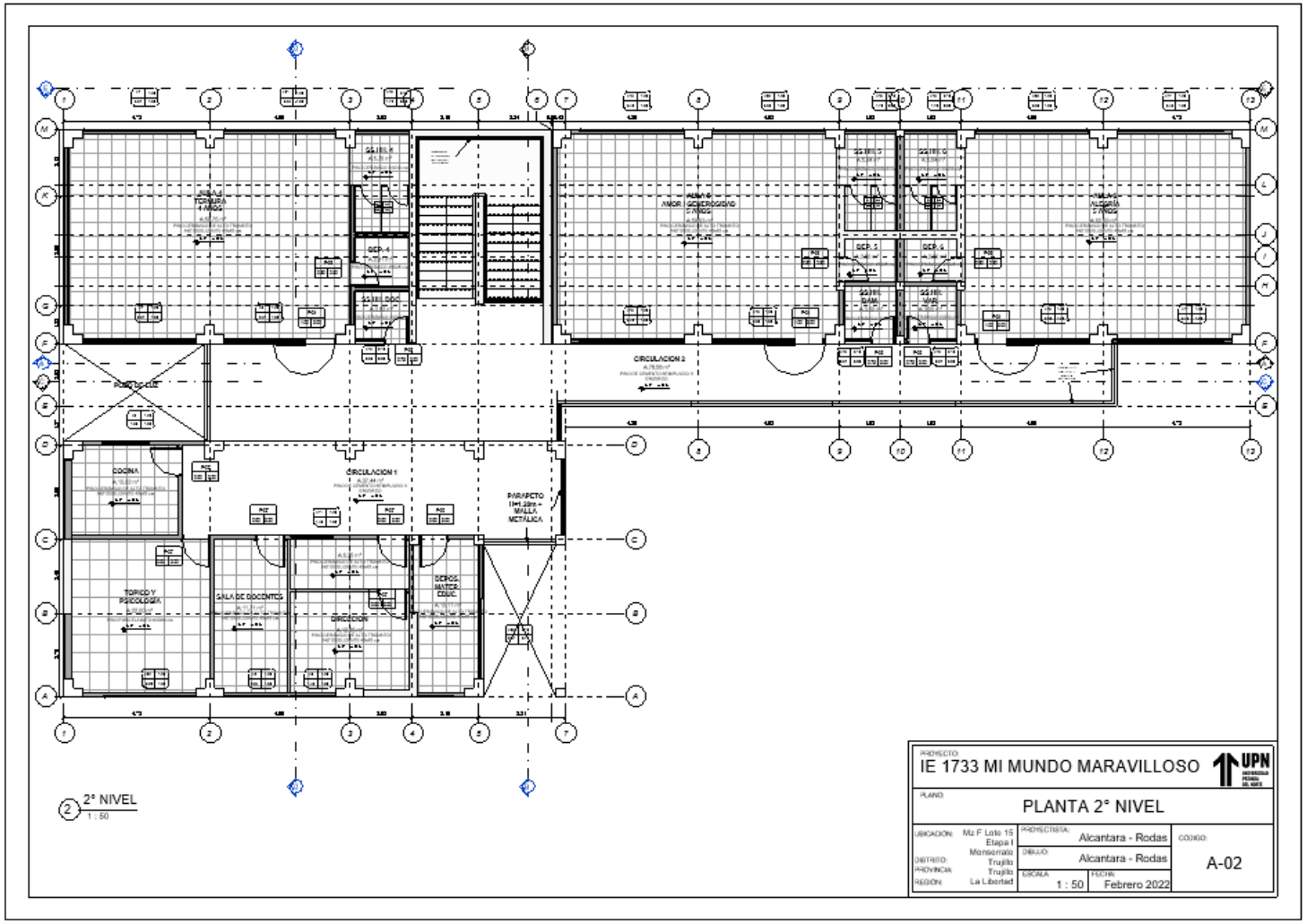


Figura 10. Planta de Distribución Arquitectónica Nivel 02.

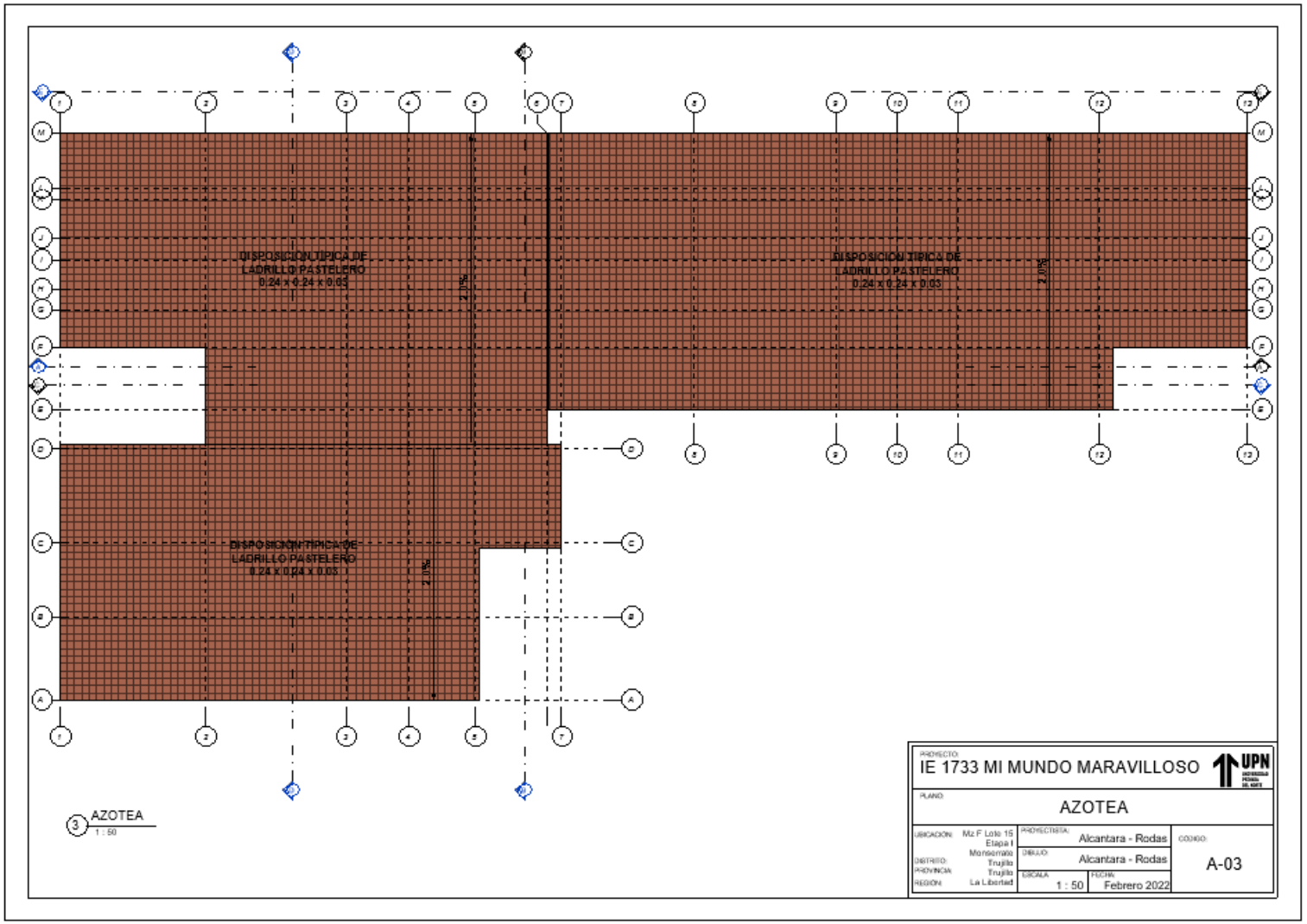


Figura 11. Azotea.

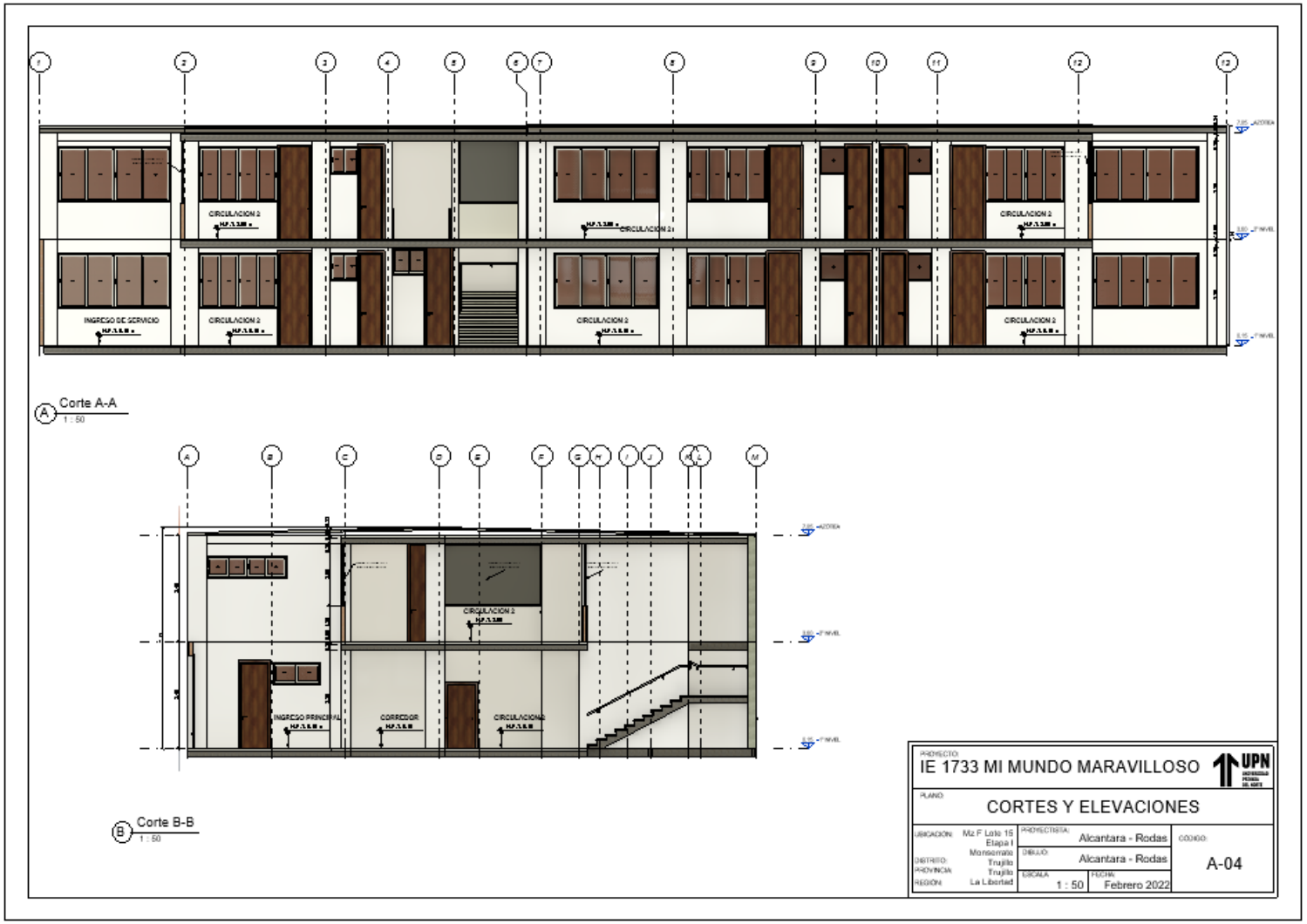


Figura 12. Cortes y Elevaciones.

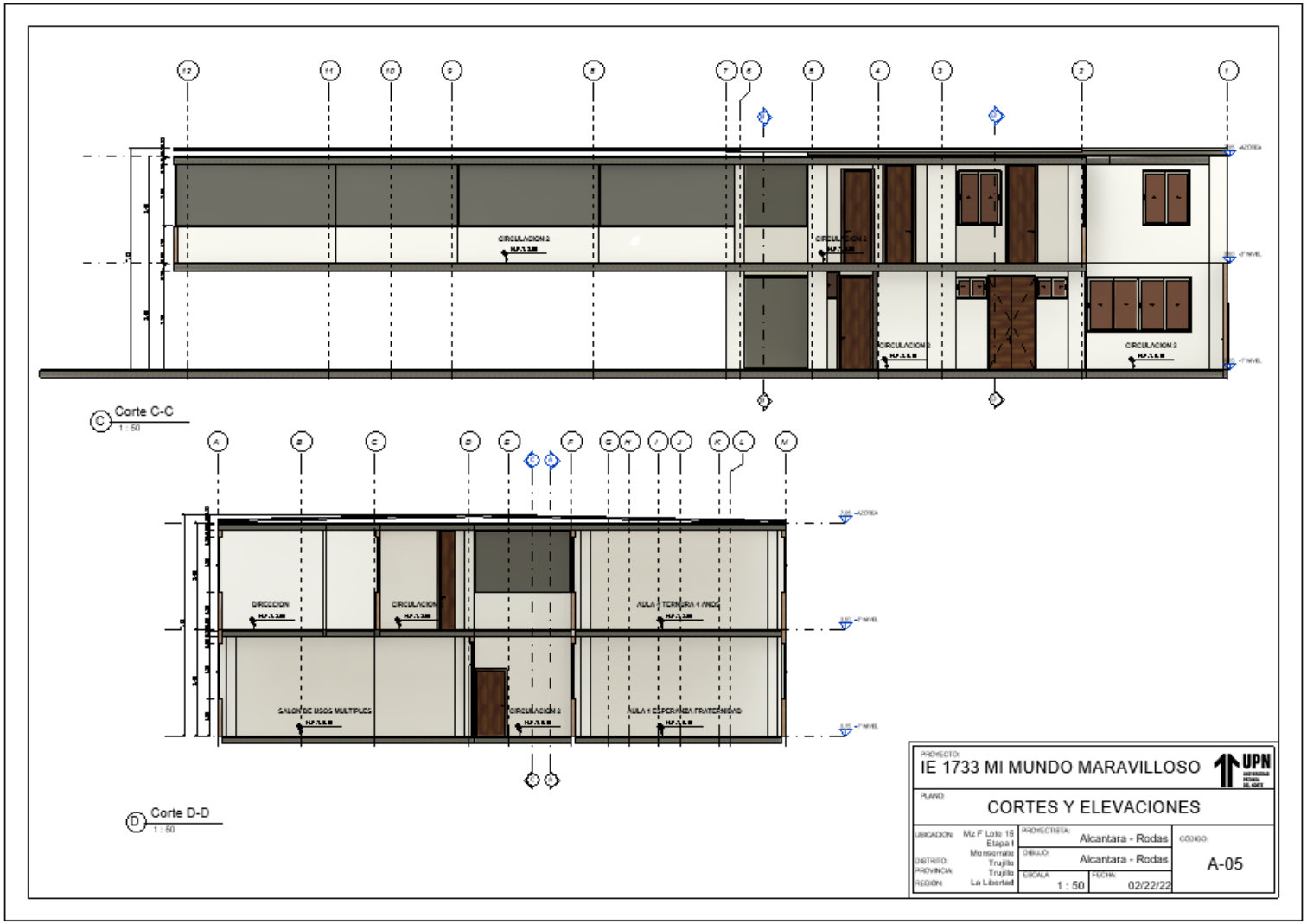


Figura 13. Cortes y Elevaciones

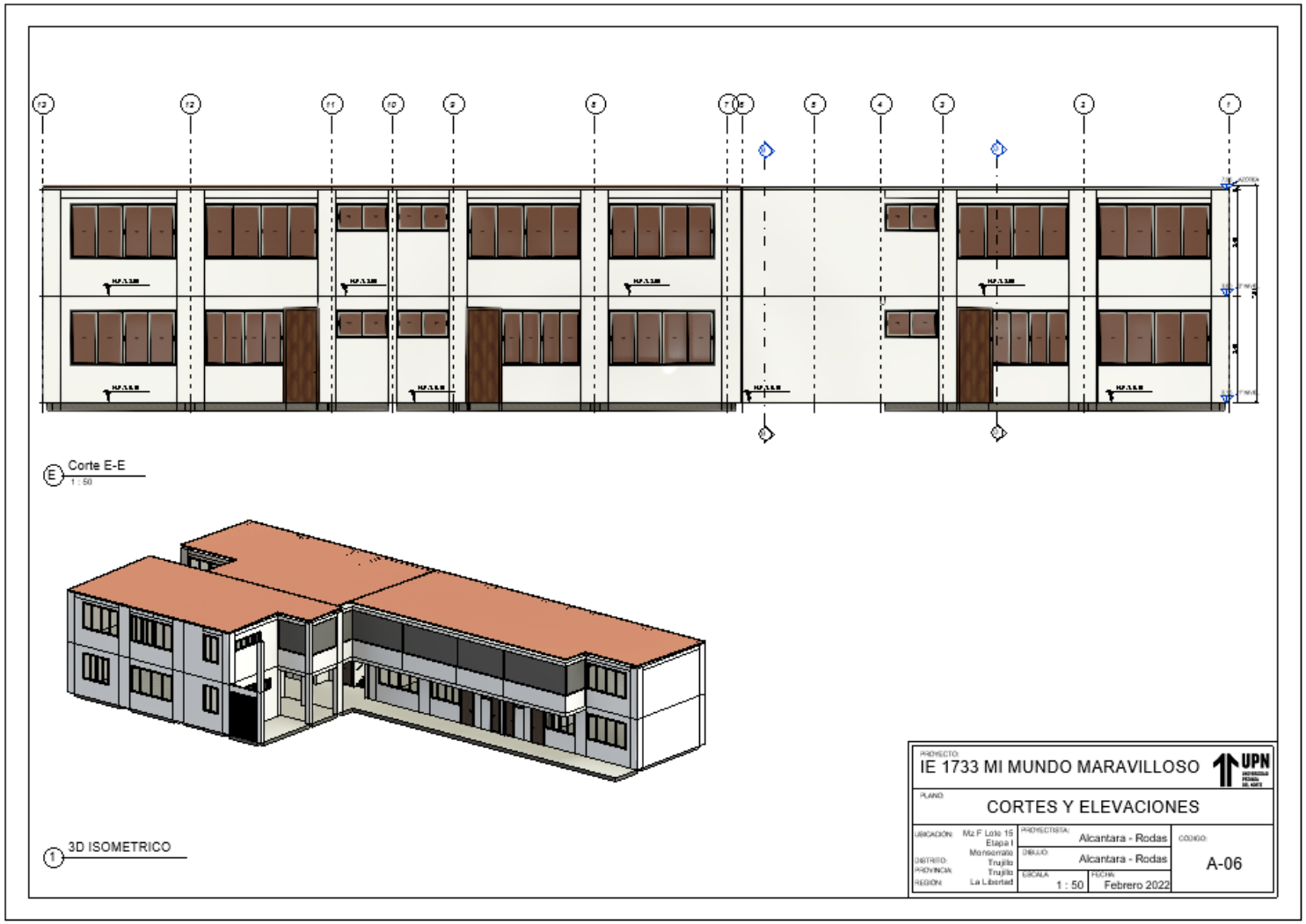


Figura 14. Cortes y Elevaciones

3.2. Análisis Sísmico

3.2.1. Distorsiones de entrepisos estática y dinámica

3.2.1.1.Derivas estáticas máximas

Para empezar con el análisis sísmico, se obtuvo las derivas estáticas máximas en la dirección X y Y para los dos niveles que comprende el proyecto, tal y como se observa en la tabla 24.

Tabla 24
Derivas estáticas máximas

Módulo	Nivel	Dirección	Deriva máxima	Dirección	Deriva máxima
MODULO 1	Nivel 2	X	0.0010	Y	0.0017
	Nivel 1	X	0.0008	Y	0.0011
MODULO 2	Nivel 2	X	0.0012	Y	0.0021
	Nivel 1	X	0.0012	Y	0.0021

Nota: Esta tabla detalla las derivas estáticas máximas.

3.2.1.2.Derivas dinámicas máximas

Se obtuvieron las derivas dinámicas máximas mostradas en la tabla 25, de la cual la mayor se obtuvo en el nivel 2 del módulo 2 en la dirección X.

Tabla 25
Derivas dinámicas máximas

Módulo	Nivel	Dirección	Deriva máxima	Dirección	Deriva máxima
MODULO 1	Nivel 2	X	0.00077	Y	0.00135
	Nivel 1	X	0.00063	Y	0.00086
MODULO 2	Nivel 2	X	0.00095	Y	0.00176
	Nivel 1	X	0.00090	Y	0.00185

Nota: Esta tabla detalla las derivas dinámicas máximas.

3.2.2. Evaluación de Irregularidades

Se evaluaron las irregulares que puede presentar una edificación según el reglamento nacional de edificaciones, de las cuales se comprobó que no existen.

Tabla 26
Irregularidades probables de presentarse

Módulo	Irregularidad por Piso Blando	Irregularidad por Piso Débil	Irregularidad Torsional
1	No existe	No existe	No existe
2	No existe	No existe	No existe

Nota: Esta tabla detalla la existencia de las irregularidades de piso débil, piso blando y torsional, en los módulos de proyecto.

3.2.3. Fuerza Sísmica de Diseño

Para finalizar el análisis sísmico, se obtuvieron las fuerzas cortantes estáticas y dinámicas expresadas en la tabla 27.

Tabla 27
Fuerzas Sísmicas de diseño por módulo

Módulo	Sismo en "X"			Sismo en "Y"		
	Cortante estática (tonf)	Cortante Dinámica Sin escalar (tonf)	Cortante Dinámica Escalada tonf	Cortante estática (tonf)	Cortante Dinámica Sin escalar (tonf)	Cortante Dinámica Escalada tonf
1	190.775	155.161	155.161	190.775	148.752	152.620
2	130.096	111.180	111.180	130.096	112.720	112.720

Nota: Esta tabla detalla las cortantes estáticas y dinámicas, además de la cortante de diseño.

3.3. Diseño de Elementos de Concreto Armado

3.3.1. Disposición del Refuerzo corrido en Vigas y Losa Aligerada

Se presenta la distribución del acero para las diferentes secciones de vigas y losas aligeradas, las cuales serán reflejadas en las tablas 28 y 29.

Tabla 28
Refuerzo en Vigas

Sección (cm)	Acero corrido (capa superior)	Acero corrido (capa inferior)	Estribos (cm)
25x50	2Ø5/8"	2Ø5/8"	1Ø3/8"; 1@5; 10@10; resto@20
30x60	2Ø3/4"	2Ø3/4"	1Ø3/8"; 1@5; 10@12.50; resto@25
25x40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	1Ø3/8"; 1@5; 8@10; resto@20
25x50	2Ø1/2"	2Ø1/2"	1Ø3/8"; 1@5; 10@10; resto@20
25x30	2Ø1/2"	2Ø1/2"	1Ø3/8"; 1@5; 10@7; resto@12
25x20	2Ø1/2"	2Ø1/2"	1Ø3/8"; 1@5; 5@7; resto@15
30x60	2Ø3/4"	2Ø3/4"	1Ø3/8"; 1@5; 08@15; resto@25
30x60	2Ø5/8"	2Ø5/8"	1Ø3/8"; 1@5; 08@15; resto@25
25x60	2Ø5/8"	2Ø5/8"	1Ø3/8"; 1@5; 08@15; resto@25
30x50	2Ø5/8"	2Ø5/8"	1Ø3/8"; 1@5; 10@10; resto@25
40x80	3Ø3/4"	3Ø3/4"	1Ø3/8";1@5;11@15; resto@25

Nota: Esta tabla detalla la sección y la distribución del acero en vigas.

Tabla 29
Refuerzo en Losa Aligerada

Módulo	H total (m)	Viguetas separadas a cada	Ø Acero (-)	Ø Acero (+)	Aumento de ancho de vigueta
1	0.20	0.40	Ø3/8" y1/2"	Ø3/8" y 12mm"	NO
2	0.20	0.40	Ø3/8", Ø1/2" y Ø5/8"	Ø3/8" y1/2"	NO

Nota: Esta tabla detalla la sección y la distribución de acero en losas aligeradas de cada módulo.

3.3.2. Disposición del Refuerzo en Columnas y Muros estructurales

Para columnas y muros estructurales se obtuvo la disposición de acero mostradas en las tablas 30 y 31, donde se detalla todos los datos necesarios para el proyecto.

Tabla 30
Sección y disposición de acero de las columnas.

Nombre	Sección (cm)	Refuerzo longitudinal	Estribos (cm)	Grapa Suplementaria
C01	30x30	4Ø5/8" + 4Ø1/2"	2Ø3/8"; 1@5; 7@10; resto@20	No
C02	25x25	6Ø1/2"	1Ø3/8"; 1@5; 7@10; resto@20	No
C03	T 90x60	20Ø5/8"	2Ø3/8"; 1@5; 9@10; resto@20	No
C04	L 70x60	7Ø3/4" + 17Ø1/2"	2Ø3/8"; 1@5; 7@10; resto@20	2Ø3/8"
C06	L 60x60	7Ø3/4" + 17Ø1/2"	2Ø3/8"; 1@5; 7@10; resto@20	2Ø3/8"

Nota: Esta tabla detalla la sección y la distribución de acero en columnas.

Tabla 31
Sección y disposición de acero de los muros estructurales.

Mód.	Long (m)	Refuerzo Vert.	Ref. Hor.	Elementos de confinamiento			
				Long (m)	Ref. Long.	Estrib.	Grap Sup.
1	2.70	Ø3/8" @22	Ø3/8" @22	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8"
1	2.70	Ø3/8" @22	Ø3/8" @22	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8"
	0.90	Ø3/8" @17	Ø3/8" @17	0.30	4Ø1/2" + 2Ø3/8"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8"
1	2.70	Ø3/8" @22	Ø3/8" @22	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8"
	4.17	Ø3/8" @21	Ø3/8" @21	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø12mm
1	2.18	Ø3/8" @20	Ø3/8" @20	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8"
	2.18	Ø3/8" @20	Ø1/2" @15	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8"
	4.49	Ø3/8" @16	Ø1/2" @19	0.60	10Ø1/2"	1Ø3/8" @8	2Ø3/8" + 1Ø12mm
2	2.43	Ø3/8"@20	Ø3/8"@20	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8"@8	2Ø3/8"
	2.43	Ø3/8"@20	Ø3/8"@22	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8"@8	2Ø3/8"
	3.95	Ø3/8"@15	Ø1/2"@20	0.40	8Ø1/2"	1Ø3/8"@8	2Ø3/8"

Nota: Esta tabla detalla la sección y la distribución de acero en muros estructurales.

3.3.3. Disposición del Refuerzo en Escalera

Para la escalera se obtuvo la distribución del refuerzo longitudinal y transversal, tal y como se observa en la tabla 32.

Tabla 32
Sección y disposición de acero en la escalera.

Módulo	Espesor (m)	Refuerzo Long.	Refuerzo Trans.
1	0.17	Ø1/2" @25	Ø3/8" @20

Nota: Esta tabla detalla el espesor y la distribución de acero en la escalera.

3.3.4. Disposición del Refuerzo en Cimentaciones

Para finalizar el diseño en concreto armado, se presenta la disposición de acero en las zapatas con sus diferentes secciones presentadas en la tabla 33.

Tabla 33
Sección y disposición de acero en las zapatas.

Módulo	Nombre	Ubicación	Sección (m)	Espesor (cm)	Refuerzo inferior	Refuerzo Superior
1	Z01	1D 1F 1M	1.20x1.80	60	Ø5/8" @20cm – Ø3/4" @15cm	Ø5/8" @20cm
1	Z02	2M 3M	1.80x1.80	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
1	Z03	2D 2F	2.40x1.80	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
1	Z04	3D 2A	2.00x1.80	60	Ø5/8" @15cm – Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @15cm – Ø5/8" @20cm
1	Z05	5G 6F	1.00x1.80	60	Ø5/8" @20cm – Ø3/4" @15cm	Ø5/8" @20cm – Ø5/8" @15cm
1	Z06	7C 4C-5C	3.45x1.80	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
1	Z07	1AB	1.60x4.30	60	Ø5/8" @20cm – Ø3/4" @15cm	Ø5/8" @20cm
1	Z08	7AB	0.80x3.50	80	Ø5/8" @15cm	Ø5/8" @15cm
1	Z09	5D-7D 3F-4F	3.90x1.80	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
1	Z10	3-5 A-B	T 6.00x4.20	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
1	Z11	4-6 K-M	4.75x3.25	90	Ø5/8" @15cm	Ø5/8" @15cm
2	Z01	(7-8-12-13)M/13F	2.40x1.80	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
2	Z02	12F	2.40x2.00	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
2	Z03	7-8 F	2.20x5.50	60	Ø5/8" @20cm	Ø5/8" @20cm
2	Z04	9-11 M	1.80x5.35	60	Ø3/4" @15cm-Ø5/8" @15cm	Ø3/4" @15cm-Ø5/8" @15cm
2	Z05	9-11- L-H	3.43x4.95	60	Ø3/4" @15cm-Ø3/4" @20cm	Ø5/8" @15cm-Ø5/8" @20cm
2	Z06	9-11 F	2.00x5.55	60	Ø3/4" @20cm	Ø3/4" @20cm

Nota: Esta tabla detalla el espesor y la distribución de acero en las zapatas.

3.4. Planos Estructurales

Se modelaron los planos estructurales en el software Revit Structure 2021, de los cuales se obtuvo planos de cimentaciones, techos, detalles de cimientos, columnas y vigas.

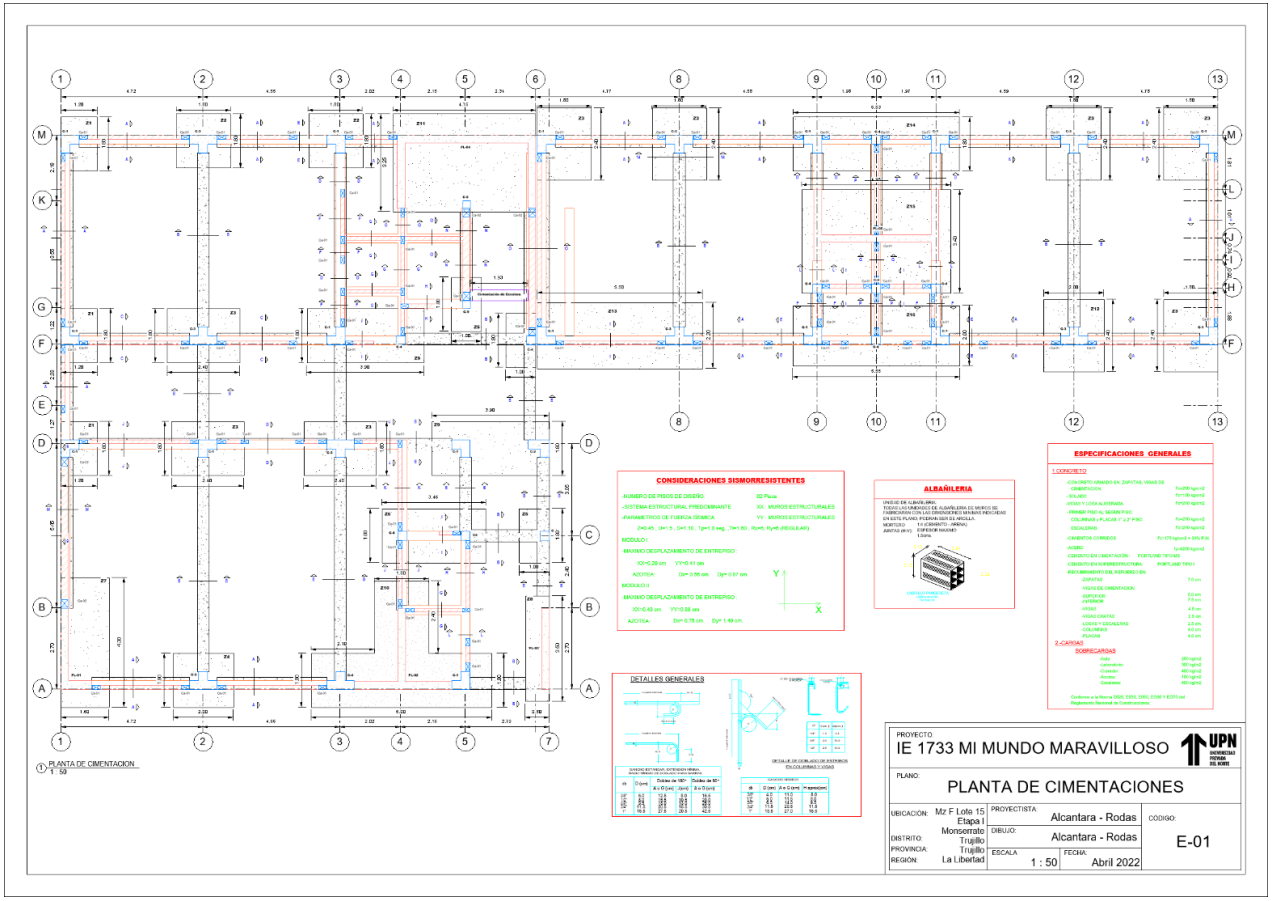


Figura 15. Planta de cimentaciones.

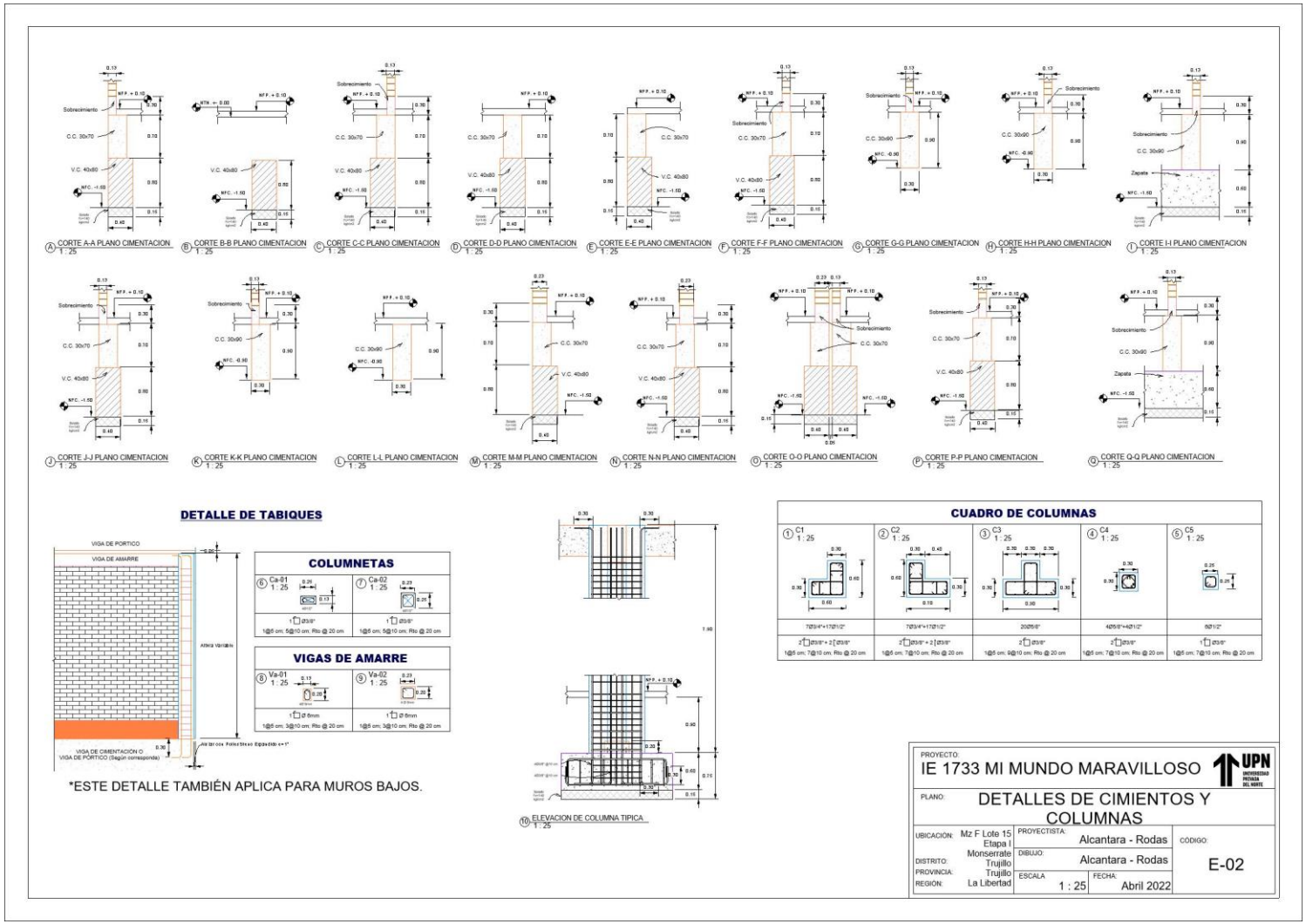


Figura 16. Detalles de cimientos y columnas.

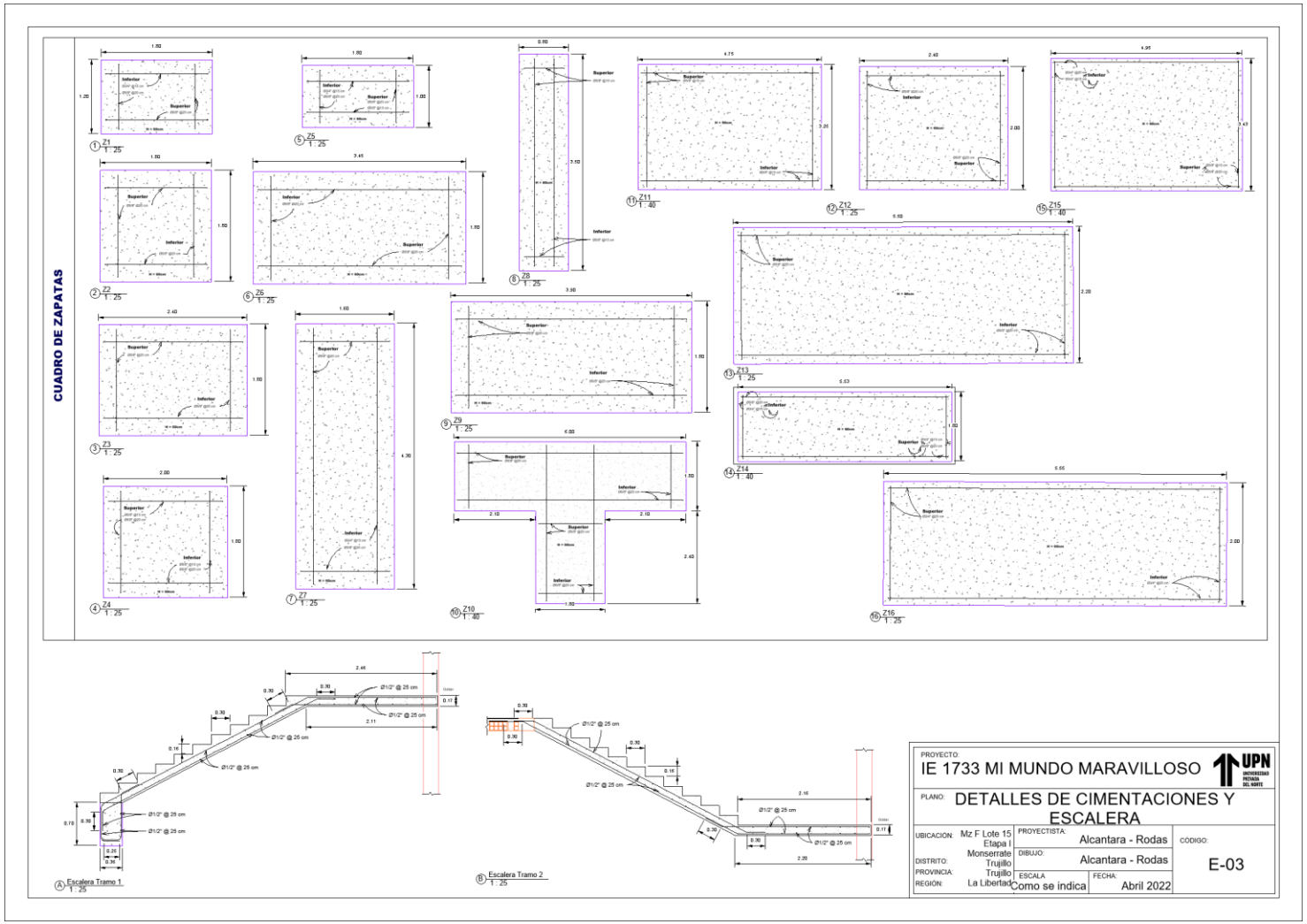


Figura 17. Detalles de cimentaciones y escalera.

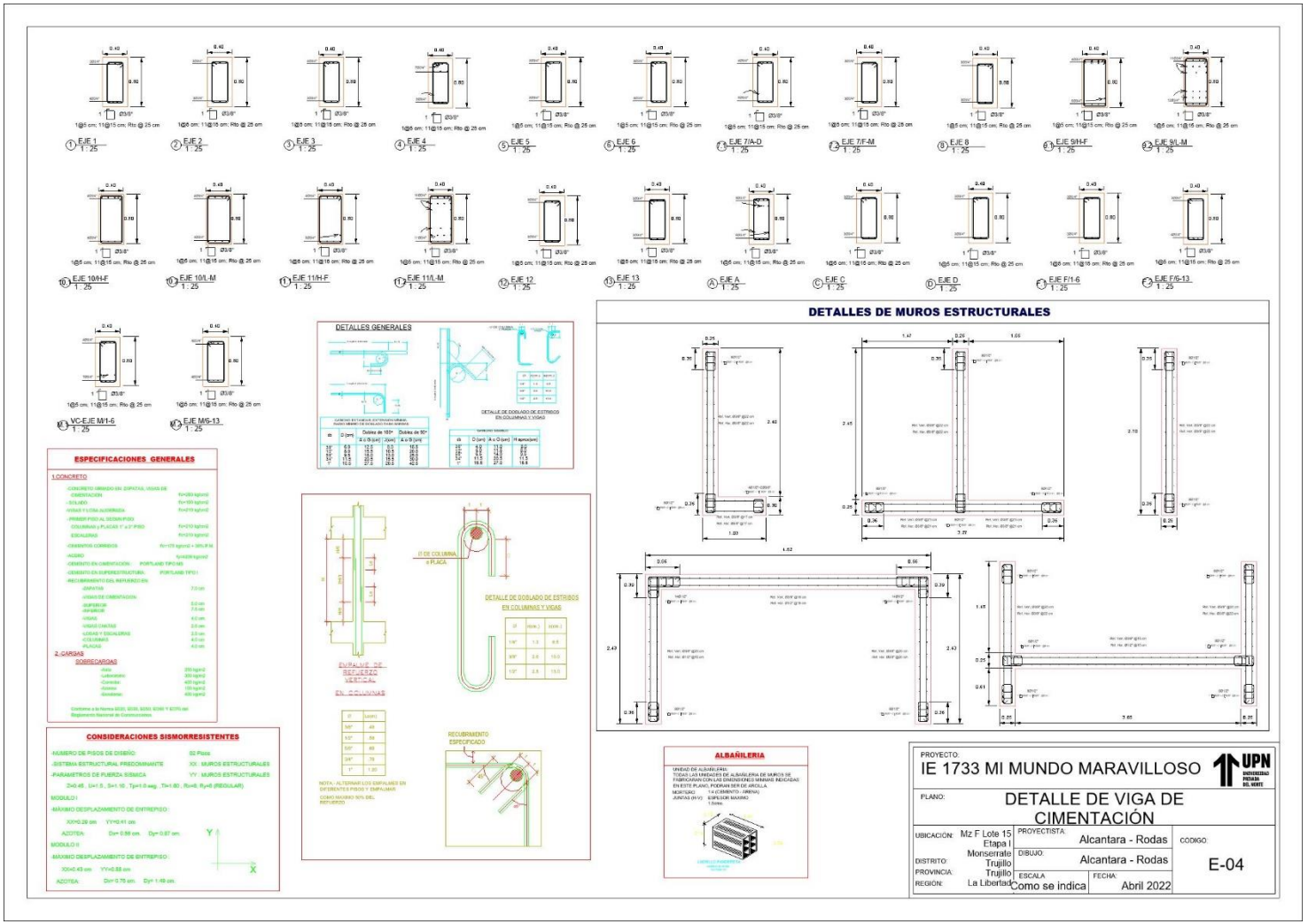


Figura 18. Detalle de viga de cimentación.

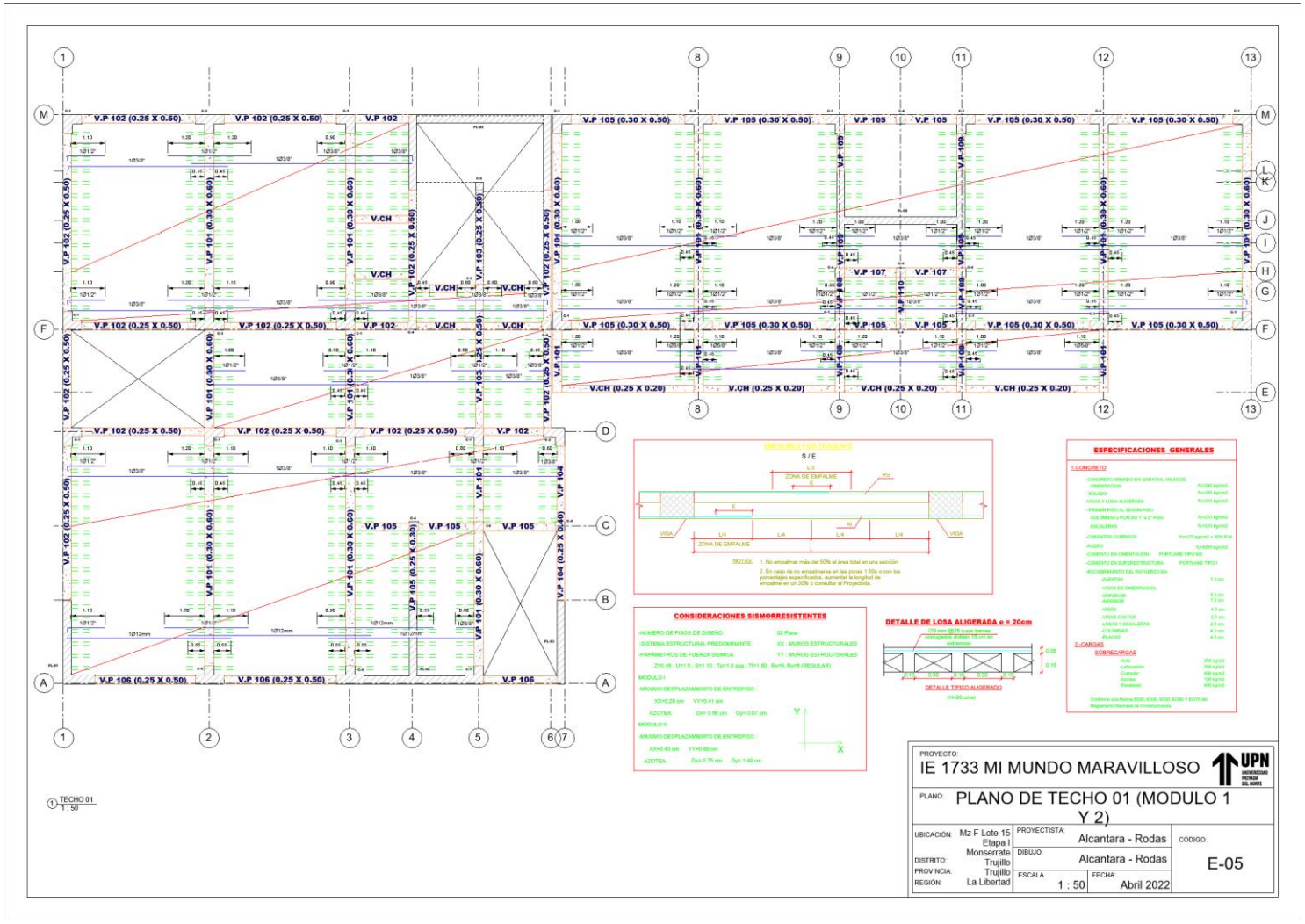


Figura 19. Plano de techo 01 (Módulo 1 y 2).

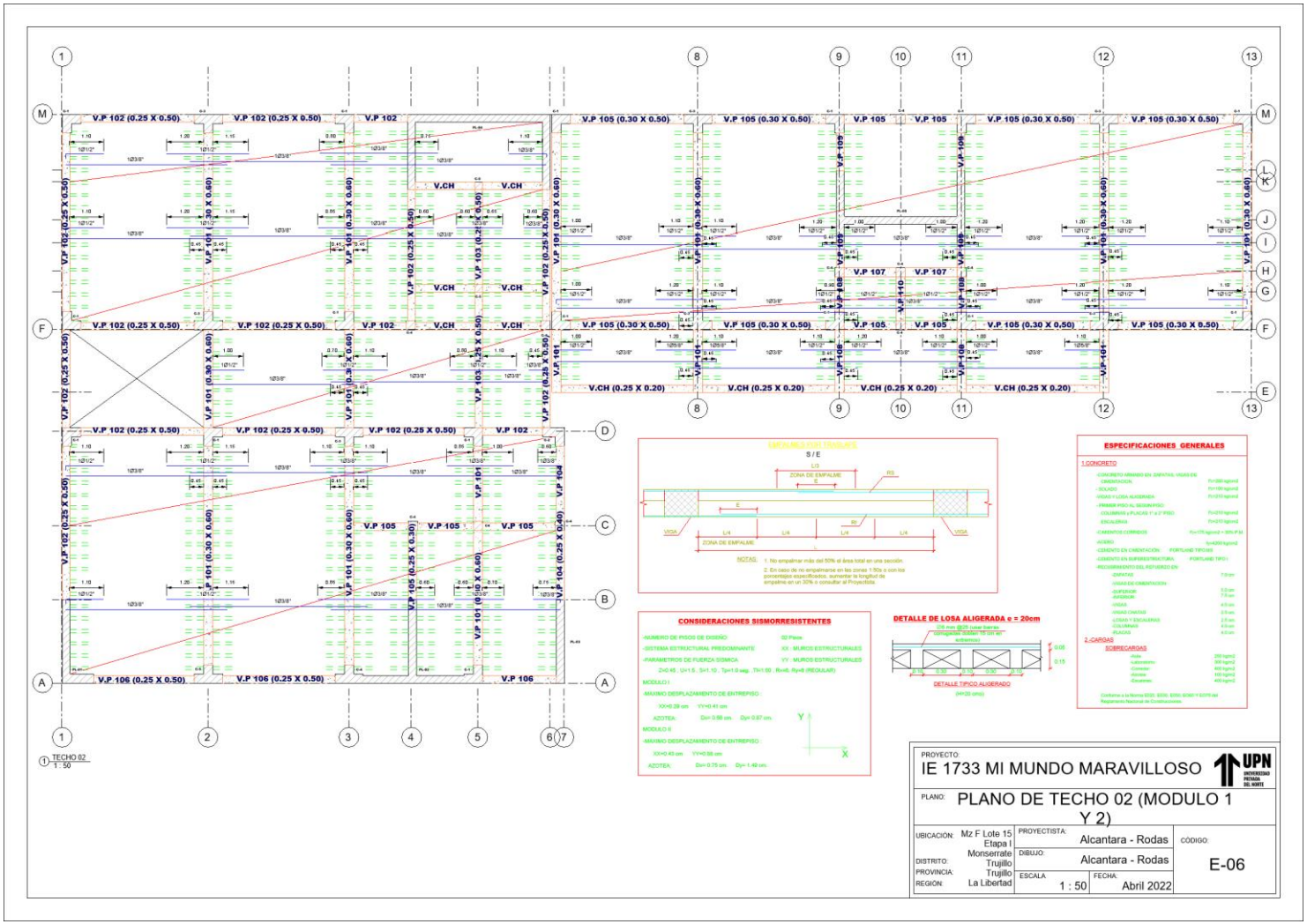


Figura 20. Plano de techo 02 (Módulo 1 y 2).

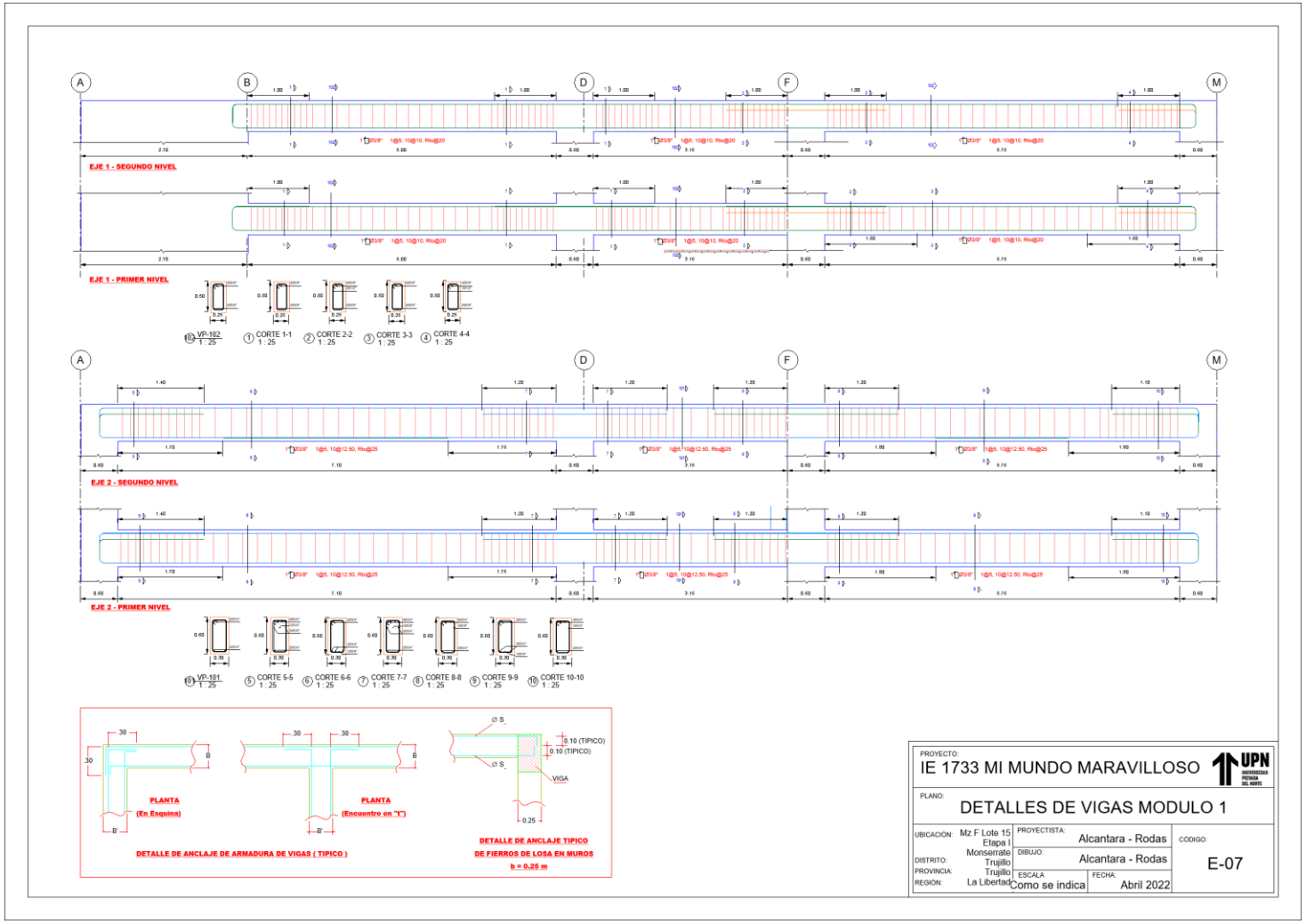


Figura 21. Detalles de vigas módulo 1.

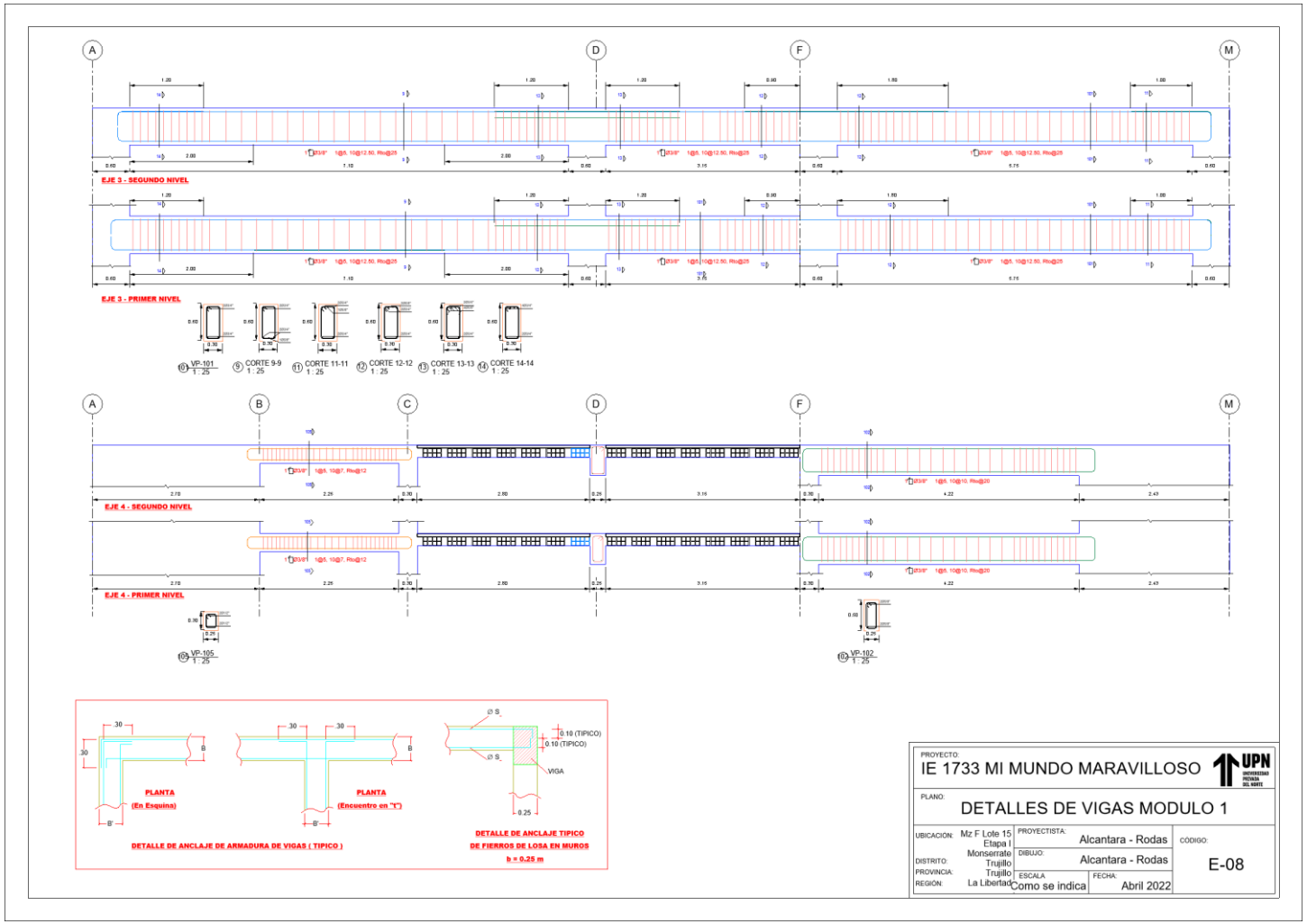


Figura 22. Detalles de vigas módulo 1.

.

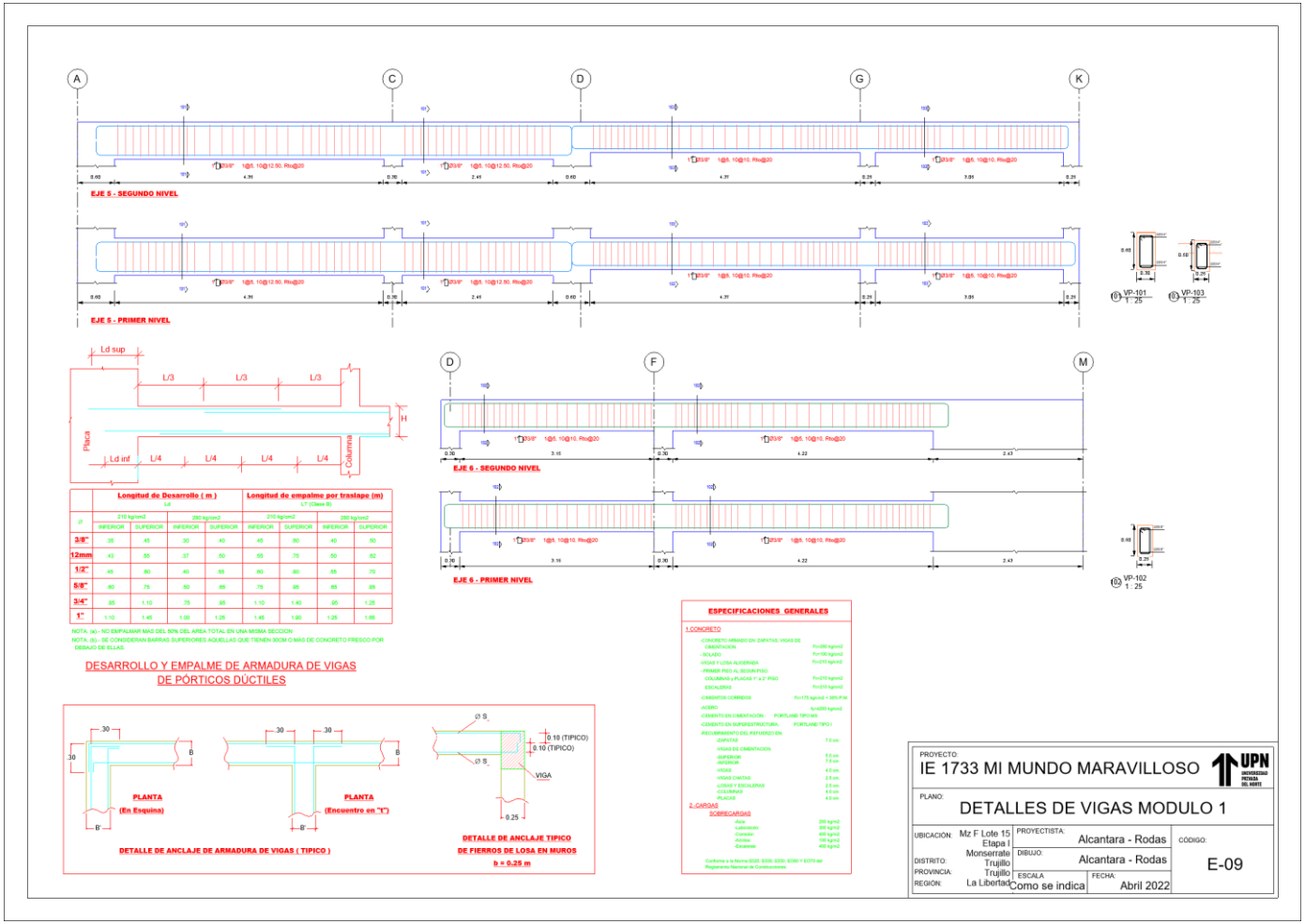


Figura 23. Detalles de vigas módulo 1.

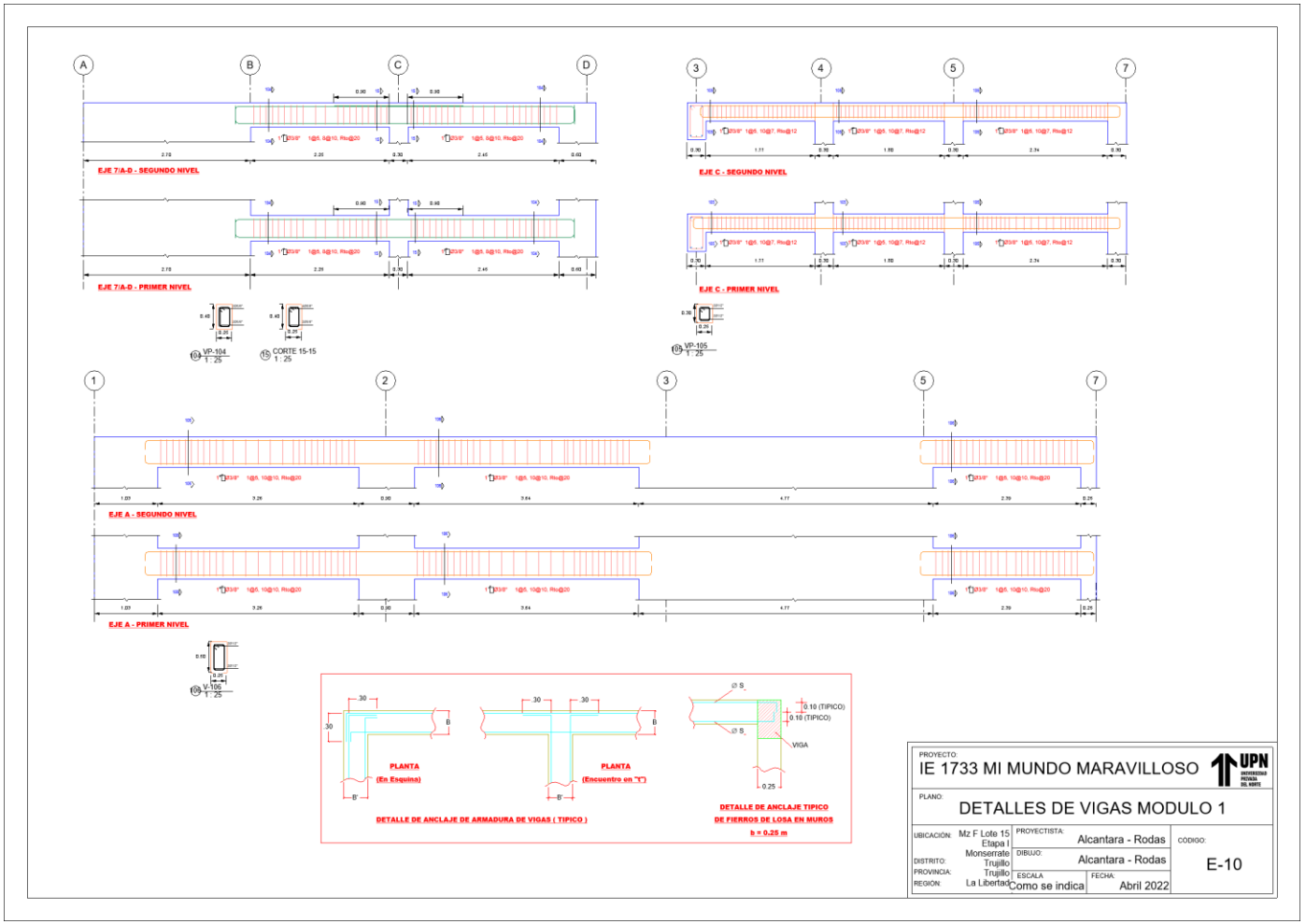


Figura 24. Detalles de vigas módulo 1.

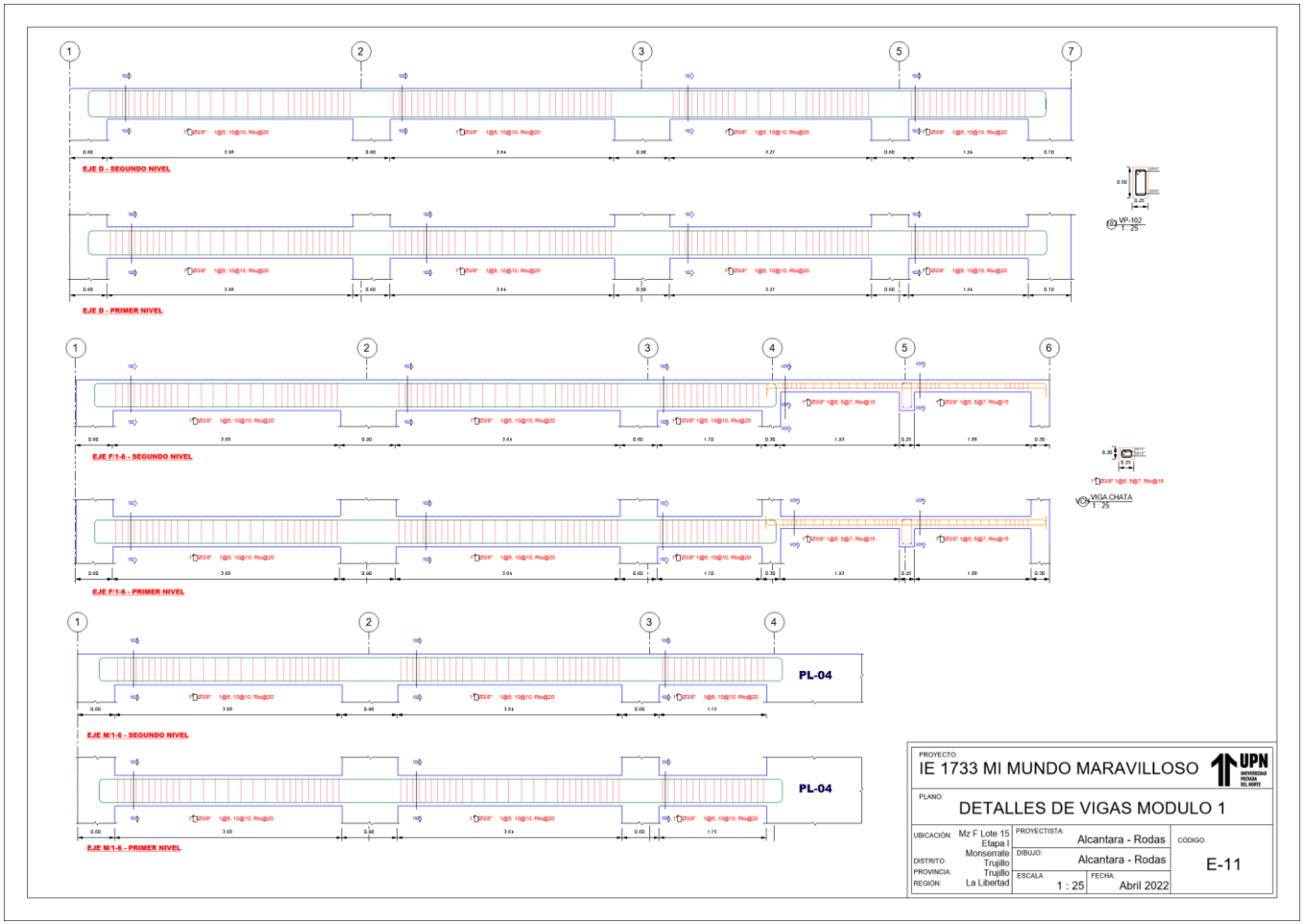


Figura 25. Detalles de vigas módulo 1.

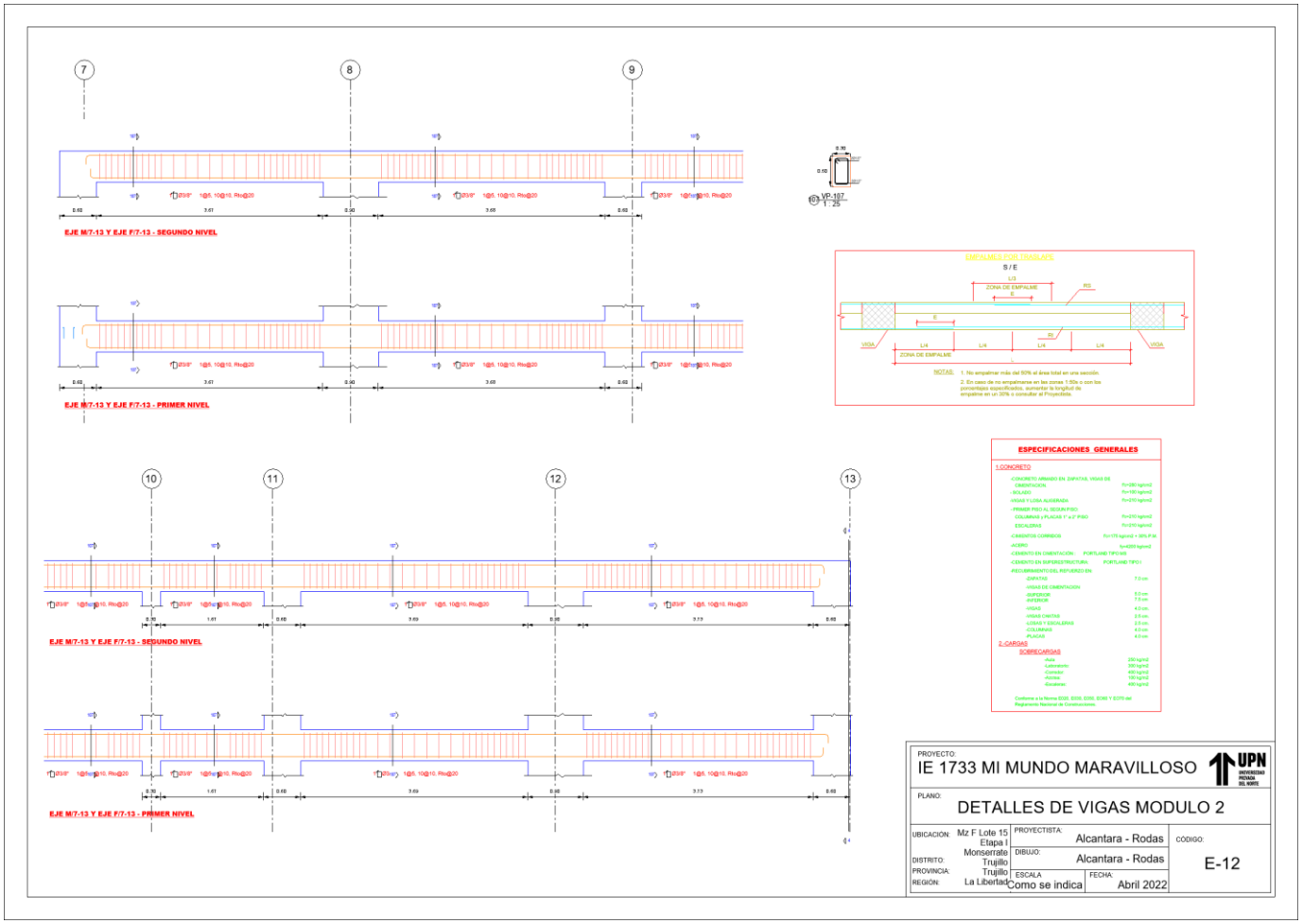


Figura 26. Detalles de vigas módulo 2.

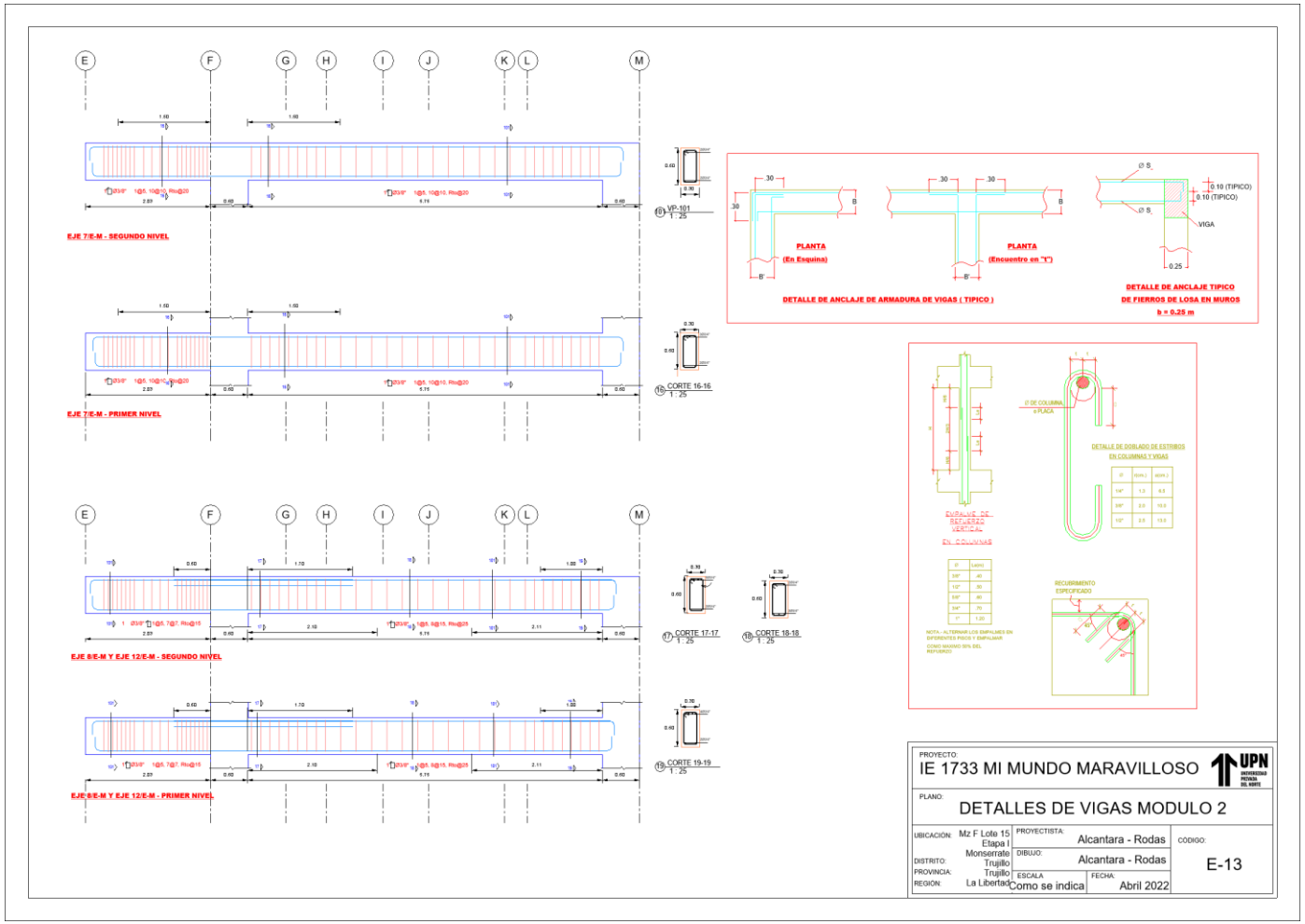


Figura 27. Detalles de vigas módulo 2.

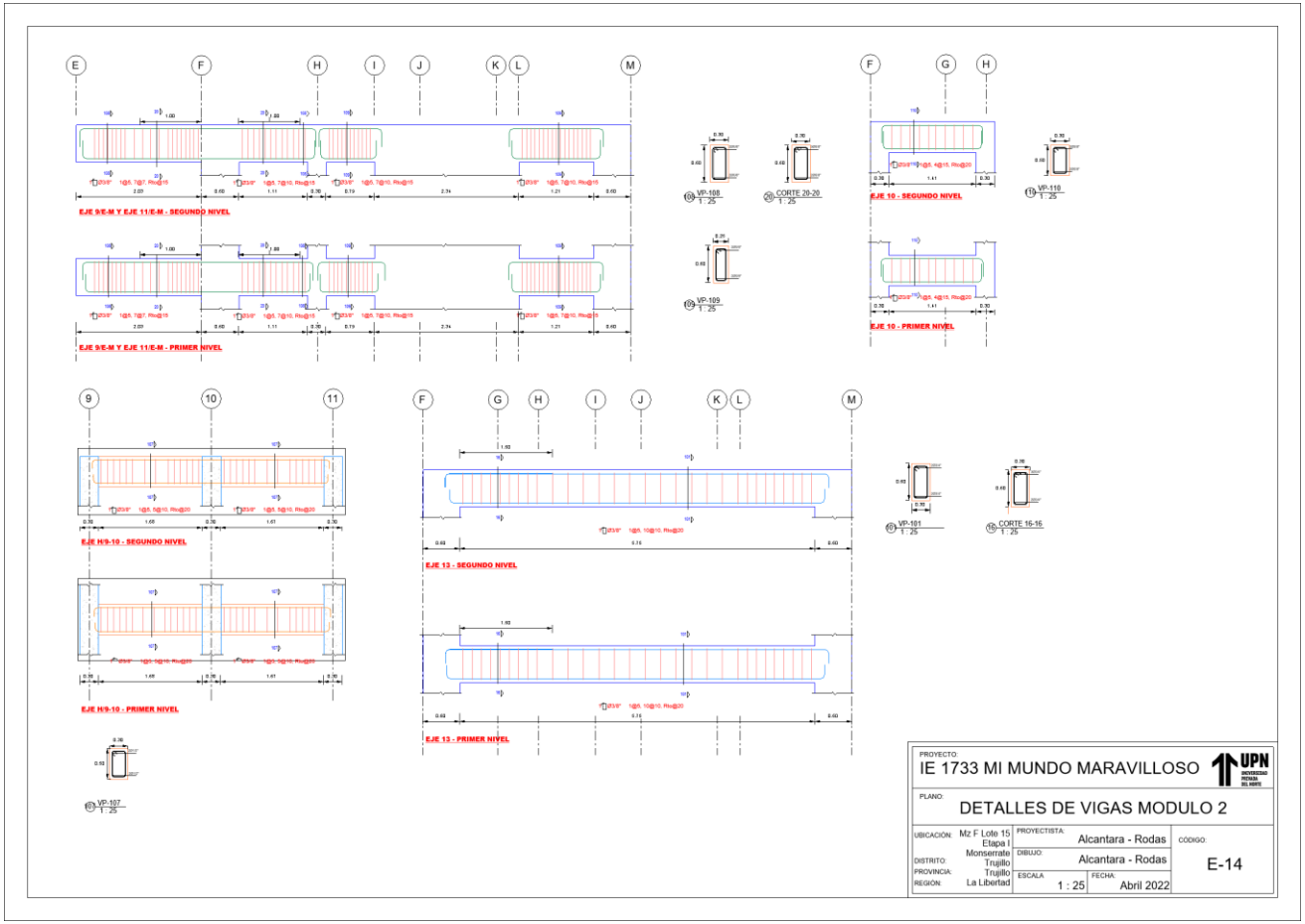


Figura 28. Detalles de vigas módulo 2.

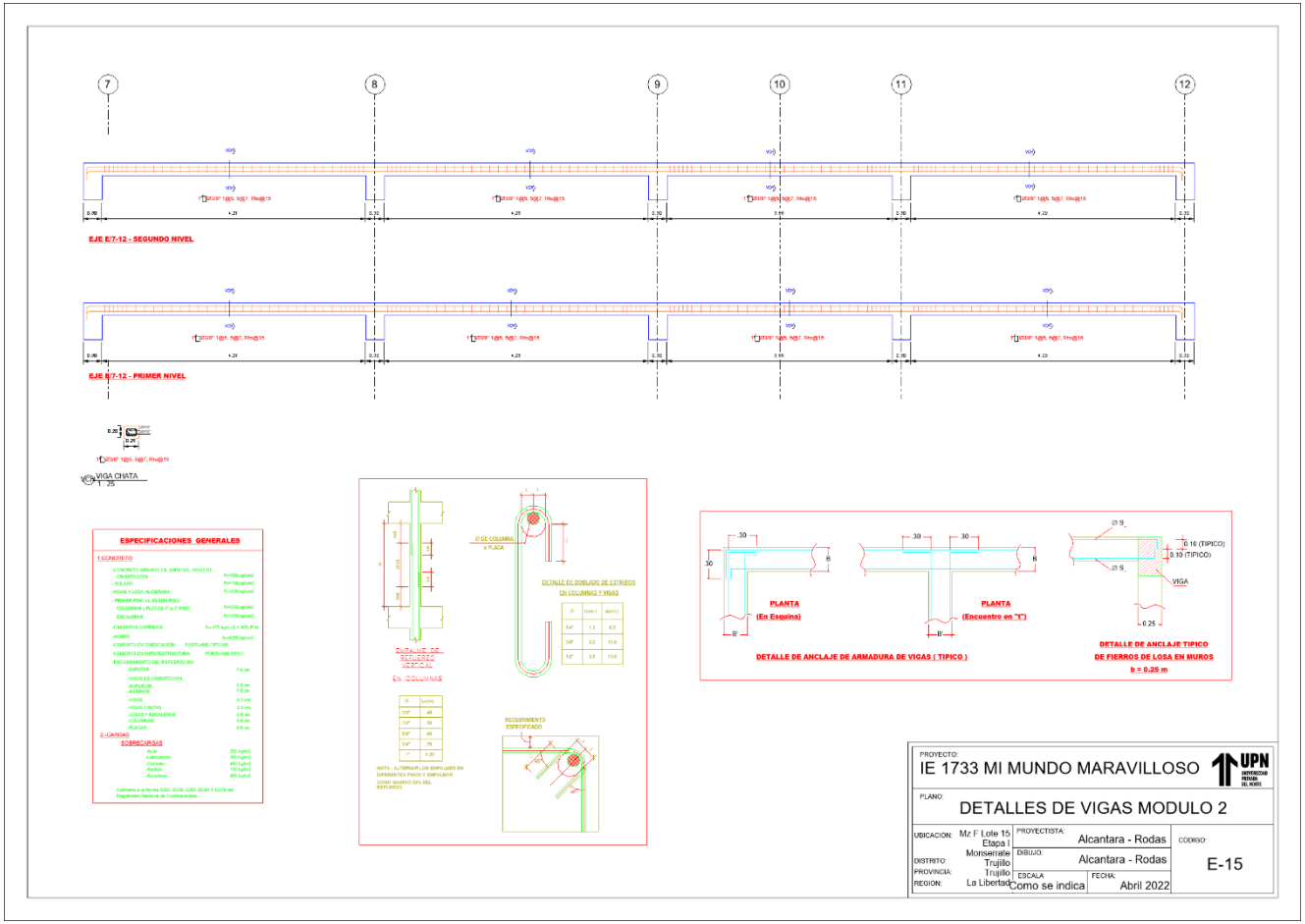


Figura 29. Detalles de vigas módulo 2.

3.5.Guía de modelamiento

Como resultado del quinto objetivo se obtuvo una guía de modelamiento mediante la metodología BIM que se encuentra en el anexo N°5, la cual detalla los pasos que fueron necesarios para la realización del proyecto.

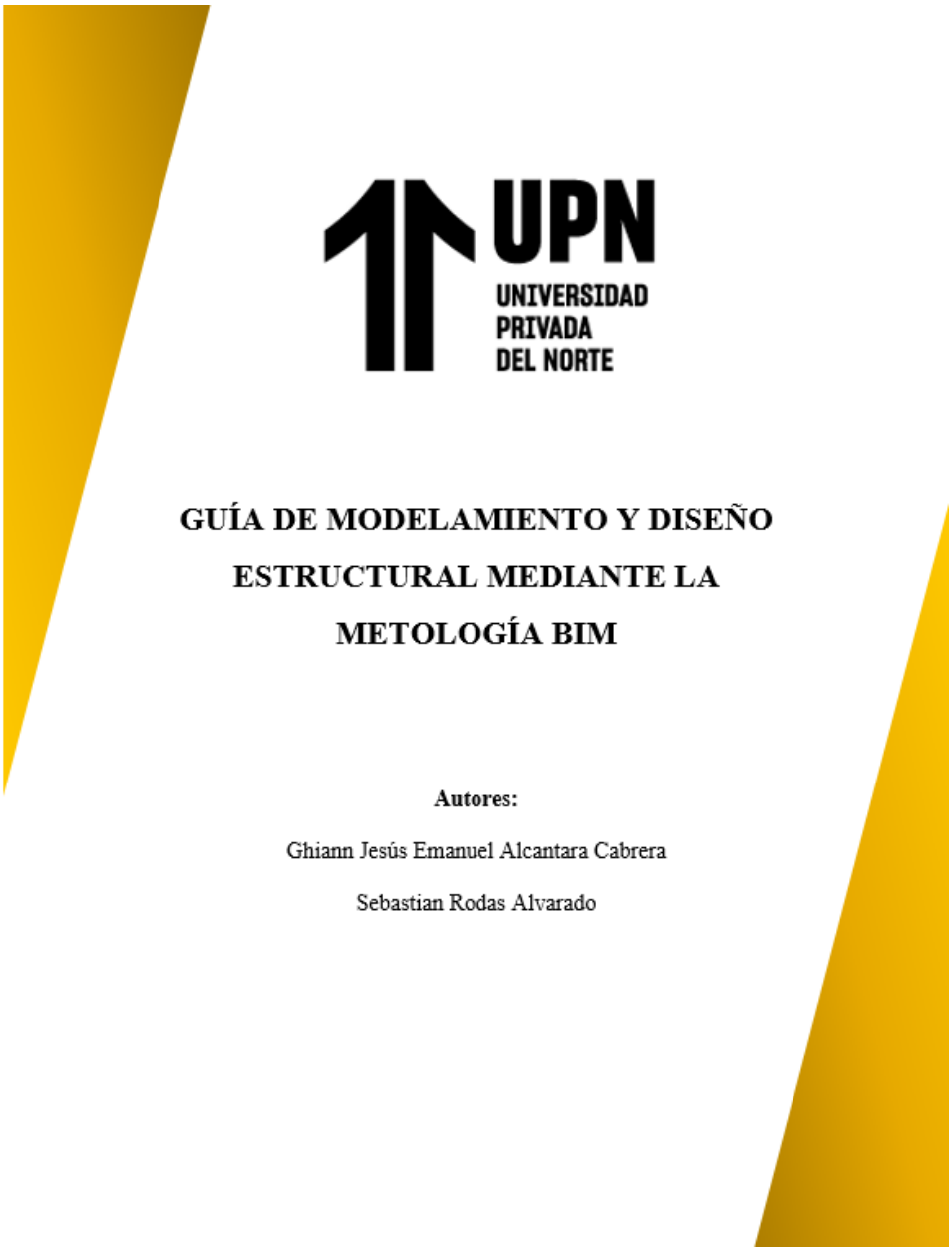


Figura 30: Guía de modelamiento

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1.Discusión

El diseño estructural mediante la metodología BIM, analizado según las dimensiones de este trabajo de investigación, resultó favorable desde todo punto de vista de un proyecto estructural. Se encontró que tener una arquitectura establecida en un software BIM, resulta muy beneficioso para iniciar el proceso de operatividad y vinculación de los ambientes y las dimensiones de los mismos, punto de inicio de todo proyecto estructural. Esto permitió encontrar ciertas dimensiones iniciales para los elementos de concreto armado, los cuales posteriormente fueron evaluadas, luego de importar las rejillas, hacia el software de análisis y diseño estructural Robot Structural 2021. Es así que, el proceso de análisis pasó a verificar los criterios sismorresistentes y ejecutar los respectivos cálculos. Adicionalmente se pudo diseñar en el software y modelar los resultados de acero en el mismo Revit 2021. Encontrando una interesante visualización en el detallado del refuerzo y las secciones finales de los elementos de concreto armado. Por eso, debido a los resultados obtenidos se puede identificar que existe un aporte importante en el proceso de diseño y la hipótesis resulta válida, ya que el avance se ve beneficiado con el empleo de esta metodología de trabajo.

De las figuras 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se desprende que es sumamente necesario manejar una arquitectura preestablecida por el profesional responsable de la especialidad, pues como se puede apreciar en los textos del ingeniero Villarreal, Blanco y Morales, se necesita luces de ambientes y usos para poder darles dimensiones iniciales a los elementos estructurales. Así mismo, por las tablas 19, 20, 21, 22 y 23, se deja en evidencia que se cumple con los procedimientos de predimensionamiento, establecidos y sustentados en los textos de los ingenieros civiles Villarreal Castro, Antonio Blanco y Roberto Morales. Por otro lado, de las tablas 24 y 25, acerca de las

distorsiones de entrepiso, se muestra que en ningún caso se incumple la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, ya que las derivas presentadas no superan el 0.007. A su vez, por la tabla 26, se manifiesta la inexistencia de irregularidades en planta y en altura, demostrando que se cumple a cabalidad lo indicado en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, en lo que concierne a que, para edificaciones esenciales, no debe presentarse irregularidades de ningún tipo. Por otra parte, de la tabla 27, se logra interpretar que las fuerzas de diseño para sismo, están bien controladas, según lo que indicar también, la norma peruana antes mencionada, ya que no se puede diseñar con una fuerza de menor magnitud que mínimamente con el 80% de la cortante estática. Es importante precisar que, por las tablas 28, 29, 30, 31, 32 y 33, el fundamento de estos resultados se encuentra normado en el código peruano E.060 de Diseño en Concreto Armado, el cual establece todos los requerimientos necesarios para permitir un adecuado comportamiento sísmico de los elementos que conforman el casco estructural, los cuales son principalmente, vigas, columnas, muros estructurales, escalera, losa aligerada y cimentaciones. A su vez, de las figuras 15, 16, 17 y 18, se pudo lograr el nivel de detalle mostrado para los cimientos, columnas y escaleras, gracias contar con el modelo arquitectónico vinculado al archivo central y de esta manera estar priorizando la armonía de los ambientes limitando algún exceso de las secciones iniciales. Así mismo, de las figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 y 29, se deja en evidencia las láminas estructurales de techos generadas y sus respectivos detalles, proporcionando ante una posible detección de interferencias con otras especialidades, la ubicación del refuerzo obtenido y modelado, los cuales fueron producto del Building Information Modeling (BIM) y todo lo que involucra como lo es el trabajo colaborativo bajo un archivo central y dos locales. Como parte del aporte intelectual de este trabajo en la figura 30, se precisó en el quinto objetivo, desarrollar

una guía de modelamiento y diseño en concreto armado. Es por ello que, se anexó todo este procedimiento en un documento, el cual brinda de manera más detallada las etapas a seguir para obtener un diseño con la metodología Building Information Modeling (BIM).

En trabajo de investigación de Briones y Álvarez (2018) se compararon las horas de trabajo y costo para la elaboración del proyecto entre dos softwares de análisis estructural, las cuales son Robot Structural y ETABS, obteniendo mayores beneficios con Robot Structural, mientras que en la presente investigación tanto el tiempo como el costo de elaboración no ha sido un indicador a evaluar al momento de realizar el diseño de la estructura. Es así que, esta investigación está basada en mostrar las virtudes que puede tener la metodología BIM frente al diseño estructural de un proyecto de construcción civil. Por otro lado, se encontraron resultados de derivas máximas tanto en "X" como en "Y", para un edificio de 5 pisos, valores controlados, pero cerca al límite indicado en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, caso contrario a lo encontrado en el análisis de este trabajo de investigación que en muchos casos se llegaron a obtener valores mínimos de distorsión, para una edificación de 2 niveles, pero deja evidenciar, que se proporcionó una gran rigidez lateral, en la mayoría de módulos.

Para el trabajo de investigación de Huaraca (2018), los resultados de sus derivas máximas no cumplen con lo establecido en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, a comparación de este trabajo que, si están los valores descritos, dentro del rango normativo. La razón de que las derivas no cumplan con lo normado se debe el análisis que hace Huaraca (2018) está enfocada a viviendas autoconstruidas, las cuales son construidas de forma empírica, mientras que el presente trabajo está siendo diseñado en base al Reglamento Nacional de Edificaciones.

De la investigación de Dominguez y Moreno (2018), se desprende que ellos también optaron por la creación del modelo arquitectónico, con el propósito de tener la capacidad de poder vincular las especialidades de arquitectura y estructuras, para así encontrar la operatividad que tanto ofrece la metodología de trabajo BIM. Es así como en cuanto a resultados, se puede apreciar la variedad de herramientas que ofrece esta metodología para hacer el diseño más dinámico y práctico, añadiendo a sus cualidades la opción de trabajar en equipo, sin que haya interferencias que afecten el progreso del proyecto.

En la investigación de Villena (2017), se obtuvieron las variedades en cuanto a resultados de los softwares Robot Structural y ETABS, las cuáles oscilaban entre 1% y 6%, además de ver la interoperabilidad que tiene Robot Structural con Revit para el modelado de las estructuras. De la misma manera, el presente trabajo de investigación, muestra el aporte que tiene dicha metodología frente al flujo de trabajo que pueda haber en las distintas etapas de un diseño estructural.

En lo que respecta a las limitaciones de la investigación, el software Robot Structural 2021, no cuenta con la capacidad de diseñar cimentaciones conectadas. Es así que, ante la clara indicación del estudio de mecánica de suelos, se optó por trabajar con el programa SAFE 2016 y asumir la importación de cargas como de manera manual. Además, era un requisito en la concepción inicial de trabajar con la metodología Building Information Modeling (BIM) supondría utilizar programas que tengan inter operatividad directa entre estos (Revit 2021 y Robot Structural 2021). Esto permitió en un inicio, disponer las grillas y niveles para el modelamiento estructural, pero al culminar los cálculos, no se pudo exportar los resultados a Revit 2021 porque el archivo al ser muy grande y contener tanta información, ocasionaba un error en Robot. Pese a ello, se realizó el modelamiento en Revit 2021, sin exportar los resultados e

iniciando con la generación de modelos locales y central, la generación de los detalles y planos del proyecto.

El diseño estructural, de acuerdo a la investigación realizada, pudo lograrse por tener una arquitectura clara para el objetivo del proyecto. Además, los resultados de las derivas inelásticas en el análisis sísmico estático y dinámico, se encuentran dentro del rango permisible por la norma E.030 Diseño Sismorresistente (<0.007). Así mismo, se logró resolver el problema de inexistencia de irregularidades, en base a una estructuración adecuada y acorde a las necesidades estructurales. Por otra parte, las fuerzas sísmicas de diseño, resultaron ser mayores a la mínima requerida y solo en un caso se necesitó escalar el sismo dinámico al 80% de la fuerza sísmica estática. De igual forma, se procedió con el diseño en concreto armado, el cual produjo la disposición del refuerzo, por distintas secciones de vigas y en donde no se requería se ajustó al mínimo según el artículo 10.5.2 de la norma E.060. En las columnas, de igual forma se procedió a reforzar según la demanda, obteniendo cuantías que superaban a la mínima (1%), según el artículo 21.4.5.1 de la norma de Concreto Armado E.060. En losas se diseñó según el criterio de una viga "T" con refuerzo según las zonas donde se requiera, considerando también al mínimo según el artículo 10.5.1 y 10.5.2 de la norma mencionada. Los muros estructurales fueron diseñados a partir de tres capítulos como referencias principales: Cortante, Muros y Disposiciones sísmicas. La escalera y las zapatas se reforzó en base a los criterios de refuerzo por momento flector del capítulo 10 y disposiciones mínimas según el capítulo 9 – Requisitos de Resistencia y Servicio. Por último, se logró el detalle respectivo de todos los elementos mencionados gracias al trabajo colaborativo que ofreció el Building Information Modeling (BIM) con su programa Revit y el "Dropbox".

Para terminar, este trabajo se desarrolló encontrando una unidad de análisis acorde con las exigencias para los nuevos proyectos y la metodología de desarrollo que plantea el estado, la misma que posteriormente fue modelada su arquitectura desde el trabajo colaborativo integrándose con el predimensionamiento. Posterior a ello, se realizó el análisis estructural y el diseño de los elementos de concreto armado. Así mismo, se modeló los resultados del refuerzo y las secciones finales en Revit, otra vez bajo la metodología de trabajo colaborativo que proporciona el Buliding Information Modeling (BIM), concluyendo con los planos estructurales y una guía de modelamiento que detalla lo aplicado.

4.2.Conclusiones

Se realizó un análisis descriptivo del todo el procedimiento que involucra un diseño estructural, desde la concepción de un sistema resistente para el caso en estudio hasta el detallado del resultado mediante planos, y detalles constructivos. Con esto, se describió que cada procedimiento resulta ser sumamente óptimo para la concepción de un proyecto, en su etapa de diseño. Gracias a ello, la metodología Building Information Modeling (BIM), en su uso para la rama estructural, resulta siendo un aporte muy importante dentro de la ingeniería civil, garantizando mayor precisión en detalles que se vinculan entre sí.

Se predimensionó todos los elementos estructurales, como son vigas, losas aligeradas, muros de concreto armado, escaleras y columnas. Siendo todos estos necesarios para modelar la arquitectura como primer boceto y definir la ubicación de ciertos ambientes que generan determinadas demandas en sus respectivas áreas. Concluyendo con sus respectivos planos de distribución arquitectónica, además de sus cortes y elevaciones.

Se calculó el análisis sísmico estático y dinámico en las dos plantas para cada módulo de la institución educativa encontrando derivas muy por debajo de la máxima

permitida (0.007), con ello se está garantizando la estabilidad de la edificación ante el sismo de diseño. Así mismo se no se encontró ningún tipo de irregularidad en ambos módulos, acorde con lo estipulado por la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Respecto a las fuerzas sísmicas de diseño, solo se escaló la cortante dinámica en "Y". Tanto para "X" como para el módulo 2, esta fuerza era suficiente y superaba el 80% de la cortante estática.

Se diseñó todos los elementos estructurales de concreto armado en lo que respecta al módulo 1 y 2, encontrando en el caso de vigas secciones de 25x50, 30x60, 25x40, 25x30, 25x20, 25x60, 30x50 y 40x80 (viga de cimentación) con aceros corridos que varían desde Ø1/2" hasta Ø3/4". En lo que respecta a la losa aligerada, se dispuso trabajar con 20 cm y refuerzo corrido positivo de Ø3/8" y Ø12 mm. En tanto que el negativo varía entre Ø3/8", Ø1/2", Ø12 mm y Ø5/8". Por otra parte, en columnas se obtuvo secciones L, T, cuadradas de 30x30 y 25x25, con acero que varía entre Ø1/2", Ø5/8" y Ø3/4". Para los muros estructurales, se trabajó con espesores de 25 y 30 cm, reforzados con diámetros de varillas Ø3/8", Ø1/2" y Ø12 mm. Así mismo, en la escalera se diseñó su acero con diámetros de Ø3/8" y Ø1/2". Culminando con la cimentación, se concluyó con distintas dimensiones para zapatas y, por consiguiente, su peralte varió entre 60 y 90 cm, además de su refuerzo de Ø5/8" y Ø3/4".

Se elaboró todos los planos estructurales dentro proyecto en el software Revit 2021, en base al modelo de cálculo final, obtenido por parte del programa Robot Structural y la distribución del plano arquitectónico, también trabajado en Revit. Es así que la precisión en los detalles resultó ser producto del modelamiento en sí, siendo esta última parte un proceso original de la metodología Building Information Modeling (BIM).

Se elaboró una guía del modelamiento de un edificio educativo mediante la metodología Building Information Modeling (BIM), a partir de capturar todo el

procedimiento llevado a cabo en esta investigación. Este documento evidencia las etapas del diseño, de manera más detallada y explicada, para que cualquier lector tome como referencia esta secuencia y sea aplicable para proyectos de similares características.

4.3.Recomendaciones

Se recomienda a las entidades públicas y privadas del país, continuar con las investigaciones acerca del Building Information Modeling (BIM) y los nuevos aportes que se vienen actualizando año tras año, para poder aplicarlos a los futuros proyectos de nuestra localidad y de todo el Perú.

Se recomienda a los pobladores, exigir que sus proyectos personales, integren este de metodología, para poder optimizar los procesos de diseño y compatibilizar el detalle con otras ingenierías.

Se recomienda a los ingenieros especialistas, no mirar solamente al Building Information Modeling como una metodología para encontrar interferencias y desarrollar metrados, sino más bien, como parte del proceso de diseño para compatibilizar ideas con el resto del equipo que desarrollan el diseño estructural desde el trabajo colaborativo y sus beneficios.

Se recomienda los futuros investigadores que deseen profundizar el conocimiento sobre el Building Information Modeling (BIM), encontrar o desarrollar mecanismos que garanticen que la inter operatividad Robot-Revit sea garantizada en la mayoría de detalles. Así también, desarrollar diseños de zapatas conectadas desde software Robot Structural.

REFERENCIAS

Baños, M., & Rosales, C. (2018). Diseño estructural de una edificación residencial metálica de 6 plantas sismo-resistente, en la ciudad de milagro, utilizando metodología BIM en la modelación 3D (Phdthesis, Escuela Superior Politecnica del Litoral). Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado de http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46431

Bilbao, A. (2019). Análisis y aplicación del programa BIM orientado al cálculo y diseño estructural «SDS/2», de la empresa Nemetschek (Phdthesis, Universidad Tecnica Federico Santa Maria). Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso. Recuperado de https://hdl.handle.net/11673/48900

Blanco, A. (1990). Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado. Capítulo de Ingeniería Civil.

Briones, P., & Alvarez, J. (2018). Comparación del Modelamiento, Análisis y Diseño Estructural en Concreto Armado utilizando los Software Etabs y Robot Structural Analysis, para un Edificio de cinco niveles (cuatro pisos y un semisótano). Universidad Peruana Unión, Juliaca.

Campaña, W. (2019). Una ojeada a la metodología BIM. 6.

Cruz, I., & Dieguez, V. (2015). Análisis y diseño estructural en concreto armado para una vivienda multifamiliar aplicando la nueva norma de diseño sismorresistente en la urbanización Soliluz–Trujillo. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.

Dominguez, N., & Moreno, A. (2018). Diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles bajo la metodología BIM en la provincia de Pomabamba, Ancash, 2018 (Phdthesis, Universidad Cesar Vallejo). Universidad Cesar Vallejo, Huaraz. Recuperado de https://hdl.handle.net/20.500.12692/26694

Escamilo, J. (2017). Diseño estructural de una edificación de albañilería confinada de 8 pisos en la ciudad de Trujillo, La Libertad. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.

Gonzales, J. (2018). Análisis y Evaluación de la tecnología (BIM) Building Information Modeling.

Guerrero, T. (2011). Los edificios japoneses, los mejor preparados para resistir un seísmo. El Mundo. Recuperado de https://www.elmundo.es/elmundo/2011/03/21/ciencia/1300706112.html

Huaraca, A. (2018). Análisis comparativo aplicando el Software Robot Structural Analysis y Etabs para evaluar el comportamiento estructural de viviendas autoconstruidas. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.

Ledezma, C. (2017). Sobre el Estado Actual de las Normas de Diseño Antisísmico en Chile. Presentado en Chile. Chile.

Ministerio de Economía y Finanzas. (2020). Lineamientos para la utilización de la metodología BIM en las inversiones públicas.

Oviedo, R. (2016). Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado (Primera Edición). Lima: Oviedo Ingeniería EIRL.

Pérez-Gavilán, J. J., Aguirre, J., & Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: Lecciones aprendidas en México. Salud Pública de México, 60(Supl.1), 41. https://doi.org/10.21149/9300

Pretell, P. (2018). Análisis sismorresistente utilizando aisladores sísmicos en un edificio multifamiliar de 9 Pisos en la Urb. San Andrés Distrito de Trujillo. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). E.020 Cargas.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2018). E.030 Diseño Sismorresistente.

Rodrigo, J., & Fuentes, J. (2017). Relationship between the different Level Of Development LODs in BIM Proyects and the process maps and knowledge areas from PMBoK. 01, 12. Cadiz.

Villarreal, G. (2020). Predimensionamiento de elementos estructurales. Universidad Privada del Norte.

Villarroel, C. (2016). Análisis y Diseño de Estructuras con AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2016. Bolivia.

Villena, F., García, T., Ballesteros, P., & Pellicer, E. (2019). Influence of BIM in construction companies innovation. 10. Málaga.

Villena, M. (2017). Diseño y modelación de un edificio con una configuración en planta irregular, mediante la utilización del software de diseño "Revit Structure" y su análisis mediante un software especializado "Robot Structural Analisys" (BIM). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

ANEXO N.º 1. Matriz de Datos

MATRIZ DE BASE DE DATOS

DATOS DEL PROYECTO
NOMBRE: Institución Educativa N° 1733 Mi Mundo Maravilloso
UBICACIÓN: Urb. Monserrate Etapa I
AÑO: 2021
EVALUADORES: ALCANTARA CABRERA, GHIANN JESÚS EMANUEL
RODAS ALVARADO, SEBASTIAN

ITEM	RESPUESTA
Código Único de Inversiones	
Unidad Formuladora del proyecto	
Link del proyecto en MEF	
Número de ambientes construir	
Tipos de ambientes a construir	
Tipo de sistema estructural	
Área de terreno	
Estudios de suelos (SI/NO)	
Tipo de suelo	
Tipo de cimentación recomendada	
Dimensión de la cimentación recomendada	
Capacidad portante del suelo	
Diseño arquitectónico (SI / NO)	
N° de pisos a construir	

ANEXO N.º 2. Validación de Matriz de Datos

MATRIZ DE BASE DE DATOS

DATOS DEL PROYECTO
NOMBRE: INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 80015 JUAN VELASCO ALAVARADO
UBICACIÓN: CALLE PEDRO MUÑIZ #450
AÑO: 2020
EVALUADORES: ALCANTARA CABRERA, GHIANN JESÚS EMANUEL
RODAS ALVARADO, SEBASTIÁN

ITEM	RESPUESTA
Código Único de Inversiones	
Unidad Formuladora del proyecto	
Link del proyecto en MEF	
Número de ambientes construir	
Tipos de ambientes a construir.	
Tipo de sistema estructural	
Área de terreno	
Estudios de suelos (SI/NO)	
Tipo de suelo	
Tipo de cimentación recomendada	
Dimensión de la cimentación recomendada	
Capacidad portante del suelo	
Diseño arquitectónico (SI / NO)	
N° de pisos a construir	

Firma del Experto validando esta matriz de datos:

Ing. Roger Ramirez Mercado

ANEXO N° 3. Matriz de Validación

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	Diseño estructural mediante la metodología Building Information Modeling (BIM) de una edificación esencial en la ciudad de Trujillo, 2020
Línea de investigación:	Tecnologías Emergentes
Apellidos y nombres del experto:	Mg. Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Diseño Estructural

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Firma del experto:

Nombre del Experto: Mg. Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N.° 4. Matriz de Datos llena.

MATRIZ DE BASE DE DATOS

DATOS DEL PROYECTO
NOMBRE: Institución Educativa N° 1733 Mi Mundo Maravilloso
UBICACIÓN: Urb. Monserrate Etapa I
AÑO: 2021
EVALUADORES: ALCANTARA CABRERA, GHIANN JESÚS EMANUEL
RODAS ALVARADO, SEBASTIAN

ITEM	RESPUESTA
Código Único de Inversiones	**2319327**
Unidad Formuladora del proyecto	**GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD**
Link del proyecto en MEF	http://procesos.seace.gob.pe/seacebus-uiwd-pub/fichaSeleccion/fichaSeleccion.xhtml
Número de ambientes construir	**37**
Tipos de ambientes a construir	**06 AULAS DE NIVEL INICIAL, SALÓN DE USOS MÚLTIPLES, CASETA, 13 SS.HH, 07 DEPÓSITOS, ESCALERA, ÁREA DE CIRCULACIÓN, INGRESO PRINCIPAL, COCINA, TÓPICO Y PSICOLOGÍA, SALA DE DOCENTES, DIRECCIÓN, PASADIZO.**
Tipo de sistema estructural	**APORTICADO DE CONCRETO ARMADO**
Área de terreno	**843.42 m2**
Estudios de suelos (SI/NO)	**SI**
Tipo de suelo	**Arena Pobremente Graduada (SP)**
Tipo de cimentación recomendada	**Conectada**
Dimensión de la cimentación recomendada	**1.80xB**
Capacidad portante del suelo	**1.27 kg/cm2**
Diseño arquitectónico (SI / NO)	**SI**
N° de pisos a construir	**DOS PISOS (2)**

ANEXO N.º 5. Guía de modelamiento

GUÍA DE MODELAMIENTO Y DISEÑO ESTRUCTURAL MEDIANTE LA METOLOGÍA BIM

Autores:

Ghiann Jesús Emanuel Alcantara Cabrera

Sebastian Rodas Alvarado

INDICE

A. PREDIMENSIONAMIENTO 129
B. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL 135
C. ANÁLISIS SÍSIMICO 150
D. DISEÑO DE CONCRETO ARMADO 157
E. ELABORACIÓN DE PLANOS ESTRCTURALES 177

A. PREDIMENSIONAMIENTO

1. **PASO N°1:** Para empezar el modelamiento y diseño estructural de una edificación, se debe tener un diseño arquitectónico establecido de dicho proyecto. Así es como el diseñador tiene que adaptar los elementos estructurales a la especialidad de arquitectura. Por ello, para esta guía se empezó con el predimensionamiento de losa con la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{H = \frac{LL}{25}}$$

Donde:

LL = Luz libre o longitud del lado menor, la cual es paralela al sentido del aligerado.

PREDIMENSIONAMIENTO
1. LOSAS
Primer Nivel
EJE 11 - 12

$$H = \frac{L}{25}$$

H=	4.78/25		
H=	0.1912	m	
H=	**0.20**	m	**PROPUESTO**

Figura 31. Procedimiento para espesor de losa.

2. **PASO N°2:** Se continuó con el predimensionamiento de las vigas con las siguientes fórmulas:

$$\boldsymbol{H = \frac{LL}{10}\, o\, \frac{LL}{12}}$$

Donde:

LL=Luz libre entre columnas.

$$\boldsymbol{B = \left(\frac{1}{2}\, o\, \frac{2}{3}\right) H}$$

$B_{mín}$ = 25 cm.

PREDIMENSIONAMIENTO
2. VIGAS
Primer Nivel
VIGA EJE 7 - EJE G - F (Y)

$$b = \frac{2}{3} H \geq 0.25m$$

b=	1/2(H)		
b=	0.30	m	
b=	**0.30**	m	**PROPUESTO**

$$h = \frac{Ln}{10}$$ Ln= Luz libre (m)

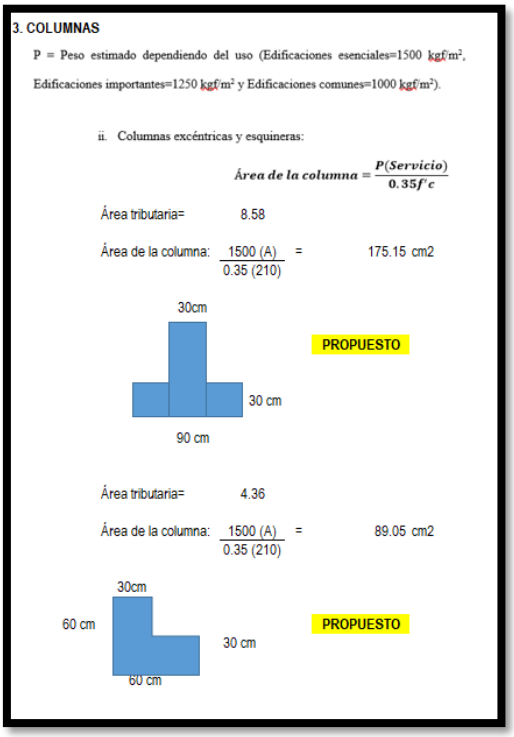
h=	7.10/10		
h=	0.71		
h=	**0.60**	m	**PROPUESTO**

VIGA EJE H - EJE 11 - 12 (X)

b=	1/2(H)		
b=	0.25	m	
b=	**0.30**	m	**PROPUESTO**
h=	4.78/10		
h=	0.48	m	
h=	**0.50**	m	**PROPUESTO**

Figura 32. Procedimiento para secciones de vigas

3. **PASO N°3:** Se predimensionó el área de columnas, las cuales se obtuvieron valores muy pequeños, pero estratégicamente y por experiencia se le asignó áreas mayores y diferentes formas para adaptarse a la arquitectura. La fórmula utilizada fue la siguiente:



3. COLUMNAS

P = Peso estimado dependiendo del uso (Edificaciones esenciales=1500 kgf/m², Edificaciones importantes=1250 kgf/m² y Edificaciones comunes=1000 kgf/m²).

ii. Columnas excéntricas y esquineras:

$$Área\ de\ la\ columna = \frac{P(Servicio)}{0.35f'c}$$

Área tributaria= 8.58

Área de la columna: $\frac{1500\ (A)}{0.35\ (210)}$ = 175.15 cm2

PROPUESTO

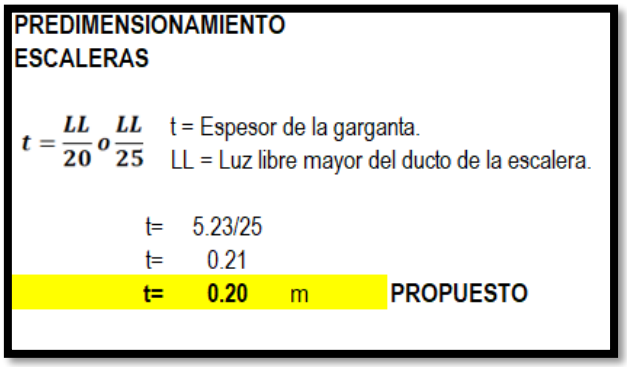
Área tributaria= 4.36

Área de la columna: $\frac{1500\ (A)}{0.35\ (210)}$ = 89.05 cm2

PROPUESTO

Figura 33. Procedimiento para columnas.

4. **PASO N°4:** Para el predimensionamiento de las escaleras se utilizó la luz libre mayor del ducto de la escalera para así calcular el espesor de la garganta de dicha escalera. Además, para muros estructurales (placas), se utilizó un espesor de 25 cm para tener armonía con la arquitectura. Todo este predimensionamiento será corroborado con el diseño en concreto armado, que es lo que determina las dimensiones reales de los elementos estructurales de la edificación.



PREDIMENSIONAMIENTO ESCALERAS

$$t = \frac{LL}{20}\ o\ \frac{LL}{25}$$

t = Espesor de la garganta.
LL = Luz libre mayor del ducto de la escalera.

t= 5.23/25
t= 0.21
t= 0.20 m **PROPUESTO**

Figura 34. Procedimiento para escaleras.

5. **PASO N°5:** Luego de predimensionar los elementos estructurales, se comenzó a trabajar el modelamiento en el software Revit 2021 creando el archivo central y local a través de la aplicación Dropbox, para así tener un trabajo colaborativo.

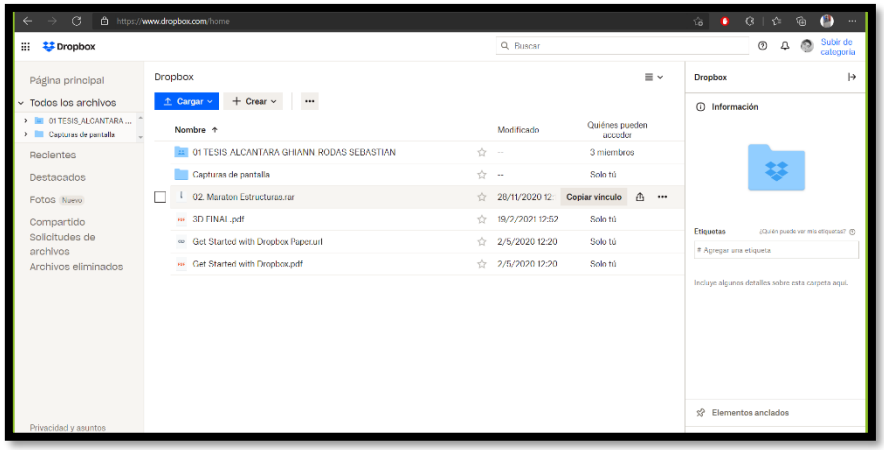


Figura 35. Creación de la ubicación en Dropbox.

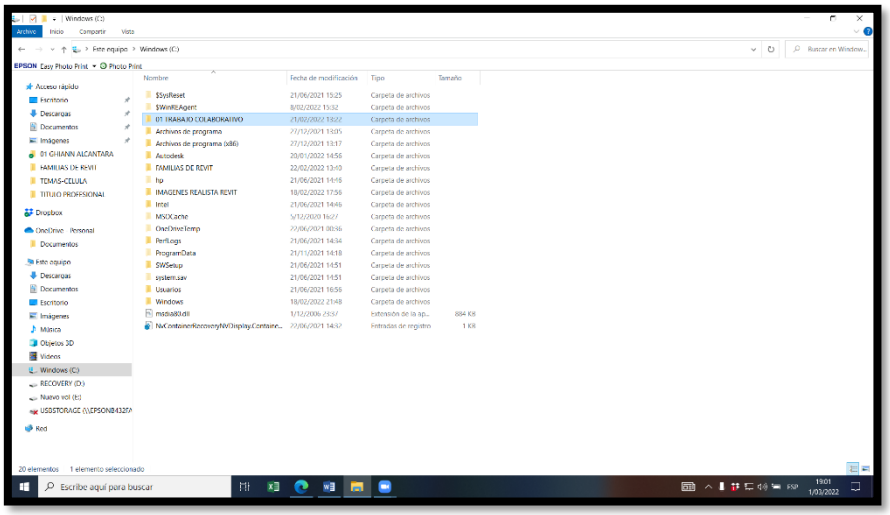


Figura 36. Creación de la carpeta en cada servidor.

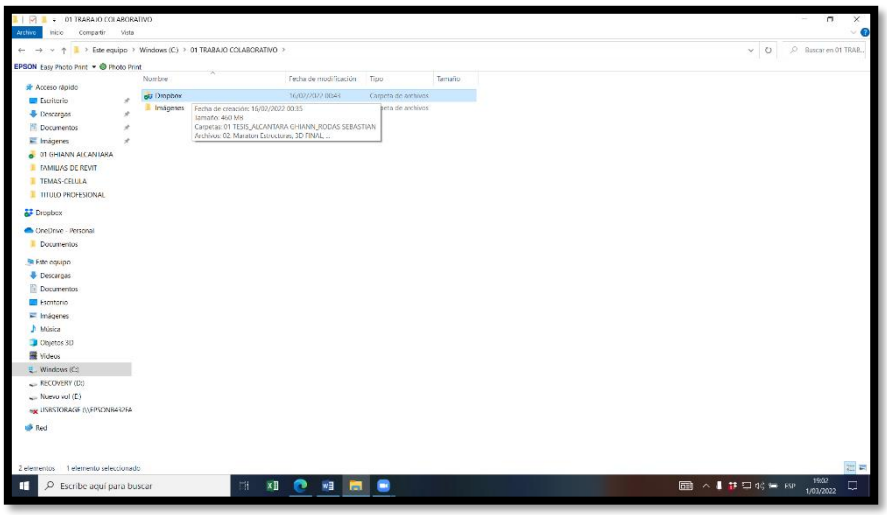


Figura 37. Ubicación del Dropbox en cada servidor.

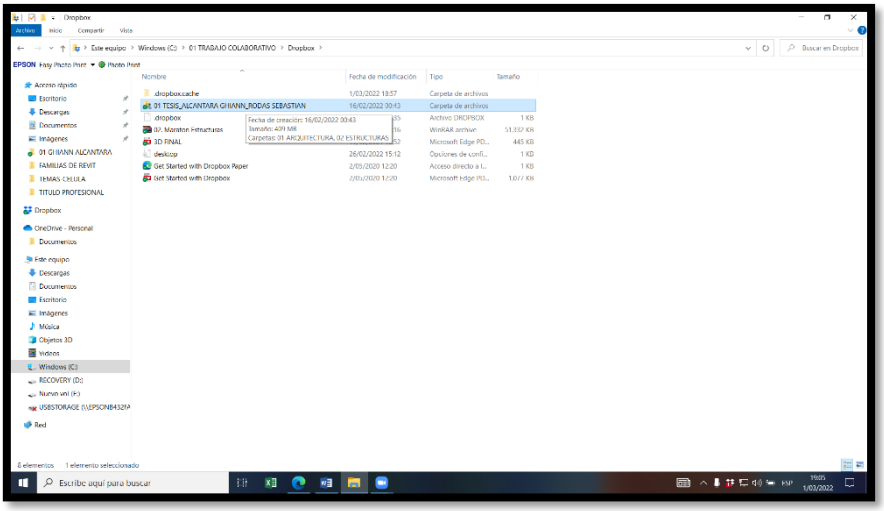


Figura 38. Vinculación de la carpeta de trabajo de Dropbox

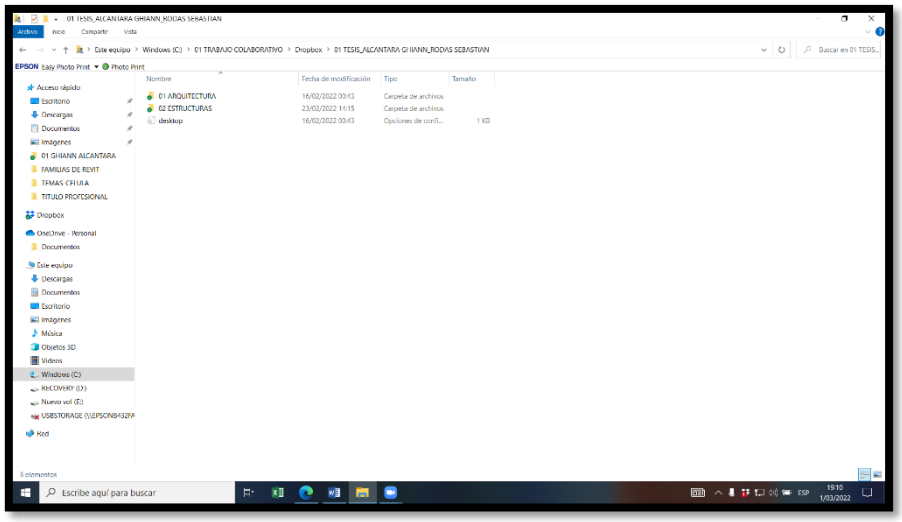


Figura 39. Creación de carpetas para el trabajo colaborativo.

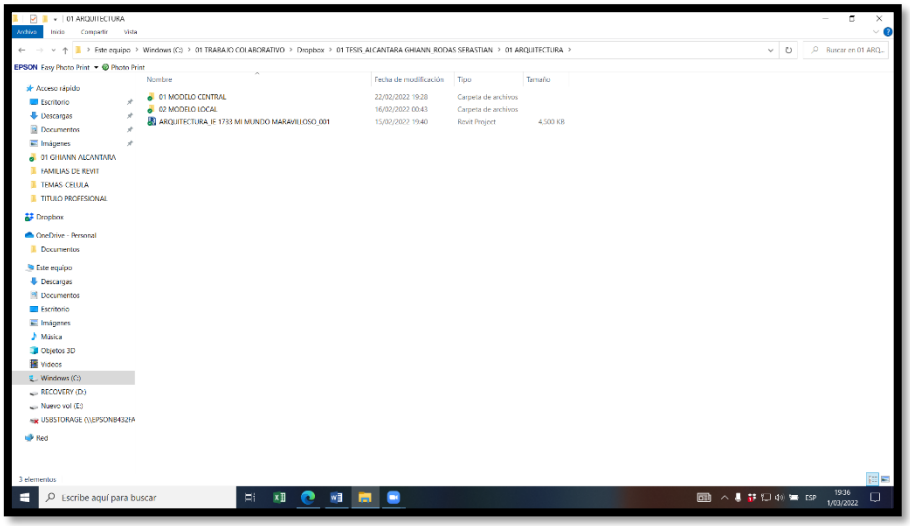


Figura 40. Creación del archivo preliminar para el archivo central.

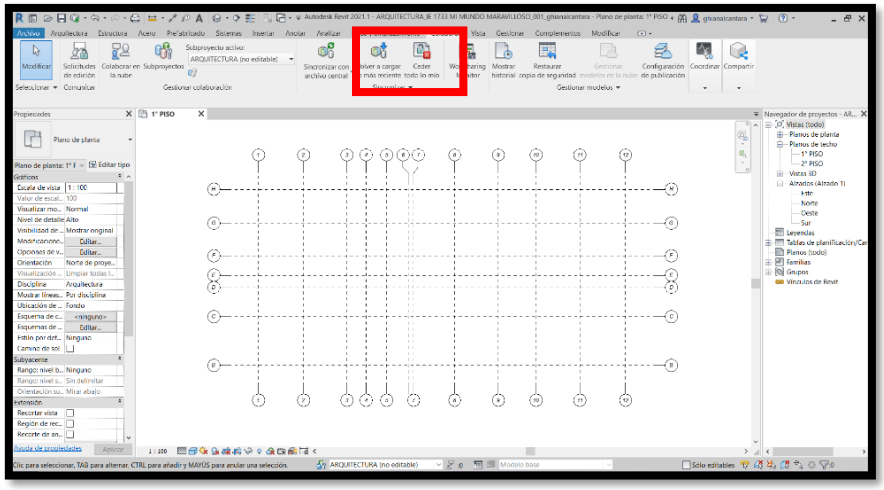


Figura 41. Creación del Archivo Local.

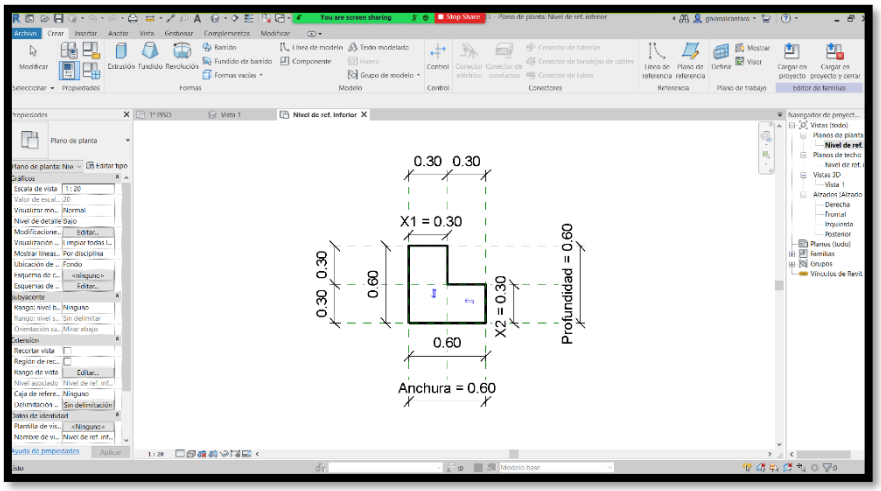


Figura 42. Creación de familias para columnas "L".

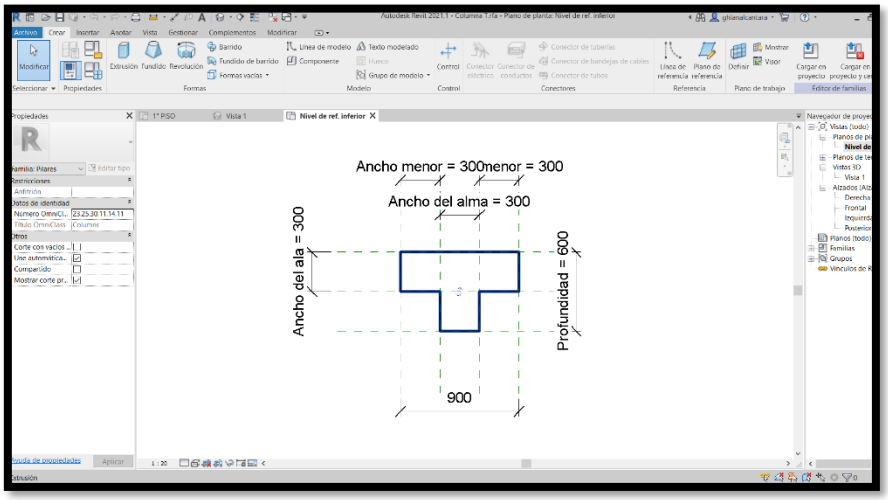


Figura 43. Creación de familias para columnas "T".

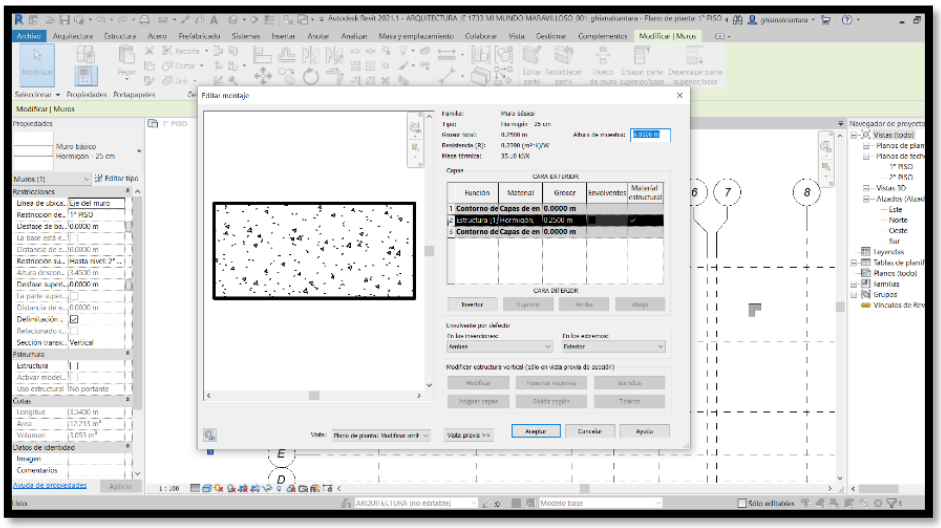


Figura 44. Creación de muros arquitectónicos.

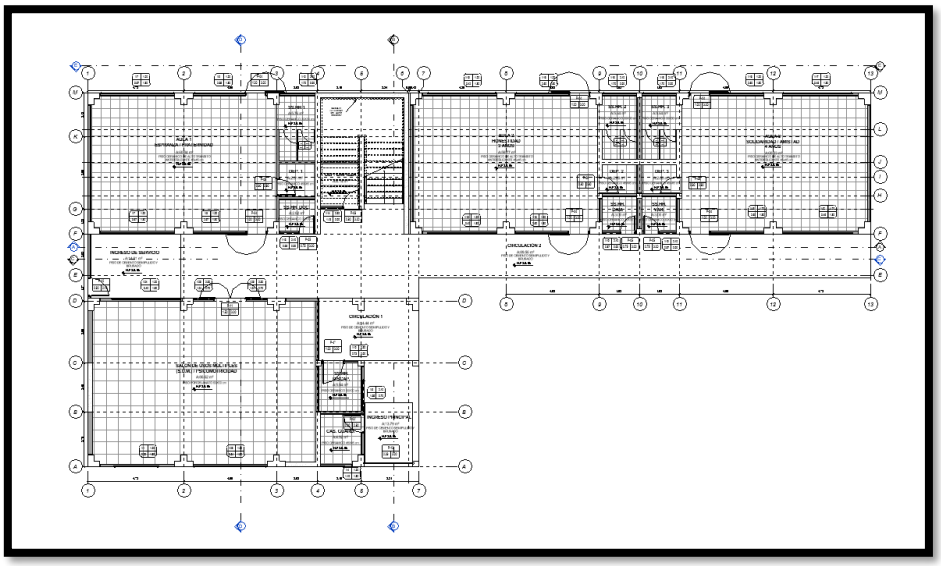


Figura 45. Modelo arquitectónico finalizado.

B. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

6. **PASO N°6:** Para el modelamiento estructural se comenzó con la vinculación entre Revit Architecture y Revit Structure.

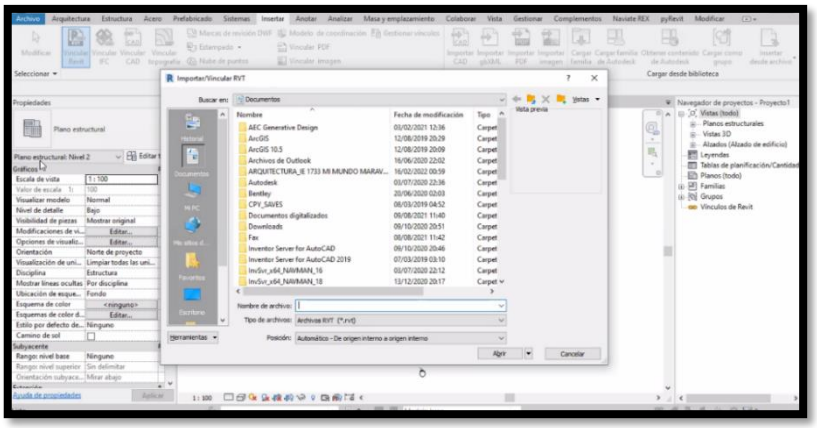


Figura 46. Importación del Modelo Arquitectónico.

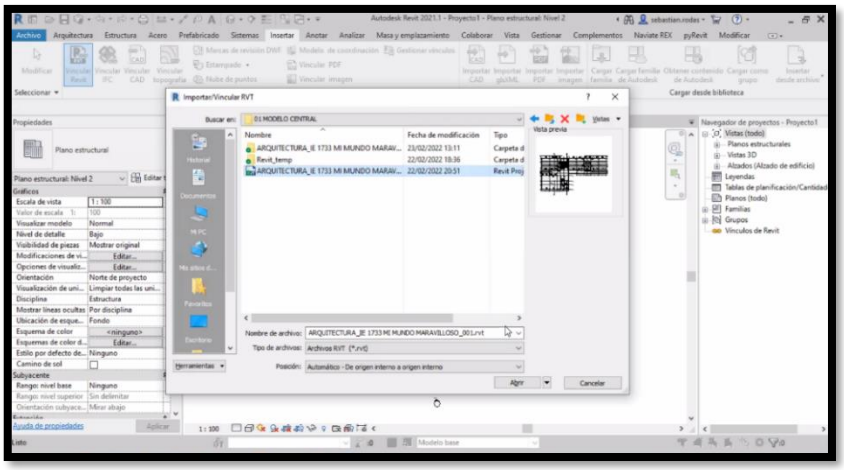


Figura 47. Selección del Archivo Central.

7. **PASO N°7:** Se importaron los mismos ejes del plano de arquitectura al Revit Structure.

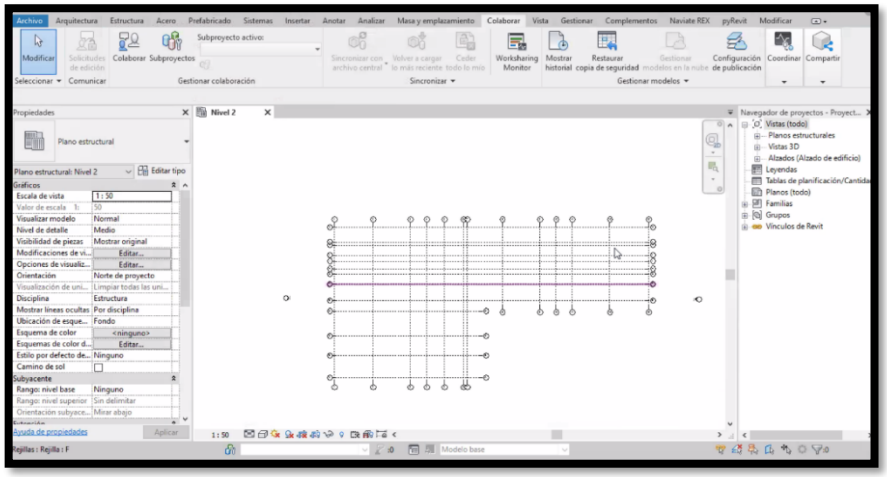


Figura 48. Importación de Ejes desde el archivo central de arquitectura.

8. **PASO N°8:** Se exportaron los ejes de Revit Structure al software Robot Structural Anaylisis.

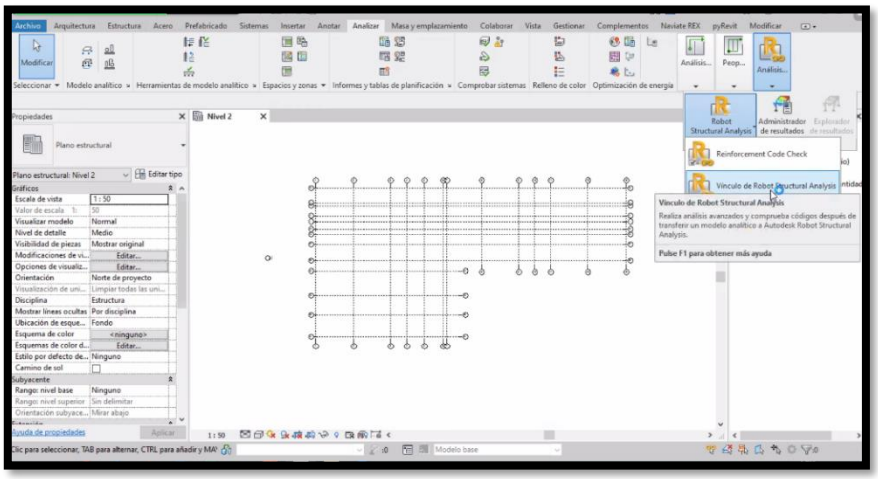


Figura 49. Exportación hacia Robot Structural.

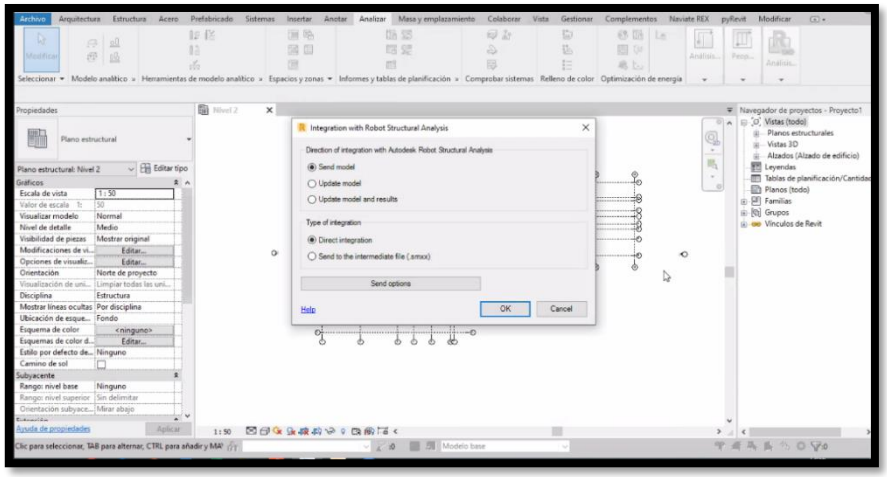


Figura 50. Interfaz de exportación.

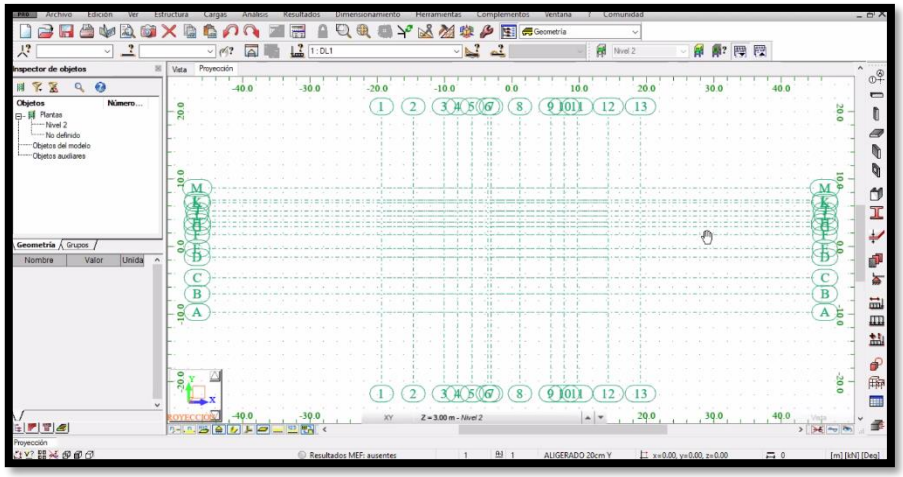


Figura 51. Resultado de la exportación.

9. **PASO N°9:** Antes de cerrar Revit Structure 2021 se crea el archivo central y local.

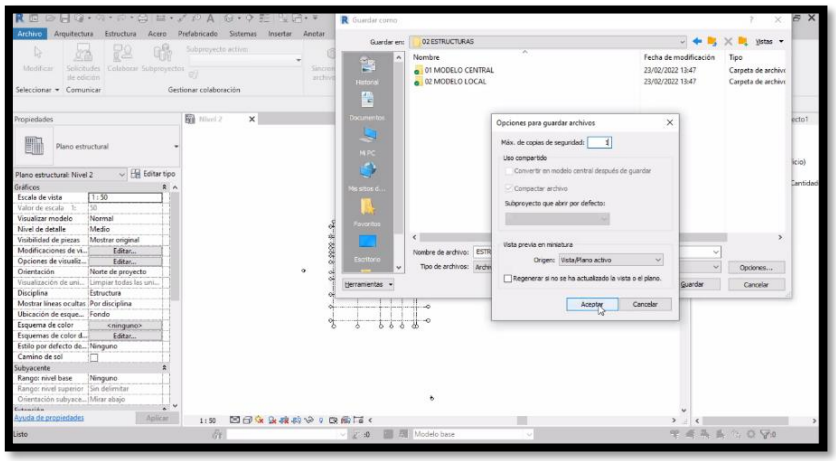


Figura 52. Creación del archivo central para Revit Estructuras.

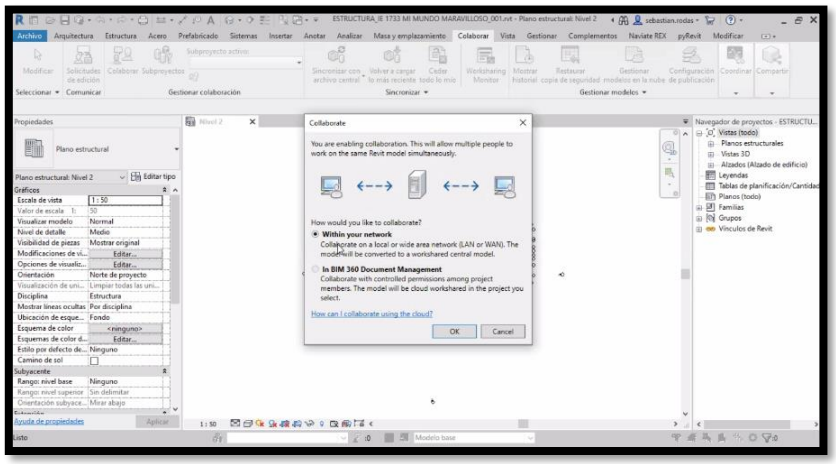


Figura 53. Interfaz de creación del archivo central.

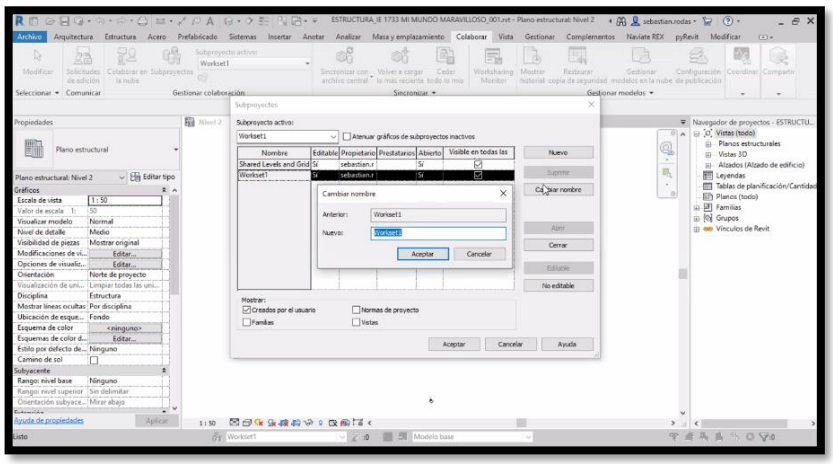


Figura 54. Creación de los subproyectos en el archivo central.

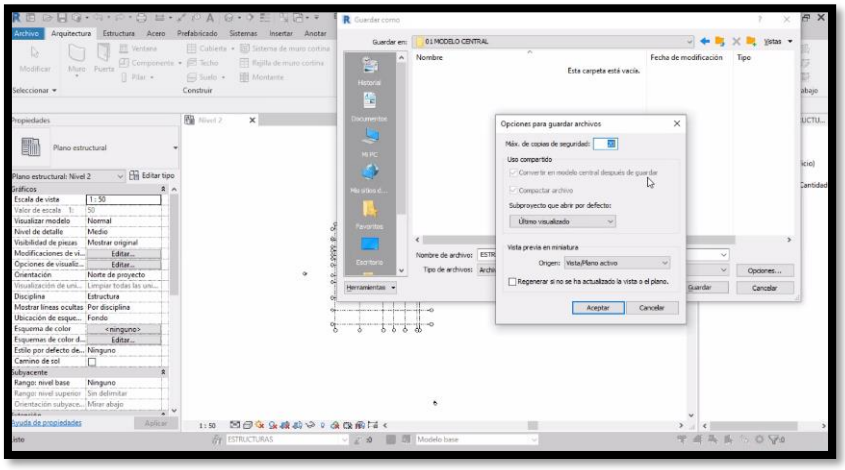


Figura 55. Creación de archivo central

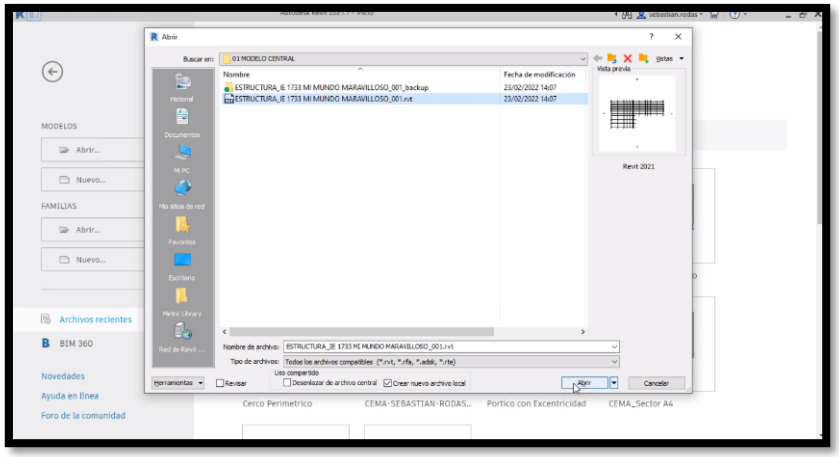


Figura 56. Archivo Central creado e inicio del Archivo Local.

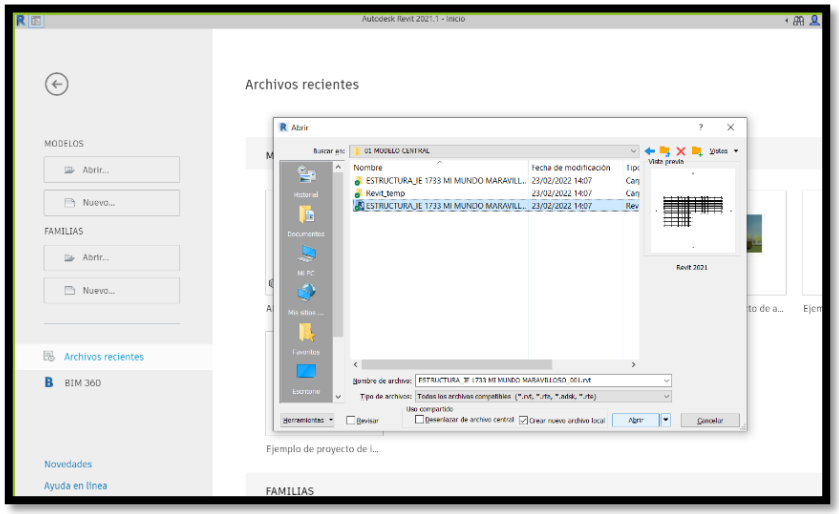


Figura 57. Archivo Local creado.

10. **PASO N°10:** En el software Robot Structural 2021 se empezó modificando las preferencias del programa donde se configuran las unidades y la normativa en la cual se va a trabajar para el futuro diseño de la edificación.

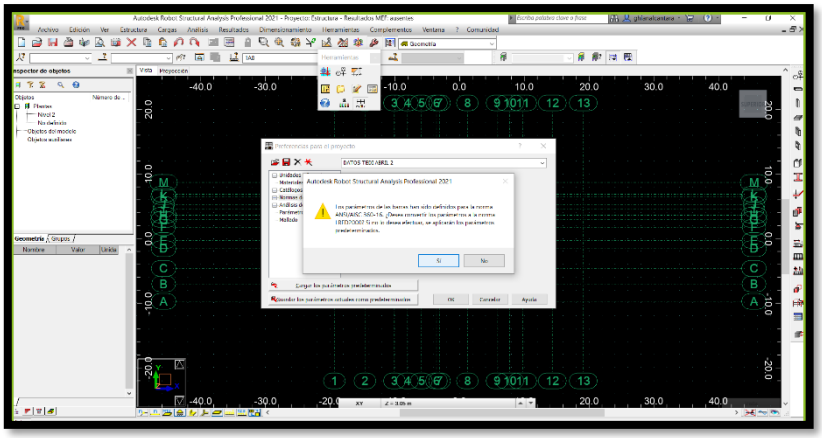


Figura 58. Creación de preferencias para el usuario.

11. **PASO N°11:** Se comenzó con la definición de las secciones de los elementos estructurales de la edificación.

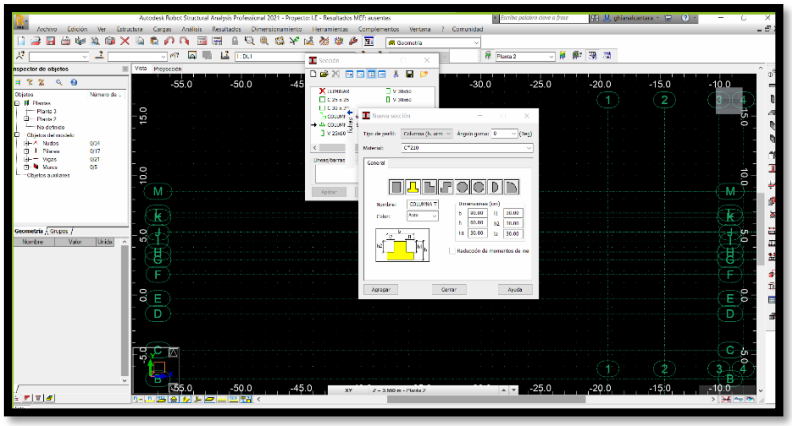


Figura 59. Creación de secciones.

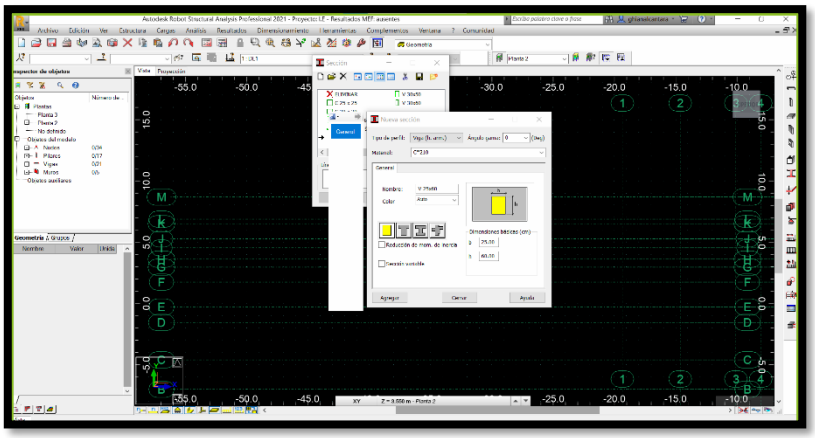


Figura 60. Creación de secciones.

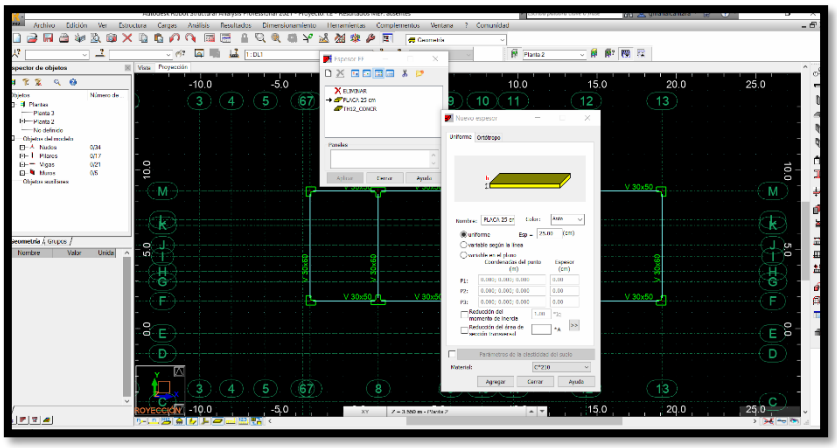


Figura 61. Creación de losas.

12. **PASO N°12:** Se colocó cada uno de los elementos estructurales definidos ayudados por la ubicación de los ejes.

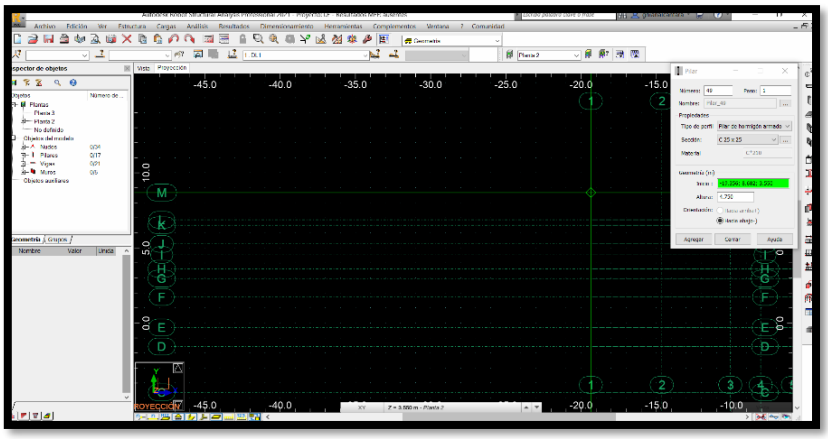


Figura 62. Ubicación de los elementos.

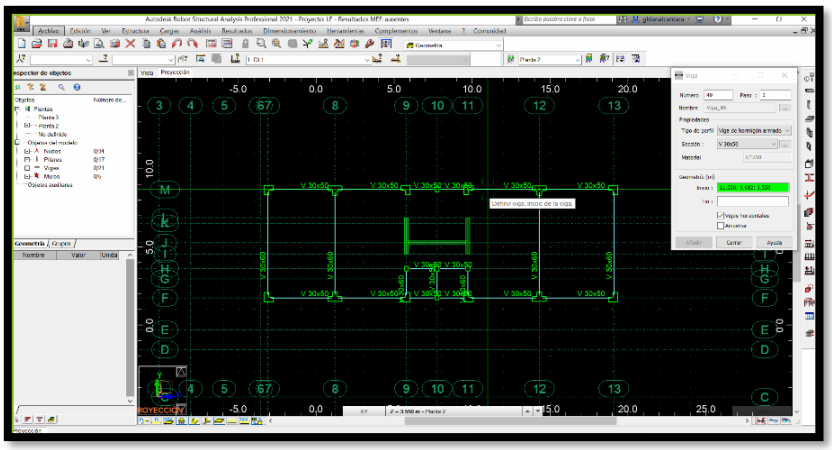


Figura 63. Planta definida.

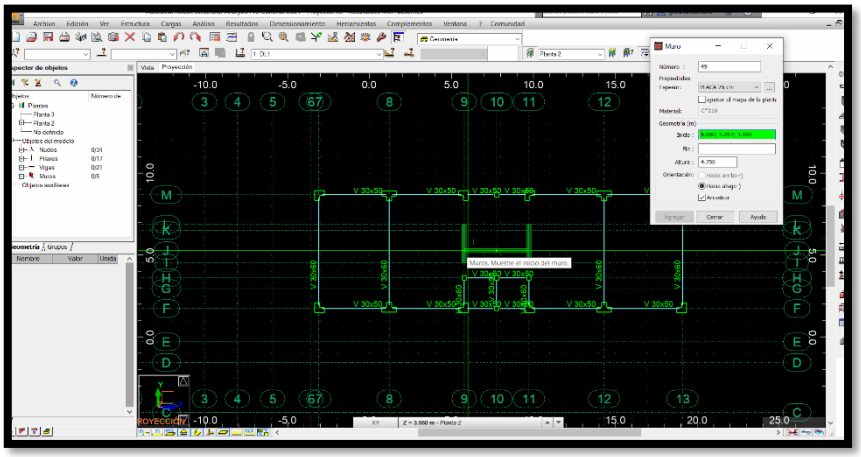


Figura 64. Modelado de muros.

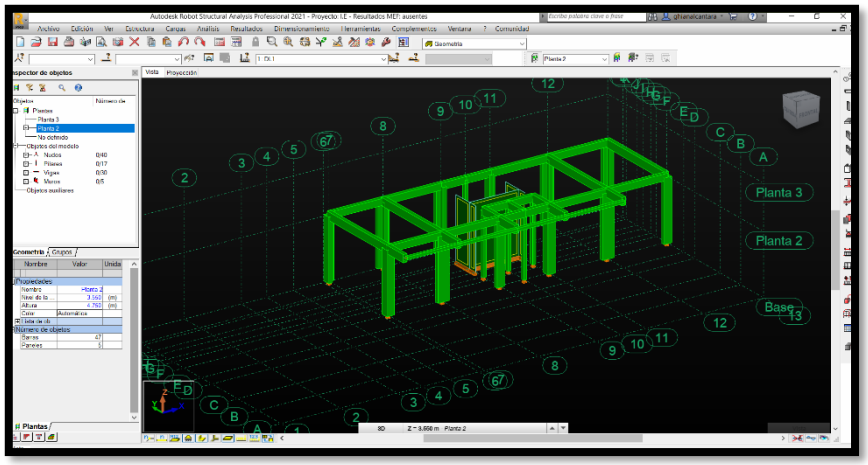


Figura 65. Vista de los elementos verticales terminados.

13. PASO N°13: Para la unión de vigas con los muros estructurales, se creó una malla de 0.50 m para que la viga pueda entrar medio metro dentro del muro estructural.

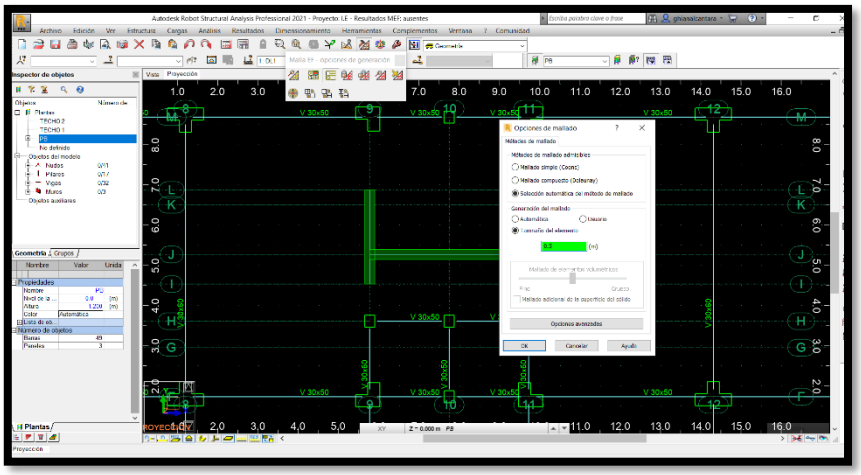


Figura 66. Creación de mallas en muros estructurales.

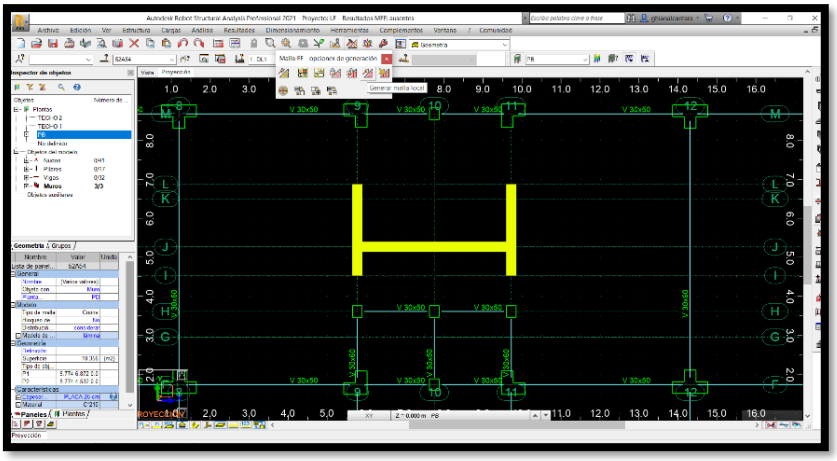


Figura 67. Vista del enmallado en planta.

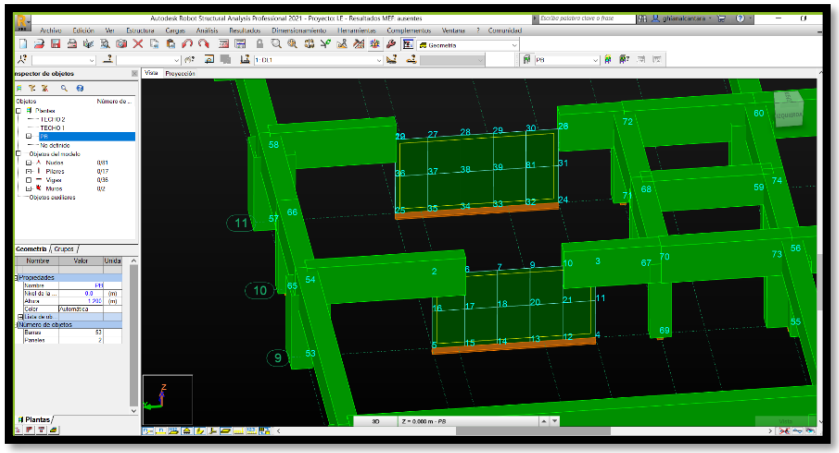


Figura 68. Enmallado terminado.

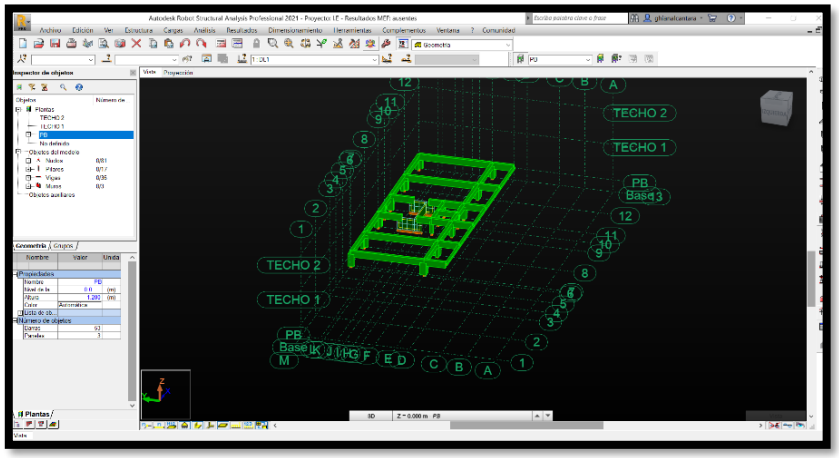


Figura 69. Vista del enmallado en proyección con la asignación de la viga.

14. PASO N°14: Se colocaron los apoyos empotrados en la base de los elementos estructurales del primer piso.

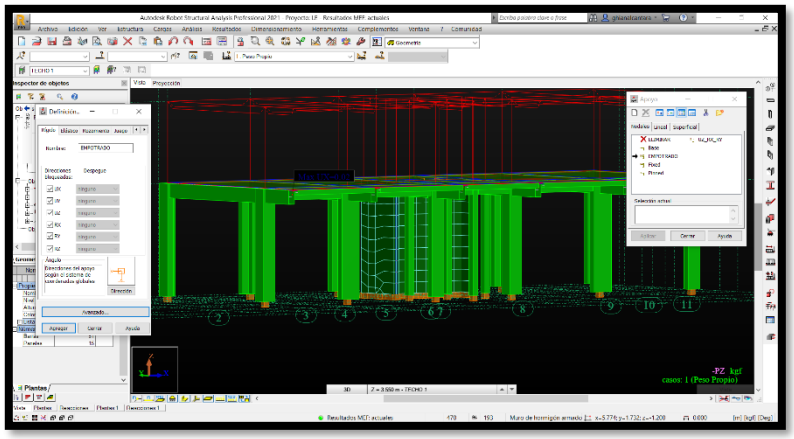


Figura 70. Asignación de apoyos en la base.

15. PASO N°15: Se asignaron las excentricidades en las vigas.

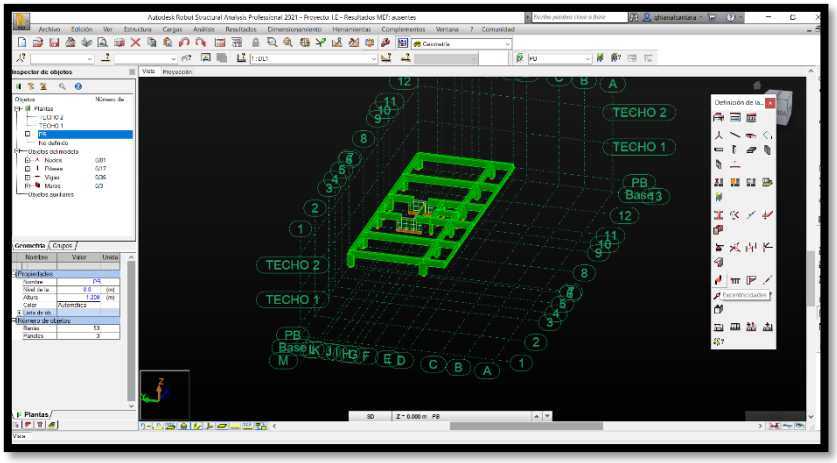


Figura 71. Interfaz para asignar excentricidades (Brazo rígido).

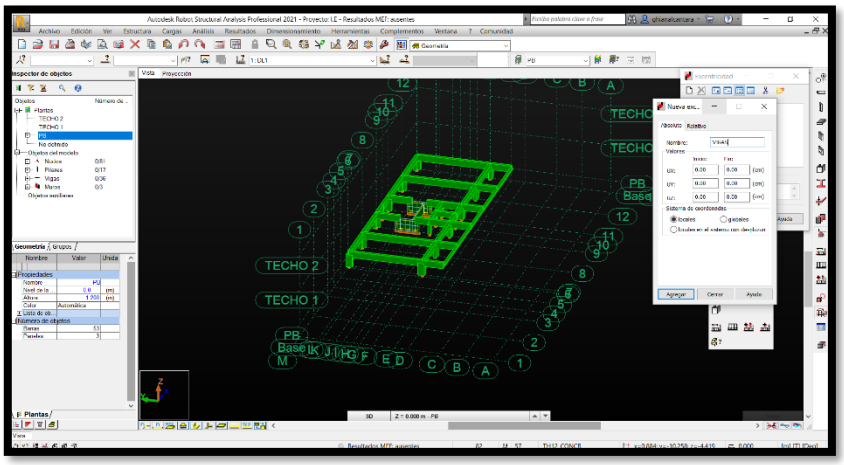


Figura 72. Especificación del tipo de excentricidad.

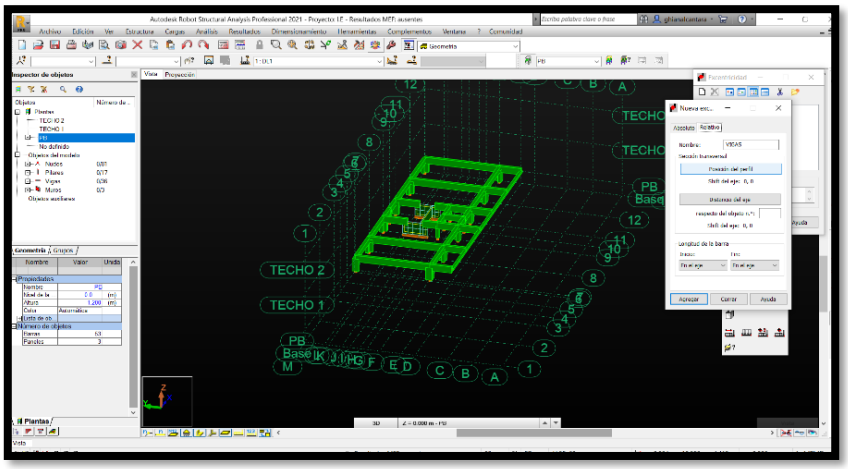


Figura 73. Especificación del tipo de excentricidad.

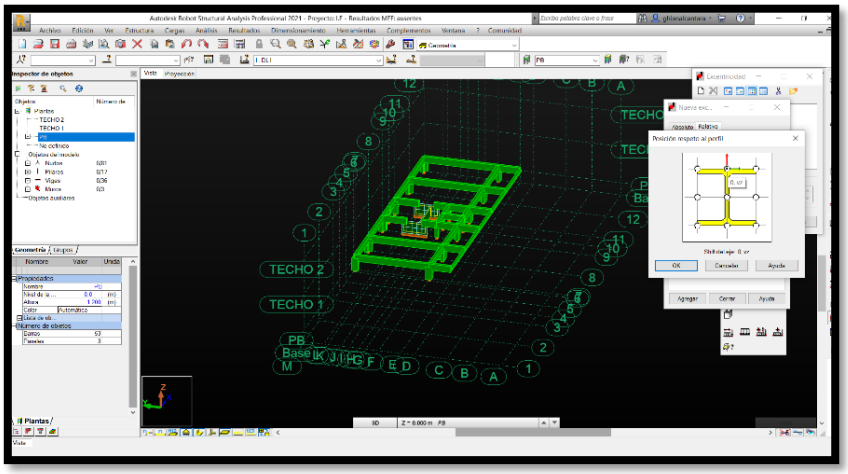


Figura 74. Especificación de la excentricidad.

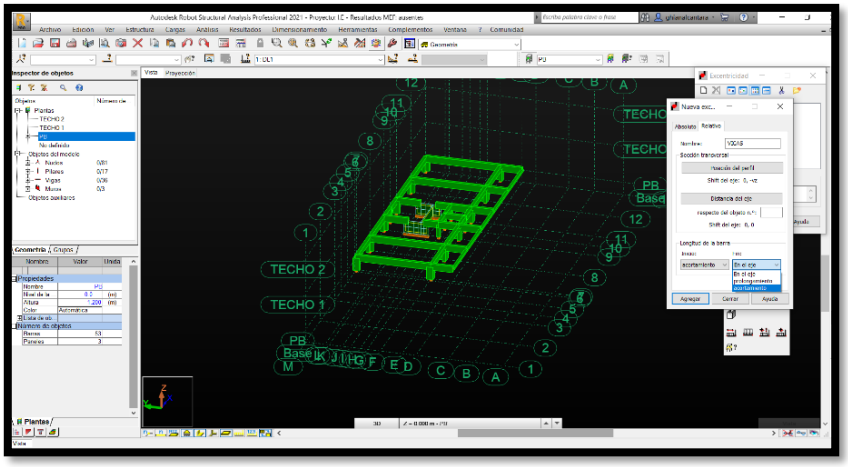


Figura 75. Especificación de la excentricidad.

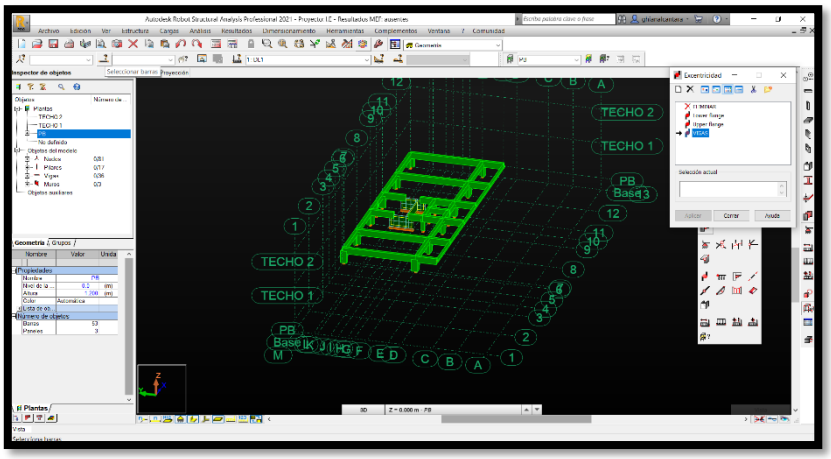


Figura 76. Visualización de las excentricidades creadas.

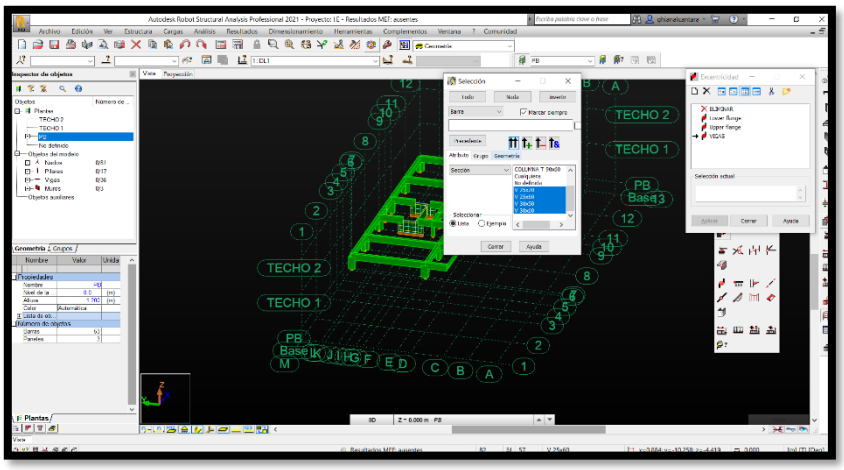


Figura 77. Selección de vigas para la excentricidad.

16. PASO N°16: Se replicó lo modelado en el primer piso en el segundo piso, logrando mayor rapidez en el modelado de la edificación.

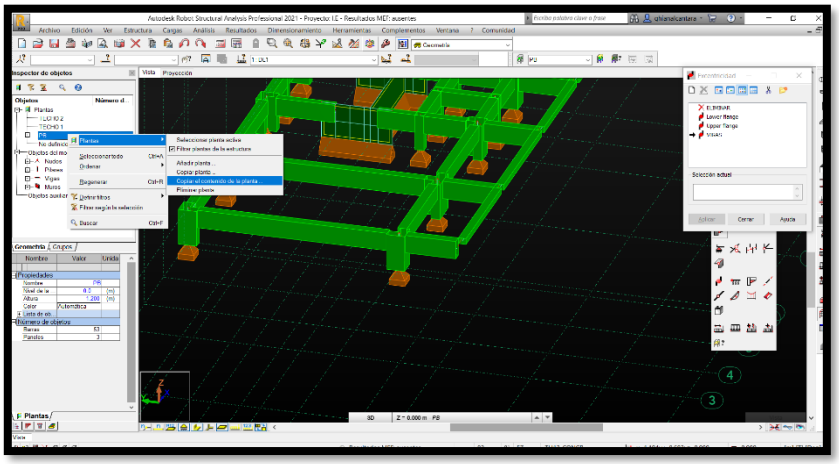


Figura 78. Replicación de la planta.

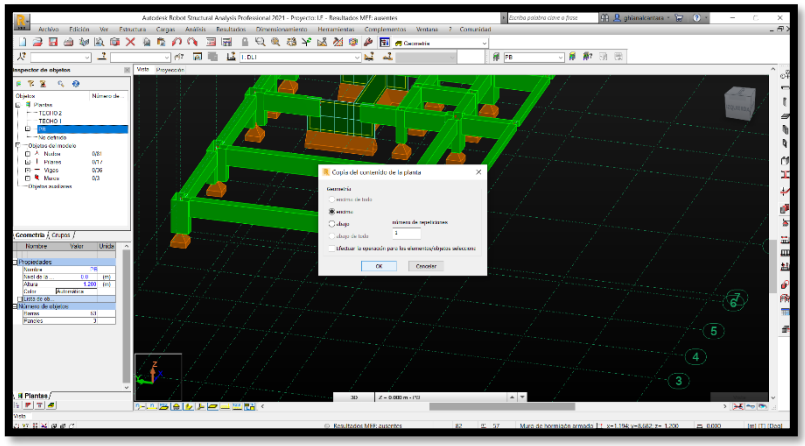


Figura 79. Interfaz de la replicación.

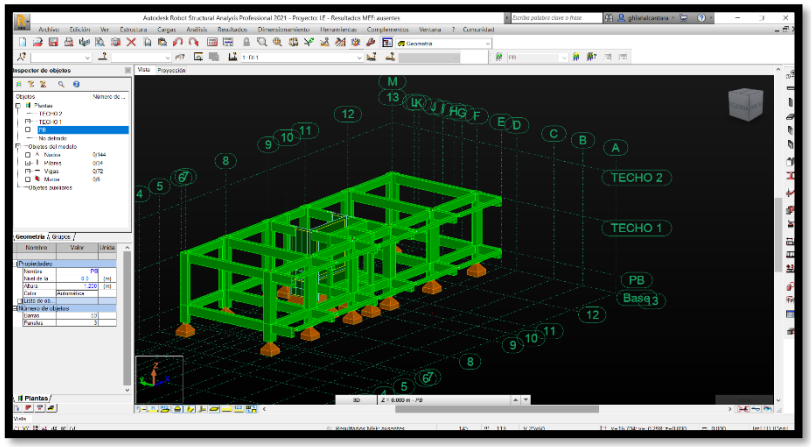


Figura 80. Piso Replicado.

17. PASO N°17: Se creó las losas aligeradas usadas en el proyecto.

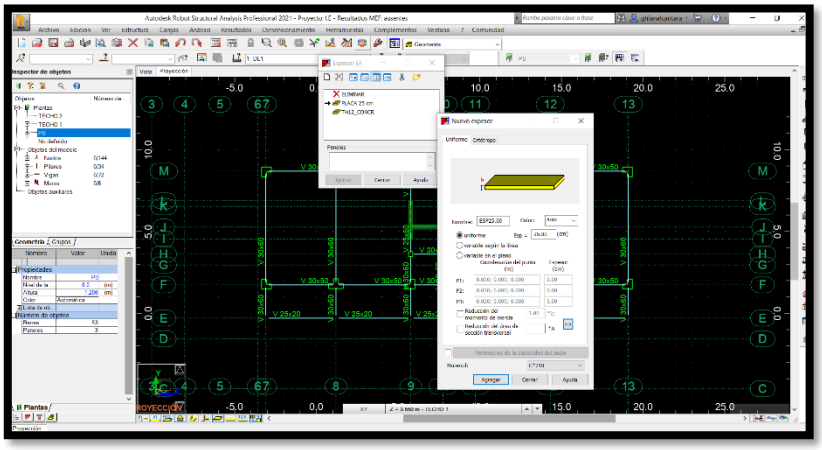


Figura 81. Creación de espesores de losa aligerada.

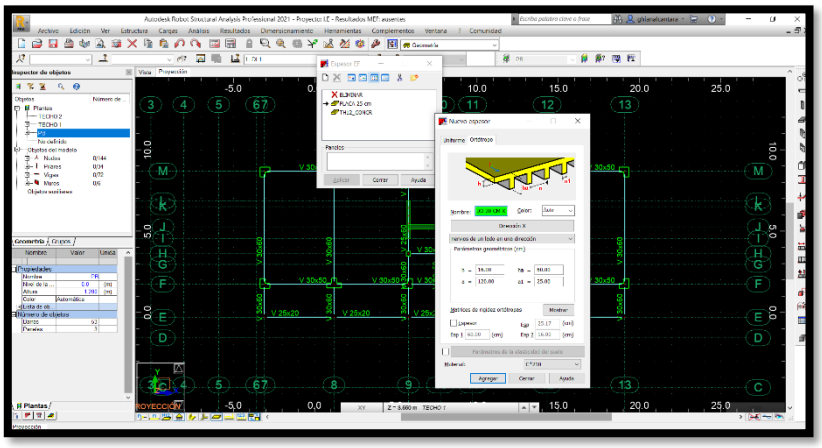


Figura 82. Detallado de la losa.

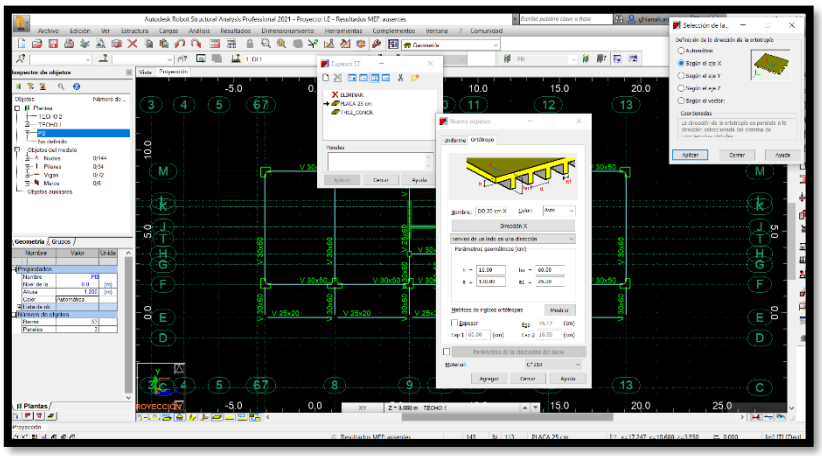


Figura 83. Detallado de la losa.

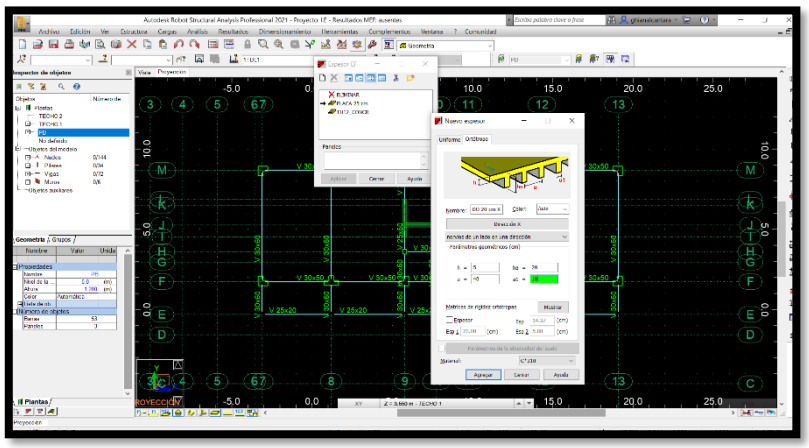


Figura 84. Detallado de la losa.

18. **PASO N°18:** Para las losas, se modificó el modelo de cálculo de los paneles, para darle las características necesarias.

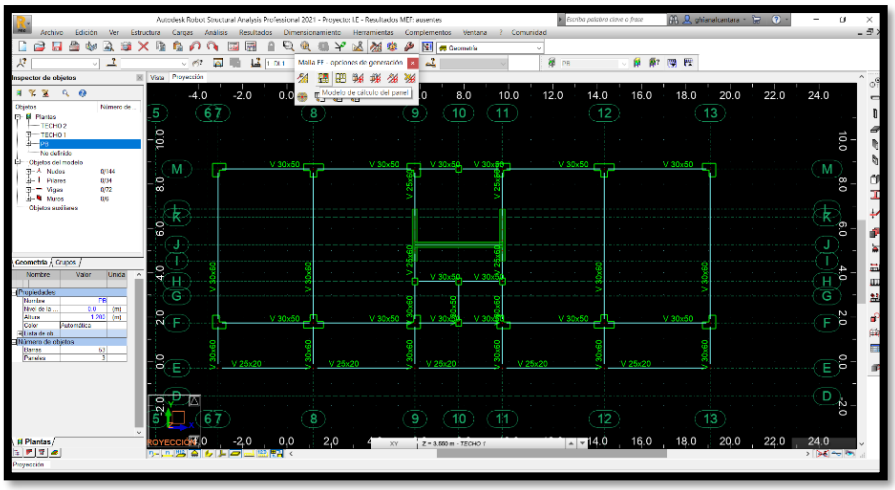


Figura 85. Interfaz para asignar losas.

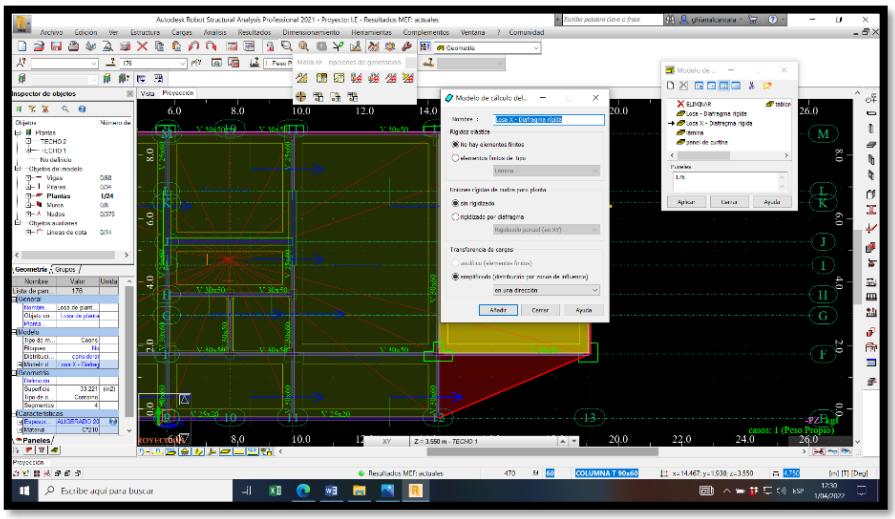


Figura 86. Especificación del modelo de cálculo.

19. PASO N°19: Se modeló las losas correspondientes en los distintos niveles.

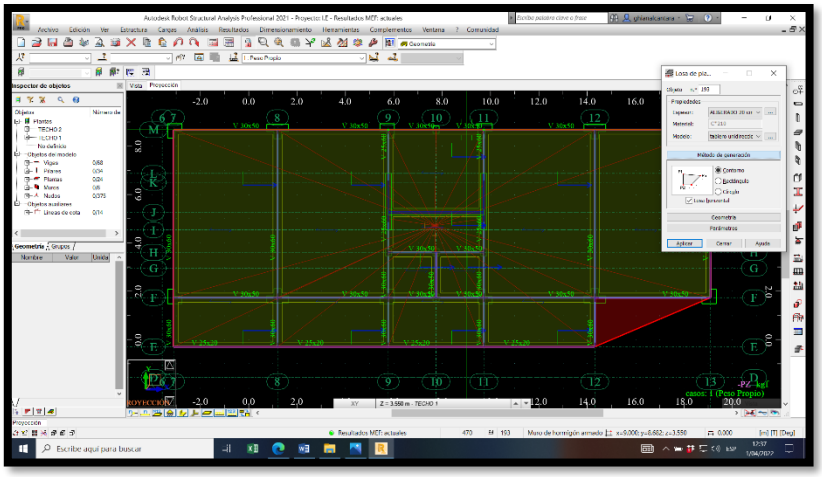


Figura 87. Creación de las losas.

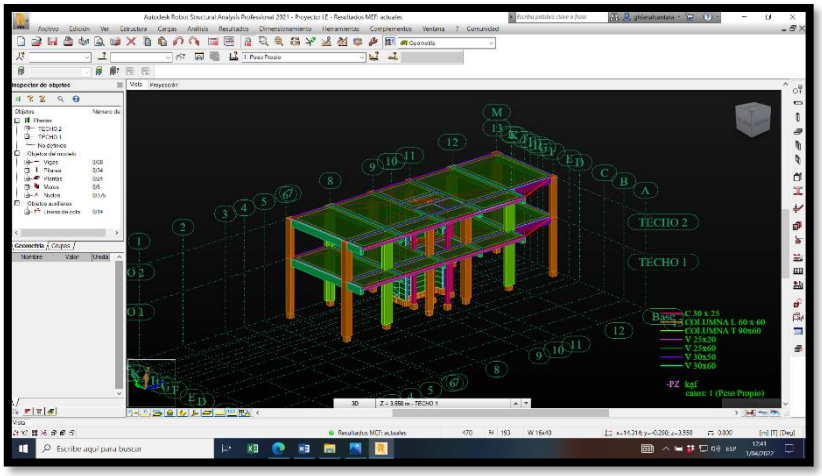


Figura 88. Vista de las losas modeladas.

20. PASO N°20: Se asignan los casos de cargas correspondientes.

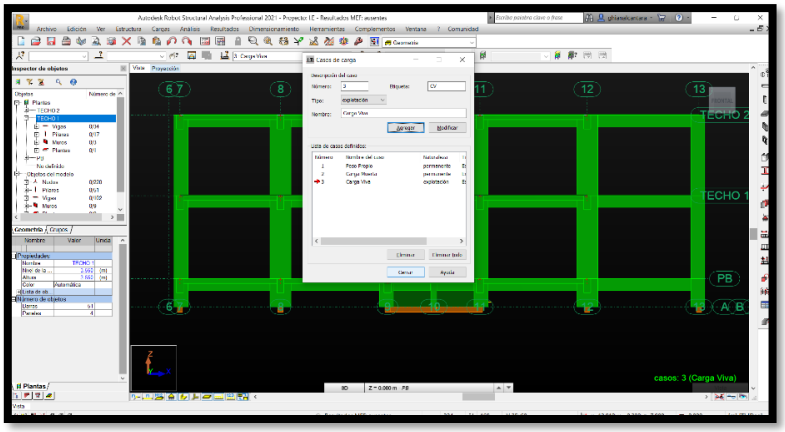


Figura 89. Creación de los tipos de carga.

21. PASO N°21: Se comienza a colocar la carga muerta y viva en toda la estructura, habiendo hecho previamente el metrado de cargas correspondiente.

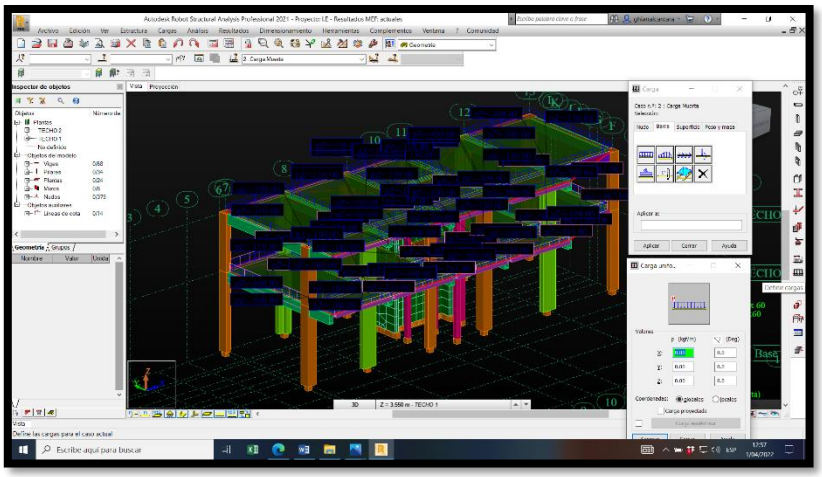


Figura 90. Asignación de cargas según el tipo.

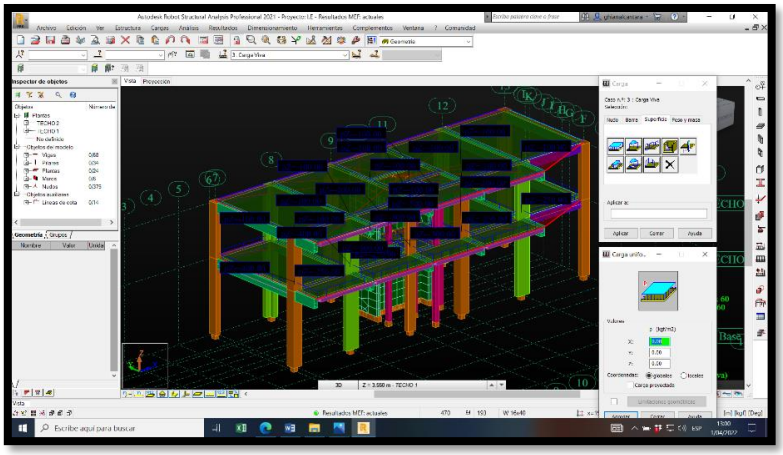


Figura 91. Asignación de cargas por tipo.

C. ANÁLISIS SÍSIMICO

22. PASO N°22: Se hace el análisis modal, para corroborar que se dé el 90% de la masa participativa dentro de la estructura.

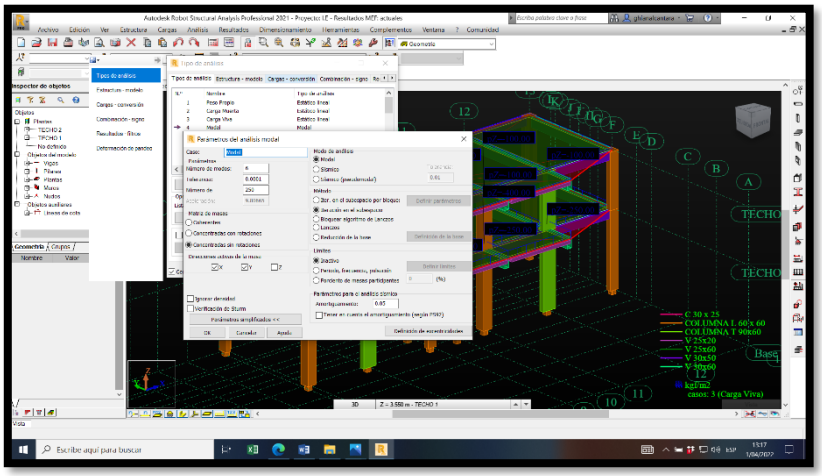


Figura 92. Interfaz para el análisis modal.

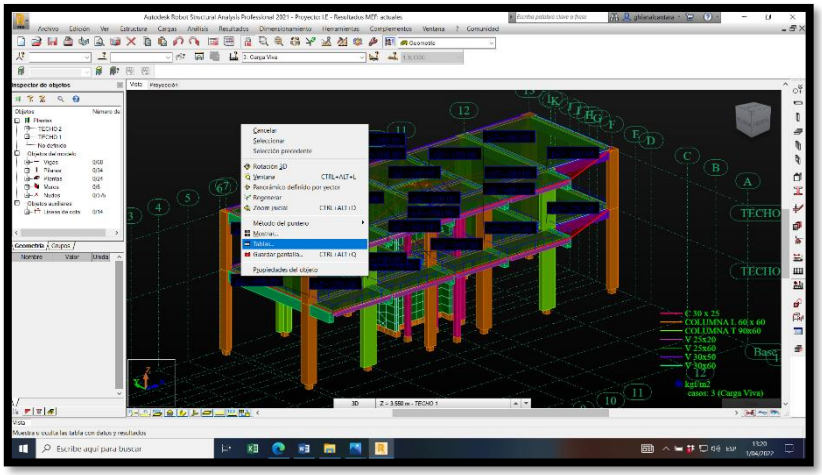


Figura 93. Procedimiento para ver los resultados.

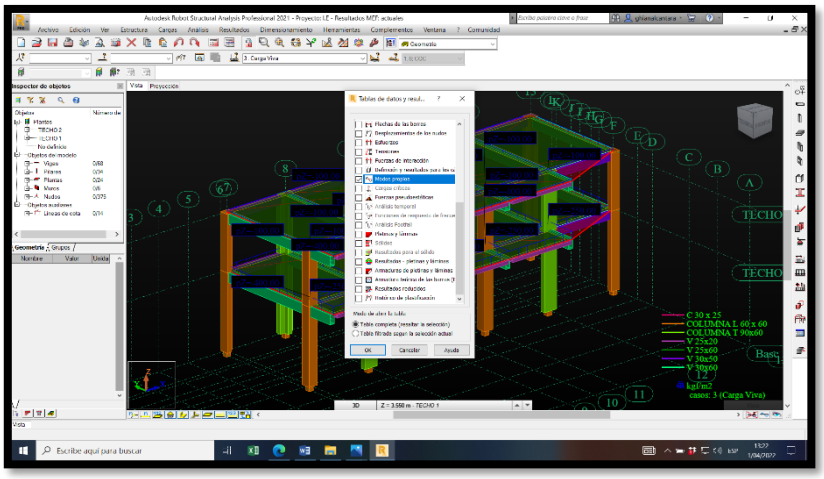


Figura 94. Interfaz para visualizar los modos de vibración.

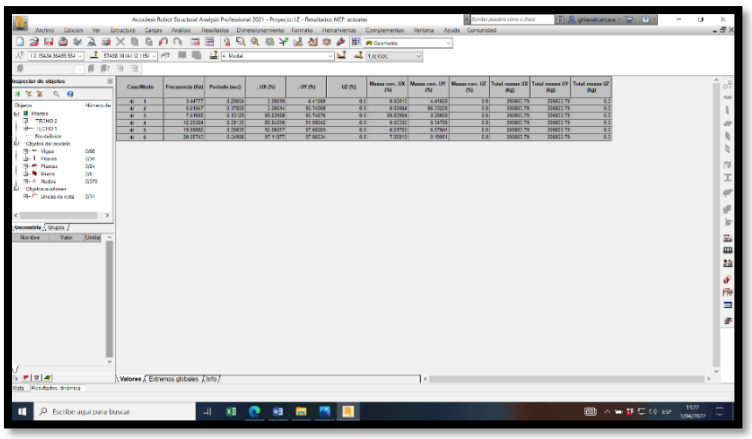


Figura 95. Resultados obtenidos.

23. PASO N°23: Para el análisis sísmico dinámico, mediante una hoja de Excel, se elaboró el espectro sísmico para X y para Y, para luego ingresarlo dentro el software.

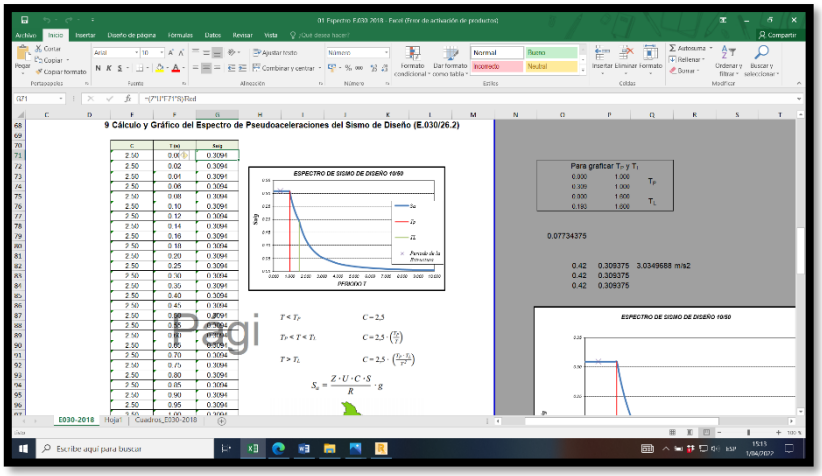


Figura 96. Elaboración del espectro de aceleraciones.

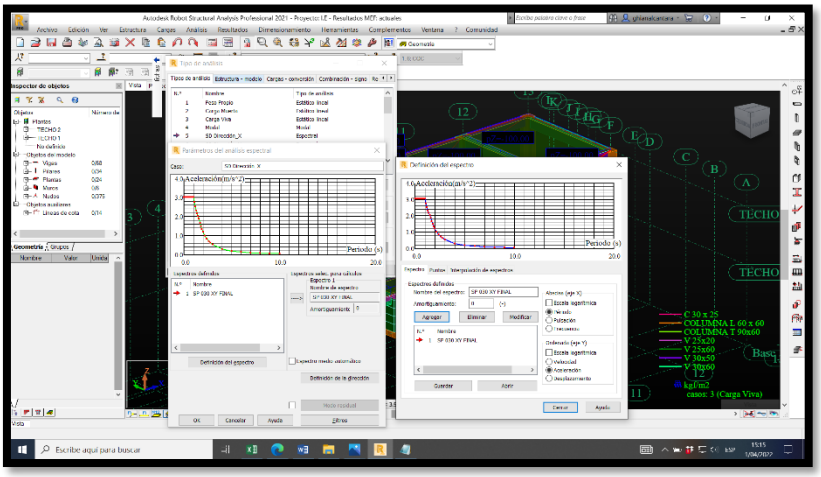


Figura 97. Importación del espectro.

24. **PASO N°24:** Para el análisis sísmico estático, se creó una hoja de Excel para calcular la cortante basal en los diferentes pisos junto con sus excentricidades accidentales, para luego poder ser ingresadas al software respectivo.

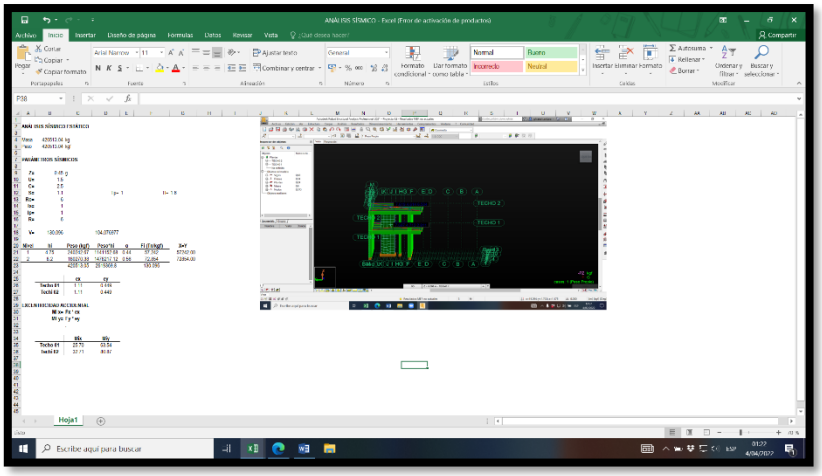


Figura 98. Cálculo de la cortante basal.

25. **PASO N°25:** Se crearon los nuevos casos de carga junto con sus combinaciones para el análisis sísmico estático.

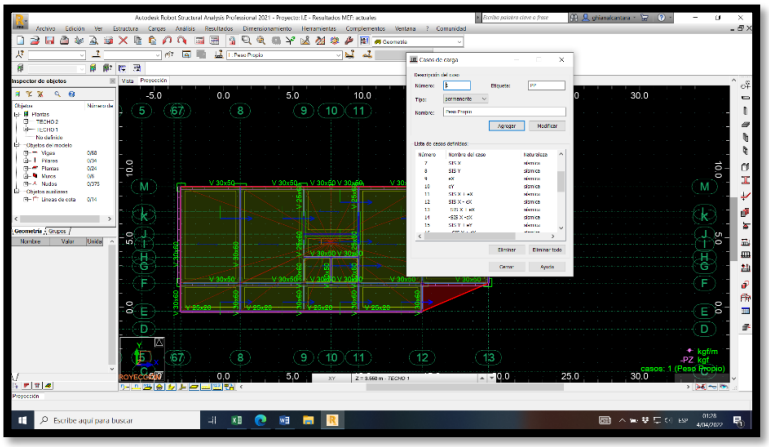


Figura 99. Creación de casos de carga para el sismo estático.

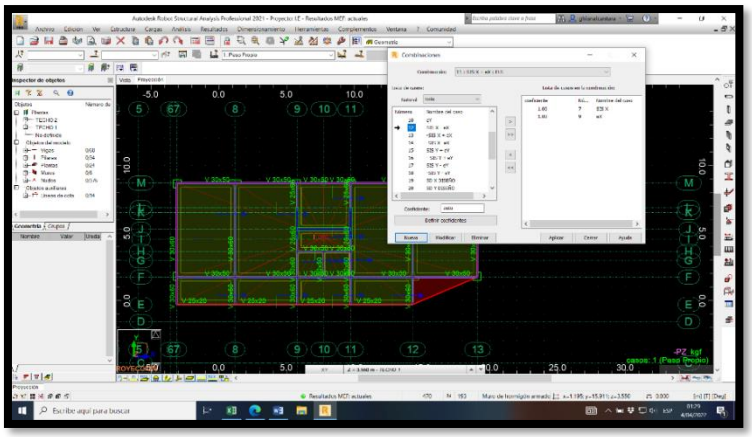


Figura 100. Vista terminada de la creación de casos de carga.

26. **PASO N°26:** Se coloca las fuerzas en el centro de masas para los diferentes casos de carga correspondientes y se realizó el cálculo.

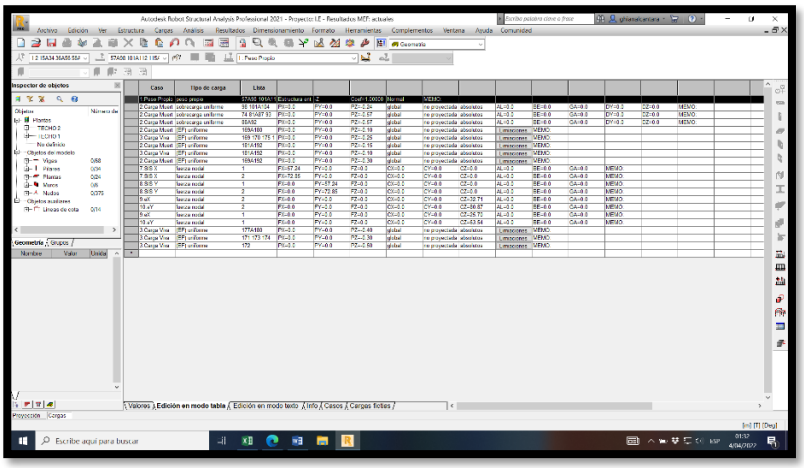


Figura 101. Tabla de cargas.

27. **PASO N°27:** Se extrajeron los mayores desplazamientos tanto para el análisis sísmico estático como para el dinámico, debido a que luego fueron comparados con los parámetros del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

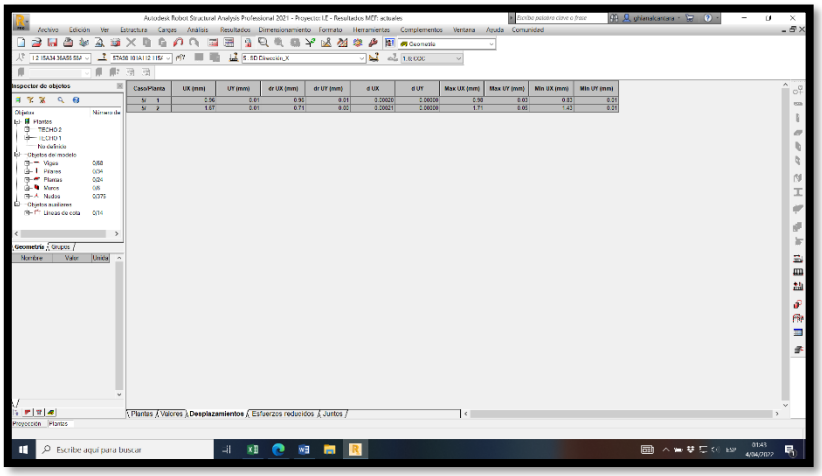


Figura 102. Visualización de las derivas en cada entrepiso en la dirección "X".

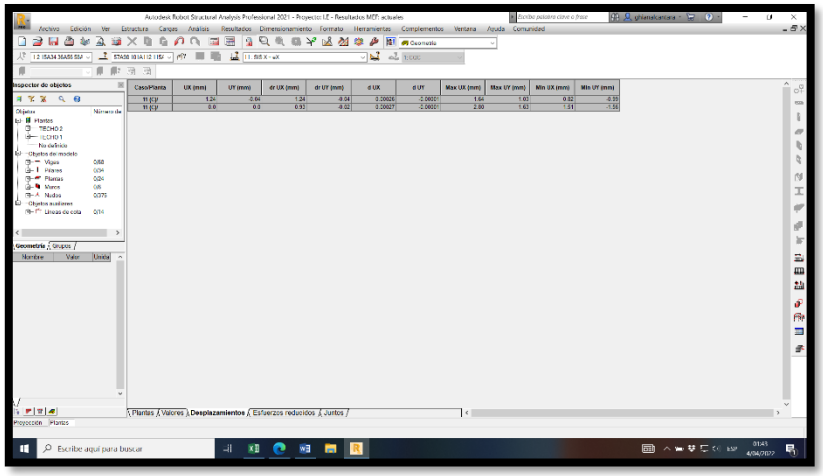


Figura 103. Visualización de las derivas en cada entrepiso en la dirección "Y".

3.2. Análisis Sísmico

3.2.1. Distorsiones de entrepisos estática y dinámica

3.2.1.1. Derivas estáticas máximas

Tabla 24

Derivas estáticas máximas

Módulo	Nivel	Dirección	Deriva máxima	Dirección	Deriva máxima
MODULO 1	Nivel 2	X	0.0010	Y	0.0019
	Nivel 1	X	0.0008	Y	0.0012
MODULO 2	Nivel 2	X	0.0012	Y	0.0021
	Nivel 1	X	0.0012	Y	0.0021

Nota: Esta tabla detalla las derivas estáticas máximas.

3.2.1.2. Derivas dinámicas máximas

Tabla 25

Derivas dinámicas máximas

Módulo	Nivel	Dirección	Deriva máxima	Dirección	Deriva máxima
MODULO 1	Nivel 2	X	0.00081	Y	0.00144
	Nivel 1	X	0.00063	Y	0.00094
MODULO 2	Nivel 2	X	0.00095	Y	0.00176
	Nivel 1	X	0.00090	Y	0.00185

Nota: Esta tabla detalla las derivas dinámicas máximas.

Figura 104. Resultados de derivas.

28. PASO N°28: Se hizo la comprobación de irregularidades ayudados por una hoja de Excel y con los datos extraídos del software.

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga. **Irregularidades de Resistencia – Piso Débil** Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.	0,75
Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga. **Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10)** Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.	0,50
Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el artículo 26, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90
Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25% de la correspondiente dimensión del elemento.	0,80
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes (Ver Tabla N° 10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25% de la fuerza cortante total.	0,60

Figura 105. Captura de la norma E.030.

Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_r
Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,75
Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,60
Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta.	0,90
Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.	0,85
Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso.	0,90

Figura 106. Captura de la norma E.030.

A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

Figura 107. Captura de la norma E.030.

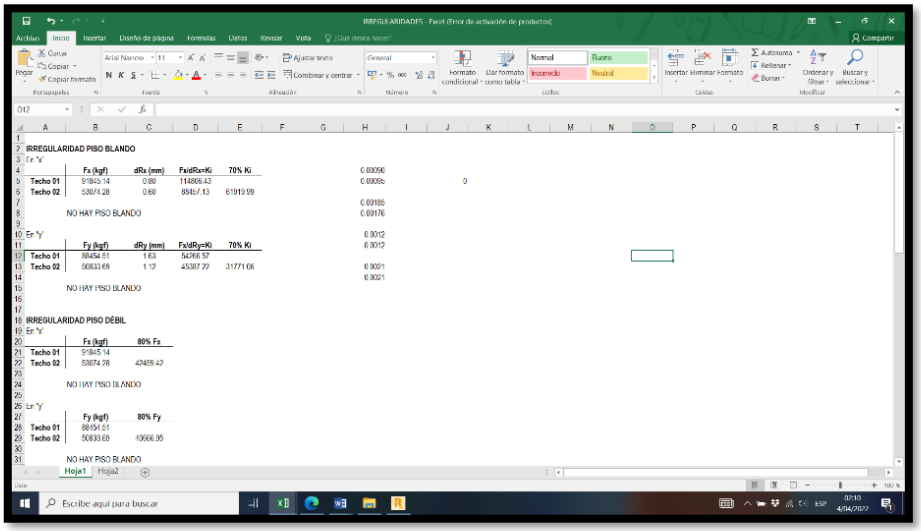


Figura 108. Verificación con hoja de cálculo de las irregularidades.

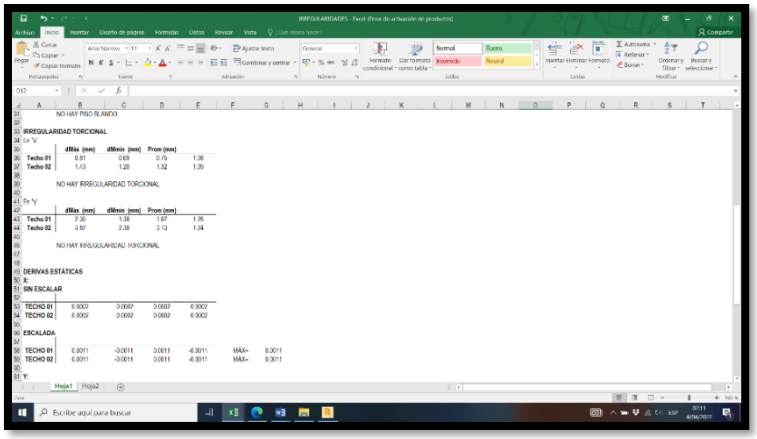


Figura 109. Verificación con hoja de cálculo de las irregularidades.

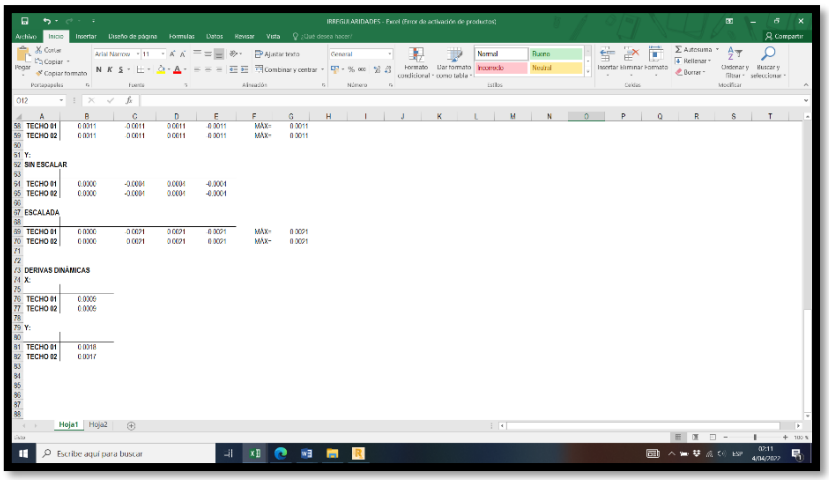


Figura 110. Verificación con hoja de cálculo de las irregularidades.

D. DISEÑO DE CONCRETO ARMADO

29. PASO N°29: Para el diseño de concreto armado se crean nuevas combinaciones manuales, proporcionadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en la norma E.060.

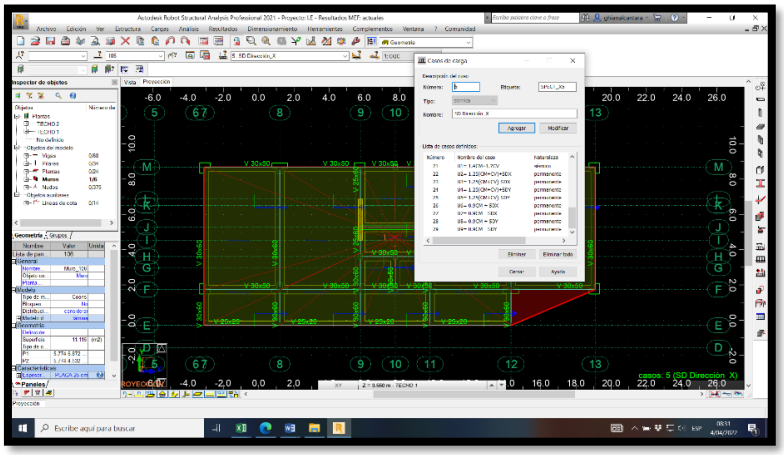


Figura 111. Creación de combinaciones manuales.

30. **PASO N°30:** Para el diseño de muros de concreto armado, se seleccionaron las placas y se puso la opción de refuerzo proporcionado de RC.

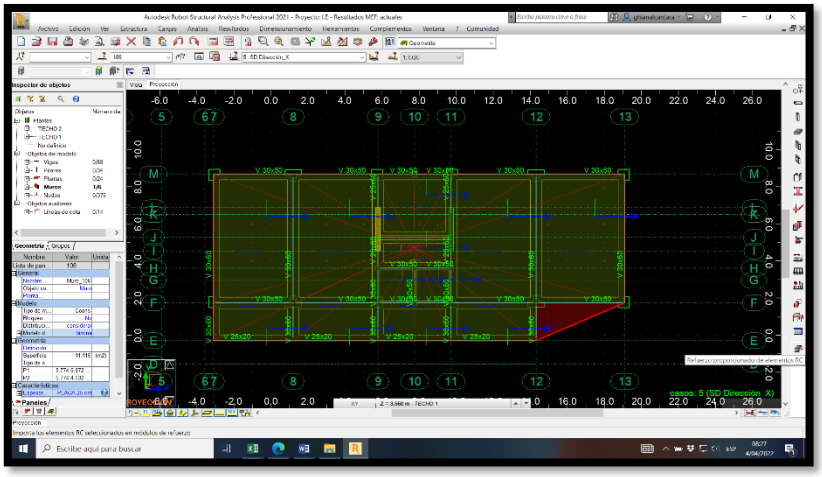


Figura 112. Inicio del diseño en muros estructurales.

31. **PASO N°31:** Se desactivaron los casos simples y solo se dejaron activas las combinaciones manuales proporcionados por la E060 del RNE

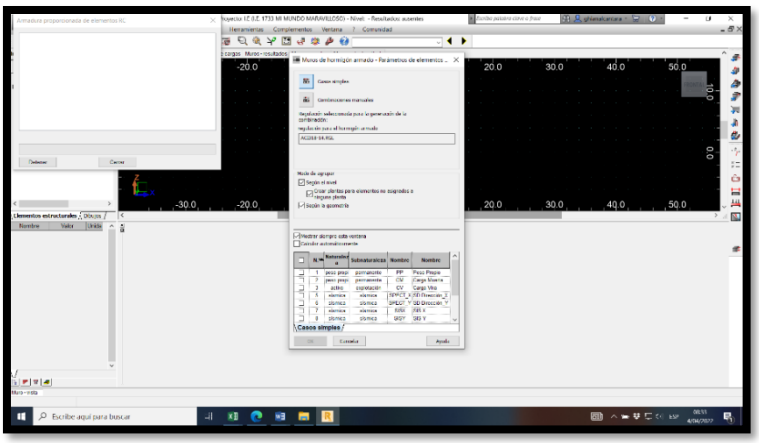


Figura 113. Activar combinaciones manuales.

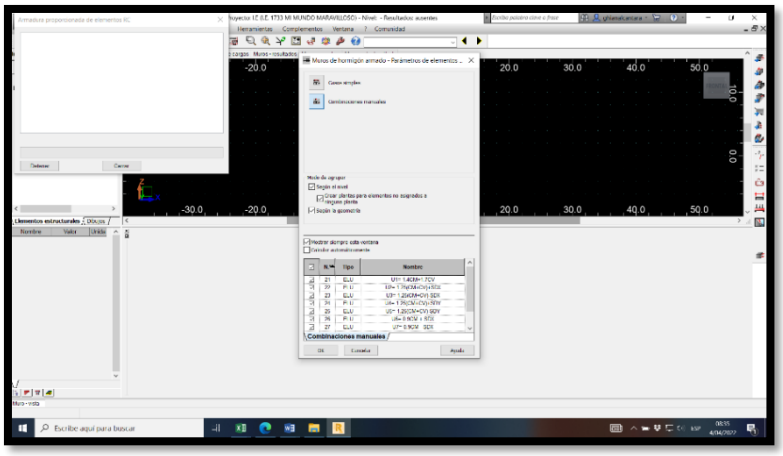


Figura 114. Selección de las combinaciones.

32. **PASO N°32:** Antes de calcular el acero para el muro de concreto armado, se asignaron valores para los elementos de borde, opciones de cálculo y disposición de armaduras.

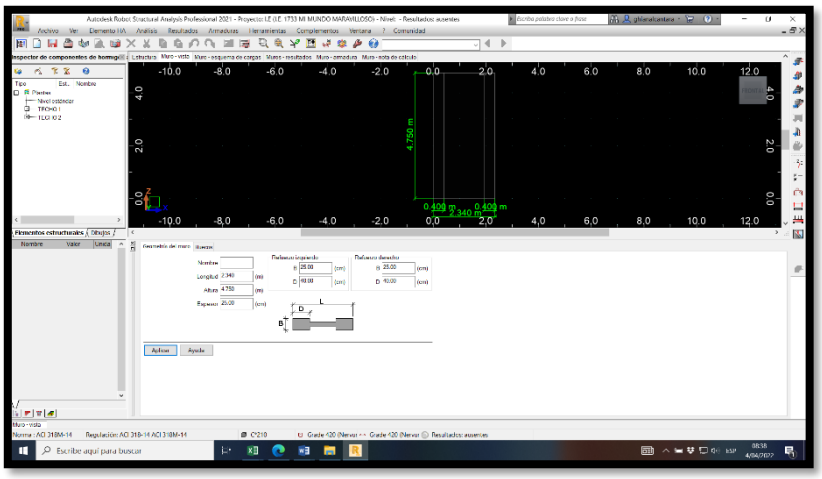


Figura 115. Interfaz para el diseño de muros de concreto armado.

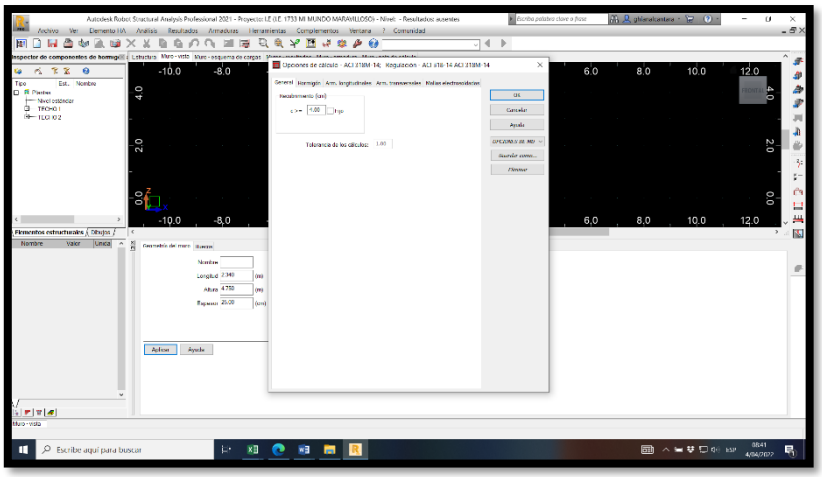


Figura 116. Interfaz para el diseño de muros de concreto armado.

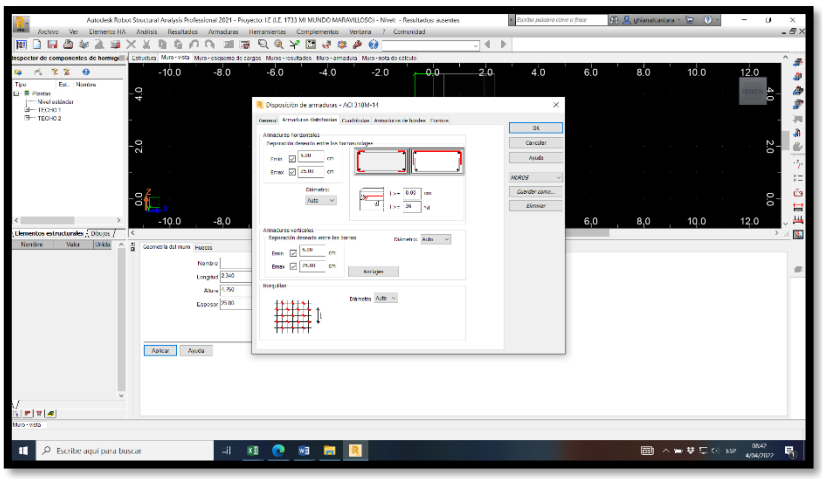


Figura 117. Interfaz para el diseño de muros de concreto armado.

33. **PASO N°33:** Se procedió a calcular la armadura del muro de concreto armado, el cual fue verificado mediante una hoja de Excel y con todas las disposiciones establecidas en el RNE.

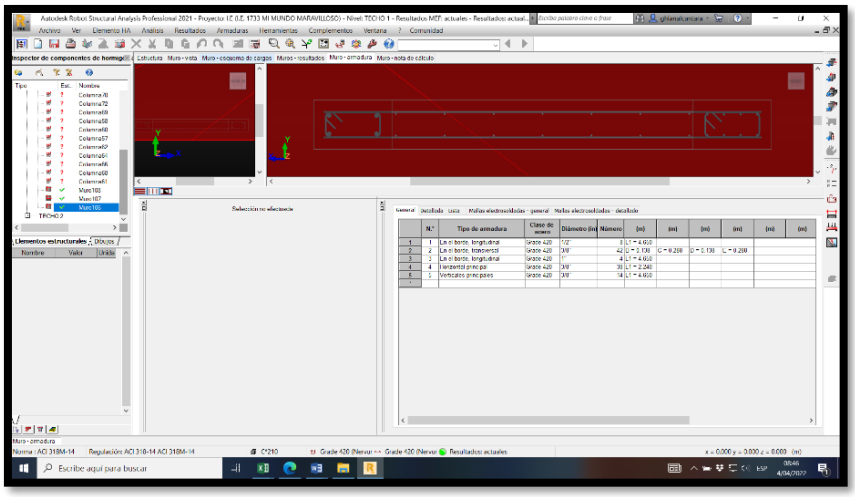


Figura 118. Interfaz para la disposición de acero.

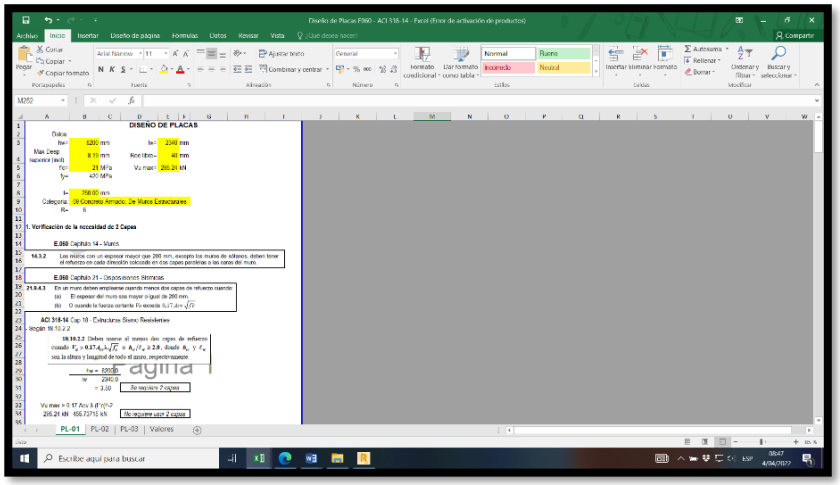


Figura 119. Verificación manual de la disposición de acero.

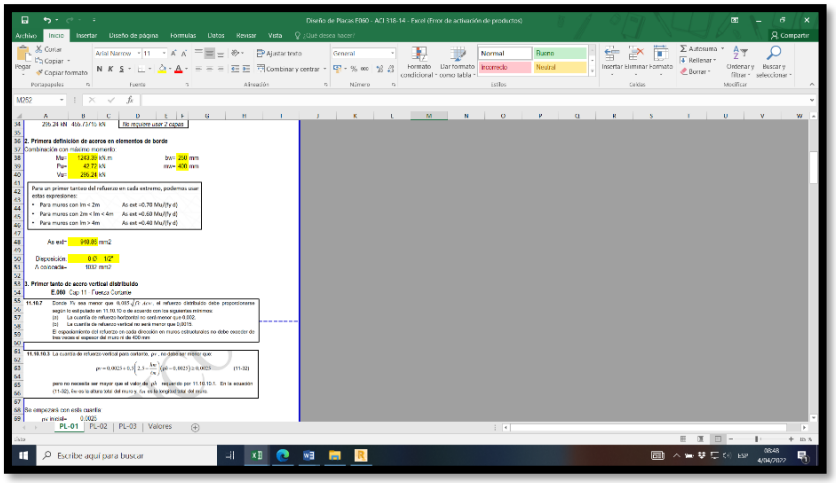


Figura 120. Verificación manual de la disposición de acero.

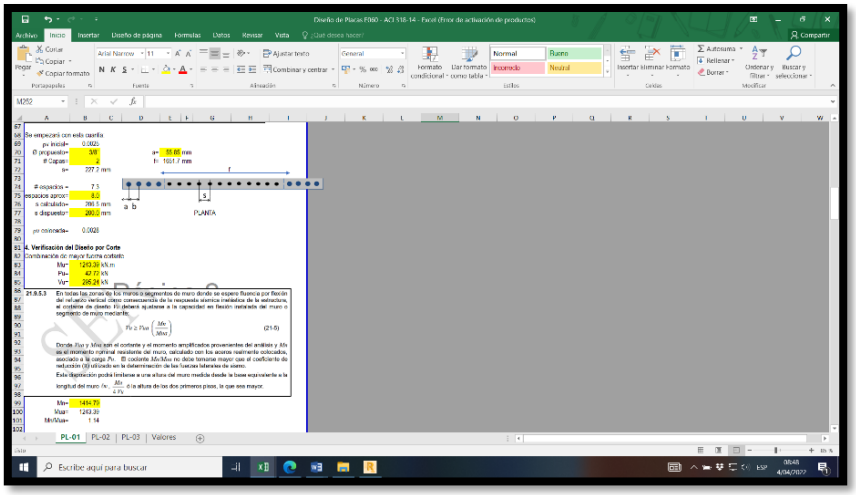


Figura 121. Verificación manual de la disposición de acero.

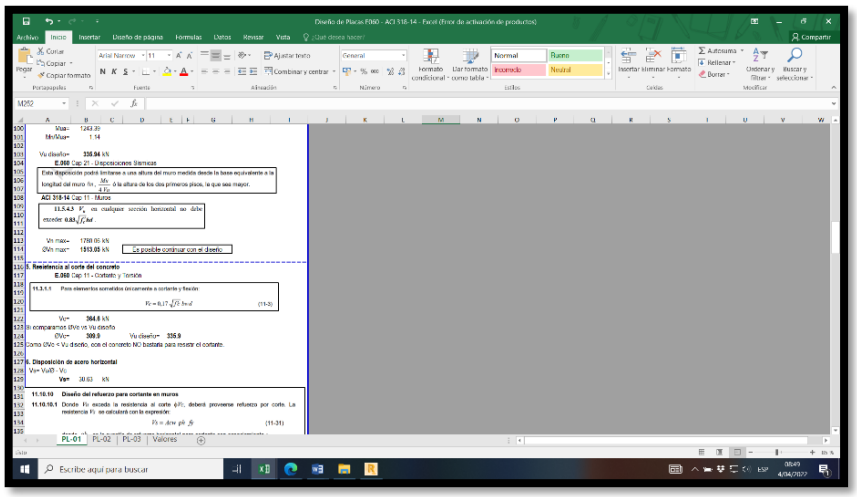


Figura 122. Verificación manual de la disposición de acero.

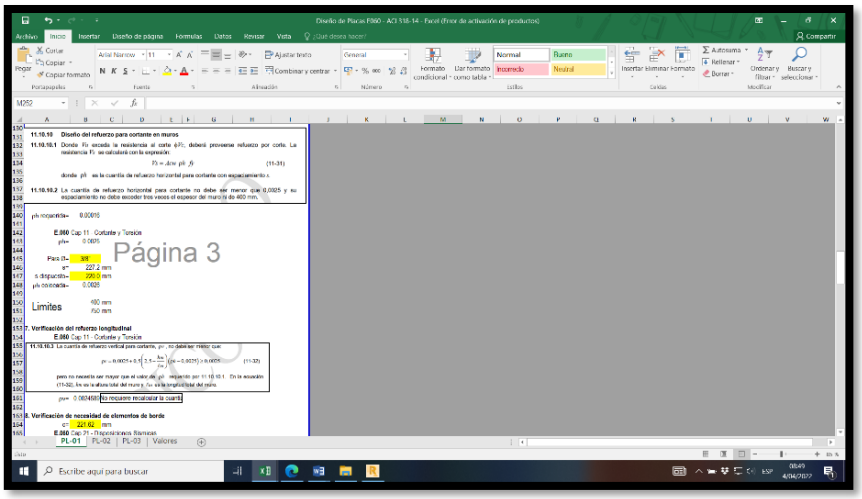


Figura 123. Verificación manual de la disposición de acero.

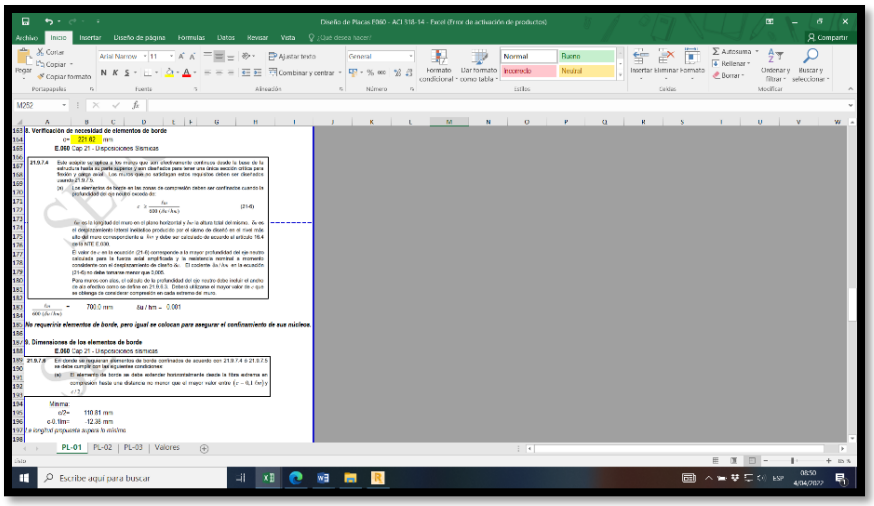


Figura 124. Verificación manual de la disposición de acero.

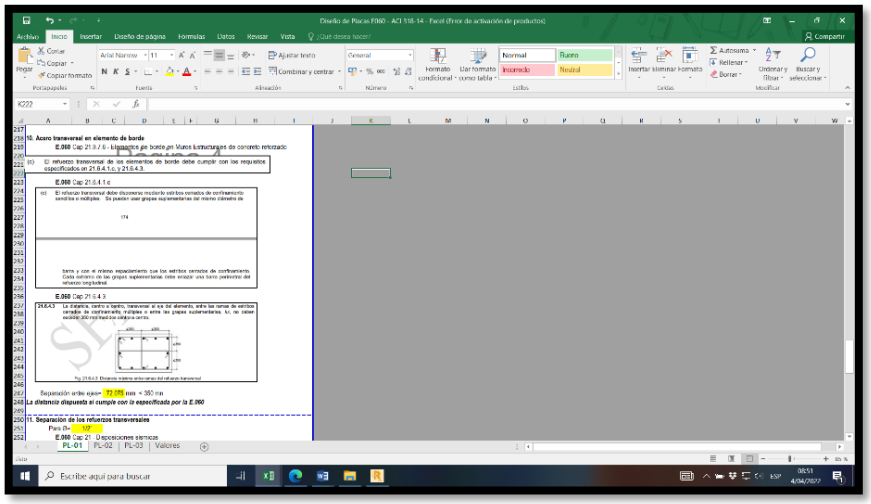


Figura 125. Verificación manual de la disposición de acero.

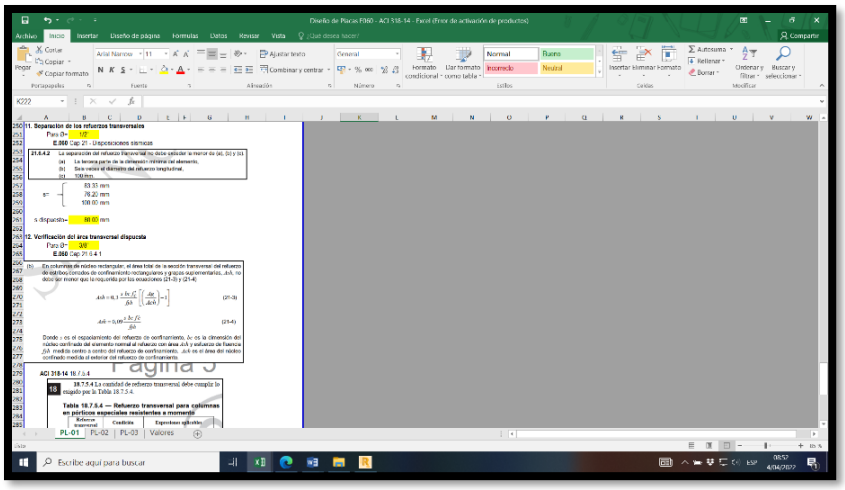


Figura 126. Verificación manual de la disposición de acero.

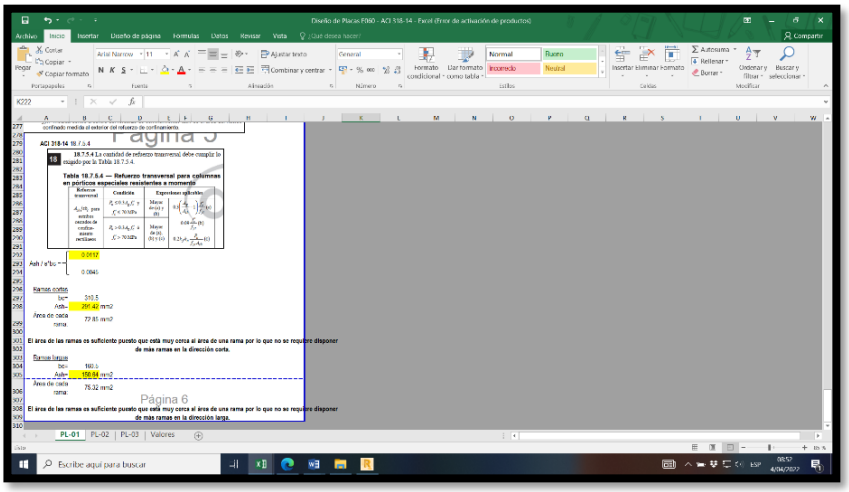


Figura 127. Verificación manual de la disposición de acero.

34. **PASO N°34:** Para el diseño de vigas, se presionó en la opción de refuerzo proporcionado de RC, se verificaron los apoyos de la viga y las combinaciones de acuerdo a la norma E.060.

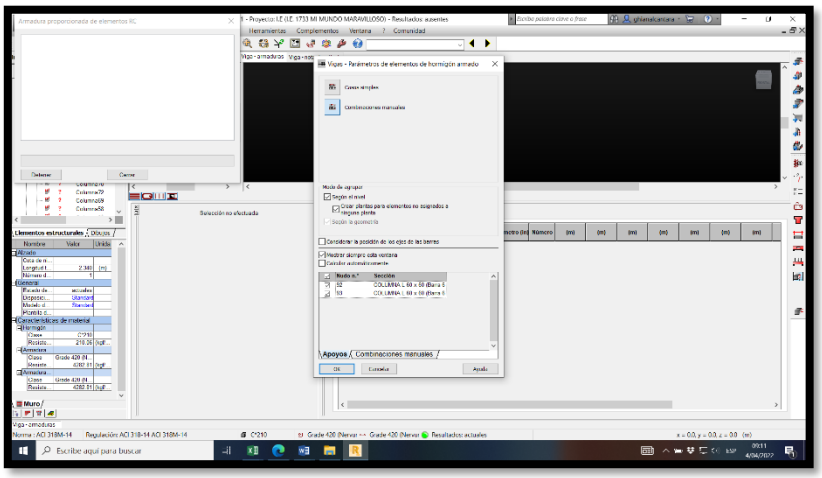


Figura 128. Interfaz para diseño de vigas.

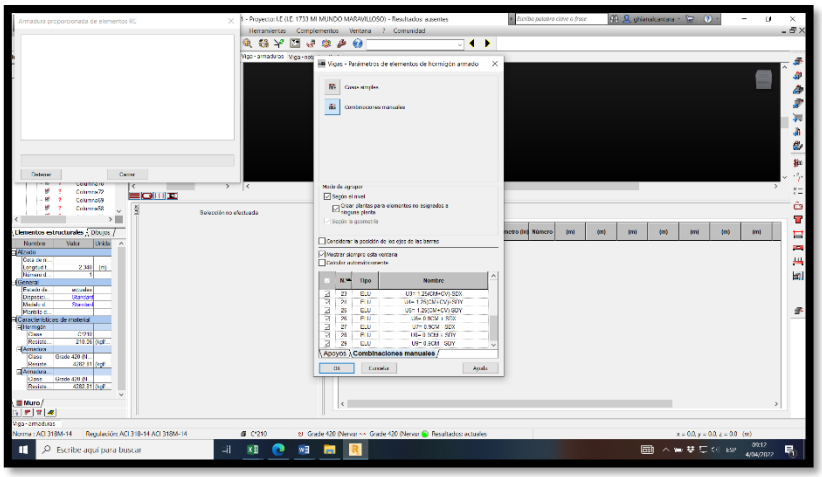


Figura 129. Selección para las combinaciones manuales.

35. **PASO N°35:** Se modificaron las opciones de cálculo y la disposición de armaduras de acuerdo al RNE.

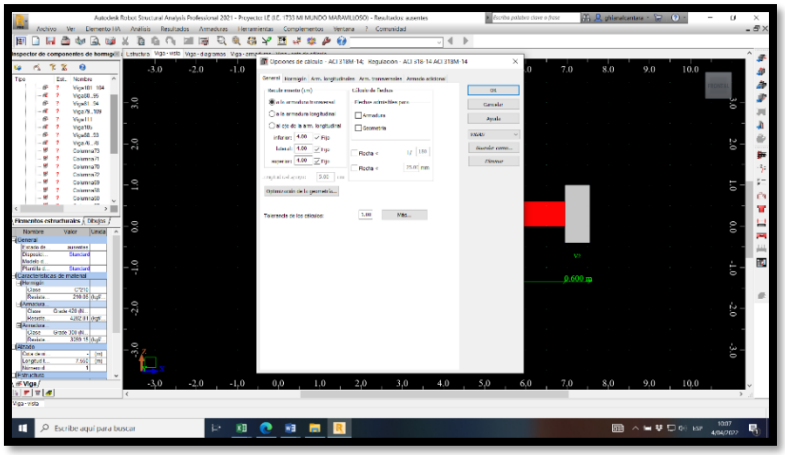


Figura 130. Interfaz para la disposición de armadura en viga.

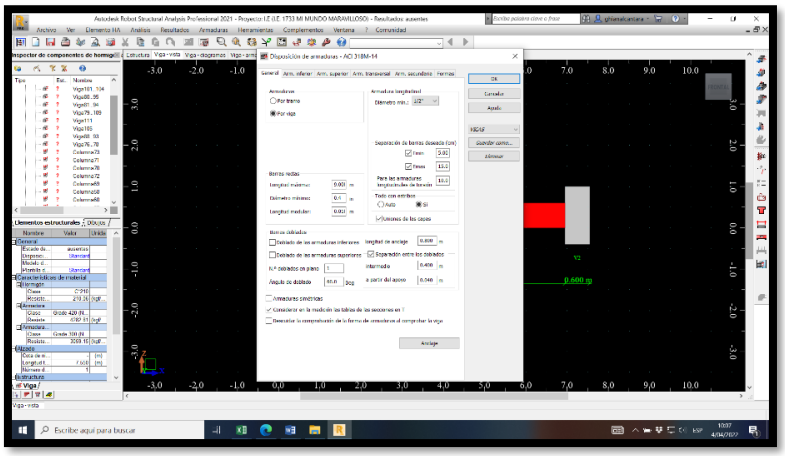


Figura 131. Interfaz para la disposición de armadura en viga.

36. **PASO N°36:** Se calculó la armadura de las vigas y se corroboraron mediante una hoja de cálculo en Excel apoyados con los diagramas de momentos. Además, Robot Structural permite cambiar la disposición de la armadura de forma manual.

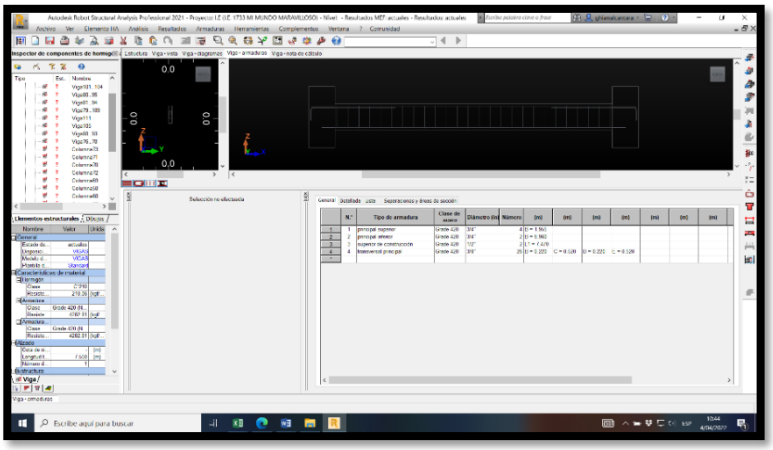


Figura 132. Interfaz para la disposición de armadura en viga.

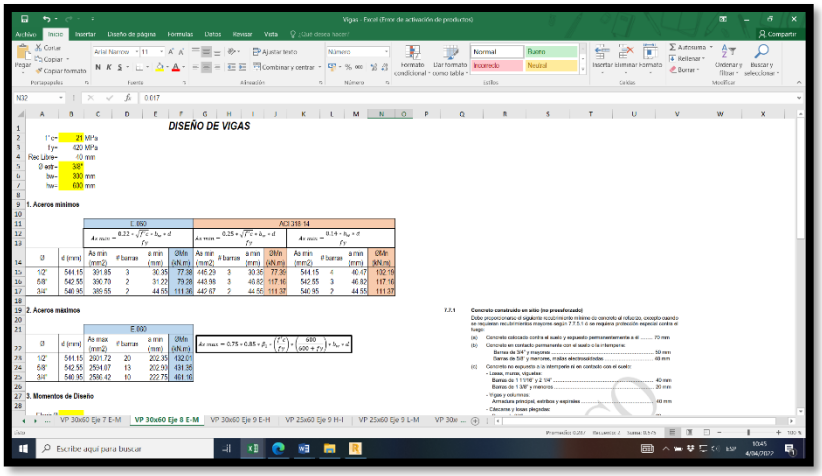


Figura 133. Verificación del acero dispuesto.

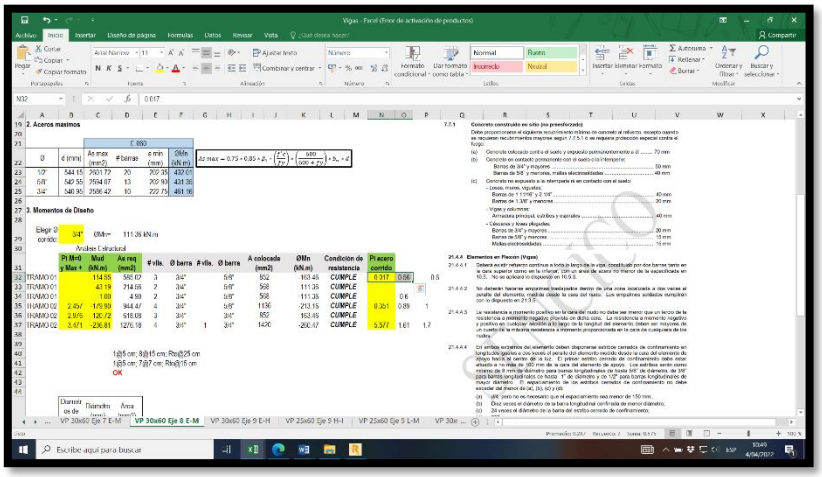


Figura 134. Verificación del acero dispuesto.

37. PASO N°37: Para las columnas, se seleccionó la columna a diseñar, se presionó en la opción de refuerzo proporcionado de RC y se seleccionaron las combinaciones de acuerdo a la norma E.060.

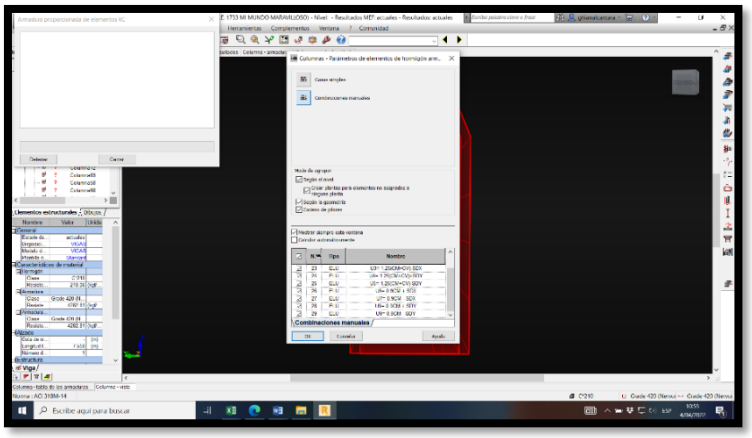


Figura 135. Interfaz de Robot para el diseño en columnas.

38. **PASO N°38:** Se modificaron las opciones de cálculo y la disposición de armaduras de acuerdo al RNE.

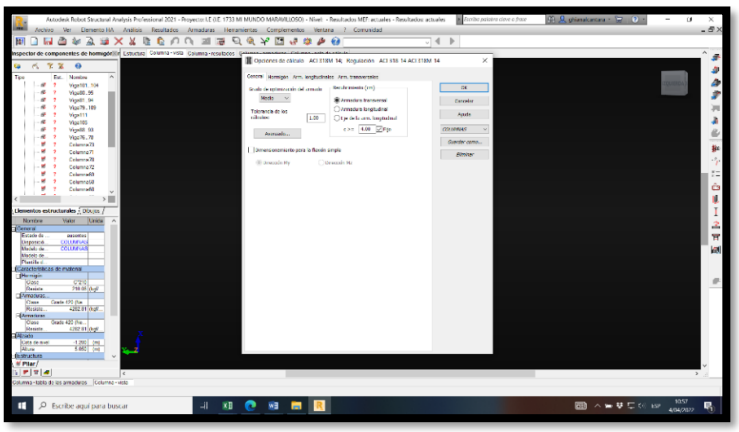


Figura 136. Interfaz para la disposición de armaduras en columnas.

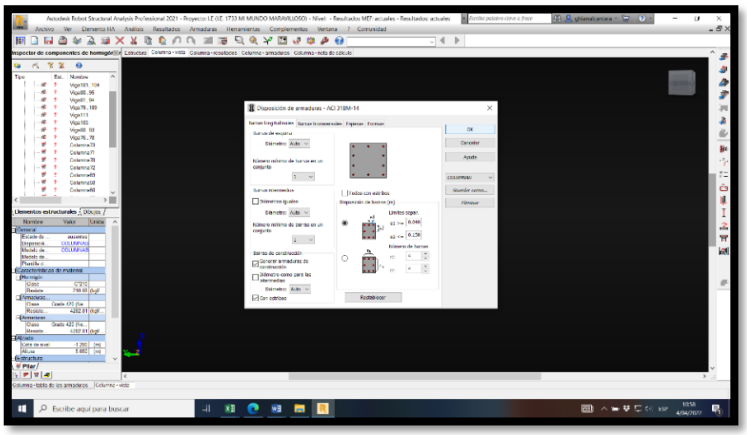


Figura 137. Interfaz para la disposición de armaduras en columnas.

39. **PASO N°39:** Se calculó la armadura de las columnas y se corroboraron mediante una hoja de cálculo en Excel ayudados con el diagrama de iteraciones proporcionados por el software en mención. Además, se buscó tener secciones típicas para mejor manejo del proceso constructivo.

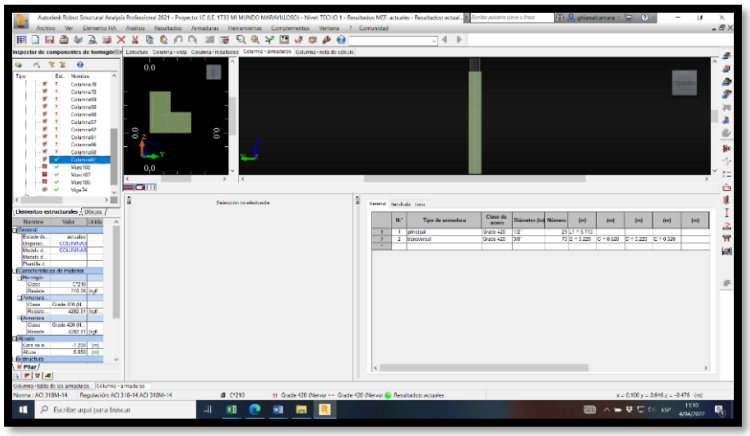


Figura 138. Interfaz para la disposición de armaduras en columnas.

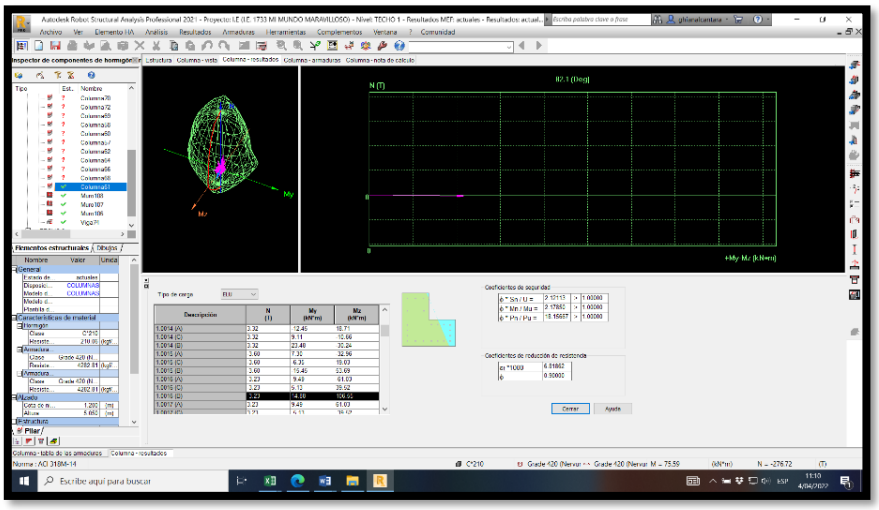


Figura 139. Resultados del diagrama interacción

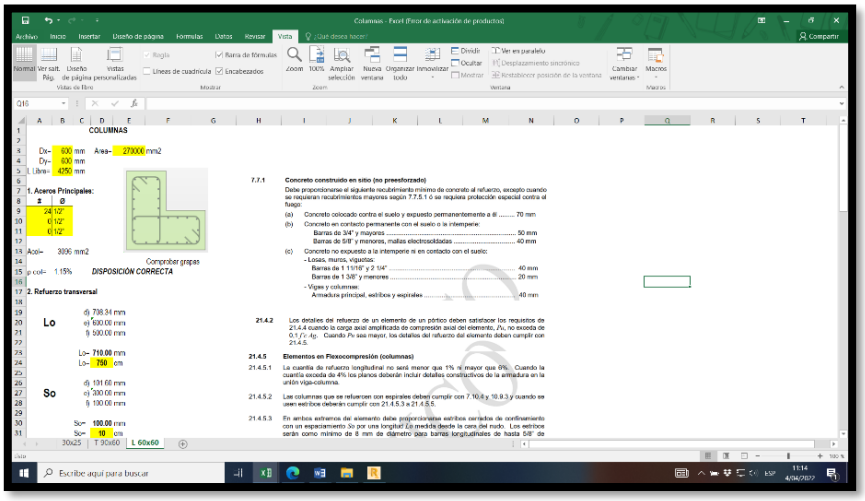


Figura 140. Verificación manual de resultados y diseño por corte.

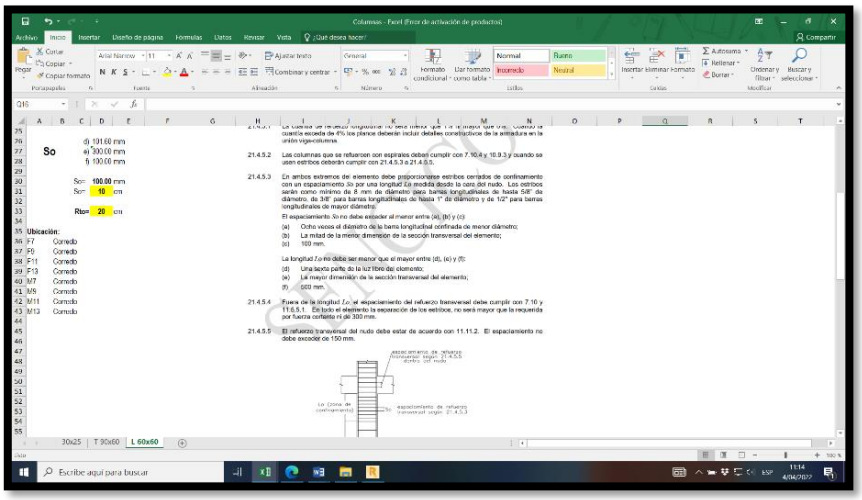


Figura 141. Verificación manual de resultados y diseño por corte.

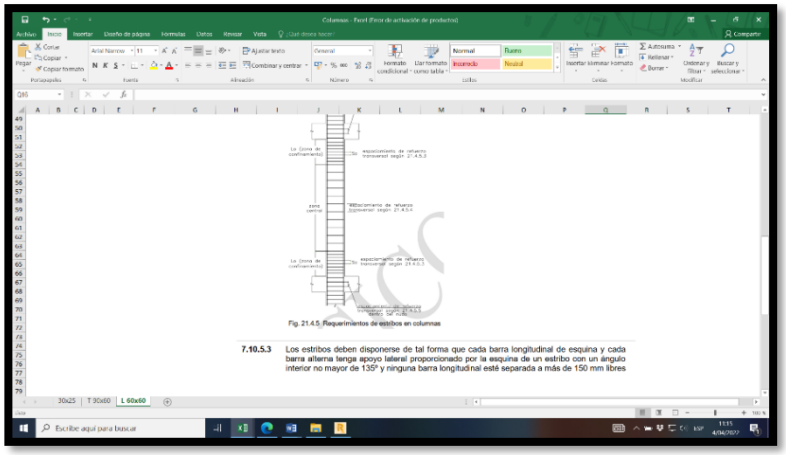


Figura 142. Verificación manual de resultados y diseño por corte.

40. **PASO N°40:** Para las losas aligeradas, se hizo un diseño separado, usando la opción de pórtico plano donde se diseñó una viga en forma de "T" que representa la sección de la losa, a la cual se le asigno sus respectivas cargas, como la muerta y la viva según el uso que se le dé al tramo en cuestión.

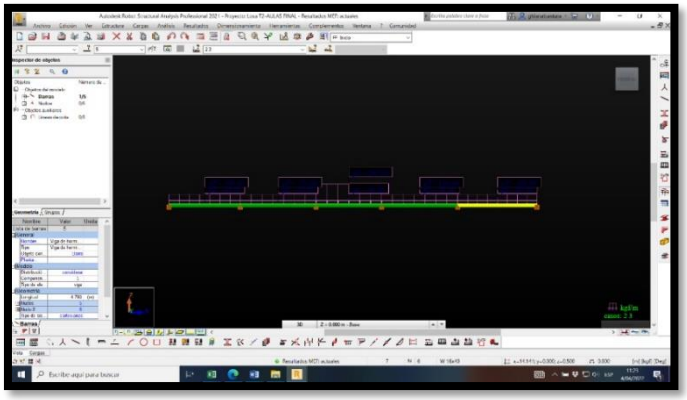


Figura 143. Modelado para el diseño de losas aligeradas.

41. **PASO N°41:** Se creó la combinación manual para efectuar el diseño de losa según el RNE.

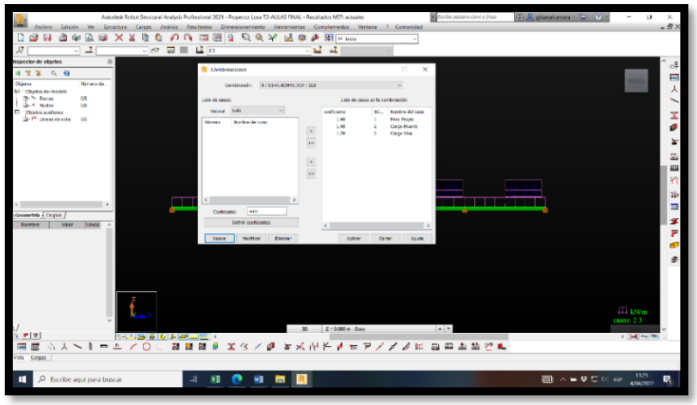


Figura 144. Interfaz de creación de combinaciones.

42. **PASO N°42:** Se calculó la estructura, de lo cual se extrajo el diagrama de momentos para ser utilizado en una hoja de Excel.

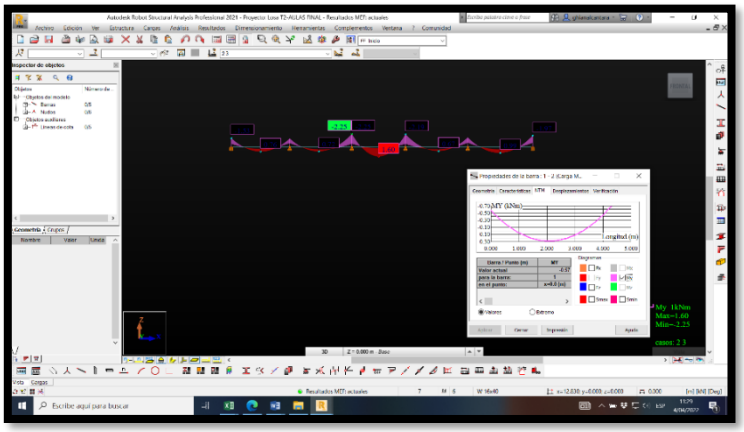


Figura 145. Diagrama de momentos flectores para la losa aligerada.

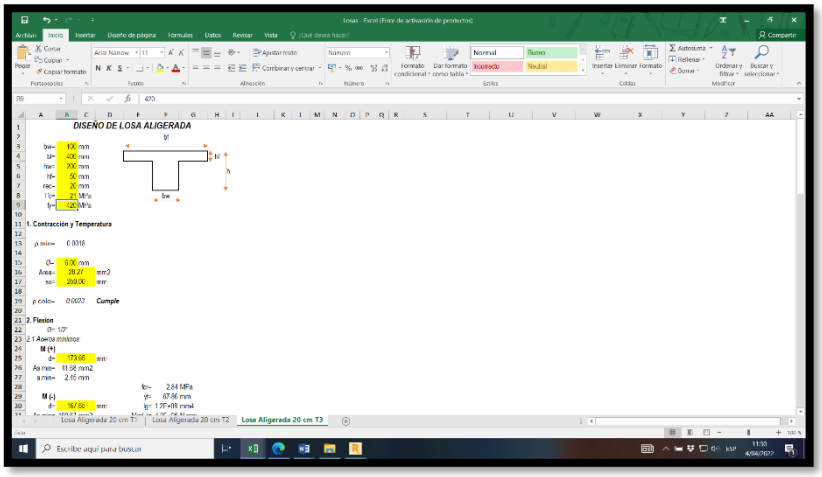


Figura 146. Diseño de losa aligerada de manera manual.

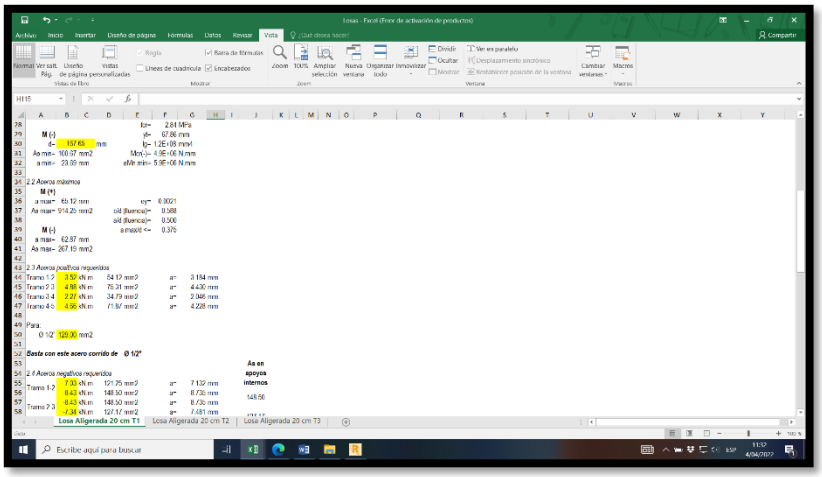


Figura 147. Diseño de losa aligerada de manera manual.

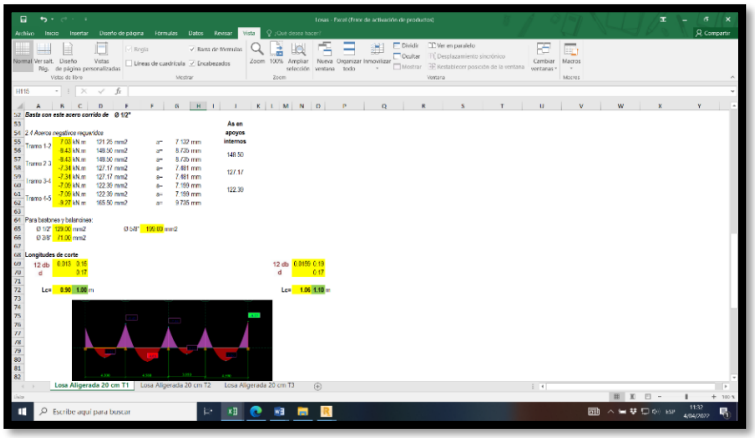


Figura 148. Diseño de losa aligerada de manera manual.

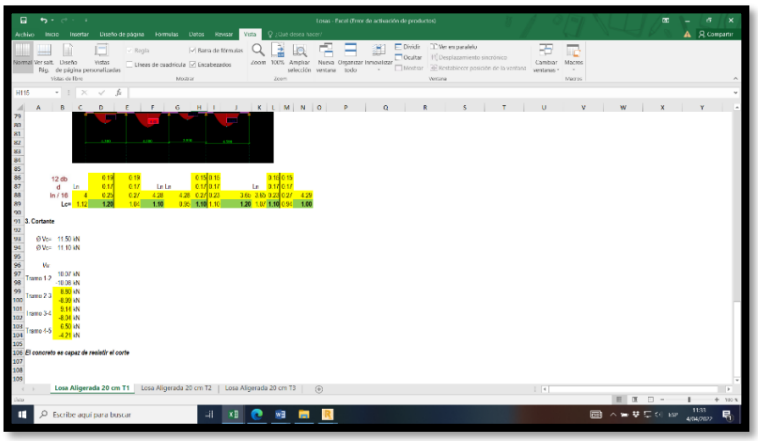


Figura 149. Diseño de losa aligerada de manera manual.

43. **PASO N°43:** Para el cálculo de zapatas y vigas de cimentación se usó el software SAFE 2016, para lo cual, dentro del programa se definieron los materiales, las propiedades tanto para zapatas simples, combinadas, columnas y placas, la capacidad portante del suelo proporcionada por el estudio de mecánica de suelos, y las secciones de las vigas, columnas y placas. Además, se importaron los ejes desde el programa Robot Structural.

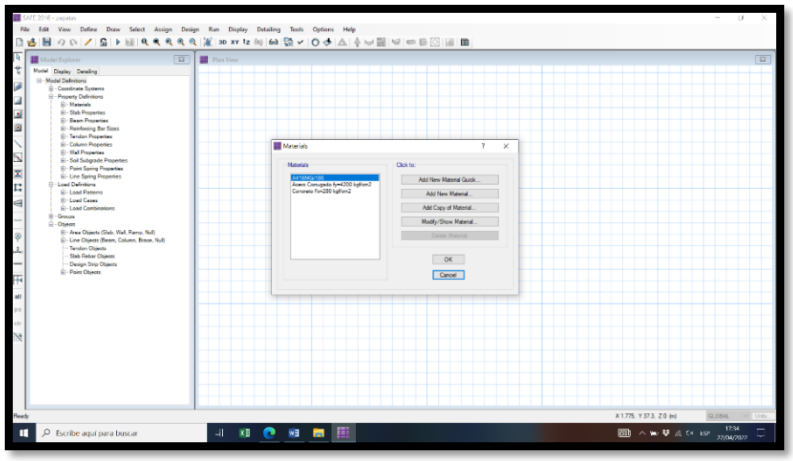


Figura 150. Creación de materiales en SAFE.

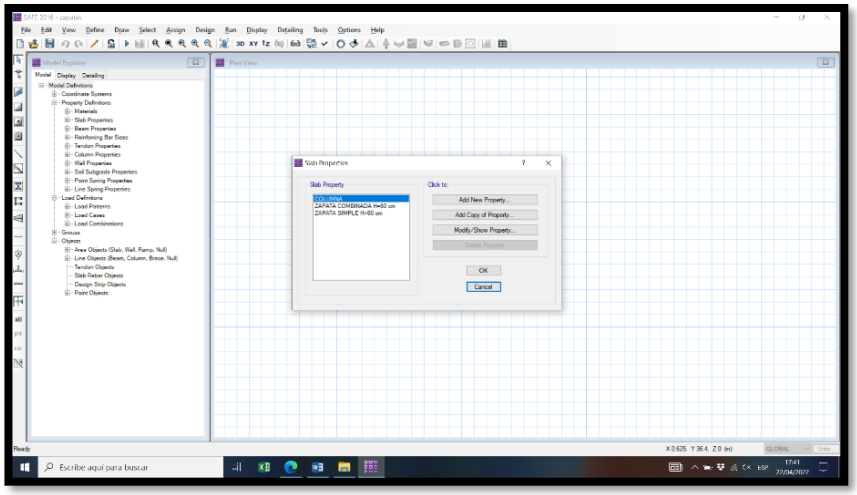


Figura 151. Creación de secciones cimientos.

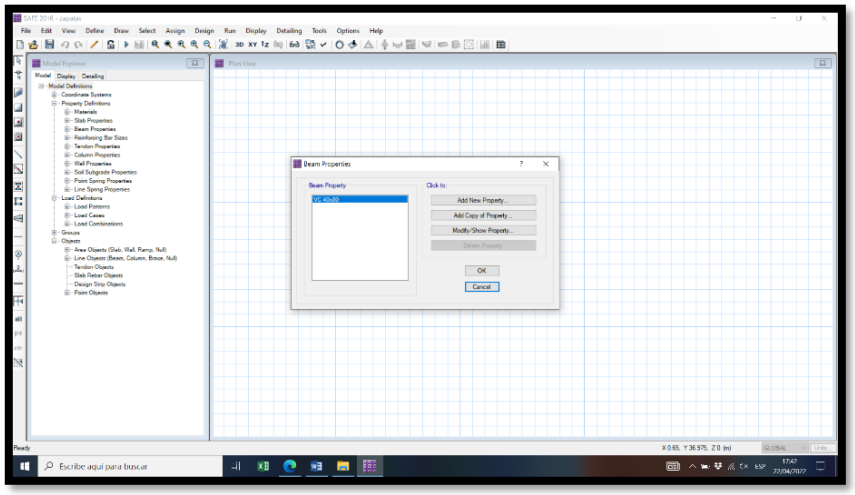


Figura 152. Creación de secciones para vigas de cimentación.

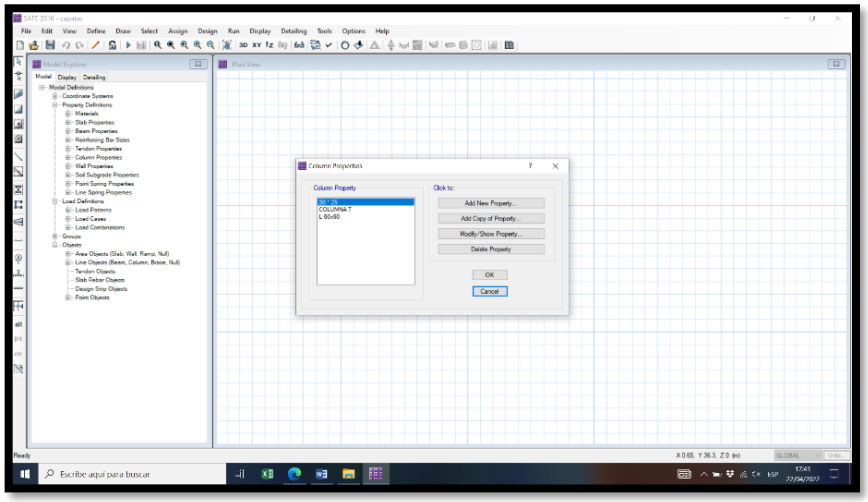


Figura 153. Creación de secciones de columnas.

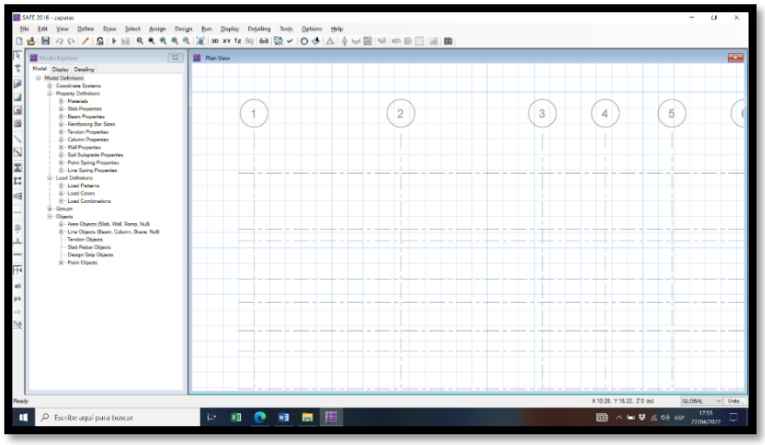


Figura 154. Creación de ejes en SAFE.

44. **PASO N°44:** Se procedió a dibujar, columnas, zapatas y vigas de cimentación.

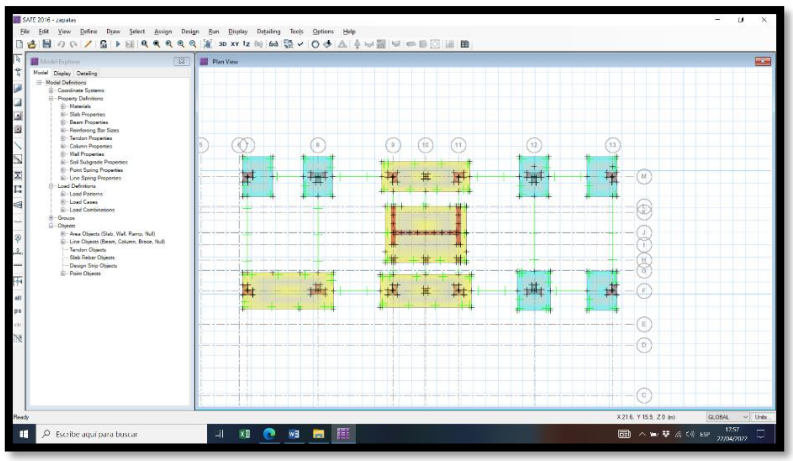


Figura 155. Modelado de los elementos.

45. **PASO N°45:** Se ubicó el centro de cada columna, siendo dibujada con un punto que pertenecerá al elemento, para que posteriormente se añadan las fuerzas extraídas del análisis sísmico realizadas con el software Robot Structural y el metrado de cargas correspondiente.

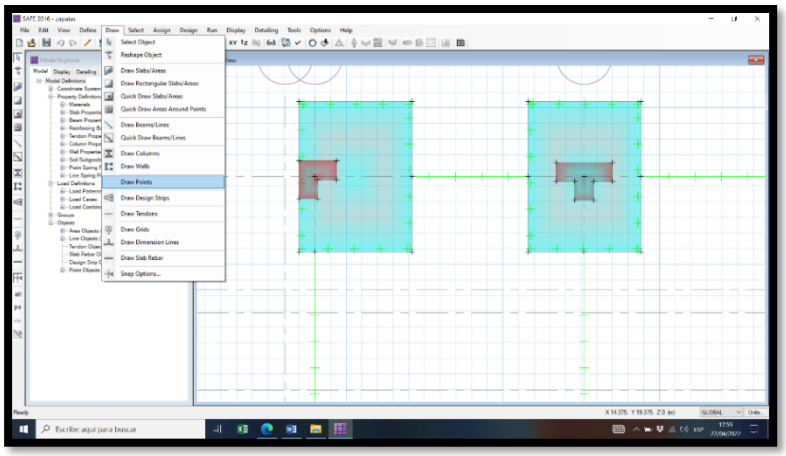


Figura 156. Modelado de columnas.

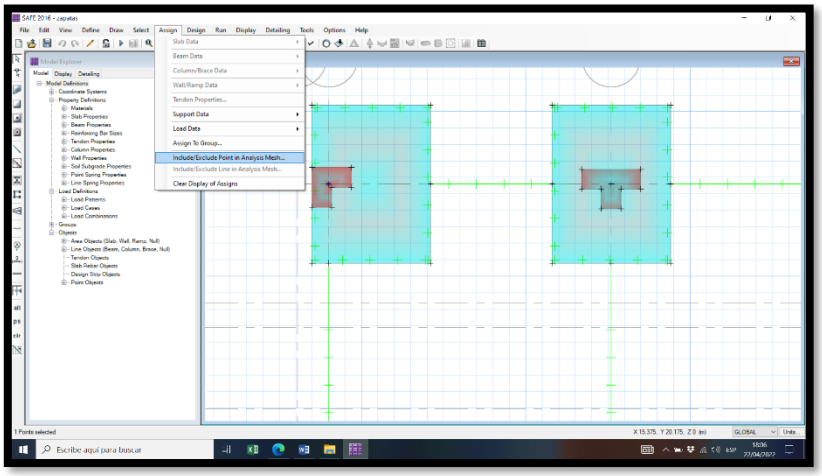


Figura 157. Modelado de columnas.

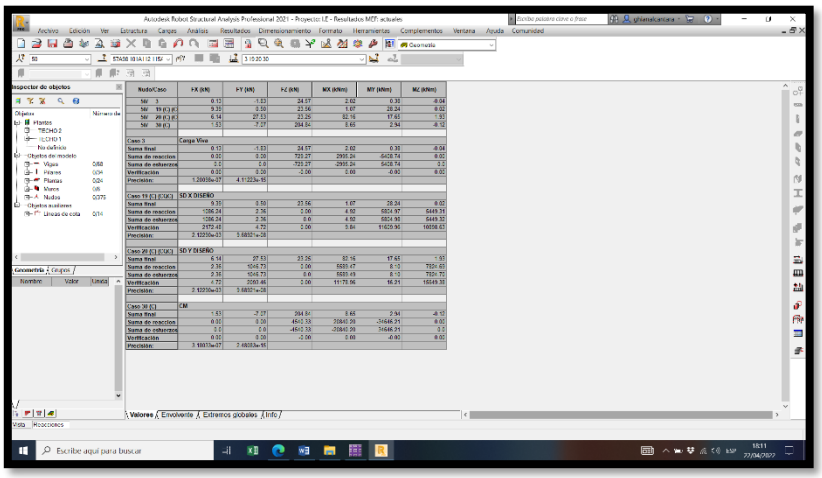


Figura 158. Extracción de resultados.

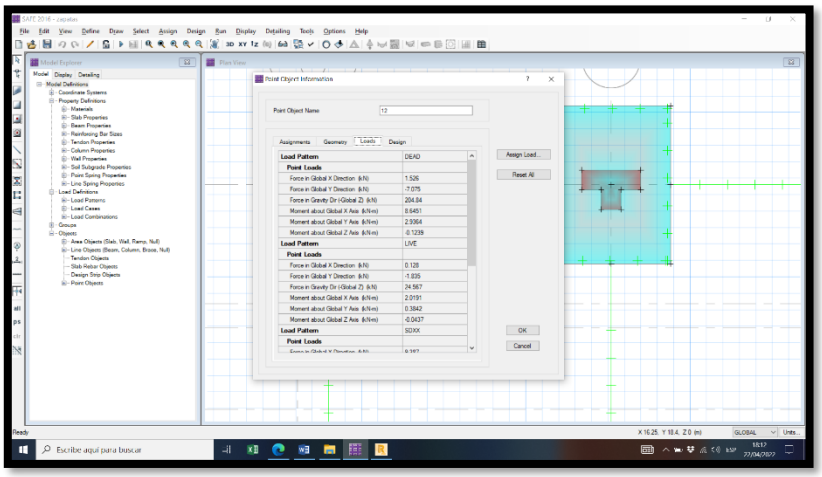


Figura 159. Ingreso de resultados en ejes de columnas de manera manual.

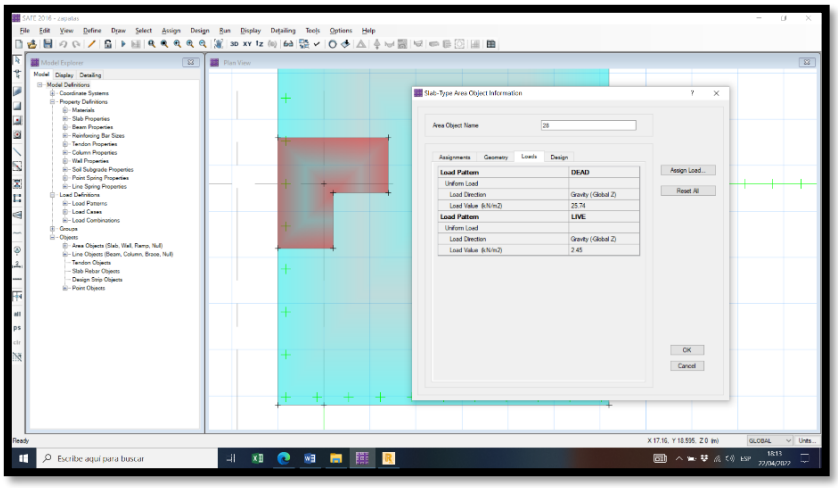


Figura 160. Ingreso de resultados en ejes de columnas de manera manual.

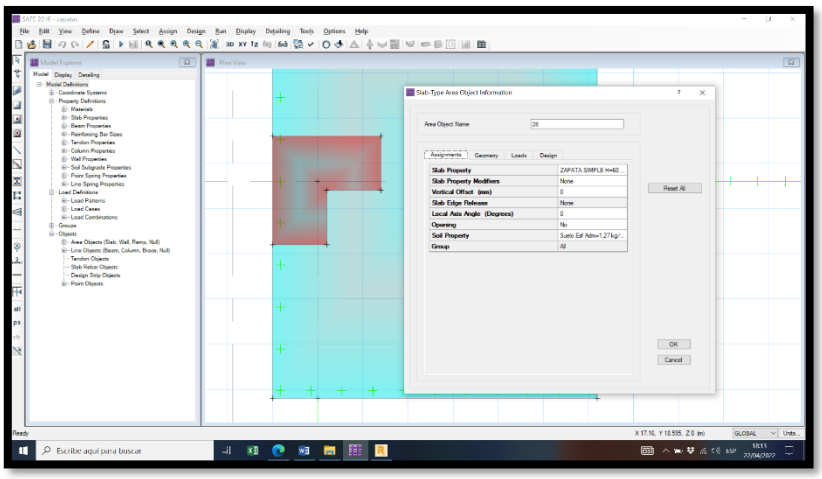


Figura 161. Ingreso de resultados en ejes de columnas de manera manual.

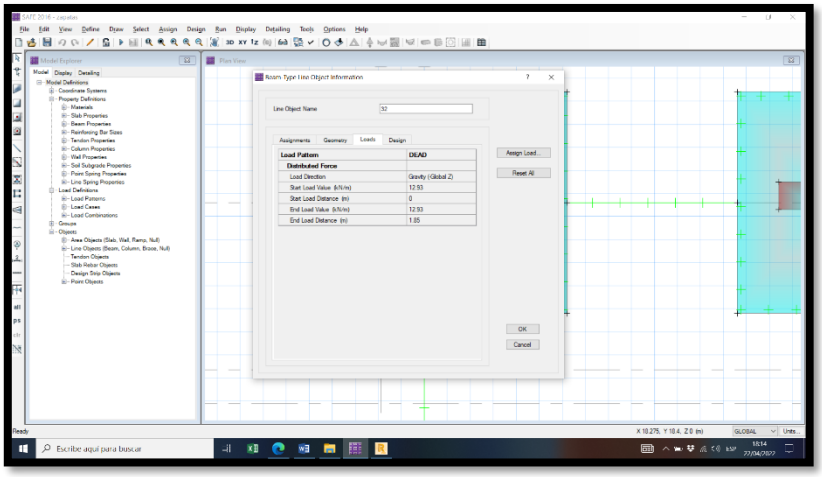


Figura 162. Ingreso de resultados en ejes de columnas de manera manual.

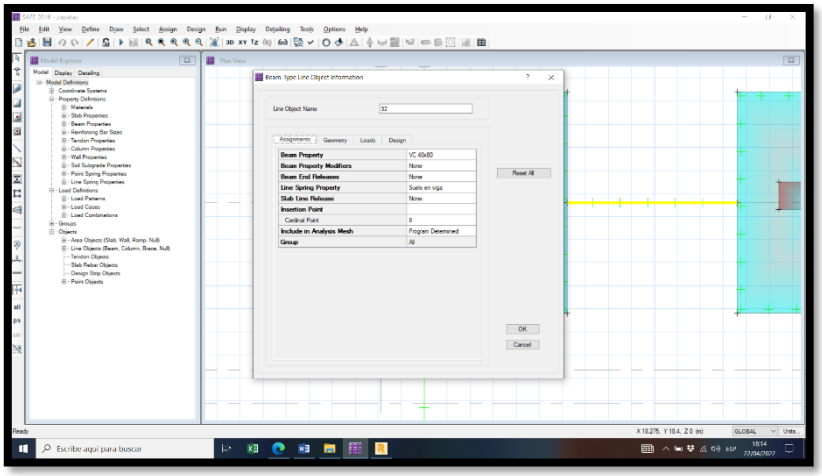


Figura 163. Asignación de suelo.

46. **PASO N°46:** Luego de colocar todas las cargas se procedió a correr el programa, para obtener los datos necesarios y con una hoja de Excel comenzar con el cálculo de zapatas. Además, es importante que los momentos no sobrepasen la capacidad portante del suelo.

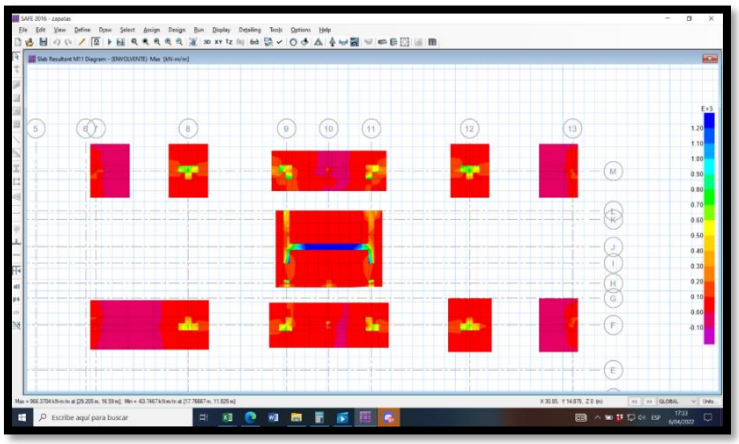
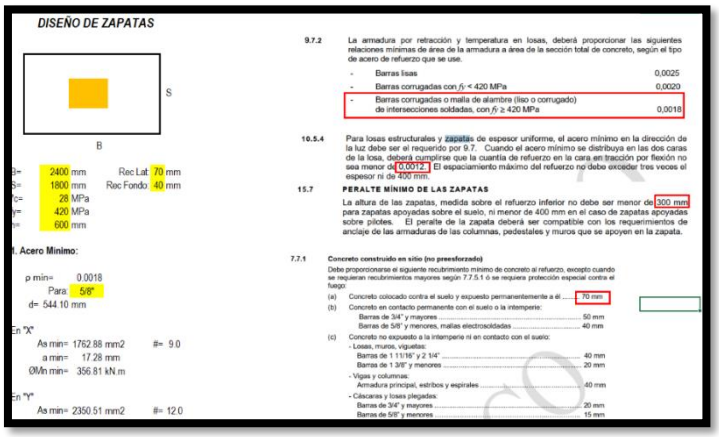


Figura 164. Análisis por esfuerzos admisibles de las dimensiones en planta.



DISEÑO DE ZAPATAS

S

B

B= 2400 mm Rec Lat 70 mm

S= 1800 mm Rec Fondo 40 mm

f'c= 28 MPa

fy= 420 MPa

h= 600 mm

I. Acero Mínimo:

ρ min= 0.0018

Para 5/8"

d= 544.10 mm

En "X"

As min= 1762.88 mm2 #= 9.0

a min= 17.28 mm

ØMn min= 356.81 kN.m

En "Y"

As min= 2350.51 mm2 #= 12.0

9.7.2 La armadura por retracción y temperatura en losas, deberá proporcionar las siguientes relaciones mínimas de área de la armadura a área de la sección total de concreto, según el tipo de acero de refuerzo que se use.

- Barras lisas 0,0025
- Barras corrugadas con f_y < 420 MPa 0,0020
- Barras corrugadas o malla de alambre (liso o corrugado) de intersecciones soldadas, con f_y ≥ 420 MPa 0,0018

10.5.4 Para losas estructurales y zapatas de espesor uniforme, el acero mínimo en la dirección de la luz debe ser el requerido por 9.7. Cuando el acero mínimo se distribuya en las dos caras de la losa, deberá cumplirse que la cuantía de refuerzo en la cara en tracción por flexión no sea menor de 0,0012. El espaciamiento máximo del refuerzo no debe exceder tres veces el espesor ni de 400 mm.

15.7 PERALTE MÍNIMO DE LAS ZAPATAS

La altura de las zapatas, medida sobre el refuerzo inferior no debe ser menor de 300 mm para zapatas apoyadas sobre el suelo, ni menor de 400 mm en el caso de zapatas apoyadas sobre pilotes. El peralte de la zapata deberá ser compatible con los requerimientos de anclaje de las armaduras de las columnas, pedestales y muros que se apoyen en la zapata.

7.7.1 Concreto construido en sitio (no preesforzado)

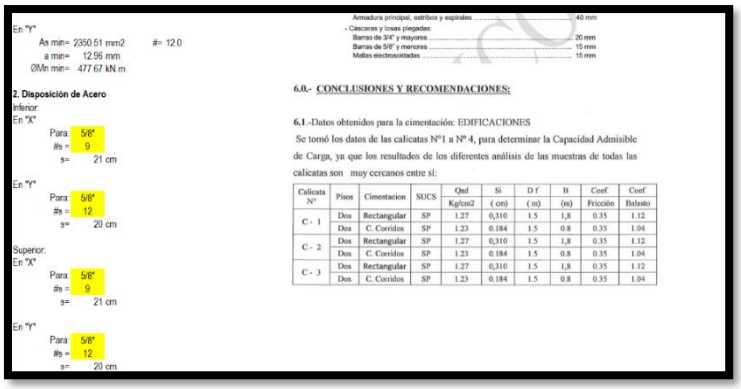
Debe proporcionarse el siguiente recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo, excepto cuando se requieran recubrimientos mayores según 7.7.5.1 ó se requiera protección especial contra el fuego:

(a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él ..... 70 mm

(b) Concreto en contacto permanente con el suelo o la intemperie:
- Barras de 3/4" y mayores ..... 50 mm
- Barras de 5/8" y menores, mallas electrosoldadas ..... 40 mm

(c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:
- Losas, muros, viguetas:
  - Barras de 1 1/16" y 2 1/4" ..... 40 mm
  - Barras de 1 3/8" y menores ..... 20 mm
- Vigas y columnas:
  - Armadura principal, estribos y espirales ..... 40 mm
- Cáscaras y losas plegadas:
  - Barras de 3/4" y mayores ..... 20 mm
  - Barras de 5/8" y menores ..... 15 mm

Figura 165. Diseño de zapatas de manera manual.



En "Y"
As min= 2350.51 mm2 #= 12.0
a min= 12.96 mm
ØMn min= 477.67 kN m

2. Disposición de Acero
Inferior:
En "X"
Para: 5/8"
#s = 9
s= 21 cm

En "Y"
Para: 5/8"
#s = 12
s= 20 cm

Superior:
En "X"
Para: 5/8"
#s = 9
s= 21 cm

En "Y"
Para: 5/8"
#s = 12
s= 20 cm

Armadura principal, estribos y espirales ..... 40 mm
- Cáscaras y losas plegadas:
Barras de 3/4" y mayores ..... 20 mm
Barras de 5/8" y menores ..... 15 mm
Mallas electrosoldadas ..... 15 mm

6.0.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

6.1.-Datos obtenidos para la cimentación: EDIFICACIONES
Se tomó los datos de las calicatas N°1 a N° 4, para determinar la Capacidad Admisible de Carga, ya que los resultados de los diferentes análisis de las muestras de todas las calicatas son muy cercanos entre sí:

Calicata N°	Pisos	Cimentacion	SUCS	Qad Kg/cm2	Si (cm)	D f (m)	B (m)	Coef. Fricción	Coef. Balasto
C - 1	Dos	Rectangular	SP	1.27	0,310	1.5	1,8	0.35	1.12
	Dos	C. Corridos	SP	1.23	0.184	1.5	0.8	0.35	1.04
C - 2	Dos	Rectangular	SP	1.27	0,310	1.5	1,8	0.35	1.12
	Dos	C. Corridos	SP	1.23	0.184	1.5	0.8	0.35	1.04
C - 3	Dos	Rectangular	SP	1.27	0,310	1.5	1,8	0.35	1.12
	Dos	C. Corridos	SP	1.23	0.184	1.5	0.8	0.35	1.04

Figura 166. Diseño final de las zapatas.

47. **PASO N°47:** Para el cálculo de vigas de cimentación, el software SAFE 2016, proporciona la cantidad de área de acero que requiere la sección. Por lo tanto, para saber la cantidad de varillas que se necesitan, se dividió dicha cantidad requerida entre el área de una varilla.

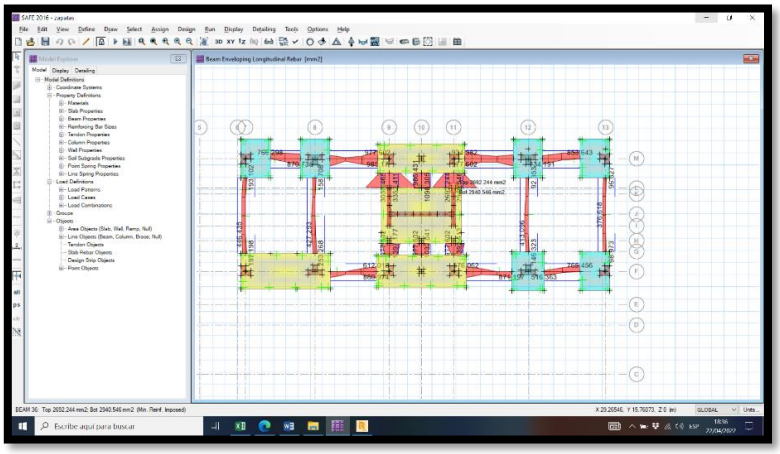


Figura 167. Resultados del análisis para vigas de cimentación.

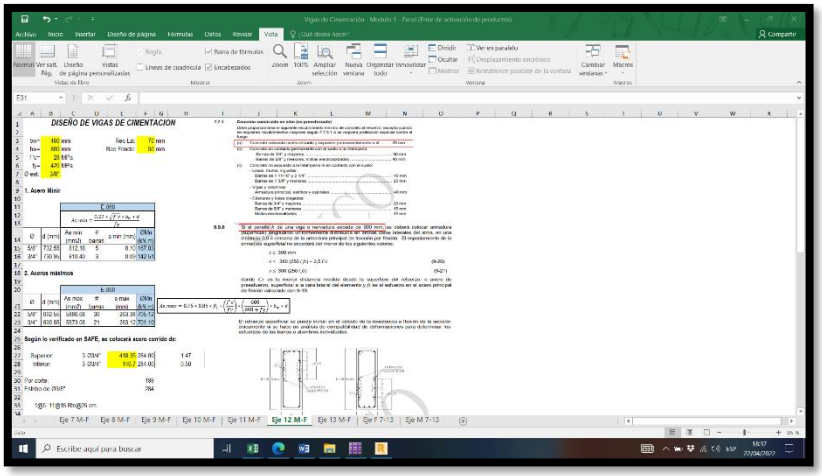


Figura 168. Diseño de vigas de cimentación de manera manual.

E. ELABORACIÓN DE PLANOS ESTRCTURALES

48. PASO N°48: Luego de calcular la cantidad de acero y las secciones que requiere el proyecto se procedió con el modelado mediante el software Revit Structure 2021. En este caso, ya se tenían los ejes y niveles ubicados al crear el archivo central, por eso se comenzó con la creación de las secciones de columnas, vigas, vigas de cimentación, placas y losas.

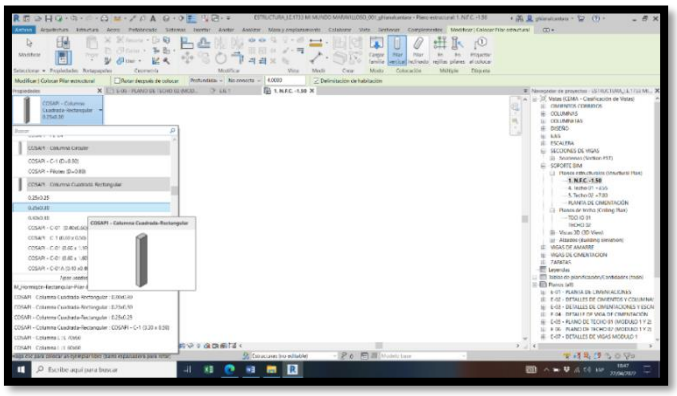


Figura 169. Sobre los ejes importados se empezó a modelas las secciones.

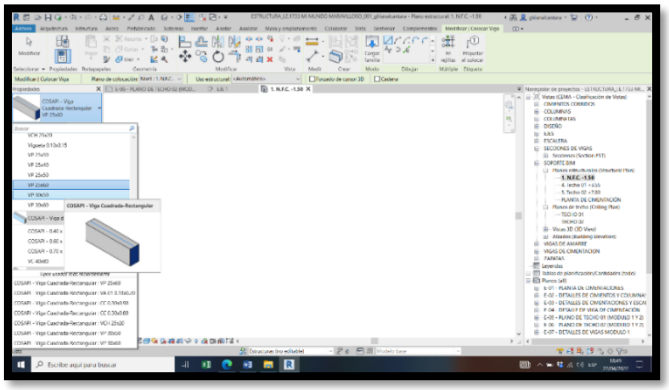


Figura 170. Modelamiento de las secciones.

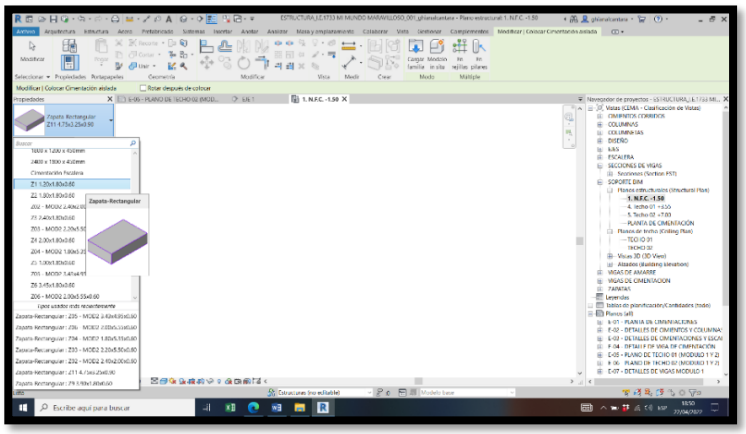


Figura 171. Modelamiento de las secciones.

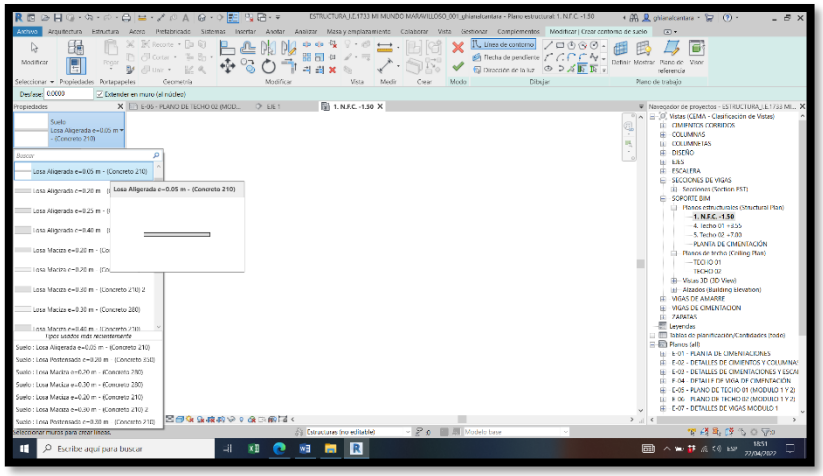


Figura 172. Definición del suelo.

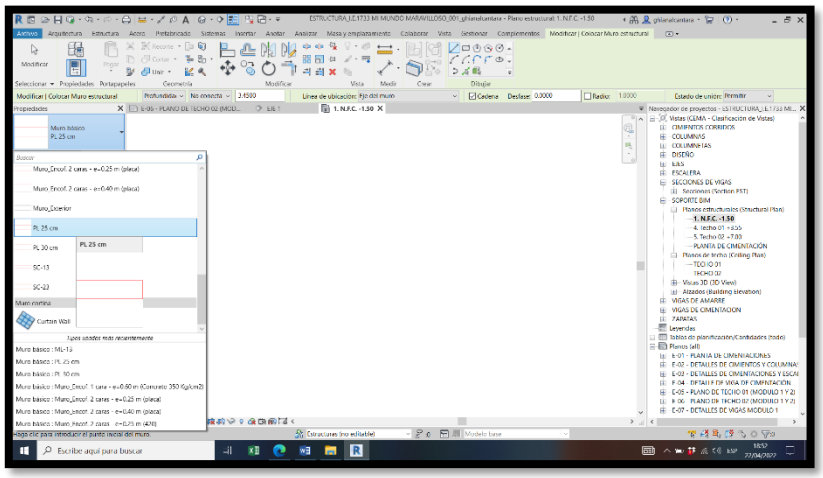


Figura 173. Definición de las placas

49. PASO N°49: Se procedió a modelar la estructura, tanto el concreto como el acero correspondiente. Además, se añadió la tabiquería que irá en el proyecto.

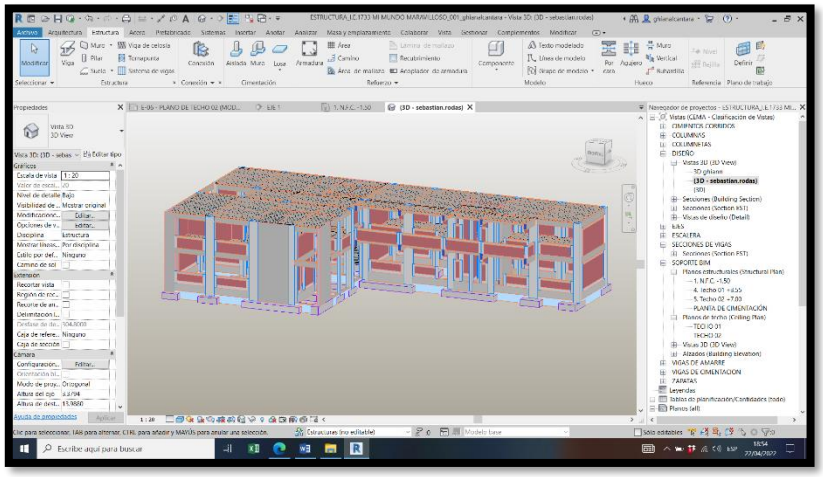


Figura 174. Modelamiento de todos los elementos en Revit.

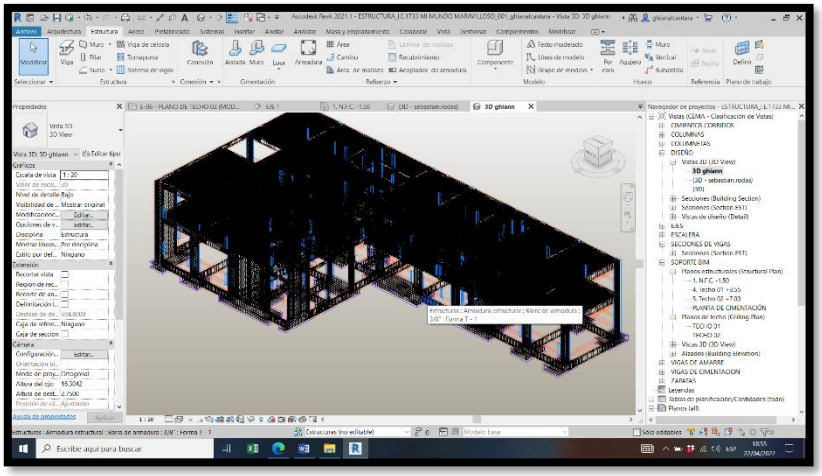


Figura 175. Densidad de acero en el proyecto.

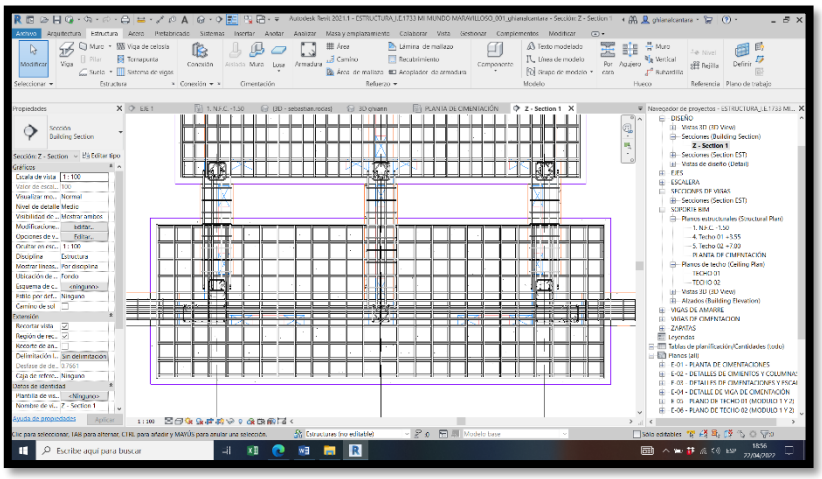


Figura 176. Creación de vistas para elaborar láminas.

50. PASO N°50: Se comenzó a ordenar los planos realizados, añadiendo secciones para mayores detalles.

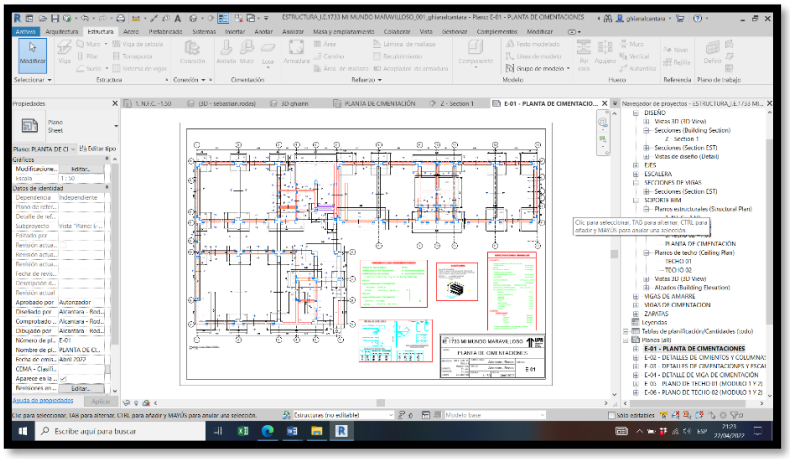


Figura 177. Elaboración de láminas.

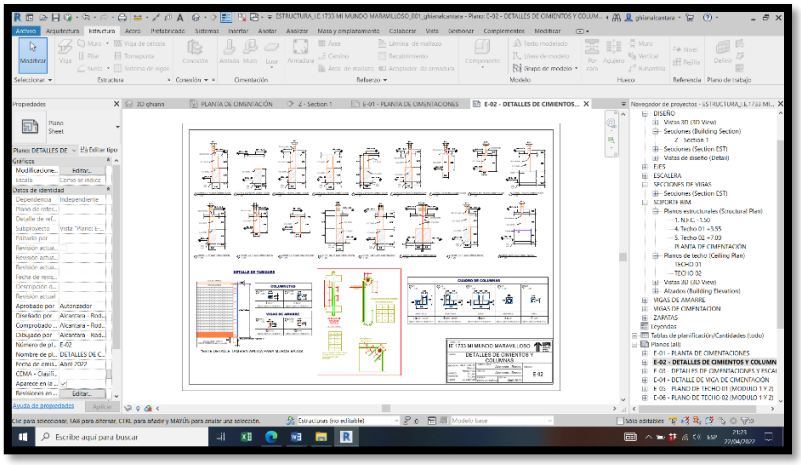


Figura 178. Elaboración de láminas.

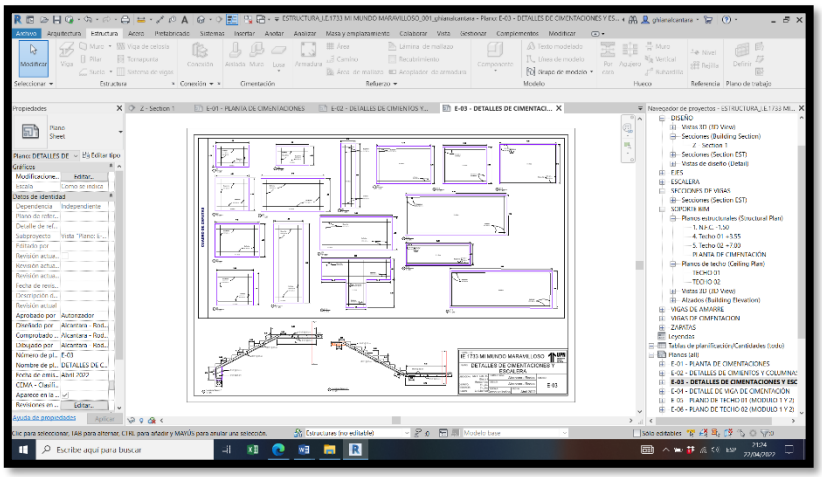


Figura 179. Elaboración de láminas.

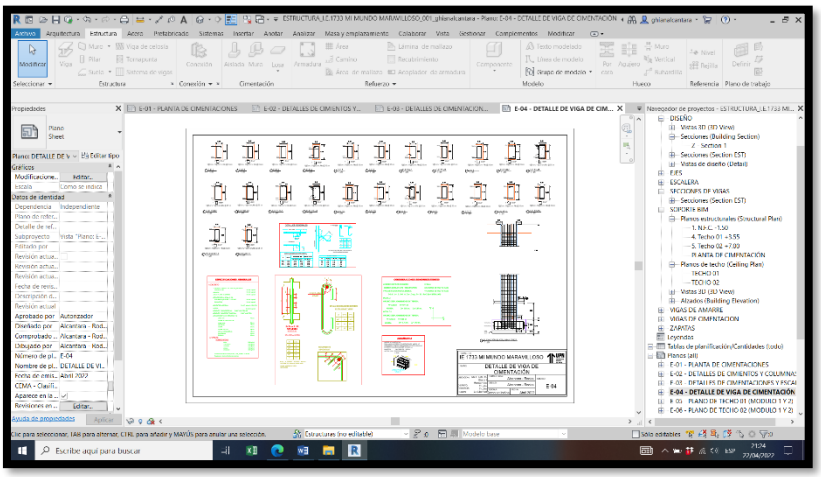


Figura 180. Elaboración de láminas.