

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL ANÁLISIS Y
DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE
CONCRETO ARMADO TACNA, 2022”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. RONALD PHOL ALFONTE CHUCUYA

**TACNA – PERÚ
2022**

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL ANÁLISIS Y
DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE
CONCRETO ARMADO TACNA, 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de Junio de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIA : Mtra. ELIANA NANCY CHAMBILLA VELO

VOCAL : Mtro. WILBER PERCY MENDOZA RAMIREZ

ASESOR : Mrto. EDGAR HIPÓLITO CHAPARRO QUISPE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Ronald Phol Alfonte Chucuya, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 71520499.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: *“Aplicación de la metodología bim en el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado Tacna, 2022”*, la misma que presento para optar: *Título Profesional De Ingeniero Civil*.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

En consecuencia, me hago responsable frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 18 de junio del 2022



Bach. RONALD PHOL ALFONTE CHUCUYA

DNI: 71520499

DEDICATORIA

Esta tesis es para mis padres cuyo amor, paciencia y arduo trabajo me han permitido alcanzar hoy otro sueño, gracias por inculcarme el ejemplo del trabajo y no tener miedo a las adversidades.

A mis hermanos por su amor y apoyo incondicional en todo este proceso, han estado conmigo, gracias. A toda mi familia, por sus consejos y palabras de aliento que me han hecho mejor persona y me han acompañado de alguna manera a alcanzar todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada de Tacna, a toda la Facultad de Ingeniería, a mis maestros que me transmitieron conocimientos y experiencias para mi desarrollo profesional.

De igual manera agradezco al Ing. Edgar Chaparro, colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, permitió el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, a mis padres y hermanos por haber sido mi apoyo durante todo este tiempo de elaboración de mi trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

PAGINA DE JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Justificación e Importancia	3
1.3.1. Desde el Punto de Vista Científico.....	3
1.3.2. Desde el Punto de Vista Social	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Hipótesis	4
1.5.1. Hipótesis General	4
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes del Estudio.....	5
2.1.1. A Nivel Internacional.....	5
2.1.2. A Nivel Nacional	6
2.1.3. A Nivel Regional	7
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Flujo de Trabajo Tradicional.....	8
2.2.2. Building Information Modeling (BIM)	9
2.2.2.1. Roles BIM.	9
2.2.2.1.1. Dirección en BIM.....	9

2.2.2.1.2.	Revisión en BIM.	9
2.2.2.1.3.	Modelación en BIM.	9
2.2.2.1.4.	Coordinación en BIM.	10
2.2.2.1.5.	Gestión en BIM.	10
2.2.3.	Entornos, Plataformas y Herramientas BIM.....	10
2.2.3.1.	Entornos BIM.	10
2.2.3.2.	Plataformas BIM	10
2.2.3.2.1.	Autodesk Revit.	11
2.2.3.3.	Herramientas BIM.....	11
2.2.3.3.1.	Autodesk Robot Structural Analysis Professional.	11
2.2.4.	BIM en la Ingeniería Estructural	12
2.2.4.1.	Flujo BIM para Ingeniería Estructural.....	13
2.2.4.1.1.	Coordinación de Diseño.....	14
2.2.4.1.2.	Interoperabilidad Revit y Robot Structural.....	15
2.2.4.2.	Usos BIM en el Análisis Estructural.	15
2.2.5.	Análisis y Diseño Estructural.	15
2.2.5.1.	Estructuración.....	15
2.2.5.2.	Cargas de Diseño.	16
2.2.5.2.1.	Carga Muerta o Pesos Propios.....	16
2.2.5.2.2.	Cargas vivas o sobrecargas	16
2.2.5.3.	Pre dimensionamiento.....	17
2.2.5.3.1.	Pre dimensionamiento de Aligerado en una Dirección.	17
2.2.5.3.2.	Pre dimensionamiento de losa maciza.....	17
2.2.5.3.3.	Pre dimensionamiento de Vigas principales y secundarias.....	18
2.2.5.3.4.	Pre dimensionamiento de Columnas.....	18
2.2.5.4.	Metrado de Cargas.....	19
2.2.5.4.1.	Metrado de Cargas en Aligerado.....	20
2.2.5.4.2.	Metrado de Cargas en Vigas.....	21
2.2.5.4.3.	Metrado de Cargas en Columnas.....	21
2.2.5.5.	Diseño de Vigas.....	22
2.2.5.6.	Diseño de Losa.....	22
2.2.5.7.	Diseño de Columnas.	22
2.2.5.7.1.	Columnas Cortas.	23
2.2.5.7.2.	Columnas Largas o Esbeltas.....	23
2.2.5.8.	Diseño de Cimentaciones.....	23
2.2.6.	Análisis Sísmico Estático.....	23
2.2.6.1.	Estimación del Peso (P).	23

2.2.6.2.	Fuerza Cortante en la Base.....	24
2.2.6.3.	Zonificación.....	24
2.2.6.4.	Condiciones Geotectónicas.....	25
2.2.6.5.	Parámetros de Sitio (S, TP, TL).	26
2.2.6.6.	Categoría de las Edificaciones.....	27
2.2.6.7.	Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas.....	27
2.2.6.8.	Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura.	27
2.2.6.9.	Periodo Fundamental de Vibración.....	28
2.2.6.10.	Factor de Amplificación Sísmica.	28
2.2.7.	Análisis Sísmico Dinámico Modal Espectral	29
2.2.7.1.	Modos de Vibración.	29
2.2.7.2.	Aceleración Espectral.....	29
2.2.7.3.	Fuerza Cortante Mínima.....	29
2.2.7.4.	Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles.	29
2.3.	Definición de Términos	30
2.3.1.	Interoperabilidad	30
2.3.2.	Trabajo Colaborativo	30
2.3.3.	Modelado BIM.....	30
2.3.4.	Modelo de información	30
2.3.5.	Modelo 3D.....	30
2.3.6.	Elemento BIM	31
2.3.7.	Modelo federado.....	31
2.3.8.	Cargas.....	31
2.3.9.	Cargas de servicio	31
2.3.10.	Carga mayorada	31
2.3.11.	Concreto.....	31
2.3.12.	Concreto estructural	31
2.3.13.	Deriva de piso de diseño	32
2.3.14.	Desplazamiento de diseño	32
2.3.15.	Diafragma estructural	32
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		33
3.1.	Tipo y Nivel del Investigación	33
3.1.1.	Tipo de investigación	33
3.1.2.	Nivel de investigación	33
3.2.	Población y Muestra de Estudio.....	33
3.2.1.	Población	33
3.2.2.	Muestra	33

3.3.	Operacionalización de Variables.....	34
3.4.	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....	35
3.5.	Procesamiento y Análisis de Datos.....	35
3.5.1.	Descripción del Proyecto.....	35
3.5.1.1.	Aspectos Generales.	35
3.5.2.	Antecedentes del Proyecto.....	36
3.5.2.1.	Parámetros del Suelo.	37
3.5.3.	Modelo Arquitectónico	37
3.5.3.1.	Plano Arquitectónico.....	38
3.5.4.	Estructuración	39
3.5.5.	Pre dimensionamiento	40
3.5.5.1.	Pre Dimensionamiento de Losa Aligerada en una Dirección.	40
3.5.5.2.	Pre Dimensionamiento de Vigas.	40
3.5.5.3.	Pre Dimensionamiento de Columnas.....	43
3.5.6.	Metrado de Cargas	46
3.5.6.1.	Metrado de Cargas en Losa aligerada.....	46
3.5.6.2.	Metrado de Cargas en Vigas.....	48
3.5.6.3.	Metrado de Cargas en Columnas.	50
3.5.7.	Criterios de Modelado de Estructuras en Revit.	51
3.5.7.1.	Modelado de Columnas.....	51
3.5.7.2.	Modelado de Vigas.....	52
3.5.7.3.	Modelado de Losas.	52
3.5.8.	Modelo Geométrico y Analítico	53
3.5.9.	Interoperabilidad Revit – Robot Structural	54
3.5.10.	Configuraciones Preliminares en Robot Structural.....	54
3.5.10.1.	Características Estructurales de Losa Aligerada.....	55
3.5.10.2.	Peso y Masa de la Estructura.	55
3.5.11.	Análisis Preliminar de la Estructura.....	56
3.5.12.	Irregularidades de la Estructura	56
3.5.12.1.	Irregularidades de Altura.	56
3.5.12.1.1.	Irregularidad de Rigidez – Piso Blando.	56
3.5.12.1.2.	Irregularidad de masa o peso.	57
3.5.12.1.3.	Irregularidad Geométrica Vertical.....	57
3.5.12.2.	Irregularidad en Planta.	58
3.5.12.2.1.	Irregularidad de Esquinas Entrantes.	58
3.5.12.2.2.	Irregularidad de Discontinuidad del Diafragma.	58
3.5.12.3.	Resumen de Irregularidades de la Estructura.	58

3.5.13.	Análisis Estático en Robot Structural	59
3.5.13.1.	Cálculo de la Córtese Basal.	59
3.5.13.2.	Asignación de Casos de Carga.	60
3.5.14.	Cálculo de Fuerza Sísmica en Altura	61
3.5.14.1.	Aplicación de la Fuerza Sísmica en Altura.....	62
3.5.14.2.	Análisis Modal de la Edificación.	64
3.5.14.3.	Comprobación de la Cortante Basal.	64
3.5.14.4.	Control de Derivas en el Análisis Estático.	66
3.5.15.	Análisis Dinámico Modal Espectral en Robot Structural.....	67
3.5.15.1.	Asignación de Parámetros del Análisis Espectral.....	68
3.5.15.2.	Fuerza Cortante Mínima en la Base.....	70
3.5.15.3.	Control de Derivas en el Análisis Dinámico.	72
3.5.16.	Diseño de los Elementos de Concreto Armado	73
3.5.16.1.	Diseño de losa Aligerada en Robot Structural.	74
3.5.16.2.	Diseño de Viga en Robot Structural.	75
3.5.16.3.	Diseño de Columna en Robot Structural.....	78
3.5.16.4.	Diseño de Zapatas en Robot Structural.	80
3.5.17.	Interoperabilidad Robot Structural – Revit	85
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		86
4.1.	Aplicación de la Metodología BIM	86
4.1.1.	Flujo de Trabajo en el Análisis Estructural.....	86
4.2.	Plataforma y Herramienta BIM	86
4.2.1.	Modelo Geométrico y Analítico	87
4.3.	Coordinación entre Arquitectura y Estructuras	87
4.4.	Análisis Estructural	87
4.4.1.	Resultados del Análisis Estático	88
4.4.2.	Resultados del Análisis Dinámico	88
4.5.	Diseño Estructural	89
4.5.1.	Losa Aligerada	89
4.5.2.	Viga	89
4.5.3.	Columna.....	90
4.5.4.	Zapata	90
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		91
5.1.	Hipótesis General Propuesta.....	91
5.2.	Hipótesis Especifica 1.....	91
5.3.	Hipótesis Especifica 2.....	91
5.4.	Hipótesis Especifica 3.....	91

CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Pesos unitarios	16
Tabla 2.	Cargas vivas para la investigación.....	16
Tabla 3.	Peralte de losa aligerada.....	17
Tabla 4.	Peralte de losa maciza	17
Tabla 5.	Peso de acuerdo a la categoría de la edificación	19
Tabla 6.	Propiedades mecánicas de los materiales.....	19
Tabla 7.	Clasificación de fuerzas que actúan en una estructura	20
Tabla 8.	Estimación del peso.....	24
Tabla 9.	Factores de zona “z”	25
Tabla 10.	Clasificación de los perfiles de suelo.....	26
Tabla 11.	Factor de suelo “s”	26
Tabla 12.	Períodos “tp” y “tl”	26
Tabla 13.	Categoría de edificaciones	27
Tabla 14.	Coeficiente básico de reducción.....	27
Tabla 15.	Límites para la distorsión de entrepiso.....	29
Tabla 16.	Operacionalización de las variables de la investigación.....	34
Tabla 17.	Coordenadas del proyecto.....	37
Tabla 18.	Dimensiones preliminares de vigas, eje y	41
Tabla 19.	Dimensiones preliminares de vigas, eje x	42
Tabla 20.	Dimensiones transversales de viga.....	43
Tabla 21.	Cálculo de peso de servicio.....	44
Tabla 22.	Cálculo del área de columnas	44
Tabla 23.	Dimensiones transversales de columnas.....	45
Tabla 24.	Peso específico de materiales para el proyecto.....	46
Tabla 25.	Cargas repartida para el proyecto	46
Tabla 26.	Peso acumulado nivel de azotea.....	50
Tabla 27.	Peso acumulado nivel típico	51
Tabla 28.	Piso blando x-x.....	56
Tabla 29.	Piso blando y-y.....	57
Tabla 30.	Irregularidad de masa	57
Tabla 31.	Esquina entrantes	58
Tabla 32.	Discontinuidad de diafragma	58
Tabla 33.	Irregularidad en altura.....	59
Tabla 34.	Irregularidad en planta	59

Tabla 35.	Parámetros sísmicos del proyecto.....	60
Tabla 36.	Fuerza sísmica en altura dirección xx	61
Tabla 37.	Fuerza sísmica en altura dirección yy	61
Tabla 38.	Coordenadas adoptadas para el análisis	63
Tabla 39.	Excentricidad accidental y momento torsor - x.....	63
Tabla 40.	Excentricidad accidental y momento torsor - y.....	63
Tabla 41.	Metrado manual de la edificación	65
Tabla 42.	Cálculo del peso del de la estructura	65
Tabla 43.	Control de derivas dirección x	66
Tabla 44.	Control de derivas direccion y	67
Tabla 45.	Aceleración espectral x-y.....	68
Tabla 46.	Comprobación de fuerza cortante mínima	71
Tabla 47.	Factor de escala para la dirección x.....	71
Tabla 48.	Factor de escala para la dirección y.....	72
Tabla 49.	Control de derivas dirección x - dinámico.....	72
Tabla 50.	Control de derivas dirección y - dinámico.....	73
Tabla 51.	Acero para momento negativo de losa.....	74
Tabla 52.	Acero para momento positivo de losa	75
Tabla 53.	Resumen del pre dimensionamiento	87
Tabla 54.	Sección de columnas finales	88
Tabla 55.	Resumen de derivas (análisis estático).....	88
Tabla 56.	Resumen de derivas (análisis dinámico).....	88
Tabla 57.	Acero requerido en losa.....	89
Tabla 58.	Acero requerido en viga.....	89
Tabla 59.	Acero requerido en columna (c-2)	90
Tabla 60.	Acero requerido en zapata.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Funciones que intervienen en un proceso típico de análisis estructural..	8
Figura 2.	Trabajo requerido en relación con el tiempo.....	12
Figura 3.	Trabajo requerido en relación con el tiempo en bim.....	13
Figura 4.	Flujo de trabajo bim para ingeniería estructural.....	14
Figura 5.	Área tributaria en vigas.....	21
Figura 6.	Área tributaria en columnas.....	21
Figura 7.	Zonificación en base a la sismicidad observada.....	25
Figura 8.	Provincias de tacna	36
Figura 9.	Imagen satelital del predio.....	36
Figura 10.	Zonas geotecnicas	37
Figura 11.	Edificio multifamiliar de cinco pisos	38
Figura 12.	Plano arquitectónico planta 1	38
Figura 13.	Plano arquitectónico planta 2	39
Figura 14.	Tipología arquitectónica.....	39
Figura 15.	Sentido de armado de losa aligerada.....	40
Figura 16.	Luz libre de vigas en el eje y	41
Figura 17.	Luz libre de vigas en el eje x	42
Figura 18.	Áreas tributarias de columnas	43
Figura 19.	Ancho tributario de losa aligerada	47
Figura 20.	Ancho tributario en viga	48
Figura 21.	Metrado de carga en columnas	50
Figura 22.	Niveles para el modelado de columnas.....	52
Figura 23.	Modelado de vigas	52
Figura 24.	Modelado de losa estructural.....	52
Figura 25.	Modelo estructural de la edificación	53
Figura 26.	Modelo analítico de la edificación.....	53
Figura 27.	Estructura exportada a robot	54
Figura 28.	Definición de material en robot.....	54
Figura 29.	Definición de propiedades de losa	55
Figura 30.	Asignación de peso propio sobre la estructura	55
Figura 31.	Casos de carga del proyecto	61
Figura 32.	Coordenadas del centro de masa de cada nivel.....	62
Figura 33.	Análisis modal	64
Figura 34.	Fuerzas actuantes en dirección x.....	64
Figura 35.	Fuerzas actuantes en dirección y	65

Figura 36.	Derivas dirección x.....	66
Figura 37.	Derivas dirección y.....	67
Figura 38.	Asignación de análisis modal	69
Figura 39.	Definición de espectro de diseño.....	69
Figura 40.	Conversión de cargas a masa	70
Figura 41.	Fuerza cortante x – análisis dinámico	70
Figura 42.	Fuerza cortante y – análisis dinámico	71
Figura 43.	Derivas dirección x - dinámico.....	72
Figura 44.	Derivas dirección y – dinámico	73
Figura 45.	Momentos de losa aligerada: 1er, 2do, 3ro y 4to nivel	74
Figura 46.	Selección de la viga del eje 1-3 y eje c-c	75
Figura 47.	Selección de combinaciones de carga en viga	76
Figura 48.	Opciones de calculo para viga.....	76
Figura 49.	Disposición de armaduras en vigas.....	77
Figura 50.	Generación de armado en viga	77
Figura 51.	Disposición de acero en viga propuesto por robot.....	78
Figura 52.	Selección de columna del eje 3-c.....	78
Figura 53.	Selección de combinaciones de carga en columnas	78
Figura 54.	Opciones de calculo para columna	79
Figura 55.	Disposición de armaduras en columnas.....	79
Figura 56.	Generación de armado en columna	80
Figura 57.	Disposición de acero en columna propuesto por robot.....	80
Figura 58.	Selección del nudo de ejes 2-e.....	81
Figura 59.	Asignación de combinaciones manuales en zapata	81
Figura 60.	Configuración dimensional de la zapata.....	82
Figura 61.	Opciones de cálculo en zapata.....	82
Figura 62.	Disposición de armaduras en zapata	83
Figura 63.	Parámetros de suelo en zapata.....	83
Figura 64.	Opciones geotécnicas en zapata.....	84
Figura 65.	Generación armado en zapata	84
Figura 66.	Disposición de acero en zapata.....	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de consistencia	97
Anexo 2.	Vinculación de arquitectura a estructuras	99
Anexo 3.	Interoperabilidad revit y robot structural	102
Anexo 4.	Interoperabilidad robot structural y revit	104
Anexo 5.	Planos estructurales del proyecto.....	106

RESUMEN

El creciente desarrollo de proyectos de ingeniería, requieren de nuevas metodologías y flujos de trabajo, que sean más eficientes, precisos y competitivos en el campo de la ingeniería estructural; uno de los métodos de vanguardia que suple estos requerimientos es la metodología BIM (Building Information Modeling). Esta metodología emplea un modelo inteligente, que permite el intercambio y coordinación de información entre las distintas especialidades involucradas en un proyecto. En tal sentido la presente investigación implementa la metodología BIM en el proceso de análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado de 5 niveles en la ciudad de Tacna, desarrollando un flujo de trabajo con la plataforma Revit y la herramienta Robot Structural. Con el fin de mejorar la productividad, coordinación y disminución de tiempo en el diseño estructural.

Palabras Claves: BIM, Ingeniería Estructural, Análisis estructural, Revit, Robot Structural.

ABSTRACT

The increasing development of engineering projects requires new methodologies and workflows that are more efficient, accurate and competitive in the field of structural engineering; one of the state-of-the-art methods that meets these requirements is the BIM (Building Information Modeling) methodology. This methodology uses an intelligent model, which allows the exchange and coordination of information between the different specialties involved in a project.

In this sense, this research implements the BIM methodology in the structural analysis and design process of a 5-story reinforced concrete building in the city of Tacna, developing a workflow with the Revit platform and the Robot Structural tool. In order to improve productivity, coordination and time reduction in the structural design.

Keywords: BIM, Structural Engineering, Structural Analysis, Revit, Robot Structural.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en nuestro país se está adoptando e implementando la metodología Building Information Modeling (BIM), en el área de la ingeniería civil, arquitectura y construcción. Esta metodología “consiste en un trabajo colaborativo en un espacio virtual (modelo de información)” (Planbim Chile, 2019) entre las distintas especialidades que integran un proyecto de construcción.

La aplicación de BIM en la ingeniería estructural “ofrece la capacidad de integrar objetos inteligentes en el modelo, estos objetos contienen datos relacionados a un componente estructural, desde las características geométricas hasta la forma en que interaccionan con otros componentes” (Bhusar & Akhare, 2014). En este contexto BIM viene a replantear la manera de realizar el diseño estructural tradicional, lo que permite optimizar el diseño, los procesos del modelado y el análisis estructural.

Para aplicar BIM en el proceso de diseño estructural juega un papel importante la aplicación de herramientas de modelado asistidas por computadora, programas que dispongan un intercambio de datos entre sí, a esta característica se le conoce como interoperabilidad.

El propósito de esta tesis es emplear la metodología BIM aplicada a la ingeniería estructural; para una mayor productividad, coordinación y resolución de problemas al momento de analizar y diseñar sísmicamente una edificación de concreto armado, a través de la utilización de los programas Autodesk Revit y Autodesk Robot Structural Analysis Professional, las cuales se caracterizan por tener un vínculo bidireccional.

La presente tesis se compone por capítulos que se describen a continuación, en el Primer capítulo se presenta el planteamiento del problema, se realiza la descripción, formulación del problema así también justificación e importancia, los objetivos de la investigación e hipótesis. El Segundo capítulo muestra los antecedentes del estudio, las bases teóricas para la elaboración de la investigación y definición términos. Por otra parte, tenemos el Tercer capítulo en el cual se indica el marco metodológico, el tipo y nivel de investigación, población y muestra de estudio, la operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procesamientos y análisis de datos. Cuarto capítulo, describe los resultados y finalmente en el Quinto capítulo se presenta la discusión de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

En nuestro país la aplicación de BIM en la Ingeniería Civil no es muy aplicada en la formulación de proyectos, conllevando a distintos problemas como la escasa coordinación entre especialidades, errores de diseño y demás, debido a esto es importante que los ingenieros civiles tengan una adecuada capacidad para realizar un proyecto aplicando la metodología BIM.

La utilización de BIM es aplicable a cada rama de la ingeniería; la especialidad de estructuras no es ajena a esta implementación, de manera que el análisis y diseño estructural de una edificación presente menos discrepancias al momento de la construcción. Para poder realizar este aspecto es importante la utilización de herramientas que cumplan la metodología BIM.

La relevancia que tiene el uso de las herramientas BIM en el análisis y diseño estructural de una edificación forma parte fundamental para una adecuada coordinación de las distintas especialidades del proyecto y optimización en el proceso de diseño.

En el proceso de análisis y diseño estructural de una edificación se ve muy beneficiada con la incorporación de información de las demás especialidades, en consecuencia, la calidad del producto se verá reflejada en la documentación y construcción de la edificación.

Toda edificación debe ser diseñada para resistir todo tipo de solicitaciones, una de las estructuras que requieren el diseño bajo estas solicitudes son las edificaciones de gran altura, puesto que estas requieren una estabilidad adecuada y así evitar pérdidas humanas.

Sin embargo, debido a la falta de implementación y aplicación de la metodología BIM en la ingeniería estructural; se ha realizado el análisis y diseño estructural de una edificación multifamiliar de cinco pisos con los programas Revit y Robot Structural en sus versiones 2021, en la ciudad de Tacna.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. *Problema General*

¿Cómo aplicar la metodología BIM en el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cómo se realiza el modelo de información en el proceso de análisis estructural de una edificación de concreto armado?
- b. ¿Cómo realizar el proceso de coordinación entre las especialidades de arquitectura y estructura en el análisis y diseño de una edificación de concreto armado?
- c. ¿Cómo realizar el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado con los programas Revit y Robot Structural?

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Desde el Punto de Vista Científico

El uso de la metodología BIM es eficiente para la construcción de una edificación porque “genera un modelo por computadora para simular la planificación, diseño, construcción y operación del proyecto de construcción, de manera que el producto resultante es una representación digital rica en datos, inteligente y paramétrica” (Sampaio, 2017), es por ello que esta investigación permitirá conocer el proceso de análisis y diseño de una edificación aplicando la metodología BIM.

1.3.2. Desde el Punto de Vista Social

La investigación beneficiara a todos aquellos involucrados en el sector de la construcción así mismo con la ciudadanía puesto que “la utilización de BIM permite simplificar y visualizar la intención del diseño, resaltar los riesgos potenciales y articular las medidas que se implementarán para minimizar los impactos negativos o interrupciones” (Guía Nacional BIM, 2021).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Aplicar la metodología BIM en el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Realizar el modelo de información en el proceso de análisis estructural de una edificación de concreto armado.

- b. Realizar el proceso de coordinación entre las especialidades de arquitectura y estructura en el análisis y diseño de una edificación de concreto armado.
- c. Analizar y Diseñar una edificación de concreto armado con los programas Revit y Robot Structural.

1.5. Hipótesis

1.5.1. *Hipótesis General*

La aplicación de la metodología BIM optimiza el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.

1.5.2. *Hipótesis Específicas*

- a. La generación del modelo de información en el proceso de diseño estructural optimiza el tiempo de trabajo.
- b. La coordinación entre especialidades de arquitectura y estructuras reduce incompatibilidades del proyecto.
- c. Los programas Revit y Robot Structural mejoran el proceso de análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. *A Nivel Internacional*

Villena (2017) desarrollo la investigación titulada “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 análisis” (bim)”, tesis que tiene por finalidad brindar los resultados obtenidos en base a un estudio comparativo de la modelación y análisis de una edificación con softwares basados en el sistema BIM. Para el estudio se planteó una propuesta arquitectónica, la cual va a ser objeto de análisis y diseño estructural, se tomó como primer software a “REVIT”, con el cual se modelo los elementos principales de la estructura, luego se transfirió la estructura al software “ROBOT ESTRUCTURAL ANALYSIS” y de esa manera dar veracidad y factibilidad del uso del sistema BIM para la ayuda en el análisis y modelamiento estructural.

Según, Mauricio (2013) desarrollo la investigación titulada “Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM”, tesis que tiene por finalidad de la aplicación de modelos BIM en el análisis y diseño estructural. Para este fin realizo el modelo conceptual cuyo modelo considera el arreglo de los elementos estructurales posteriormente se procedió al modelaje computacional de la estructura para el respectivo análisis y diseño estructural. En donde se llegó a la conclusión de la integración de la información de un proyecto en un modelo BIM trae consigo una reducción muy importante en el consumo de recursos humanos y materiales, asignados para revisión de planos e información, debido a la actualización inmediata de información en el modelo.

Analogamente, Hunt (2013) desarrollo la investigación titulada “The Benefits of Using Building Information Modeling in Structural Engineering”, tesis que tiene la finalidad la aplicabilidad de BIM en la ingeniería estructural y como este impacta en el diseño estructural y su flujo de trabajo, para lo cual se analizo el estado de BIM en estructuras ofreciendo una visión general de cómo las empresas de arquitectura, ingeniería y construcción lo están aplicando en sus proyectos. Por consiguiente se obtuvo que el uso de BIM aumenta la productividad en el diseño estructural así mismo se mostro como funciona la conexión entre el programa BIM y el programa de análisis estructural (RISA).

2.1.2. A Nivel Nacional

Atto & Estrella (2019) desarrollaron la investigación titulada “Diseño estructural mediante el Software “Autodesk Robot Structural Analysis” para la ampliación del Hotel Cielo, Tarapoto 2019” tesis que tiene por objetivo determinar si una edificación destinada a albergar personas por un tiempo limitado podía aprovechar el espacio aéreo y crecer verticalmente. Para el modelamiento y el análisis se hizo uso de la herramienta digital Autodesk Robot Structural Analysis, y para el procesamiento de los datos se requirió de hojas de cálculo en Microsoft Excel. Se encontraron datos favorables para la concepción de un edificio con una altura considerable, tales como resistencias a la compresión superiores a los especificados inicialmente, sin embargo, el análisis sísmico dio por evidenciar que la configuración estructural discontinua, juega en contra de generar condiciones que permitan la obtención de valores dentro de lo indicado en el RNE.

Huaccha & Salluca (2019) desarrollaron la investigación titulada “Desarrollo de protocolos de interoperabilidad BIM estructural para proyectos de edificación” tesis que tiene por finalidad desarrollar un proceso de comunicación a través de protocolos bajo el enfoque OpenBIM que permita y garantice la interoperabilidad BIM estructural entre sistemas ajenos para proyectos de edificación en el Perú, para lo cual se investigó los estándares de modelado en BIM y la utilización del formato IFC puesto que este hace posible la comunicación de información o interoperabilidad entre diferentes softwares. En consecuencia, se constató que la exportación IFC de entidades estructurales por los softwares heterogéneos presentan un desorden en alguna conformación de esta, específicamente en Sap2000 y Etabs.

Vera (2018) desarrollo la investigación titulada “Confiabilidad estructural del modelado S-BIM para un edificio de albañilería confinada de 04 pisos” tesis que tiene por finalidad aplicar la metodología BIM en los proyectos de construcción, para lo cual se presenta una metodología para evaluar la confiabilidad de los modelos de cálculo del proyecto escogido. El resultado obtenido para el control del comportamiento sísmico de los modelos 1, 2 y 3 son muy similares como el peso sísmico de la estructura y la fuerza cortante basal. Esto valida los cálculos sísmicos realizados por ETABS y ARSAP, al igual que también valida la transferencia de información de cargas y de las propiedades mecánicas de los materiales desde Revit a ARSAP.

2.1.3. A Nivel Regional

Condori (2020) desarrollo la investigación titulada “Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna” tesis que tiene por finalidad determinar el análisis y diseño estructural de un edificio de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM, Donde se empleó una metodología de tipo exploratorio – descriptivo. Finalmente se logró determinar que la implementación de la metodología BIM permite un mayor control en la etapa de diseño.

Según, Choquesa (2019) desarrollo la investigación titulada “Mejora de la productividad en proyectos de edificación mediante el sistema de gestión BIM-LEAN” tesis que tiene por finalidad comparar dos formas de gestionar la productividad en obras de edificación; el sistema tradicional y un sistema fusionado con dos metodologías modernas para la gestión de la construcción BIM y la filosofía Lean Construction. El Sistema de Gestión BIM-LEAN consiste en el desarrollo de un plan de productividad, en las siguientes etapas; planificación, ejecución, control y retroalimentación. En cada etapa se desarrolló las metodologías y/o técnicas como; modelo BIM, sectorización BIM, tren de actividades, Lookahead, plan semanal, PAC, restricciones, plan general, dimensionamiento de cuadrilla, control de avances BIM, entre otros, cuya aplicación facilitó información documentada y estas al ser procesadas. Se obtuvo resultados favorables para la mejora de la productividad, de este modo se evitó y disminuyó sobrecostos, retrasos y deficiencia en la calidad del producto final.

De igual manera Apaza (2015) en la investigación titulada “Aplicación de metodología BIM para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna” tesis que tiene por finalidad realizar un aporte para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna mediante el uso de la metodología BIM, para ello se presenta el diagnóstico situacional de las metodologías BIM tanto en el Perú como en el mundo El procesamiento de datos explica todos los pasos que se siguieron para la elaboración del modelo BIM, desde la recolección de la información hasta la elaboración del modelo integrado. Se analizan los resultados obtenidos de las metodologías BIM y la influencia que tienen en la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna, finalmente se llega a la conclusión que las metodologías BIM mejoran la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna.

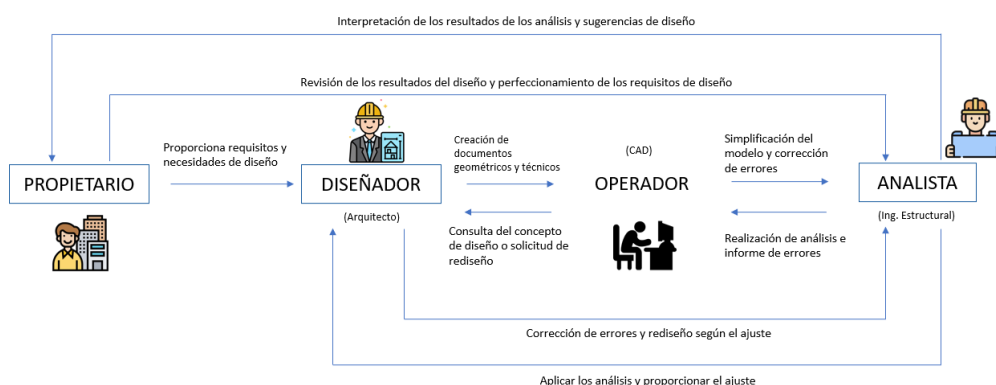
2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Flujo de Trabajo Tradicional

Chi et al. (2015) El análisis estructural convencional implica diferentes roles profesionales, como se muestra en la Figura 1, e incluye propietarios, diseñadores, operadores y analistas. Una vez que los propietarios han especificado sus requisitos de diseño, los diseñadores, generalmente arquitectos, deben modelar la apariencia de las soluciones de diseño en términos de principios artísticos, geométricos y espaciales. Luego, los modelos diseñados se someten a un proceso de simplificación para preservar los significados estructurales, como componente de carga y conexiones de juntas, para el análisis estructural correspondiente.

Figura 1

Funciones que Intervienen en un Proceso Típico de Análisis Estructural



Nota. Modificado de BIM-enabled structural design.

Estos son pasos de pre procesamiento para el análisis estructural. Los operadores deben recopilar los modelos y documentos técnicos de los diseñadores y ocasionalmente consultar con los diseñadores para obtener conceptos de diseño y corregir errores. Una vez que los operadores han terminado de transformar el modelo, los analistas realizarán los cálculos de matriz y los pasos de pos procesamiento del análisis estructural. Mientras tanto, El analista debe cooperar con los diseñadores y operadores si se encuentran problemas de diseño durante los procesos de análisis. Se mostrarán los resultados de las soluciones de diseño con respecto a la estabilidad y la confiabilidad, y los analistas deberán interpretarlos y hacer recomendaciones para la modificación al diseñador o propietario, cuando los

resultados no cumplan con sus requisitos. Estos representan trabajos clave para determinar la calidad de un diseño final y la satisfacción del propietario.

2.2.2. Building Information Modeling (BIM)

BuildingSMART (2021) Es el uso de una representación digital compartida (modelo de información) de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable para la toma de decisiones.

2.2.2.1. Roles BIM.

Planbim Chile (2019) Un Rol BIM es una función que se ejerce en alguna etapa de la planificación, diseño, construcción y/u operación de una edificación o infraestructura, en base a capacidades BIM que se suman a las capacidades no referidas a BIM.

2.2.2.1.1. Dirección en BIM.

Planbim Chile (2019) Lidera y fomenta la implementación de BIM en una organización, de acuerdo a las necesidades, estrategias y toma de decisiones relativas a proyectos e inversiones, según la etapa del ciclo de vida del proyecto (idea, diseño, construcción y operación).

2.2.2.1.2. Revisión en BIM.

Planbim Chile (2019) Visualiza y verifica la información (geometría y datos) de los modelos desarrollados en BIM, según la etapa del ciclo de vida del proyecto (idea, diseño, construcción y operación).

2.2.2.1.3. Modelación en BIM.

Planbim Chile (2019) Desarrolla modelos BIM de proyectos según la especialidad, utilizando diferentes tipos de representación y extracción de la documentación técnica de ellos. Domina el intercambio de la información en diferentes formatos. Modela los elementos agregando o actualizando la información requerida. Usa y crea nuevas entidades.

2.2.2.1.4. Coordinación en BIM.

Planbim Chile (2019) Desarrolla el proceso de integración y flujo de información entre los diferentes actores según la etapa de un proyecto. Valida e integra modelos de distintas especialidades, prever conflictos y conciliar soluciones. Comunicarse con los especialistas para recopilar información y asegurar la correcta modelación del diseño.

2.2.2.1.5. Gestión en BIM.

Planbim Chile (2019) Lidera la planificación, desarrollo y administración de los RRHH y tecnológicos para la implementación y actualización de la metodología BIM en una organización, un proyecto o en la administración de un activo. Define el entorno de modelación, los estándares que se usarán, los modelos que se crearán, cómo se vincularán entre sí, cómo se ordenará y organizará la información en los modelos, la configuración de la infraestructura de TI y los protocolos de comunicación.

2.2.3. Entornos, Plataformas y Herramientas BIM

2.2.3.1. Entornos BIM.

Sacks et al. (2011) Conjunto de aplicaciones BIM que se interconectan para dar soporte a múltiples conductos de información y procesos en un proyecto, una organización o un sector de la construcción local. Los entornos BIM engloban las distintas herramientas, plataformas, servidores, bibliotecas y flujos de trabajo BIM dentro del proyecto o la organización.

2.2.3.2. Plataformas BIM

Sacks et al. (2011) Un núcleo generador de información BIM con funciones para mantener la integridad de un modelo basado en la capacidad de modelado paramétrico y basado en objetos. Proporciona un modelo de datos primario que alberga la información de varias aplicaciones BIM. Por lo tanto, se necesitan fuertes capacidades de interoperabilidad, y normalmente incorporan interfaces a otras múltiples herramientas con diversos niveles de integración.

Las aplicaciones BIM paramétricas basadas en objetos generalmente conocidas, como Revit, ArchiCAD, Tekla Structures, Vectorworks, Bentley AECOSim y Digital Project, entran en esta categoría. La mayoría de las plataformas BIM

incluyen funciones de herramientas integradas, como la renderización, la creación de dibujos y la detección de colisiones. La mayoría de las plataformas proporcionan diferentes conjuntos de interfaces, bibliotecas y funciones para diferentes oficios. Algunos ejemplos son Revit Structure, ArchiCAD MEP y los diferentes bancos de trabajo en Digital Project.

2.2.3.2.1. Autodesk Revit.

López (2015) Revit es un programa dirigido a profesionales de la construcción: arquitectos, ingenieros, jefes de obra, contratistas, subcontratistas, fabricantes, interioristas, diseñadores de interiores, desarrolladores y propietarios.

El modelo de Revit se basa en una base de datos cualificada y cuantificada. Cualificada dado que las piezas intermedias del modelo están compuestas por diferentes materiales y están clasificadas en diferentes sistemas constructivos. Cuantificada porque Revit obtiene valores reales para las cantidades de elementos que intervienen, como los materiales o los tipos de familia.

2.2.3.3. Herramientas BIM

Sacks et al. (2011) Una herramienta BIM tiene la posibilidad de emitir, recepcionar y procesar información BIM utilizado dentro de un proceso BIM. Herramientas como AutoCAD, herramientas de ingeniería basadas en Excel también pueden considerarse herramientas BIM en la medida en que se utilicen en el contexto de un proceso BIM.

Así mismo Kumar (2021) menciona que para una integración de datos y una implementación BIM exitosa, los paquetes de software utilizados para los ingenieros estructurales deben poder intercambiar datos de manera efectiva con las plataformas BIM.

2.2.3.3.1. Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

Villarroel (2016) Autodesk Robot Structural Analysis Professional (ARSAP) es un programa gráfico integrado que se usa para modelación, análisis y diseño de varios tipos de estructuras. El programa permite al usuario crear una estructura, realizar cálculos estáticos y dinámicos para luego verificar los resultados. Además, es posible determinar el dimensionamiento de los elementos que componen la estructura en base a diferentes normativas y crear la documentación correspondiente.

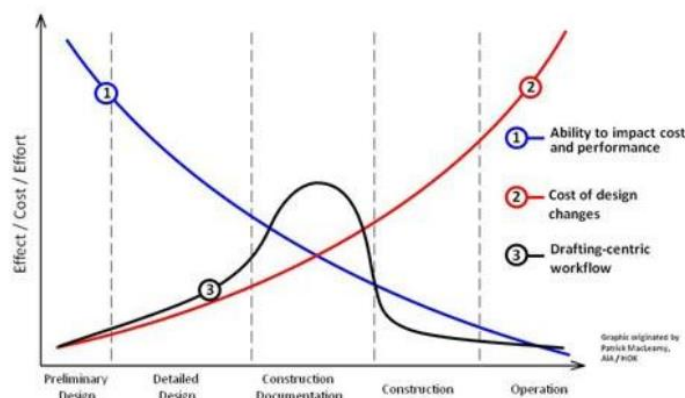
2.2.4. BIM en la Ingeniería Estructural

Bhusar & Akhare (2014) Para entender cómo se aplica BIM en Ingeniería Estructural primero debemos ver al proceso de diseño centrado en el dibujo 2D, Este proceso comienza con el diseño preliminar, continua con el diseño detallado y luego con la documentación de construcción. Cada paso se completa antes de que comience el siguiente, y la colaboración es muy limitada.

Este proceso funciona bien hasta que necesita realizar cambios inevitables en su diseño, los cuales generan momentos en el que se requieren actualizaciones que consumen mucho tiempo y son propensas a errores.

Figura 2

Trabajo Requerido en Relación con el Tiempo



Nota. Extraído de application of BIM in structural engineering.

La Figura 2 muestra el nivel de esfuerzo requerido durante la vida de un proyecto de diseño estructural típico. La línea azul indica la capacidad del ingeniero civil para influir en los costos y el rendimiento del proyecto durante el ciclo de vida del proyecto puesto que es máxima durante el diseño preliminar, pero disminuye drásticamente a medida que avanza el proyecto.

La línea roja muestra como el costo de realizar y ejecutar cambios de diseño es bajo durante el diseño preliminar, pero aumenta considerablemente durante el proyecto.

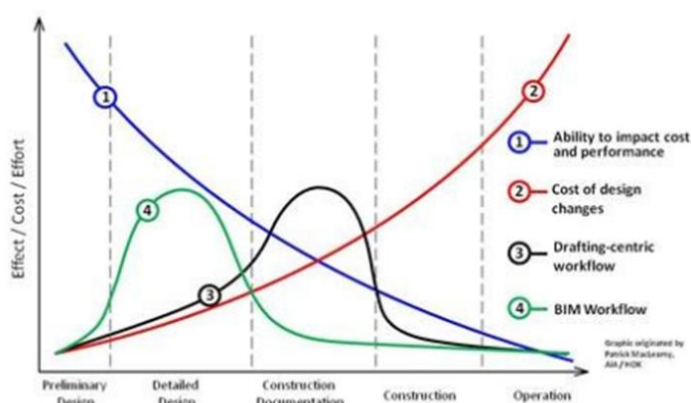
Por último, la línea negra ilustra donde los ingenieros civiles y los diseñadores gastan más esfuerzo y recursos con un proceso centrado en el dibujo, durante la fase de documentación de la construcción.

El problema de esta imagen es que el pico del esfuerzo (línea negra) coincide con un punto del proyecto en que la capacidad del ingeniero para influir en el rendimiento del proyecto está disminuyendo y el costo de realizar cambios en el diseño está aumentando.

Con BIM referenciando los planos de arquitectura sigue siendo el primer paso. Pero en lugar de crear varios modelos, solo hay un modelo, un único modelo estructural integrado que incluye tanto una representación física que impulsa la documentación y la coordinación como una representación analítica utilizada para múltiples análisis (Figura 3).

Figura 3

Trabajo Requerido en Relación con el Tiempo en BIM



Nota. Extraído de application of BIM in structural engineering.

La línea verde de la figura demuestra que, al conectar dinámicamente el diseño, el análisis y la documentación en un flujo de trabajo BIM, la mayor parte del esfuerzo en un proyecto de diseño estructural se vuelve a trasladar a la fase de diseño detallado cuando la capacidad de afectar el rendimiento del proyecto es alta y el costo de hacer cambios de diseño es bajo.

Esto permite a los ingenieros dedicar más tiempo a evaluar escenarios hipotéticos para optimizar el diseño y menos tiempo a generar documentación de construcción.

2.2.4.1. Flujo BIM para Ingeniería Estructural.

Fink (2018) El flujo de trabajo BIM en la ingeniería estructural no es muy distinta a uno tradicional, la diferencia radica en la elaboración inicial de un modelo

virtual (Figura 4), el cual se perfecciona durante el tiempo; este modelo se puede utilizar para el diseño estructural, construcción y facturación.

Figura 4

Flujo de Trabajo BIM para Ingeniería Estructural



Nota. Extraído de BIM technology foundations and industry practice.

2.2.4.1.1. Coordinación de Diseño.

Mehrbod et al. (2019) La necesidad de comprender la coordinación de un proyecto de construcción es fundamental, ya que el proceso motiva y determina cómo los profesionales interactúan con la información de diseño y qué secuencia de acciones son necesarias para resolver los problemas de diseño. Nos referimos a la coordinación de diseño como la coordinación de los sistemas de construcción en la que se define su ubicación y los componentes de los sistemas de construcción se enrutan para evitar interferencias y cumplir con diversos criterios de diseño y operación.

En un entorno tradicional, el diseño suele coordinarse mediante una inspección visual, en la que se comparan gráficos 2D y se identifican posibles conflictos. Este proceso es ineficiente y propenso a errores y, como resultado, muchos conflictos a menudo pasan desapercibidos y deben abordarse en el campo donde es costoso e ineficiente. Por otro lado, BIM simula el proyecto de construcción en un entorno virtual. Con BIM, un modelo virtual preciso de un edificio, que contiene geometría exacta y los datos relacionados necesarios para respaldar las actividades

de diseño, adquisición, fabricación y construcción para construir el edificio. Muchos beneficios de BIM, incluida la visualización, revisiones de código, secuenciación de construcción, y la detección de conflictos son muy valorados para la coordinación del diseño de edificios.

2.2.4.1.2. Interoperabilidad Revit y Robot Structural.

Autodesk (2015) El vínculo bidireccional entre el software Revit y Robot Structural Analysis Professional permite agregar herramientas relacionadas con el análisis e información al modelo de Revit, y a partir de este se use directamente para el análisis en Robot Structural Analysis Professional y luego se actualice el modelo de Revit en función de los resultados del análisis estructural. Revit no solo genera un modelo geométrico, en paralelo se crea un modelo analítico de los elementos modelados. Gracias a esta posibilidad el ingeniero estructural modela el diseño físico como el analítico simultáneamente en el programa Revit.

2.2.4.2. Usos BIM en el Análisis Estructural.

Chi et al. (2015) Las aplicaciones actuales de diseño estructural habilitadas para BIM se puede clasificar en los siguientes temas: base de datos de construcción parametrizada, visualización y modelado interactivo, interfaz de comunicación uniforme y evaluación de sostenibilidad y verificación de códigos.

2.2.5. Análisis y Diseño Estructural.

2.2.5.1. Estructuración.

La estructuración en diseño de concreto armado es la disposición y orden de los elementos estructurales que componen una edificación.

Blanco (1998) Cuanto más complicada es una estructura, más difícil será predecir su comportamiento sísmico, por consiguiente, se recomienda que la estructura sea lo más simple y limpia posible para que las idealizaciones requeridas para su análisis sísmico sean lo más cercanas posibles a la estructura real.

2.2.5.2. Cargas de Diseño.

2.2.5.2.1. Carga Muerta o Pesos Propios.

Según la NTP E.020 (2006) se considerará el peso real de los materiales que conforman y de los que deberán soportar la edificación calculados en base a los pesos unitarios (Tabla 1), a continuación, se presentan los pesos unitarios requeridos para la investigación:

Tabla 1

Pesos Unitarios

Materiales	Peso (kg-f/m ³)
Albañilería de:	
Unidades de arcilla cocida sólidas	1800
Unidades de arcilla cocida huecas	1350
Concreto Simple de:	
Grava	2300
Concreto Armado:	
Añadir 100 al peso del concreto simple	2400

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.020.

2.2.5.2.2. Cargas vivas o sobrecargas

Así mismo la NTP E.020 (2006) establece los valores mínimos de sobrecargas según los diferentes tipos de ocupación o uso (Tabla 2), valores que incluyen un margen para condiciones ordinarias de impacto.

Tabla 2

Cargas Vivas para la Investigación

Ocupación o Uso	Cargas Repartidas (kg-f/m ²)
Viviendas	200
Corredores	200
Escaleras	200

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.020.

2.2.5.3. Pre dimensionamiento.

El pre dimensionamiento es el conjunto de cálculos que permite obtener dimensiones tentativas de los distintos elementos estructurales de una edificación “este cálculo consiste en su verificación y ajuste iterativo” (Monfort Leonart, 2006). Este proceso ayuda a evaluar inicialmente el comportamiento de la estructura para luego obtener las dimensiones finales de los elementos estructurales bajo las cargas requeridas.

2.2.5.3.1. Pre dimensionamiento de Aligerado en una Dirección.

Blanco (1998) El peralte de las losas aligeradas podrá ser dimensionado considerando los siguientes criterios (Tabla 3).

Tabla 3

Peralte de Losa Aligerada

Peralte	Condición
h = 17 cm	Luces menores de 4 m
h = 20 cm	Luces comprendidas entre 4 y 5,5 m
h = 25 cm	Luces comprendidas entre 5 y 6,5 m
h = 30 cm	Luces comprendidas entre 6 y 7,5 m

Nota. Extraído de estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado.

2.2.5.3.2. Pre dimensionamiento de losa maciza

Así mismo Blanco (1998), las losas macizas pueden ser dimensionadas en forma aproximada considerando espesores menores en 5 cm a los indicados para losas aligeradas (Tabla 4); así se podrá tener:

Tabla 4

Peralte de Losa Maciza

Peralte	Condición
h = 12 ó 13 cm	Luces menores o iguales a 4 m
h = 15 cm	Luces menores o iguales a 5,5 m

Peralte	Condición
h = 20 cm	Luces menores o iguales a 6,5 m
h = 25 cm	Luces menores o iguales a 7,5 m

Nota. Extraído de estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado.

2.2.5.3.3. Pre dimensionamiento de Vigas principales y secundarias

De acuerdo con Blanco (1998), las vigas se dimensionan generalmente considerando un peralte del orden de

$$\frac{1}{10} \text{ a } \frac{1}{12} \quad (1)$$

de la luz libre; debe aclararse que esta altura incluye el espesor de la losa del techo o piso.

El ancho es menos importante que el peralte, pudiendo variar entre 0,3 a 0,5 de altura. La norma peruana de concreto armado indica que las vigas deben tener un ancho mínimo de 25 cm.

2.2.5.3.4. Pre dimensionamiento de Columnas.

Según Blanco (1998), las columnas al ser sometidas a carga axial y momento flector, tienen que ser dimensionadas considerando los dos efectos simultáneamente, tratando de evaluar cuál de los dos es el que gobierna en forma más influyente el dimensionamiento.

Para edificios que tengan muros de corte en las dos direcciones tal que la rigidez lateral y la resistencia van a estar principalmente controladas por los muros, las columnas se pueden dimensionar suponiendo un área igual a:

$$\text{Área de columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0,45 f'c} \quad (2)$$

Para el mismo tipo de edificio, el dimensionamiento de las columnas con menos carga axial, como es el caso de las exteriores o esquineras, se podrá hacer con un área igual a:

$$\text{Área de columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0,35 f'c} \quad (3)$$

$$P (\text{servicio}) = P \cdot A_T \cdot N \quad (4)$$

Donde:

P : Peso que depende de la categoría de la edificación

A_T : Área tributaria de la columna

N : Numero de pisos de la estructura

Para el peso de la edificación puede tomar valores como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Peso de Acuerdo a la Categoría de la Edificación

Categoría de la edificación	Peso (kg/m ²)
Edificios de categoría A	1500
Edificios de categoría B	1250
Edificios de categoría C	1000

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.2.5.4. Metrado de Cargas.

El metrado de cargas dependerá de las siguientes características:

a. Propiedades de los materiales (Tabla 6).

Tabla 6

Propiedades Mecánicas de los Materiales

Material	Peso específico	Módulo de elasticidad	Módulo de poisson	Resistencia a la compresión
Concreto	γ_c = 2400 kg/m ³	$E_c = 15000 \sqrt{f'_c}$	$\mu = 0,2$	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Acero	γ_a = 7800 kg/m ³	E_a = 2 * 10 ⁶ kg/cm ²	$\mu = 0,3$	f'_y = 4200 kg/cm ²
Albañilería	γ_m = 1800 kg/m ³	$E_m = 500 f'_m$		f'_m = 4200 kg/cm ²

b. Cargas vivas de acuerdo al uso de la edificación comprendidas en la NTP E.020 (2006).

c. Cargas muertas de acuerdo al peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio.

$$P_{CM} = \gamma_{material} * V_{elemento} \quad (5)$$

Donde:

P_{CM} : Peso de cargas muertas

γ : Peso específico

V : Volumen

d. De la transmisión de cargas en cada uno de los elementos estructurales y los tipos de carga, estableciendo el área tributaria de la carga que actúa en el elemento estructural. De acuerdo con Uribe (2000), la clasificación de las fuerzas que actúan en una estructura es como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Clasificación de Fuerzas que Actúan en una Estructura

Criterios de clasificación		División
Externas	Modo de aplicación	Estática Dinámica
	Origen	Gravedad (muerta, viva) Presión hidrostática o empuje
		Viento Sismo Térmica
		Concentrada. Repartida: - Uniforme - Triangular - Trapezoidal - Parabólica - Arbitraria, etc.
Internas	Efectos que producen	Axiales Cortantes Flectoras Torsoras

Nota. Extraído de Análisis de Estructuras.

e. El área tributaria dependerá del sistema de piso siendo estas de una dirección y dos direcciones.

2.2.5.4.1. Metrado de Cargas en Aligerado.

Para el metrado de cargas en losas aligeradas esta será a la combinación de cargas vivas y muertas por el área de la losa.

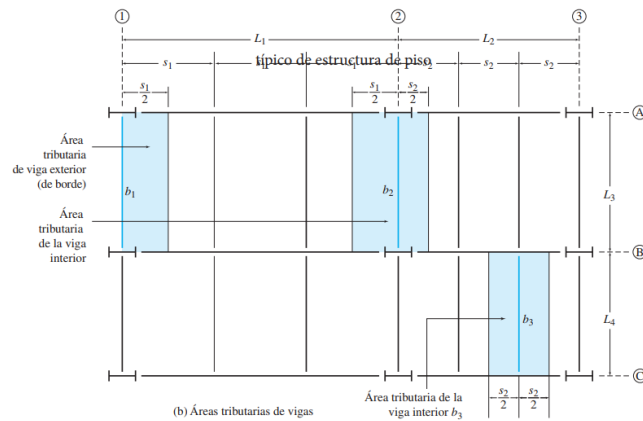
$$P_{losa\ aligerada} = W * A_{losa} \quad (6)$$

2.2.5.4.2. **Metrado de Cargas en Vigas.**

El metrado de vigas para un sistema de piso de una dirección, el área tributaria es considerada rectangular como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Área Tributaria en Vigas



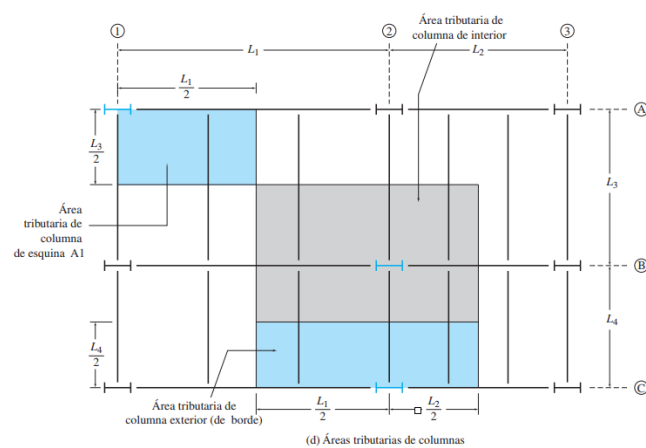
Nota. Extraído de Kassimali (2014).

2.2.5.4.3. **Metrado de Cargas en Columnas.**

El metrado de columnas, el área tributaria es considerada rectangular como se visualiza en la Figura 6.

Figura 6

Área Tributaria en Columnas



Nota. Extraído de Kassimali (2014).

2.2.5.5. Diseño de Vigas.

McCormac & Brown (2018) Para el diseño de la sección de viga se utiliza diseño por resistencia que es adoptado actualmente debido a que 1) usa un enfoque más racional que el método de diseño de esfuerzos de trabajo (WSD); 2) usa una consideración más realista del concepto de seguridad y 3) conduce a diseños más económicos. En el diseño por resistencia las cargas actuantes muertas y vivas se multiplican por ciertos factores de seguridad de los cuales se obtienen cargas factorizadas. Por lo tanto, los miembros a diseñar fallan teóricamente bajo las cargas factorizadas. Este diseño se basa en el bloque de Withney, así mismo el cálculo de la sección de la viga considera tres esquemas importantes 1) Esquema de deformaciones 2) Esquema de esfuerzos y 3) Esquema de fuerzas.

2.2.5.6. Diseño de Losa.

McCormac & Brown (2018) Una losa de concreto reforzado es aquel elemento de sección rectangular soportada por vigas, muros o columnas de concreto reforzado, por muros de mampostería, por vigas o columnas de acero estructural, o por el suelo. Si una losa está apoyada solo en dos lados opuestos, se le denomina losa en una dirección, porque la flexión se da en sólo una dirección. Si una losa está apoyada por vigas en sus cuatro lados, se le denomina losa en dos direcciones, porque la flexión se da en ambas direcciones. Se hace la suposición de que una losa en una dirección es una viga rectangular con una relación grande de ancho a longitud. Para el diseño de losa maciza en una dirección se hace una suposición de que la losa se comporta como una viga rectangular de 1 m de ancho (ancho unitario). Por otro lado, el diseño de una losa aligerada se analiza como una viga con una sección transversal en forma de T.

2.2.5.7. Diseño de Columnas.

Ortega García (2014) Las columnas son elementos sometidos a esfuerzos de compresión y flexión. Por la forma geométrica de su sección pueden ser circulares, cuadradas, rectangulares, octogonales y en forma de L (esta última no es recomendable para el diseño por su complejidad). A su vez por la forma del refuerzo transversal son estribadas y zunchadas.

2.2.5.7.1. Columnas Cortas.

Ortega García (2014) Son columnas cuyo análisis se hace solamente en función de la carga y momento últimos: la resistencia de los materiales y las dimensiones de la sección transversal, debido a que su carga última no se reduce por efecto de deformaciones de flexión.

2.2.5.7.2. Columnas Largas o Esbeltas.

Ortega García (2014) En cuanto a columnas esbeltas, no es suficiente resolver el problema de resistencia, sino también el de estabilidad. La estabilidad de los elementos consiste en la capacidad de responder con deformaciones pequeñas a pequeñas variaciones de carga. La falta de estabilidad en columnas produce el efecto de Pandeo.

2.2.5.8. Diseño de Cimentaciones.

Blanco (1998) La regla básica respecto a la resistencia sísmica de la sub estructura es que se debe obtener una acción integral de la misma durante un sismo; además de las cargas verticales que actúan, los siguientes factores deberán considerarse respecto al diseño de la cimentación: Transmisión del corte basal de la estructura al suelo, su provisión para los momentos volcantes, la posibilidad de movimientos diferenciales de los elementos de la cimentación y Licuefacción de subsuelo.

2.2.6. Análisis Sísmico Estático

NTP E.030 (2018) Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

2.2.6.1. Estimación del Peso (P).

De acuerdo con la norma E.030 el peso se calcula la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga (Tabla 8).

Tabla 8*Estimación del Peso*

Categoría de la edificación	Porcentaje de carga viva / sobrecarga
A y B	50% de la CV
C	25% de la CV
Depósitos	80% del peso total que es posible almacenar
Azoteas y techos	25% de la CV
Tanques, Silos y similares	100% de la carga que puede contener

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.2.6.2. Fuerza Cortante en la Base.

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

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P \quad (7)$$

Donde:

V : Fuerza Cortante en la Base

Z : Factor de Zona

U : Factor de Uso

C : Factor de Amplificación Sísmica

S : Parámetro que depende del perfil del suelo

P : Peso de la edificación

R : Coeficiente básico de reducción

2.2.6.3. Zonificación.

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura 7, la zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información geotectónica (Tabla 9).

Figura 7*Zonificación en Base a la Sismicidad Observada*

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

Tabla 9*Factores de Zona "Z"*

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

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.2.6.4. Condiciones Geotectónicas.

La norma E.030 clasifica los perfiles de suelo tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (Tabla 10).

Tabla 10*Clasificación de los Perfiles de Suelo*

Perfil	Vs	N60	Su
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

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

Se considera el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL como se aprecia en la Tabla 11 y 12.

Tabla 11*Factor de Suelo "S"*

Zona	Suelo	S0	S1	S2	S3
Z4		0,80	1,00	1,05	1,10
Z3		0,80	1,00	1,15	1,20
Z2		0,80	1,00	1,20	1,40
Z1		0,80	1,00	1,60	2,00

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

Tabla 12*Períodos "TP" y "TL"*

	Perfil de Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
Tl (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.2.6.6. Categoría de las Edificaciones.

NTP E.030 (2018) Clasifica una estructura de acuerdo a las siguientes categorías (Tabla 13).

Tabla 13

Categoría de Edificaciones

Categoría	Factor U
A - Edificaciones Esenciales	1,5
B - Edificaciones Importantes	1,3
C - Edificaciones Comunes	1,0
D - Edificaciones Temporales	Ver nota 2

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.2.6.7. Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas.

La Tabla 14 muestra el coeficiente básico de reducción, valor del cual depende del sistema estructural.

Tabla 14

Coeficiente Básico de Reducción

Sistema estructural	Coeficiente básico de reducción R_0
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.2.6.8. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura.

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calculan mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V \quad (8)$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k} \quad (9)$$

Donde:

F_i : Fuerza Sísmica en altura

α_i : Coeficiente de fuerza sísmica

V : Fuerza cortante basal

P_i : Peso de cada nivel

h_i : Altura de cada nivel

P_j : Peso acumulado

h_j : Altura acumulada

k : Exponente que depende del periodo fundamental

2.2.6.9. Periodo Fundamental de Vibración.

El periodo para cada dirección se estima según lo especificado en la norma E.030.

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (10)$$

Donde:

T : Periodo fundamental de vibración

h_n : Altura total de la edificación

C_T : Coeficiente que depende del tipo de estructura

2.2.6.10. Factor de Amplificación Sísmica.

(NTP E.030, 2018) Según los parámetros de sitio especificadas en la norma se calcula el factor de amplificación sísmica según las siguientes expresiones.

$$T < T_p \quad c = 2,5 \quad (11)$$

$$T_p < T < T_l \quad c = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right) \quad (12)$$

$$T > T_l \quad c = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_l}{T^2}\right) \quad (13)$$

Donde:

T_p : Periodo corto del suelo

T_l : Periodo largo del suelo

2.2.7. Análisis Sísmico Dinámico Modal Espectral

2.2.7.1. Modos de Vibración.

La norma E.030 menciona que los modos de vibración se deben calcular usando un modelo que represente adecuadamente la distribución de rigideces y masas del edificio.

Se deben usar como mínimo los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis hasta lograr que la suma de sus masas efectivas sea mayor o igual al 90% de la masa total del edificio.

2.2.7.2. Aceleración Espectral.

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \quad (14)$$

Donde:

S_a : Aceleración espectral

g : Gravedad

2.2.7.3. Fuerza Cortante Mínima.

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entre piso del edificio, obtenida del análisis modal espectral, debe ser como mínimo el 80% del valor calculado en el análisis Estático para estructuras regulares así mismo ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

2.2.7.4. Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles.

Tal como lo especifica la norma E.030, el máximo desplazamiento de entre piso no debe exceder la fracción de la altura de entre piso (distorsión) como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Límites para la Distorsión de Entrepiso

Material predominante	Δ_i / h_{ei}
Concreto armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005

Material predominante	Δ_i / h_{ei}
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.030.

2.3. Definición de Términos

2.3.1. *Interoperabilidad*

Capacidad de un producto o sistema para trabajar con otros productos o sistemas, existentes o futuros, sin restricción de acceso o implementación (Planbim Chile, 2019).

2.3.2. *Trabajo Colaborativo*

El trabajo colaborativo es el proceso de desarrollo de un proyecto de edificación o infraestructura en el cual todos los actores involucrados se enfocan en obtener beneficios compartidos de las tareas que se realizan durante el ciclo de vida. Esto apunta a que la generación de información sea coordinada independiente del proceso o la forma de contrato (Planbim Chile, 2019).

2.3.3. *Modelado BIM*

Acción generar un modelo digital tridimensional de un edificio, añadiendo además de la geometría información relevante para el diseño, construcción o mantenimiento del mismo. Se trabaja con elementos constructivos que tienen una función y un significado y a los que se puede añadir más información (BIM Forum Argentina, 2017).

2.3.4. *Modelo de información*

Conjunto de contenedores de información estructurada y no estructurada. Comprende toda la documentación desarrollada durante una inversión, la cual se encuentra en una base confiable de información (Guía Nacional BIM, 2021).

2.3.5. *Modelo 3D*

Representación tridimensional digital de la información de objetos a través de un software especializado (Guía Nacional BIM, 2021).

2.3.6. Elemento BIM

Componentes u objetos de un modelo 3D como, por ejemplo: muros, puertas, ventanas, columnas, cimientos, vigas (Guía Nacional BIM, 2021).

2.3.7. Modelo federado

Modelo de Información compuesto a partir de contenedores de información separados, los cuales pueden provenir de diferentes equipos de trabajo (Guía Nacional BIM, 2021).

2.3.8. Cargas

Fuerzas y otras acciones que resultan del peso de los materiales de construcción, los ocupantes y sus enseres, efectos ambientales, movimientos diferenciales, y cambios volumétricos restringidos. Las cargas permanentes corresponden a cargas cuyas variaciones en el tiempo son excepcionales o de magnitud pequeña. Todas las demás cargas se consideran cargas variables (American Concrete Institute, 2019).

2.3.9. Cargas de servicio

Todas las cargas, estáticas y transitorias, que se imponen a una estructura, o elemento de ella, durante la operación de la edificación, sin factores de carga (American Concrete Institute, 2019).

2.3.10. Carga mayorada

La carga, multiplicada por los factores de carga apropiados (American Concrete Institute, 2019).

2.3.11. Concreto

Mezcla de cemento Pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos (American Concrete Institute, 2019).

2.3.12. Concreto estructural

Concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo concreto simple y reforzado (American Concrete Institute, 2019).

2.3.13. Deriva de piso de diseño

Diferencia relativa del desplazamiento lateral de diseño entre la parte superior e inferior de un piso, dividido por la altura del piso (American Concrete Institute, 2019).

2.3.14. Desplazamiento de diseño

Desplazamiento lateral total calculado esperado para el sismo de diseño (American Concrete Institute, 2019).

2.3.15. Diafragma estructural

Miembro, como una losa de piso o cubierta, que transmite las fuerzas que actúan en el plano del miembro a los elementos verticales del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas (American Concrete Institute, 2019).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Nivel del Investigación

3.1.1. *Tipo de investigación*

El tipo de investigación es descriptivo - explicativo con un alcance cuantitativo, puesto que este estudio permitirá explicar, comprender e interpretar las razones que provocan la aplicación de la Metodología BIM en la optimización del diseño y análisis estructural.

Según Muñoz (2015), la investigación descriptiva es un proceso para descubrir las características o propiedades de determinados fenómenos; estas correlaciones le ayudan a determinar o describir comportamientos o atributos de los fenómenos investigados, sin dar una explicación causal de los mismos.

Asimismo, una investigación explicativa es en encontrar los orígenes, las causas o los factores determinantes del hecho o fenómeno investigado.

3.1.2. *Nivel de investigación*

Nivel de investigación es documental puesto que se obtendrá la información de libros, normas y artículos científicos.

De acuerdo con Muñoz (2015), la investigación documental se diseña para resolver o plantear problemas cuya información proviene básicamente de fuentes secundarias. El investigador se basa en fuentes bibliográficas, por la imposibilidad de obtener información en forma directa o de primera mano.

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. *Población*

La población adoptada fueron edificios de concreto armado.

3.2.2. *Muestra*

El muestreo utilizado para la presente investigación es muestreo no Probabilístico por conveniencia.

3.3. Operacionalización de Variables

Tabla 16

Operacionalización de las Variables de la Investigación

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Variable independiente: Aplicación de la metodología BIM.	El trabajo colaborativo es la gestión de la información generada en el desarrollo de un proyecto a través de un entorno común de datos (CDE), de manera que permita el intercambio de datos a través de un espacio digital único.	Trabajo colaborativo entre especialidades	Intercambio de información bidireccional (Escala: adimensional)
			Coordinación entre especialidades (Escala: adimensional)
			Optimización en el proceso de diseño estructural (Escala: adimensional)
Variable Dependiente: Análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.	El análisis estructural es el primer paso en el proceso de diseño de una estructura, ya que permite determinar sus fuerzas y desplazamientos por el efecto de las cargas actuantes en ella.	Análisis Estructural	Periodo fundamental de vibración (Escala: seg)
			Desplazamiento de entre piso (Escala: mm)
			Derivas de la estructura (Escala: adimensional)
	El diseño estructural es un estudio acerca de la estabilidad, la resistencia y la rigidez de las estructuras, y su principal función es generar estabilidad en una estructura por medio del buen uso de los materiales y su diseño.	Diseño estructural	Cuantía de acero (Escala: %)
			Resistencia a la compresión del concreto f'_c (Escala: Kg/cm ²)
			Distribución del acero de refuerzo (Escala: cm ²)

3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

La técnica utilizada fue análisis documental, “son trabajos cuyo método de investigación se concentra exclusivamente en la recopilación de datos de fuentes documentales, ya sea de libros, textos, sitios Web o cualquier otro tipo de documentos gráficos, icnográficos y electrónicos” (Muñoz Razo, 2011).

Arias (2012) Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.

En este sentido el instrumento para la recolección de datos fue una computadora y sus unidades de almacenaje.

3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

3.5.1. Descripción del Proyecto.

3.5.1.1. Aspectos Generales.

Ubicación Política

País	: Perú
Departamento	: Tacna
Provincia	: Tacna
Distrito	: Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa
Lugar	: Asoc. De Viv. Alto Monterrey Mza. 408 lote 06

Ubicación geográfica

Altura	: 552 msnm
Clima	: Templado
Temperatura	: Oscila entre 23,5°C y 12,5°C

Mapa de Ubicación

El Distrito de Tacna, es uno de los once distritos que conforman la provincia de Tacna en el departamento de Tacna (Figura 8), bajo la administración del Gobierno Regional de Tacna, en el sur del Perú, situado en la costa sur occidental del Perú.

Figura 8

Provincias de Tacna



Nota. Extraído del instituto nacional de estadística e informática.

3.5.2. Antecedentes del Proyecto

El terreno o predio donde se proyecta la vivienda multifamiliar se encuentra ubicado en la Asoc. De Vivienda Alto Monterrey Mza. 408 Lote 06 (Figura 9), en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, dentro de la jurisdicción de la Provincia de Tacna.

Figura 9

Imagen Satelital del Predio



El terreno sobre el cual se edificará el proyecto tiene un área total de 120 metros cuadrados, con un perímetro de 52 metros lineales y las coordenadas UTM son como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Coordenadas del Proyecto

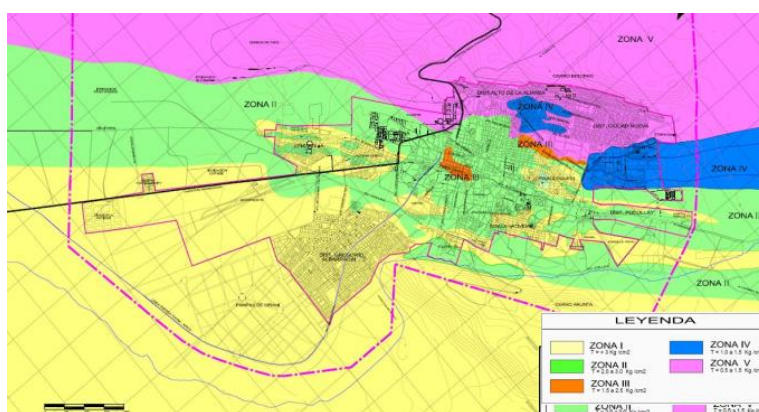
	E	S
P1	367318	8001431
P2	367323	8001431
P3	367325	8001411
P4	367319	8001411

3.5.2.1. Parámetros del Suelo.

Teniendo en cuenta el Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tacna 2015 – 2025 el proyecto se encuentra en Zona I (Figura 10) del cual el suelo presenta capacidades portantes de entre 2,54 kg/cm² a 2,90 kg/cm².

Figura 10

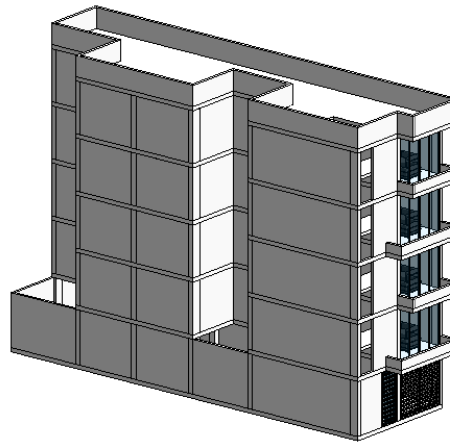
Zonas Geotécnicas



Nota. Extraído de Plan de desarrollo Urbano – Tacna.

3.5.3. Modelo Arquitectónico

El edificio a diseñar en la presente tesis (Figura 11), está destinado a viviendas multifamiliares; el proyecto cuenta con cinco pisos y una azotea.

Figura 11*Edificio Multifamiliar de Cinco Pisos***3.5.3.1. Plano Arquitectónico.**

El primer nivel está destinado a una zona de estacionamiento aproximadamente de 103 m² con una altura de 2,80 m (Figura 12), los demás pisos son departamentos de 100 m² aproximadamente con una altura de 2,70 m (Figura 13).

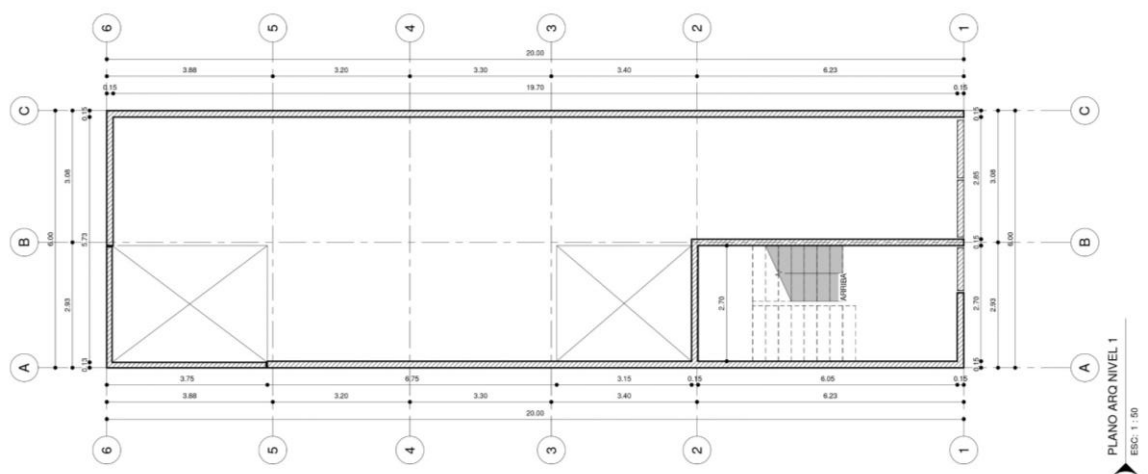
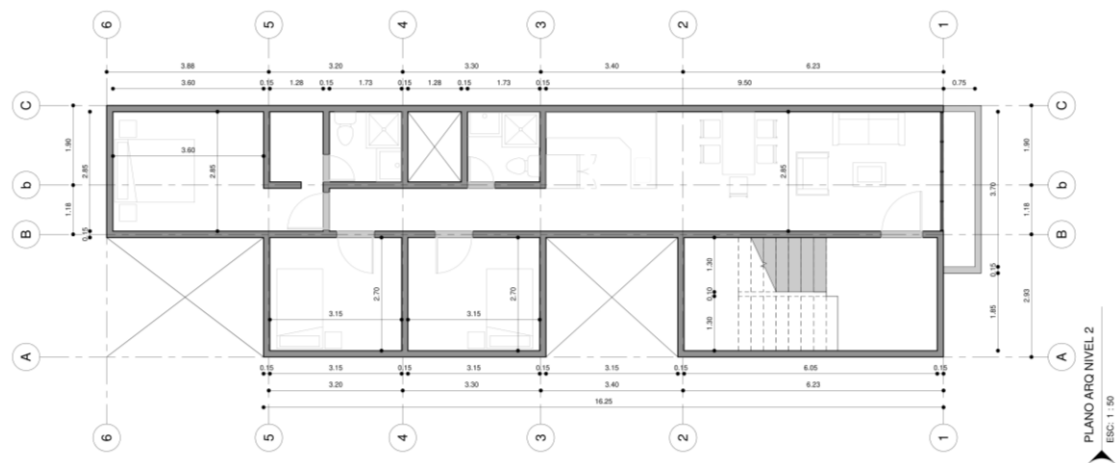
Figura 12*Plano Arquitectónico Planta 1*

Figura 13*Plano Arquitectónico Planta 2*

El nivel típico del departamento multifamiliar presenta la siguiente tipología (Figura 14). El piso típico cuenta con los siguientes ambientes: tres habitaciones, dos servicios higiénicos, una cocina, un comedor, una sala de estar, una lavandería y su terraza.

Figura 14*Tipología Arquitectónica*

3.5.4. Estructuración

La estructuración se realizó respecto a la arquitectura presentada con anterioridad, para la disposición de los elementos estructurales se tuvo en cuenta la geometría de la edificación propuesta por la arquitectura sin cambios significativos en esta.

El sistema estructural adoptado fue de pórticos de concreto armado el cual consta de vigas, columnas y losas, donde las dimensiones finales de estas serán establecidas por el análisis estructural.

Así mismo se tuvieron en cuenta las recomendaciones de estructuración descritas por Blanco Blasco (1998).

3.5.5. Pre dimensionamiento

3.5.5.1. Pre Dimensionamiento de Losa Aligerada en una Dirección.

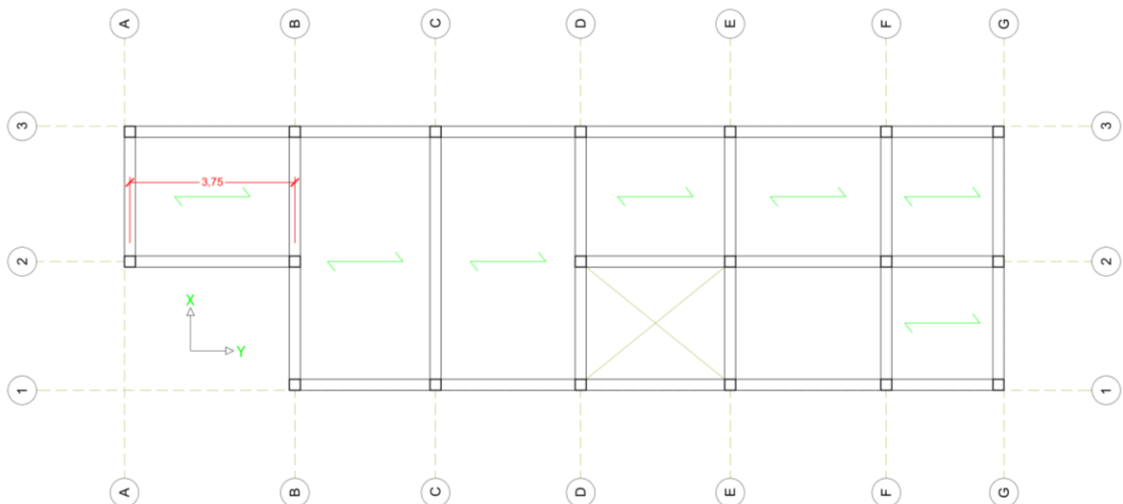
Para el dimensionamiento de losa aligerada se consideró los criterios descritos en la Tabla 3, a continuación, se muestra el proceso para el cálculo del espesor de la losa.

El paño a analizar se encuentra entre los ejes 2-3 y ejes A-B (Figura 15), este cuenta con una luz máxima de 3,75 m, por lo tanto, a luces menores de 4 m le corresponde un peralte de 17 cm.

El espesor optado será 20 cm valor tomado por seguridad y proceso constructivo.

Figura 15

Sentido de Armado de Losa Aligerada



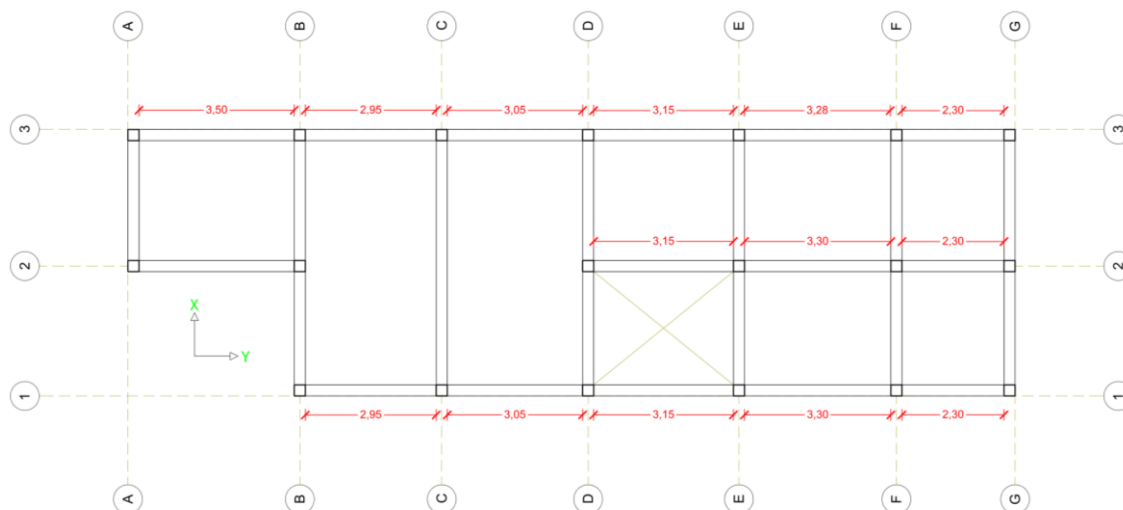
3.5.5.2. Pre Dimensionamiento de Vigas.

Para dimensionamiento de vigas se consideró su luz libre, que es la distancia entre caras internas de los apoyos como se muestra en la Figura 16 y 17. Para el

peralte de las distintas vigas se dividió su luz libre entre 10, además se consideró un ancho de 25 cm el cual es la dimensión mínima según norma.

Figura 16

Luz Libre de Vigas en el Eje y



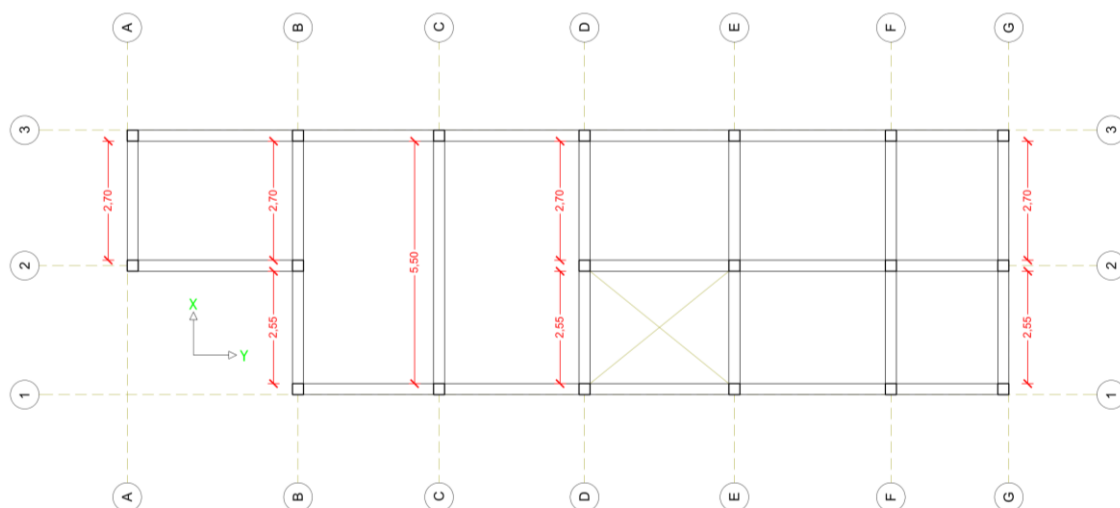
En la Tabla 18 se muestra el peralte de vigas en la dirección y.

Tabla 18

Dimensiones Preliminares de Vigas, Eje y

Nombre	Luz Libre "X"	Peralte $L_n/10$	Peralte Final	Base	Peso/Viga Kgf
Eje 3-3 entre Eje A-B	3,5	0,350	0,35	0,25	735,00
Eje 2-2 entre Eje A-B					
Eje 1-1 entre Eje B-C	2,95	0,295	0,30	0,25	531,00
Eje 3-3 entre Eje B-C					
Eje 1-1 entre Eje C-D	3,05	0,305	0,35	0,25	640,50
Eje 3-3 entre Eje C-D					
Eje 1-1 entre Eje D-E	3,15	0,315	0,35	0,25	661,50
Eje 2-2 entre Eje D-E					
Eje 3-3 entre Eje D-E					
Eje 1-1 entre Eje E-F	3,28	0,328	0,35	0,25	688,80
Eje 2-2 entre Eje E-F					
Eje 3-3 entre Eje E-F					
Eje 1-1 entre Eje F-G	2,3	0,230	0,25	0,25	345,00
Eje 2-2 entre Eje F-G					
Eje 3-3 entre Eje F-G					

Así como se desarrolló el dimensionado para el eje Y se realizara el dimensionado para el eje X (Tabla 19).

Figura 17*Luz Libre de Vigas en el Eje x***Tabla 19***Dimensiones Preliminares de Vigas, Eje x*

Nombre	Luz Libre "X"	$\frac{\text{Peralte}}{\text{Ln}/10}$	Peralte Final	Base	Peso/Viga Kgf
Eje A-A entre Eje 2-3	2,70	0,270	0,30	0,25	486,00
Eje B-B entre Eje 1-2	2,56	0,256	0,30	0,25	460,80
Eje B-B entre Eje 2-3	2,70	0,270	0,30	0,25	486,00
Eje C-C entre Eje 1-3	5,50	0,550	0,55	0,25	1815,00
Eje D-D entre Eje 1-2	2,56	0,256	0,30	0,25	460,80
Eje D-D entre Eje 2-3	2,70	0,270	0,30	0,25	486,00
Eje E-E entre Eje 1-2	2,56	0,256	0,30	0,25	460,80
Eje E-E entre Eje 2-3	2,70	0,270	0,30	0,25	486,00
Eje F-F entre Eje 1-2	2,56	0,256	0,30	0,25	460,80
Eje F-F entre Eje 2-3	2,70	0,270	0,30	0,25	486,00
Eje G-G entre Eje 1-2	2,56	0,256	0,30	0,25	460,80
Eje G-G entre Eje 2-3	2,70	0,270	0,30	0,25	486,00

Por lo tanto, las secciones asignadas para las dos direcciones debido al pre dimensionamiento se establecieron de acuerdo al mayor peralte en la dirección de análisis, en la Tabla 20 se muestra el resumen de las secciones de viga.

Tabla 20

Dimensiones Transversales de Viga

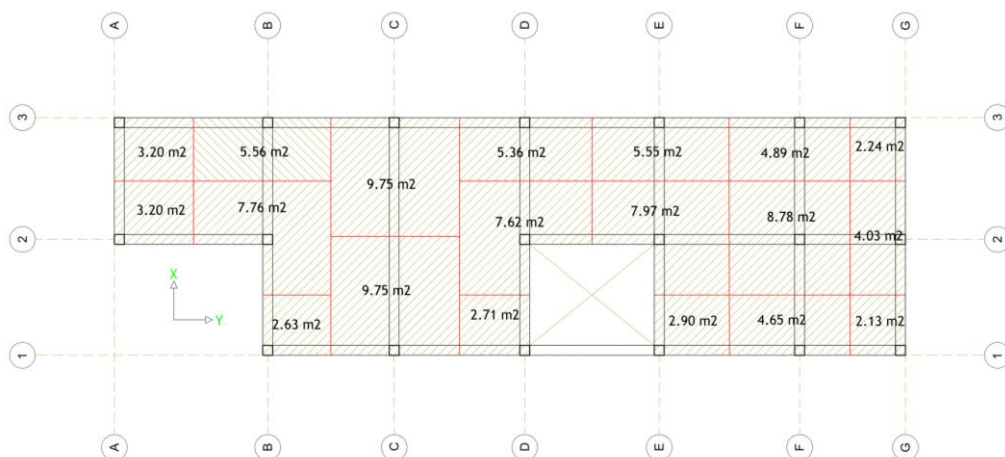
Dirección	Sección
Y-Y	0,25 m * 0,35 m
X-X	0,25 m * 0,55 m

3.5.5.3. Pre Dimensionamiento de Columnas.

Las dimensiones iniciales de las columnas se calcularán con las áreas tributarias de estas (Figura 18), además se consideró las ecuaciones correspondientes para el pre dimensionamiento de columnas descritas en el apartado 2.2.5.3.4.

Figura 18

Áreas Tributarias de Columnas



El cálculo del peso de servicio será igual al producto del peso "P" que depende de la categoría de la edificación que en este caso es categoría C por lo tanto se tomará el peso de 1000 Kg/m² valor tomado de la Tabla 5, este se multiplicará por área tributaria calculada para columna y finalmente por el número de niveles que presenta la edificación como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21*Cálculo de Peso de Servicio*

Ejes	P	At	N	P(servicio)
Eje A-2	1000	3,20	5	16000,00
Eje A-3	1000	3,20	5	16000,00
Eje B-1	1000	2,63	5	13150,00
Eje B-2	1000	7,76	5	38800,00
Eje B-3	1000	5,56	5	27800,00
Eje C-1	1000	9,75	5	48750,00
Eje C-3	1000	9,75	5	48750,00
Eje D-1	1000	2,71	5	13550,00
Eje D-2	1000	7,62	5	38100,00
Eje D-3	1000	5,36	5	26800,00
Eje E-1	1000	2,90	5	14500,00
Eje E-2	1000	7,97	5	39850,00
Eje E-3	1000	5,55	5	27750,00
Eje F-1	1000	4,65	5	23250,00
Eje F-2	1000	8,78	5	43900,00
Eje F-3	1000	4,89	5	24450,00
Eje G-1	1000	2,13	5	10650,00
Eje G-2	1000	4,03	5	20150,00
Eje G-3	1000	2,24	5	11200,00

Luego se procedió a calcular el área transversal de columnas, este se efectuó de acuerdo a las ecuaciones (2) y (3), las cuales se rigen de acuerdo a la ubicación de las columnas en el plano y la resistencia del concreto (Tabla 22).

Tabla 22*Cálculo del Área de Columnas*

Ejes	P(servicio)	0.45*f'c	0.35*f'c	Área de Columna (cm²)
Eje A-2	16000,00	-	73,5	217,69

Ejes	P(servicio)	0.45*f'c	0.35*f'c	Área de Columna (cm2)
Eje A-3	16000,00	-	73,5	217,69
Eje B-1	13150,00	-	73,5	178,91
Eje B-2	38800,00	94,5	-	410,58
Eje B-3	27800,00	94,5	-	294,18
Eje C-1	48750,00	94,5	-	515,87
Eje C-3	48750,00	94,5	-	515,87
Eje D-1	13550,00	-	73,5	184,35
Eje D-2	38100,00	94,5	-	403,17
Eje D-3	26800,00	94,5	-	283,60
Eje E-1	14500,00	-	73,5	197,28
Eje E-2	39850,00	94,5	-	421,69
Eje E-3	27750,00	94,5	-	293,65
Eje F-1	23250,00	94,5	-	246,03
Eje F-2	43900,00	94,5	-	464,55
Eje F-3	24450,00	94,5	-	258,73
Eje G-1	10650,00	-	73,5	144,90
Eje G-2	20150,00	94,5	-	213,23
Eje G-3	11200,00	-	73,5	152,38

A continuación, se muestra el resumen de las secciones de columnas por el pre dimensionamiento (Tabla 23).

Tabla 23

Dimensiones Transversales de Columnas

Disposición	Sección
Esquinas	0,25 m * 0,25 m
Laterales	0,30 m * 0,30 m
Centrales	0,35 m * 0,35 m

3.5.6. **Metrado de Cargas**

Se metrarón cargas muertas (CM) que consideran todos los elementos estructurales, acabados y tabiquería (Tabla 24), así mismo cargas vivas (CV) las cuales dependen del tipo de uso de la edificación (Tabla 25).

Tabla 24

Peso Específico de Materiales para el Proyecto

Material	Peso específico
Concreto	$\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$
Unidades de arcilla cocida sólidas	$\gamma_m = 1800 \text{ kg/m}^3$
Unidades de arcilla cocida huecas	$\gamma_m = 1350 \text{ kg/m}^3$
Aligerado e=0,20	300 kg/m^2
Acabados	100 kg/m^2
Tabiques	100 kg/m^2

Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.020.

Tabla 25

Cargas Repartida para el Proyecto

Ocupación	Cargas repartidas (kgf/m ²)
Vivienda	200
Corredores y escaleras	200
Techo	100

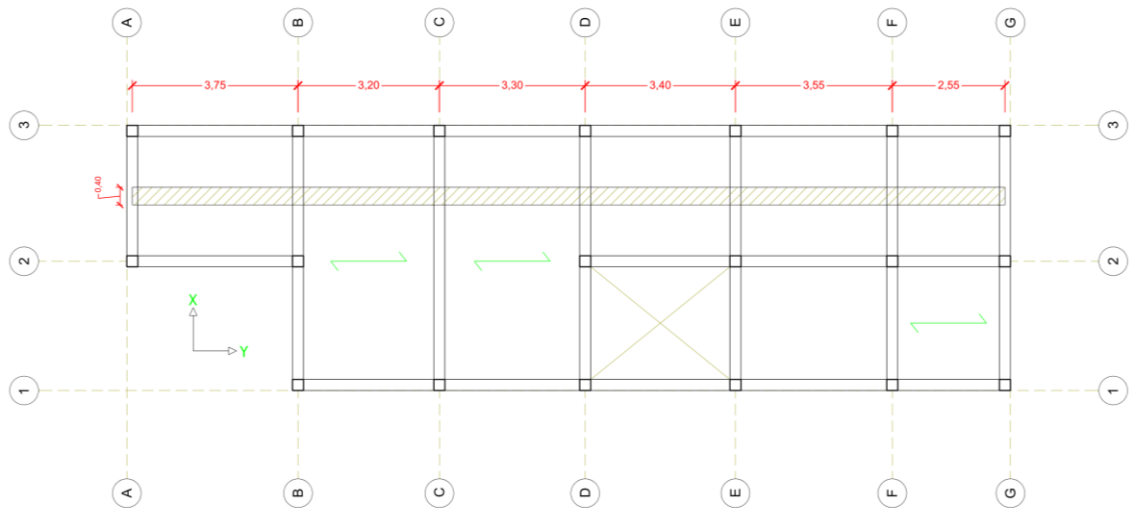
Nota. Extraído de la Norma Técnica Peruana E.020.

3.5.6.1. **Metrado de Cargas en Losa aligerada.**

Se realizó el metrado de carga de losa aligerada entre los ejes: Eje 2-3 y Eje A-B (Figura 19), con un ancho tributario de 0,40 m; del primer nivel siendo esta típica para los demás niveles, excepto la losa del último nivel. Se eligió esta franja debido a que es la zona más crítica de la estructura.

Figura 19

Ancho Tributario de Losa Aligerada



Metrado de cargas en losa típica: 1er, 2do, 3ro y 4to nivel.

$$\text{Peso propio} = 0,4m \cdot 300 \frac{kg}{m^2} = 120Kgf/m$$

$$\text{Acabados} = 0,4m \cdot 100 \frac{kg}{m^2} = 40Kgf/m$$

$$\text{Tabiquería} = 0,4m \cdot 100 \frac{kg}{m^2} = 40Kgf/m$$

$$\text{Sobrecarga (S/c)} = 0,4m \cdot 200 \frac{kg}{m^2} = 80Kgf/m$$

Carga Muerta:

$$CM = PP + A + T$$

$$CM = 120 + 40 + 40 = 200Kgf/m$$

Carga Viva:

$$CV = S/c$$

$$CV = 80Kgf/m$$

Amplificación de cargas (Carga última):

$$Cu = 1,4CM + 1,7CV$$

$$Cu = 1,4 \cdot 200 + 1,7 \cdot 80 = 416Kgf/m$$

$$Cu = 0,42Tnf/m$$

Metrado de cargas en losa típica: 5to nivel.

$$\text{Peso propio} = 0,4m \cdot 300 \frac{kg}{m^2} = 120Kgf/m$$

$$\text{Acabados} = 0,4m \cdot 100 \frac{kg}{m^2} = 40Kgf/m$$

$$\text{Tabiquería} = 0,4m \cdot 100 \frac{kg}{m^2} = 40Kgf/m$$

$$\text{Sobrecarga (S/c)} = 0,4m \cdot 100 \frac{kg}{m^2} = 40Kgf/m$$

Carga Muerta:

$$CM = PP + A + T$$

$$CM = 120 + 40 + 40 = 200Kgf/m$$

Carga Viva:

$$CV = S/c$$

$$CV = 40Kgf/m$$

Amplificación de cargas (Carga última):

$$Cu = 1,4CM + 1,7CV$$

$$Cu = 1,4 \cdot 200 + 1,7 \cdot 40 = 348Kgf/m$$

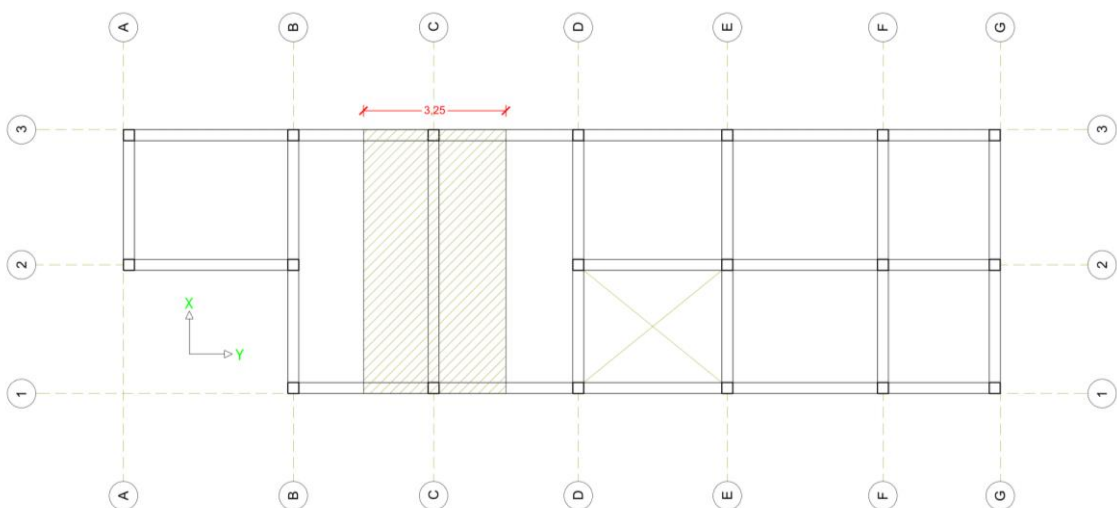
$$Cu = 0,35Tnf/m$$

3.5.6.2. Metrado de Cargas en Vigas.

Se realizó el metrado de carga en viga entre los ejes: Eje 1-3 y Eje C-C, con un ancho tributario de 3,25 m (Figura 20) del primer nivel siendo esta típica para los demás niveles, excepto la viga del último nivel. Se eligió esta franja debido a que es la zona más crítica de la estructura.

Figura 20

Ancho Tributario en Viga



Metrado de cargas en losa típica: 1er, 2do, 3ro y 4to nivel.

$$\text{Peso propio} = 0,55m \cdot 0,25m \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 330Kgf/m$$

$$\text{Peso de losa} = (3,25 - 0,25)m \cdot 300 \text{ kg/m}^2 = 900\text{Kgf/m}$$

$$\text{Acabados} = 3,25m \cdot 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 325\text{Kgf/m}$$

$$\text{Tabiquería} = 3,25m \cdot 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 325\text{Kgf/m}$$

$$\text{Sobrecarga (S/c)} = 3,25m \cdot 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 650\text{Kgf/m}$$

Carga Muerta:

$$CM = PP + A + T$$

$$CM = 330 + 900 + 325 + 325 = 1880\text{Kgf/m}$$

Carga Viva:

$$CV = S/c$$

$$CV = 650\text{Kgf/m}$$

Amplificación de cargas (Carga última):

$$Cu = 1,4CM + 1,7CV$$

$$Cu = 1,4 \cdot 1880 + 1,7 \cdot 650 = 3737\text{Kgf/m}$$

$$Cu = 3,74 \text{ Tnf/m}$$

Metrado de cargas en losa típica: 5to nivel.

$$\text{Peso propio} = 0,55m \cdot 0,25m \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 330\text{Kgf/m}$$

$$\text{Peso de losa} = (3,25 - 0,25)m \cdot 300 \text{ kg/m}^2 = 900\text{Kgf/m}$$

$$\text{Acabados} = 3,25m \cdot 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 325\text{Kgf/m}$$

$$\text{Tabiquería} = 3,25m \cdot 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 325\text{Kgf/m}$$

$$\text{Sobrecarga (S/c)} = 3,25m \cdot 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 325\text{Kgf/m}$$

Carga Muerta:

$$CM = PP + A + T$$

$$CM = 330 + 900 + 325 + 325 = 1880\text{Kgf/m}$$

Carga Viva:

$$CV = S/c$$

$$CV = 325\text{Kgf/m}$$

Amplificación de cargas (Carga última):

$$Cu = 1,4CM + 1,7CV$$

$$Cu = 1,4 \cdot 1880 + 1,7 \cdot 325 = 3184,5\text{Kgf/m}$$

$$Cu = 3,18 \text{ Tnf/m}$$

3.5.6.3. Metrado de Cargas en Columnas.

Se realizó el metrado de carga en columna entre los ejes: Eje 3 y Eje C (Tabla 26 y 27), con un área tributaria de 9,75 m² (Figura 21) del primer nivel siendo esta típica para los demás niveles, excepto la columna del último nivel. Se eligió esta área debido a que es la zona más crítica de la estructura.

Figura 21

Metrado de Carga en Columnas

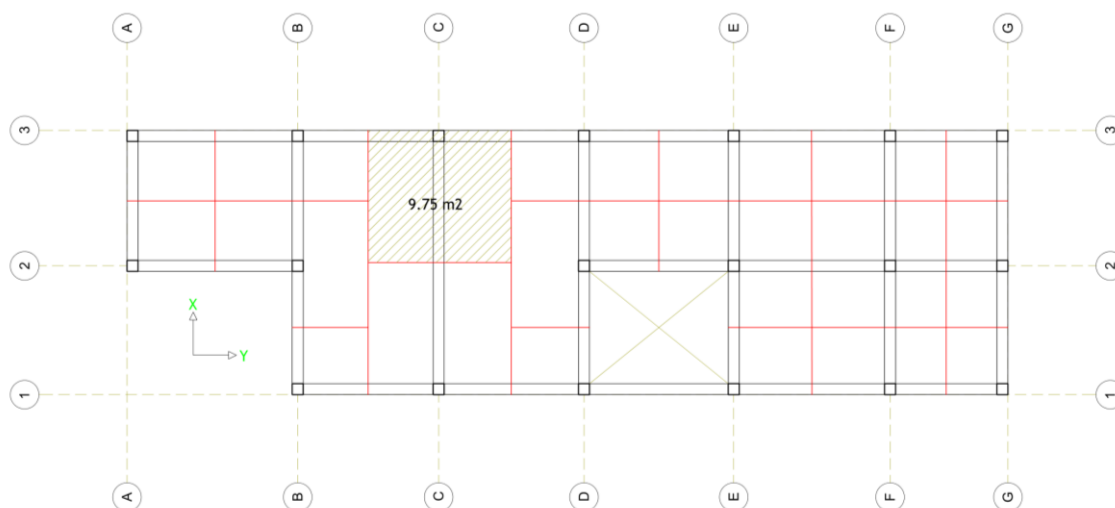


Tabla 26

Peso Acumulado Nivel de Azotea

Nivel	Elemento	Peso unitario (kg/m ²)	Área (m ²) o longitud(m)	Peso parcial	Peso acumulado (kg)	
Azotea	Aligerado e=0.20m	300	9,75	2925		
	Viga Eje C entre Ejes 1-3		907,50	907,50		
	Viga Eje 3 entre Ejes B-C		265,50	265,50		
	Viga Eje 3 entre Ejes C-D		320,25	320,25		
	Columna	2400	0,14	334,29		
	Acabados	100	9,75	975		
	Tabiquería	100	9,75	975		
	S/c Vivienda	100	9,75	975		
					CM	6702,54
					CV	975,00

Tabla 27*Peso Acumulado Nivel Típico*

Nivel	Elemento	Peso unitario (kg/m ²)	Área (m ²) o longitud(m)	Peso parcial	Peso acumulado (kg)
1, 2, 3 y 4 nivel	Aligerado e=0.20m	300	9,75	2925	
	Viga Eje C entre Ejes 1-3		907,50	907,50	
	Viga Eje 3 entre Ejes B-C		265,50	265,50	
	Viga Eje 3 entre Ejes C-D		320,25	320,25	
	Columna	2400	0,14	346,67	
	Acabados	100	9,75	975	
	Tabiquería	100	9,75	975	
	S/c Vivienda	200	9,75	1950	
					CM
				CV	1950,00

Por lo tanto, el peso acumulado para la columna entre los ejes C-3 es de 42,34 Tn.

3.5.7. Criterios de Modelado de Estructuras en Revit.

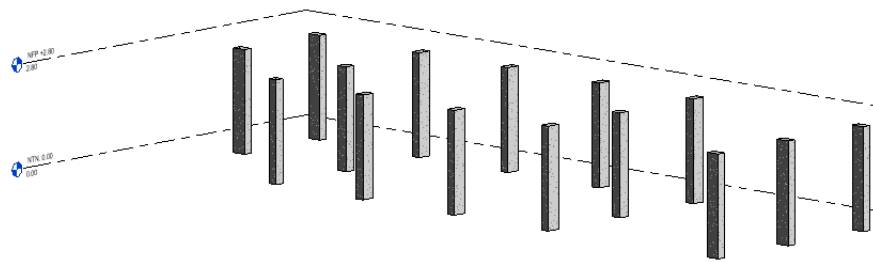
El primer paso es vincular la arquitectura a la zona de trabajo de estructuras, como se muestra en el Anexo 2, teniendo en cuenta este paso importante para la coordinación entre estructuras y arquitectura se procedió a modelar la parte estructural del proyecto.

3.5.7.1. Modelado de Columnas.

Para el correcto modelado de columnas este deberá estar en tres los niveles correspondientes (Figura 22), en el caso en estudio el inicio de la columna fue desde el nivel NTN. 0,00 hasta el nivel NFP. +2,80.

Figura 22

Niveles para el Modelado de Columnas

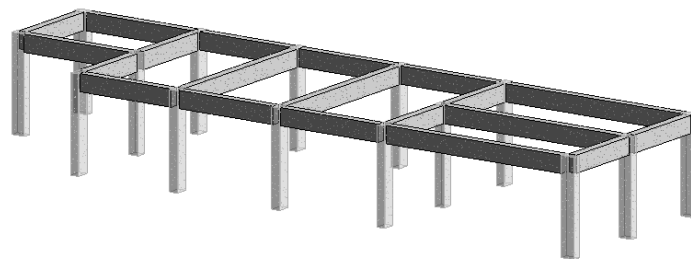


3.5.7.2. Modelado de Vigas.

Las vigas serán modeladas de centro a centro de las columnas (Figura 23), para que no presente ningún inconveniente al momento de pasar la información al Programa Robot Structural.

Figura 23

Modelado de Vigas

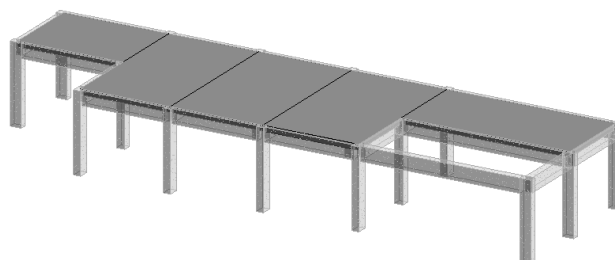


3.5.7.3. Modelado de Losas.

Las losas son modeladas paño por paño y considerando los nudos de intersección de columna y vigas como se muestra a en la Figura 24.

Figura 24

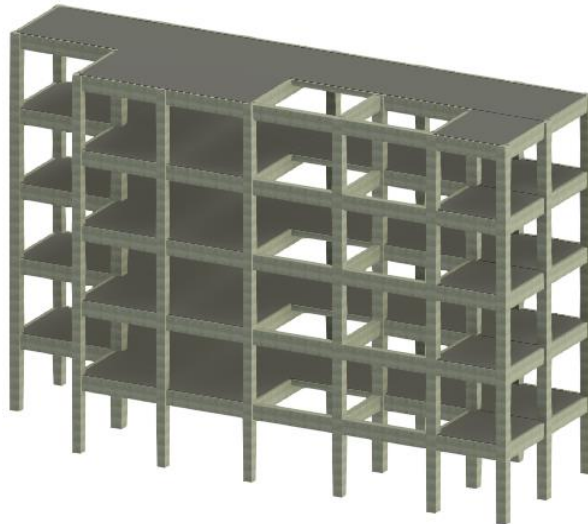
Modelado de Losa Estructural



Seguidamente, se muestra la parte estructural de la edificación modelada en Revit (Figura 25) según los criterios descritos con anterioridad:

Figura 25

Modelo Estructural de la Edificación

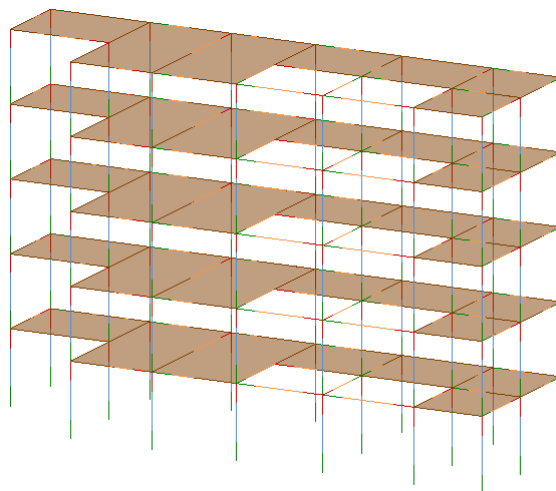


3.5.8. Modelo Geométrico y Analítico

Cuando se realizó el modelo geométrico, simultáneamente Revit genera el modelo analítico de la estructura (Figura 26) el cual es imprescindible para la interoperabilidad con el programa de análisis estructural.

Figura 26

Modelo Analítico de la Edificación



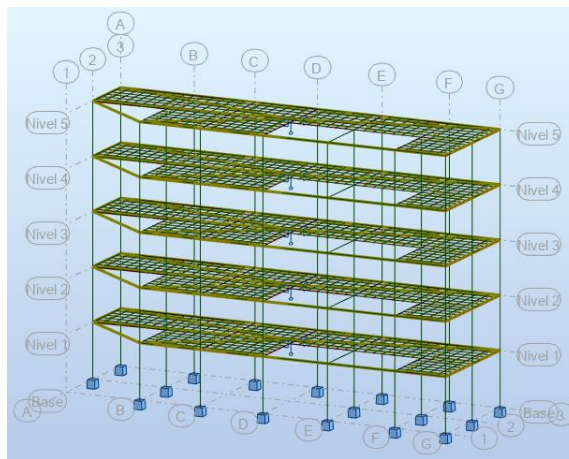
3.5.9. Interoperabilidad Revit – Robot Structural

Para el cambio de información del programa Revit hacia Robot Structural se realizó según el Anexo 3; no existe la necesidad de instalar una extensión puesto que ambos programas cuentan con una comunicación directa por defecto.

Así mismo se deben tener dos consideraciones 1.- Ambos programas deben ser de la misma versión y 2.- Estos deben estar ejecutándose al mismo tiempo. La Figura 27 muestra el modelo analítico exportado a Robot.

Figura 27

Estructura Exportada a Robot

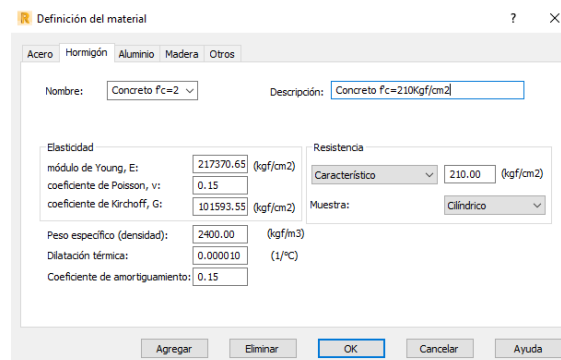


3.5.10. Configuraciones Preliminares en Robot Structural

Primero se configuro las unidades y materiales del proyecto en el apartado de Preferencia del proyecto (Figura 28), por otra parte, se asignaron las características estructurales de columnas, vigas y losa.

Figura 28

Definición de Material en Robot



3.5.10.1. Características Estructurales de Losa Aligerada.

La losa es de armado en una dirección con un espesor de 20 cm. Además, se configuro el armado en una dirección, elementos finitos tipo lamina, rigidizado por diafragma en todo el cuerpo rígido (Figura 29).

Figura 29

Definición de Propiedades de Losa

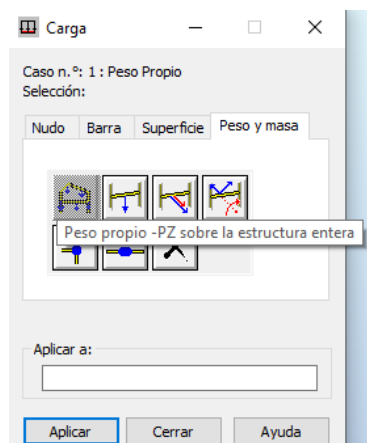


3.5.10.2. Peso y Masa de la Estructura.

Cuando exportamos el modelo de Revit a Robot este carece de peso (Anexo 3), por lo tanto, se asignó el peso de la estructura en el caso de carga de peso propio como se aprecia en la Figura 30.

Figura 30

Asignación de Peso Propio Sobre la Estructura



3.5.11. Análisis Preliminar de la Estructura

Se realizó un análisis con las secciones del pre dimensionamiento y estas no cumplían con lo especificado en la norma E.030, en este sentido se optó por incrementar el área transversal de columnas y vigas.

Así mismo se realizó el cálculo de las irregularidades de la estructura.

3.5.12. Irregularidades de la Estructura

La mayoría de las irregularidades se calcularon al momento de realizar el análisis estructural correspondiente y otras se evaluaron considerando la geometría de la estructura.

3.5.12.1. Irregularidades de Altura.

3.5.12.1.1. Irregularidad de Rigidez – Piso Blando.

La irregularidad se evaluó de acuerdo a las rigideces por piso que presenta la estructura en ambas direcciones, primeramente, se realizó la relación entre la rigidez del nivel inferior entre la rigidez del nivel superior y si esta es menor que 0,7 entonces se presentara piso blando, así mismo si la rigidez del nivel inferior entre el promedio de las rigideces de los 3 niveles superiores es menor que 0.8 entonces presentara piso blando como se muestra en la Tabla 28 y 29.

Tabla 28

Piso Blando X-X

Análisis x-x					
Nº Pisos	hi (m)	K _i (Kgf/cm)	*	**	¿Piso Blando?
5	13,6	160005,194	-	-	-
4	10,9	190156,114	1,188	-	No tiene
3	8,2	200656,850	1,055	-	No tiene
2	5,5	211143,235	1,052	3,450	No tiene
1	2,8	285387,623	1,352	1,422	No tiene

Nota. * $K_i < 0,7 K_{i+1}$; ** $K_i < 0,8 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$

Tabla 29*Piso Blando Y-Y*

Análisis y-y					
N° Pisos	hi (m)	K _i (Kgf/cm)	*	**	¿Piso Blando?
5	13,6	185766,000	-	-	-
4	10,9	202868,764	1,092	-	No tiene
3	8,2	208022,743	1,025	-	No tiene
2	5,5	212999,451	1,024	3,213	No tiene
1	2,8	253523,989	1,190	1,219	No tiene

Nota. * $K_i < 0,7 K_{i+1}$; ** $K_i < 0,8 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$

3.5.12.1.2. Irregularidad de masa o peso.

La irregularidad se evaluó de acuerdo a la masa que presenta la edificación por piso, se realizó la relación de masa del nivel inferior entre la masa del nivel superior, esto también se realizó inversamente, la masa del nivel superior entre la masa del nivel inferior y estas no deben superar el 1,5 como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30*Irregularidad de Masa*

N° Pisos	hi (m)	M _i (Kgf/cm)	*	**	¿Irreg. de masa?
5	13,6	64474,740	-	1,000	-
4	10,9	64474,740	1,000	1,000	No tiene
3	8,2	64474,740	1,000	1,000	No tiene
2	5,5	64474,740	1,000	0,990	No tiene
1	2,8	65114,940	1,010	-	-

Nota. * $M_i > 1,5 M_{i+1}$; ** $M_i > 1,5 M_{i-1}$

3.5.12.1.3. Irregularidad Geométrica Vertical.

El proyecto no presenta esta irregularidad debió a que la geometría vertical de la edificación es igual en todos los niveles.

3.5.12.2. Irregularidad en Planta.

3.5.12.2.1. Irregularidad de Esquinas Entrantes.

Esta irregularidad se evaluó de acuerdo a las dimensiones en planta de la edificación como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31

Esquina Entrantes

	Longitud (m)	0,2A	0,2B	a>0,2A	b>0,2B
A	20,0	4,00			
B	6,0		1,20	No	Si
a	3,8				
b	2,8				

3.5.12.2.2. Irregularidad de Discontinuidad del Diafragma.

Esta irregularidad se evaluó de acuerdo al porcentaje de abertura que presenta el diafragma de la edificación como se presenta en la Tabla 32.

Tabla 32

Discontinuidad de Diafragma

At (m ²)	Abertura (m ²)	50% de At	¿Presenta?
109,5	16,448	54,75	No

3.5.12.3. Resumen de Irregularidades de la Estructura.

A continuación, se muestra el resumen de las irregularidades analizadas de la estructura (Tabla 33 y 34).

Tabla 33*Irregularidad en Altura*

Irregularidades estructurales en altura	X-X	Y-Y
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	1	1
Irregularidad de Masa o Peso	1	1
Irregularidad Geométrica Vertical	1	1

Tabla 34*Irregularidad en Planta*

Irregularidades estructurales en altura	X-X	Y-Y
Esquinas Entrantes	0,9	1
Discontinuidad del Diafragma	1	1

3.5.13. Análisis Estático en Robot Structural**3.5.13.1. Cálculo de la Córtae Basal.**

Primeramente, se calculó los parámetros sísmicos del proyecto (Tabla 35) de acuerdo a la normativa sismorresistente, como se muestra a continuación.

El factor de zona se obtuvo del mapa de zonificación siendo este de 0,45 puesto que el proyecto se encuentra zona 4.

El factor de uso es igual a 1,0 correspondiente a edificaciones comunes como es viviendas.

El factor de suelo corresponde a un tipo S2 (Suelos intermedios) de acuerdo a los parámetros de suelo del proyecto descritas en el apartado 3.5.2.1, por lo tanto, de acuerdo a la Tabla 11 el valor es de 1,05. Los periodos T_p y T_I es igual a 0,6 y 2,0 respectivamente.

El sistema estructural es de pórticos de concreto armado y este tiene un coeficiente básico de reducción de 8. Teniendo una irregularidad en planta por esquinas entrantes de $I_{px}=0,9$.

El periodo de la edificación fue calculado de acuerdo con la ecuación número (10).

El periodo fundamental de vibración será:

$$T = 13,6/35$$

$$T = 0,3886$$

Por lo tanto, el factor de amplificación se calcula de acuerdo a la ecuación (11) que depende del periodo teniendo $0,3886 < 0,6$, C será igual a 2,5

A continuación, se muestra el resumen de los valores calculados:

Tabla 35

Parámetros Sísmicos del Proyecto

Parámetros	Descripción
Z=0,45	Ubicación del proyecto ciudad de Tacna
U=1,0	Categoría C edificaciones comunes - Vivienda
S=1,05	Suelo intermedio S2
R=8	Sistema estructural de Pórticos
C=2,5	Factor de amplificación sísmica
T=0,3886	Periodo fundamental

Con los valores calculados se procedió a hallar la cortante basal en función del peso de la edificación con la ecuación (7):

$$R_x = 8 * 0,9 * 1 = 7,2$$

$$V_x = \frac{0,45 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,05}{7,2} \cdot P$$

$$V_x = 0,1641 \cdot P$$

$$R_y = 8 * 1 * 1 = 7,2$$

$$V_y = \frac{0,45 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,05}{8} \cdot P$$

$$V_y = 0,1477 \cdot P$$

3.5.13.2. Asignación de Casos de Carga.

Los tipos de carga asignados corresponden a peso propio de la estructura el cual considera el peso de vigas, columnas y losas, así mismo se consideró el peso de tabiquería que corresponde a muros de ladrillo, también se consideró el peso de los acabados y finalmente la carga viva correspondiente al uso de la edificación.

Conjuntamente se agregaron los casos de carga referentes a sismos en las direcciones X y Y (Figura 31).

Figura 31**Casos de Carga del Proyecto**
3.5.14. Cálculo de Fuerza Sísmica en Altura

De acuerdo al apartado 2.2.6.8 en donde se establece el procedimiento para el cálculo de fuerza sísmica se procedió a calcular las fuerzas para cada dirección que actuaran en el centro de masa de cada nivel de la edificación (Tabla 36 y 37).

Tabla 36*Fuerza Sísmica en Altura Dirección XX*

Nivel	hi	Hi	Wi	Wi Hi	α	Fi
5	2,7	13,6	73499,47	999592,79	0,296421015	20427,967
4	2,7	10,9	86559,02	943493,32	0,279785178	19281,502
3	2,7	8,2	86559,02	709783,96	0,210480593	14505,350
2	2,7	5,5	86559,02	476074,61	0,141176007	9729,198
1	2,8	2,8	86879,12	243261,54	0,072137206	4971,363

Tabla 37*Fuerza Sísmica en Altura Dirección YY*

Nivel	hi	Hi	Wi	Wi Hi	α	Fi
5	2,7	13,6	73499,47	999592,79	0,296421015	18385,170

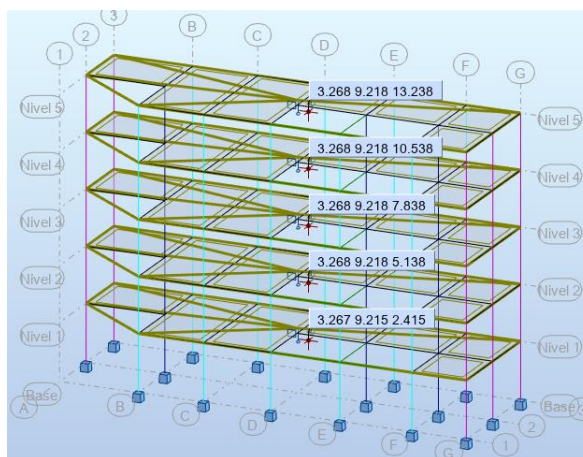
Nivel	hi	Hi	Wi	Wi Hi	α	Fi
4	2,7	10,9	86559,02	943493,32	0,279785178	17353,352
3	2,7	8,2	86559,02	709783,96	0,210480593	13054,815
2	2,7	5,5	86559,02	476074,61	0,141176007	8756,278
1	2,8	2,8	86879,12	243261,54	0,072137206	4474,227

3.5.14.1. Aplicación de la Fuerza Sísmica en Altura.

Para introducir las fuerzas sísmicas al modelo en Robot Structural se tuvo que aplicar las fuerzas en las coordenadas de los centros de masa de cada nivel (Figura 32).

Figura 32

Coordenadas del Centro de Masa de Cada Nivel



Con las coordenadas obtenidas del programa (Tabla 38) se procedió a introducir las fuerzas sísmicas en altura calculadas con anterioridad, simultáneamente se consideró la excentricidad accidental siendo esta de 0,05 veces la dimensión de la edificación en la dirección perpendicular a la dirección de análisis; no obstante, debido a que el cálculo de las fuerzas sísmicas se realizó de acuerdo a la altura acumulada, emplearemos estas como las coordenadas Z.

Tabla 38*Coordenadas Adoptadas para el Análisis*

Nivel	X	Y	Z
5	3,268	9,218	13,6
4	3,268	9,218	10,9
3	3,268	9,218	8,2
2	3,268	9,218	5,5
1	3,267	9,215	2,8

El cálculo de la excentricidad accidental en la dirección “x” es el resultado de 20 m por 0,05 dando como resultado 1, así mismo para la dirección “y” 6 m por 0,05 igual a 0,3, con las excentricidades calculadas se procedió a calcular los momentos torsores como se aprecia en la Tabla 39 y 40.

Tabla 39*Excentricidad Accidental y Momento Torsor - X*

Nivel	ei	Fi	Mt
5	1	20427,97	20427,97
4	1	19281,50	19281,50
3	1	14505,35	14505,35
2	1	9729,20	9729,20
1	1	4971,36	4971,36

Tabla 40*Excentricidad Accidental y Momento Torsor - Y*

Nivel	ei	Fi	Mt
5	0,3	18385,17	5515,55
4	0,3	17353,35	5206,01
3	0,3	13054,82	3916,44
2	0,3	8756,28	2626,88
1	0,3	4474,23	1342,27

3.5.14.2. Análisis Modal de la Edificación.

El periodo calculado por Robot Structural es 0,43456 seg valor semejante al calculado en el apartado 3.5.13.1, por otra parte, la masa de la estructura calculada en Robot es 420055,37 Kg como se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Análisis Modal

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)	Total masas UZ (kg)
7/ 1	2.30120	0.43456	49.08112	25.58323	0.00015	49.08112	25.58323	0.00015	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 2	2.34839	0.42582	74.19633	84.92356	0.00024	25.11521	59.34033	0.00009	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 3	2.68367	0.37262	84.04903	85.88680	0.00029	9.85270	0.96324	0.00006	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 4	7.02757	0.14230	85.46567	93.93784	0.00065	1.41665	8.05104	0.00035	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 5	7.19147	0.13905	93.49503	95.60669	0.00314	8.02935	1.66885	0.00249	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 6	8.15352	0.12265	94.79845	95.70559	0.00424	1.30342	0.09890	0.00110	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 7	11.88276	0.08416	94.82512	98.60575	0.00428	0.02867	2.90016	0.00004	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 8	12.58706	0.07945	97.72788	98.65539	0.00566	2.90275	0.04964	0.00138	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 9	13.92182	0.07183	98.21106	98.67870	0.27884	0.48319	0.02331	0.27318	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 10	13.95349	0.07167	98.21625	98.67916	22.14294	0.00519	0.00046	21.86409	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 11	15.14047	0.06605	98.21625	98.67917	25.89576	0.00000	0.00000	3.75262	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 12	15.65488	0.06388	98.21625	98.67925	27.18117	0.00000	0.00009	1.26541	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 13	15.88492	0.06295	98.21635	98.70158	27.53190	0.00010	0.02233	0.37073	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 14	16.17889	0.06181	98.21654	98.70287	27.57004	0.00019	0.00128	0.03814	420055.37	420055.37	420055.37
7/ 15	16.29189	0.06138	98.21948	99.71600	27.57004	0.00294	1.01313	0.00000	420055.37	420055.37	420055.37

3.5.14.3. Comprobación de la Cortante Basal.

Se realizó el metrado de la edificación cargas muertas y vivas manualmente (Tabla 41), para verificar que el programa esta considerando las masa correspondiente de la estructura, y recabar que la cortante calculada en robot este correcto. Las Figuras 34 y 35 muestran las fuerzas actuantes de la estructura calculada por Robot Structural (Cortante basal).

Figura 34

Fuerzas Actuantes en Direccion X

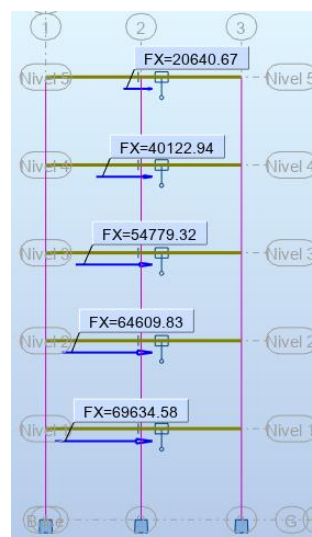
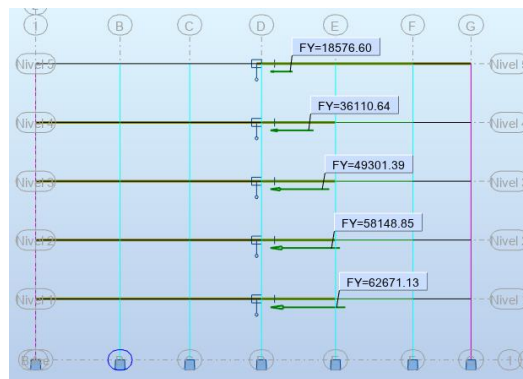


Figura 35*Fuerzas Actuantes en Dirección Y***Tabla 41***Metrado Manual de la Edificación*

	Vigas	Columnas	Losas	Acabados	Tabiquería
Nivel 01	28638,6	8642,7	18550,77	8833,7	6625,275
Nivel 02	28638,6	17285,4	18550,77	8833,7	8833,7
Nivel 03	28638,6	17285,4	18550,77	8833,7	8833,7
Nivel 04	28638,6	17285,4	18550,77	8833,7	8833,7
Nivel 05	28638,6	17605,5	18550,77	8833,7	8833,7

En la Tabla 42 se muestra el acumulado de las cargas muertas y vivas, así mismo la suma de ambos (peso de servicio). La norma menciona que la carga viva tendrá una participación del 25% para viviendas en este contexto se calcula el peso sísmico.

Tabla 42*Cálculo del Peso del de la Estructura*

CM	CV	P. servicio	P. sismo
71291,045	8833,7	80124,745	73499,47
82142,17	17667,4	99809,57	86559,02
82142,17	17667,4	99809,57	86559,02
82142,17	17667,4	99809,57	86559,02
82462,27	17667,4	100129,67	86879,12

El peso de sismo total es 420055,65 Kg, este valor fue multiplicado por los factores de la cortante basal, calculados en el apartado 3.5.13.1, para ambas direcciones, siendo estos valores de; 68915,38 Kgf para la dirección “x” y para la dirección “y” de 62023,84 Kgf.

El valor calculado por Robot en la dirección “x” es de 69634,58 Kgf, el valor en la dirección “y” es de 62671,13 Kgf.

En ambas direcciones se tiene una diferencia del 1,03 %, porcentaje que para el proyecto es despreciable.

3.5.14.4. Control de Derivas en el Análisis Estático.

El control de derivas se realizó multiplicando el coeficiente básico de reducción de acuerdo a la dirección de análisis por un factor que depende de la irregularidad de la estructura (Tabla 43 y 44), así cumpliendo con el rango de distorsión de entre piso establecido por la norma NTP E.030.

La Figura 36 y 37 muestra los valores de desplazamientos (U_x , U_y), desplazamientos relativos ($dr U_x$, $dr U_y$) y las derivas elásticas ($d U_x$, $d U_y$) debido a la fuerza de sismo en la dirección x.

Figura 36

Derivas Dirección X

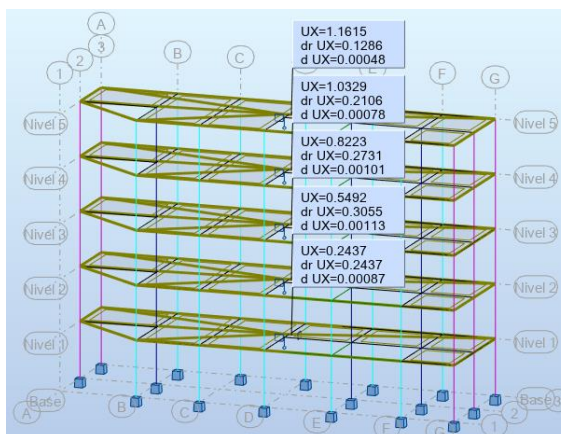


Tabla 43

Control de Derivas Dirección X

Derivas elásticas	Factor	Coefficiente básico de reducción	Derivas inelásticas	Verificación
0,00048	0,85	7,2	0,0029	Si cumple

Derivas elásticas	Factor	Coefficiente básico de reducción	Derivas inelásticas	Verificación
0,00078	0,85	7,2	0,0048	Si cumple
0,00101	0,85	7,2	0,0062	Si cumple
0,00113	0,85	7,2	0,0069	Si cumple
0,00087	0,85	7,2	0,0053	Si cumple

Figura 37

Derivas Dirección Y

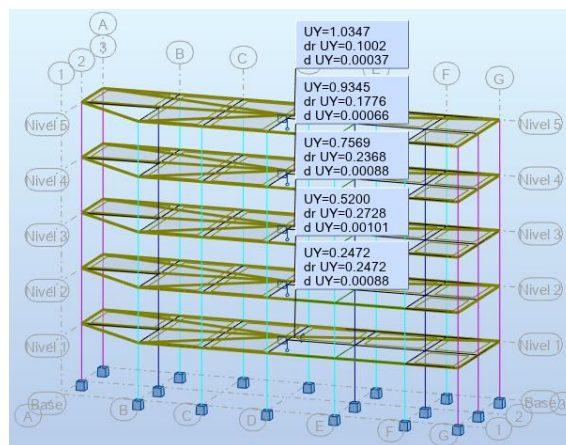


Tabla 44

Control de Derivas Dirección Y

Derivas elásticas	Factor	Coefficiente básico de reducción	Derivas inelásticas	Verificación
0,00037	0,85	8	0,0025	Si cumple
0,00066	0,85	8	0,0045	Si cumple
0,00088	0,85	8	0,0060	Si cumple
0,00101	0,85	8	0,0069	Si cumple
0,00088	0,85	8	0,0060	Si cumple

3.5.15. Análisis Dinámico Modal Espectral en Robot Structural

Se calculo las aceleraciones espectrales respecto a la formula (14) que establece la norma E.030; en ambos sentidos se tuvo pórticos de concreto armado

no obstante se tiene irregularidad en el eje X dando así un espectro de diseño para cada dirección como se muestra en la Tabla 45.

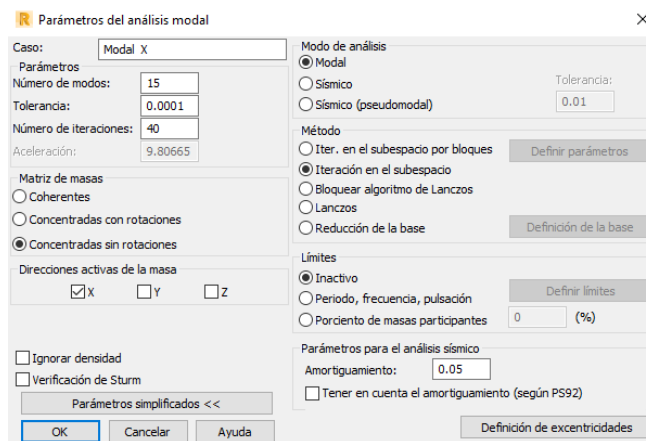
Tabla 45

Aceleración Espectral X-Y

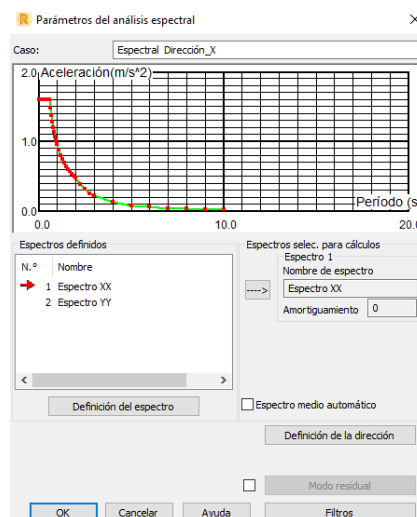
T	Sa X-X	Sa Y-Y
0,00	1,609	1,449
0,02	1,609	1,449
0,04	1,609	1,449
0,06	1,609	1,449
0,08	1,609	1,449
0,10	1,609	1,449
0,12	1,609	1,449
0,14	1,609	1,449
0,16	1,609	1,449
0,18	1,609	1,449
0,20	1,609	1,449
1,00	0,966	0,869
1,10	0,878	0,790
1,20	0,805	0,724
1,30	0,743	0,669
1,40	0,690	0,621
2,00	0,483	0,435
2,25	0,382	0,343
2,50	0,309	0,278
2,75	0,255	0,230
3,00	0,215	0,193
4,00	0,121	0,109
5,00	0,077	0,070
6,00	0,054	0,048
7,00	0,039	0,035
8,00	0,030	0,027
9,00	0,024	0,021
10,00	0,019	0,017

3.5.15.1. Asignación de Parámetros del Análisis Espectral.

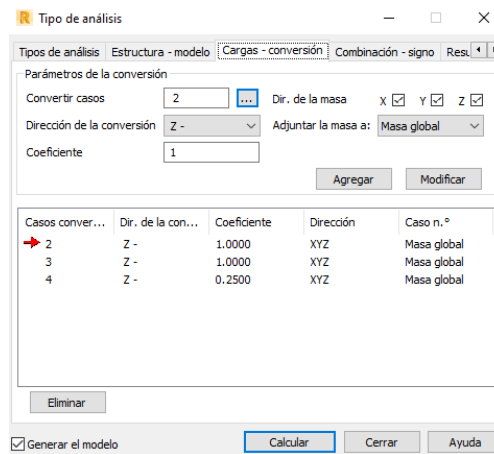
Primeramente, se asignó el caso modal, la norma indica que para cada nivel se debe considerar 3 modos de vibración, en este sentido se asignó 15 modos de vibración como se aprecia en la Figura 38. Esta configuración se realizó para cada dirección de análisis.

Figura 38*Asignación de Análisis Modal*

La asignación del espectro de diseño en Robot se dio mediante un archivo txt. el cual contiene los datos correspondientes al periodo y aceleración (Figura 39).

Figura 39*Definición de Espectro de Diseño*

Siendo este un análisis sísmico se transformó las cargas a masas estos con un coeficiente de participación (Figura 40), la norma establece que para cargas muertas el coeficiente de participación es del 100%, para cargas vivas en viviendas tiene una participación del 25%.

Figura 40*Conversión de Cargas a Masa***3.5.15.2. Fuerza Cortante Mínima en la Base.**

De la misma manera que el análisis estático se debe inspeccionar la fuerza cortante de la estructura debido al análisis dinámico en ambas direcciones (Figura 41 y 42).

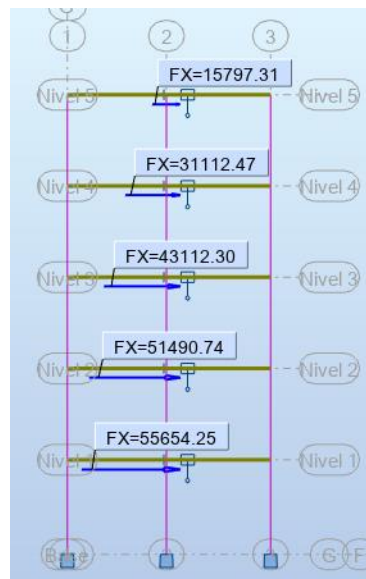
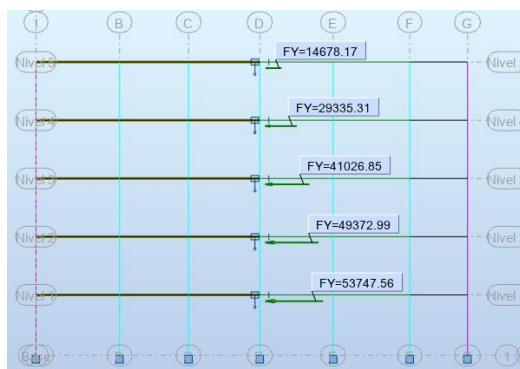
Figura 41*Fuerza Cortante X – Análisis Dinámico*

Figura 42*Fuerza Cortante Y – Análisis Dinámico*

La norma instituye que la fuerza cortante dinámica debe ser como mínimo el 90% del valor calculado en el análisis Estático para estructuras irregulares, como se aprecia en la Tabla 46, la fuerza cortante no cumple lo especificado, por ende, se procedió a escalar estos valores para cada dirección (Tabla 47 y 48).

Tabla 46*Comprobación de Fuerza Cortante Mínima*

Eje	VE	90%VE	VD	¿Cumple?
X	69634,58	62671,122	55654,25	No cumple
Y	62671,13	56404,017	53747,56	No cumple

Tabla 47*Factor de Escala para la Dirección X*

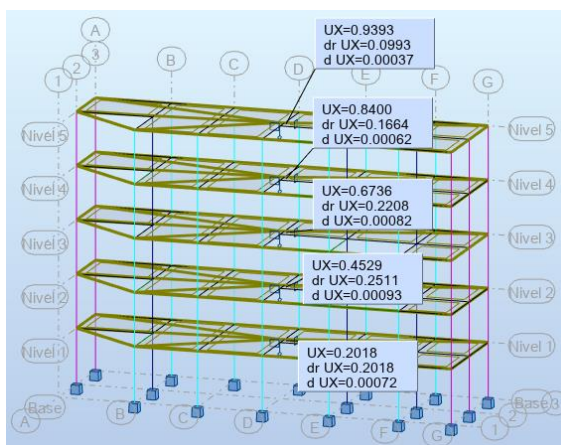
Dirección X-X				
Cortante estática	Cortante dinámica	Irregular	Porcentaje	Factor de escala
Kgf	Kgf			
69634,58	55654,25		90%	1,13

Tabla 48*Factor de Escala para la Dirección Y*

Dirección Y-Y				
Cortante estática	Cortante dinámica	Irregular	Porcentaje	Factor de escala
Kgf	Kgf			
62671,13	53747,56		90%	1,05

3.5.15.3. Control de Derivas en el Análisis Dinámico.

El control de derivas no es afectado por el escalamiento de fuerza cortante mínima y de manera semejante al análisis estático se procedió a calcular las derivas inelásticas (Figura 43 y 44) y comprobar que estas cumplan con los desplazamientos laterales relativos admisibles (Tabla 49 y 50).

Figura 43*Derivas Dirección X - Dinámico***Tabla 49***Control de Derivas Dirección X - Dinámico*

Derivas dirección X				
Derivas elásticas	Factor	Coefficiente básico de reducción	Derivas inelásticas	Verificación
0,00037	0,85	7,2	0,0023	Si cumple
0,00062	0,85	7,2	0,0038	Si cumple

Derivas elásticas	Factor	Coefficiente básico de reducción	Derivas inelásticas	Verificación
0,00082	0,85	7,2	0,0050	Si cumple
0,00093	0,85	7,2	0,0057	Si cumple
0,00072	0,85	7,2	0,0044	Si cumple

Figura 44

Derivas Dirección Y – Dinámico

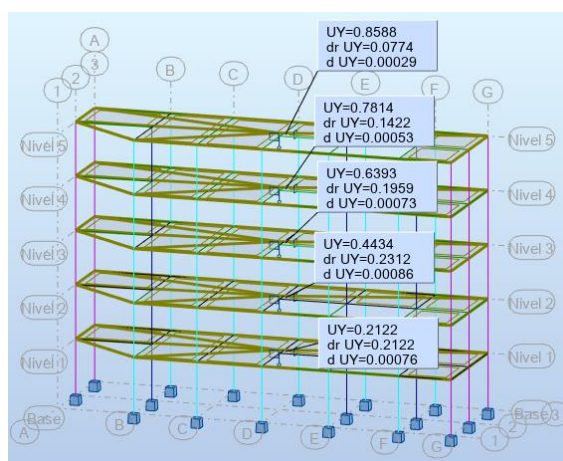


Tabla 50

Control de Derivas Dirección Y - Dinámico

Derivas dirección Y				
Derivas elásticas	Factor	Coefficiente básico de reducción	Derivas inelásticas	Verificación
0,00029	0,85	8	0,0020	Si cumple
0,00053	0,85	8	0,0036	Si cumple
0,00073	0,85	8	0,0050	Si cumple
0,00086	0,85	8	0,0058	Si cumple
0,00076	0,85	8	0,0052	Si cumple

3.5.16. Diseño de los Elementos de Concreto Armado

Correctos los análisis estático y dinámico se procedió a realizar el diseño de los elementos de concreto armado. Robot posee un apartado de diseño de elementos

de concreto armado llamado (Refuerzo Proporcionado de Elementos RC), que de acuerdo a los elementos a analizar el programa necesitara los datos relacionados a estos.

3.5.16.1. Diseño de losa Aligerada en Robot Structural.

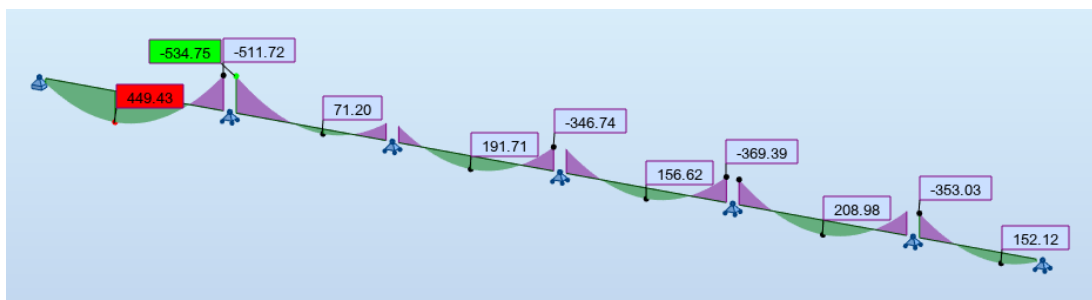
El diseño de losa aligerada se realizó considerando una viga de sección T de dimensiones, ancho de losa: 0,40 m, ancho de alma: 0,10 m y altura de losa: 0,20 m.

Se realizó el diseño para los niveles típicos de la estructura siendo estos el 1er, 2do, 3ro y 4to nivel, así mismo se utilizó el metrado de carga en losa realizado en el apartado 3.5.6.1, siendo la carga última de 0,42 Tnf/m.

Este diseño ha sido realizado en Robot Structural independientemente de la estructura general (Figura 45) y el diseño en concreto armado se hizo en una hoja de cálculo, debido a que el programa no considera el peso por metro cuadrado de losa aligerada establecida por la norma técnica peruana E.020.

Figura 45

Momentos de Losa Aligerada: 1er, 2do, 3ro y 4to nivel



Calculados los momentos, se procedió a calcular el acero de la vigueta como se muestra en las Tablas 51 y 52.

Tabla 51

Acero para Momento Negativo de Losa

Momento (-) Kgf-m	bw (-) m	As (-) cm ²	Asmin (-)
534,75	0,10	0,85	0,48
346,74	0,10	0,55	0,48
369,39	0,10	0,58	0,48
353,03	0,10	0,55	0,48

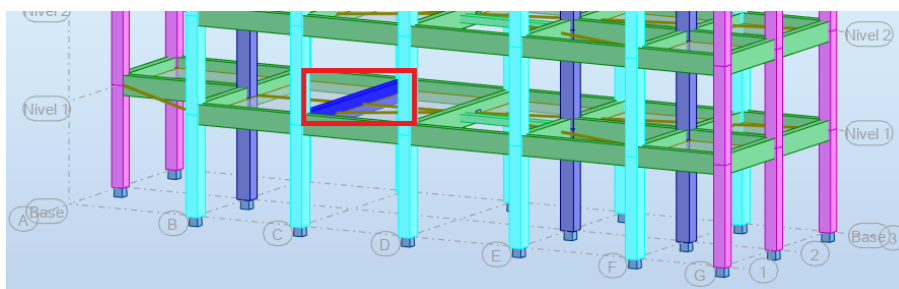
Tabla 52*Acero para Momento Positivo de Losa*

Momento (+) Kgf-m	bw (+) m	As (+) cm ²	Asmin (+)
449,43	0,40	0,69	1,93
191,71	0,40	0,29	1,93
156,62	0,40	0,24	1,93
208,98	0,40	0,32	1,93

3.5.16.2. Diseño de Viga en Robot Structural.

Para el diseño de vigas se empleó la norma E.060 de concreto armado y la herramienta (Refuerzo Proporcionado del Elementos RC) de Robot.

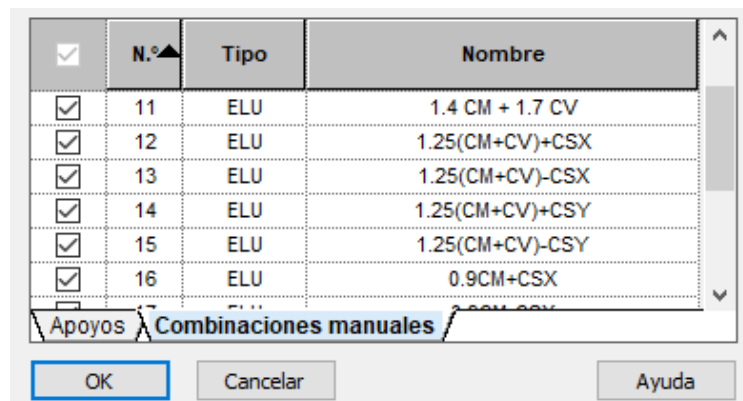
Se realizó el diseño de la viga entre los ejes: Eje 1-3 y Eje C-C, del primer nivel siendo esta típica para los demás niveles (Figura 46), excepto la viga del último nivel. Se eligió esta viga debido a que es la que soporta mayor carga.

Figura 46*Selección de la viga del Eje 1-3 y Eje C-C*

El programa permite diseñar las vigas de acuerdo a las combinaciones de carga que se estableció en el análisis estructural, en este sentido se seleccionó las combinaciones de acuerdo a las solicitaciones de la norma E.060 como se muestra en la Figura 47.

Figura 47

Selección de Combinaciones de Carga en Viga

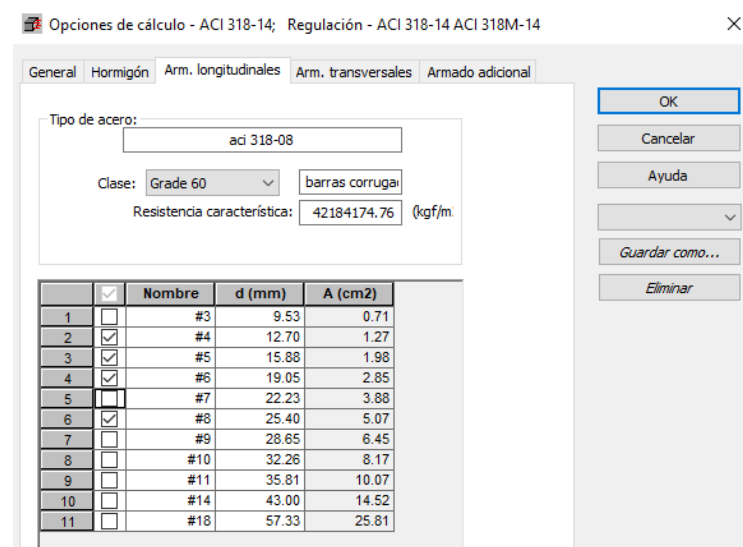


En la herramienta (Opciones de Cálculo) del programa; se incorporaron los datos de acuerdo a la normativa E.060 de concreto armado, como se describe a continuación:

En la pestaña general se estableció el recubrimiento de la armadura transversal de 4 cm, en la pestaña hormigón se seleccionó el material de concreto armado de resistencia 210 Kg/cm² y finalmente el acero longitudinal y transversal de acuerdo a los diámetros comerciales (Figura 48).

Figura 48

Opciones de Calculo para Viga



En la herramienta (Disposición de Armaduras) se introdujo los datos relacionados a la separación de barras.

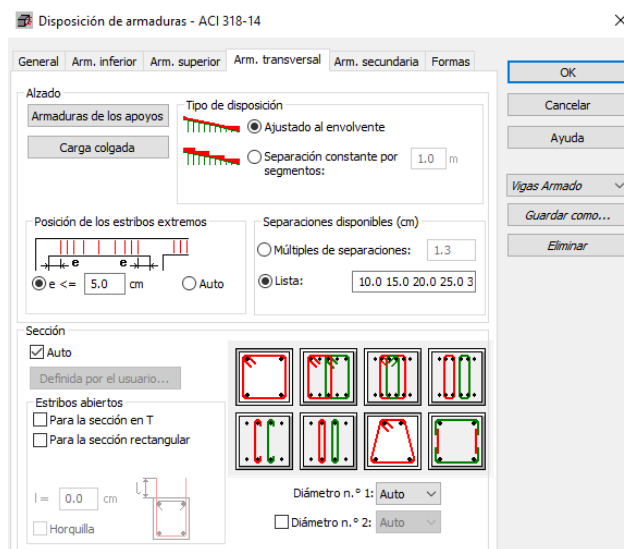
En la pestaña: General, se estableció la longitud de barra de 9 m.

En la pestaña: Armadura superior e inferior, se estableció la cantidad de capas de acero de la viga, así como el número de filas de acero de la viga.

En la pestaña: Armadura transversal, se estableció la disposición y posición de los estribos de la viga (Figura 49).

Figura 49

Disposición de Armaduras en Vigas



Teniendo las configuraciones correctas se procedió a calcular la viga (Figura 50), Robot proporciona el armado de acuerdo a las solicitaciones de carga establecidas como se aprecia en la Figura 51.

Figura 50

Generación de Armado en Viga

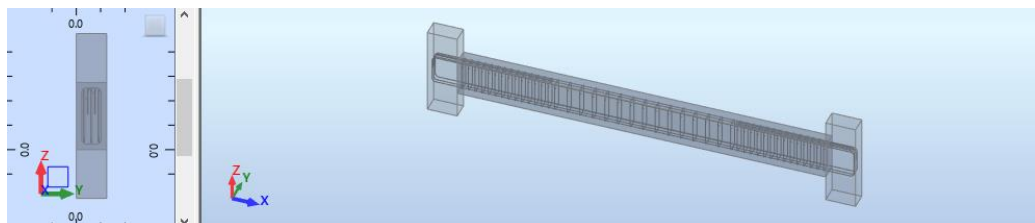


Figura 51

Disposición de Acero en Viga Propuesto por Robot

	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro	Número	(m)
1	4	transversal principal	Grade 60	#3	43	B = 0.470
2	1	<valores diferentes>	Grade 60	#5	6	B = 6.370
3	2	principal superior	Grade 60	#5	2	B = 0.208
4	3	principal superior	Grade 60	#5	2	B = 1.798
*						

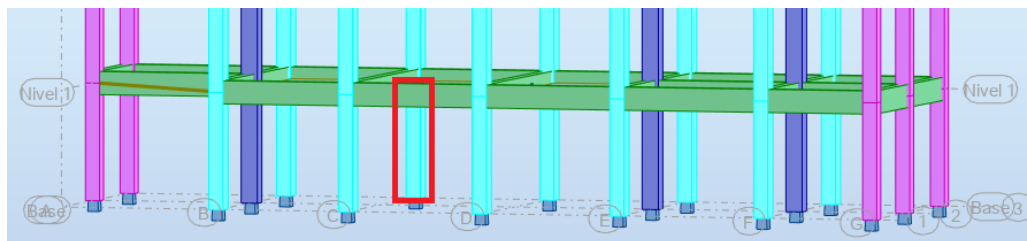
3.5.16.3. Diseño de Columna en Robot Structural.

Para el diseño de columnas se empleó la norma E.060 de concreto armado y la herramienta (Refuerzo Proporcionado del Elementos RC) de Robot.

Se realizo el diseño de la columna entre los ejes: Eje 3 y Eje C, del primer nivel (Figura 52).

Figura 52

Selección de Columna del Eje 3-C



La Figura 53 muestra las cargas que fueron consideradas para el diseño de concreto armado de la columna.

Figura 53

Selección de Combinaciones de Carga en Columnas

<input checked="" type="checkbox"/>	N.º	Tipo	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/>	11	ELU	1.4 CM + 1.7 CV
<input checked="" type="checkbox"/>	12	ELU	1.25(CM+CV)+CSX
<input checked="" type="checkbox"/>	13	ELU	1.25(CM+CV)-CSX
<input checked="" type="checkbox"/>	14	ELU	1.25(CM+CV)+CSY
<input checked="" type="checkbox"/>	15	ELU	1.25(CM+CV)-CSY
<input checked="" type="checkbox"/>	16	ELU	0.9CM+CSX

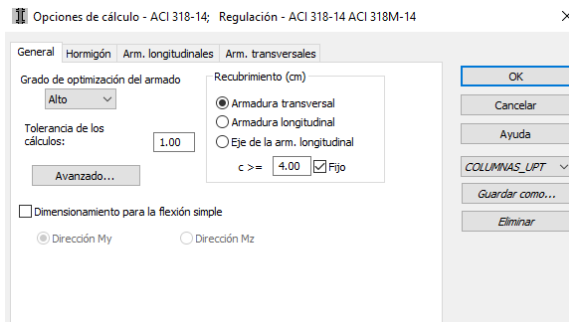
Apoyos Combinaciones manuales

OK Cancelar Ayuda

Para el diseño de columnas partimos de la herramienta de (Opciones de Cálculo) del programa (Figura 54), en este apartado se proporcionó datos como recubrimiento, el tipo de concreto y los diámetros de acero comerciales para el diseño.

Figura 54

Opciones de Calculo para Columna



En la herramienta (Disposición de Armaduras) como se muestra en la Figura 55, se estableció las disposiciones de los aceros como se describe a continuación.

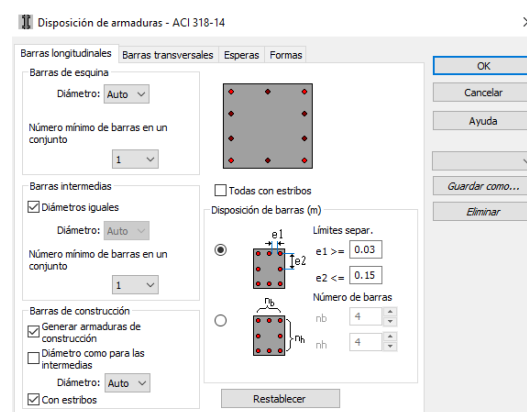
En la pestaña: Barras longitudinales, se estableció los límites de separación entre barras siendo esta de 2,5 cm de separación mínima y 15 cm como separación máxima.

En la pestaña: Barras transversales, se estableció las formas de armado de los estribos.

En la pestaña: Formas, se estableció la forma de las barras longitudinales y transversales.

Figura 55

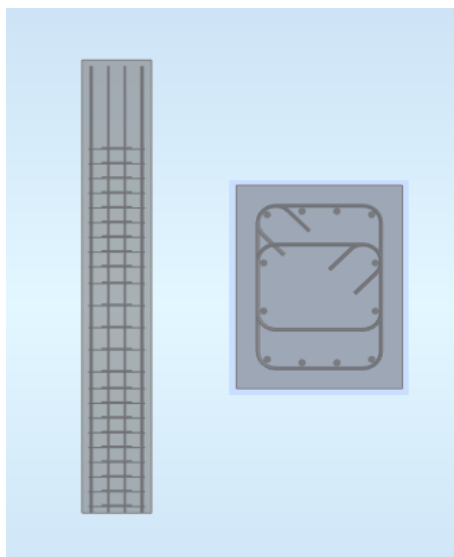
Disposición de Armaduras en Columnas



Luego se procedió a calcular la columna, a continuación, se presenta los resultados de la columna ubicada en el Eje 3 y Eje C (Figura 56).

Figura 56

Generación de Armado en Columna



En la Figura 57 se muestra la cantidad de acero que requiere la columna analizada.

Figura 57

Disposición de Acero en Columna Propuesto por Robot

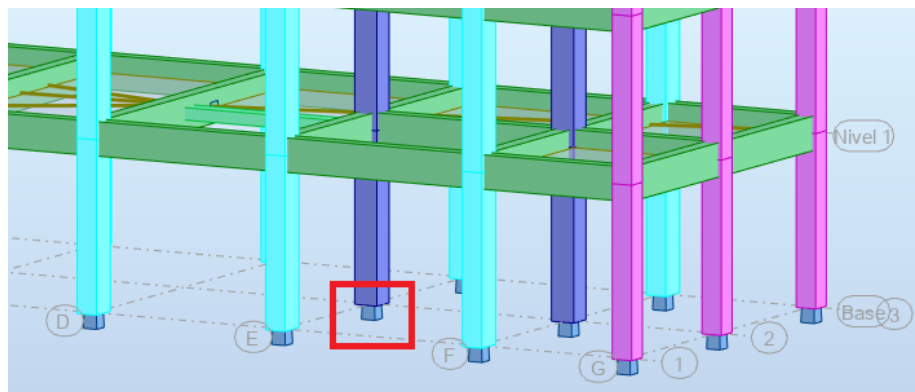
	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro	Número	(m)
1	1	principal	Grade 60	#5	12	B = 3.035
2	2	transversal	Grade 60	#3	23	B = 0.370
3	3	transversal	Grade 60	#3	23	B = 0.270
*						

3.5.16.4. Diseño de Zapatas en Robot Structural.

Para el diseño de las zapatas se seleccionaron los apoyos de la estructura, cada zapata se analizó por separado puesto que requieren de un análisis distinto debido a su posición y la carga que soportan (Figura 58). Robot permite también incorporar datos de estudios geotécnicos, en este sentido, se agregaron parámetros de suelo que corresponden al proyecto. En este sentido se muestra el cálculo de zapata para la columna C1 que se ubica entre los ejes 2-E.

Figura 58

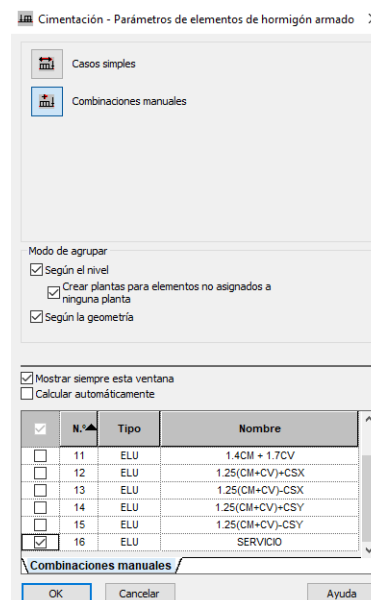
Selección del Nudo de Ejes 2-E



Primeramente, se seleccionaron los casos de carga manuales (Figura 59) para el diseño correspondiente de la zapata siendo esta la de servicio y la combinación mayorada (1,4CM+1,7CV).

Figura 59

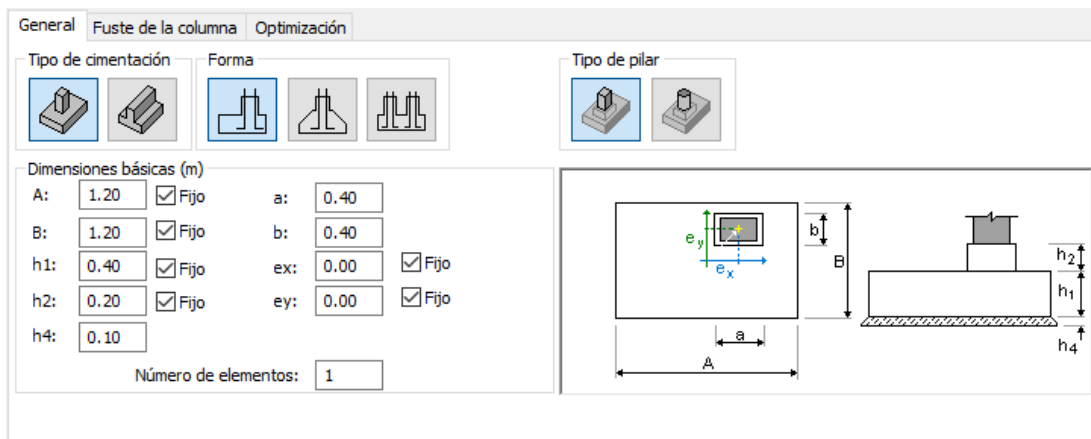
Asignación de Combinaciones Manuales en Zapata



Seguidamente se propusieron dimensiones básicas para la zapata tales como: espesor, largo y ancho de la zapata, como se muestra en la Figura 60.

Figura 60

Configuración Dimensional de la Zapata

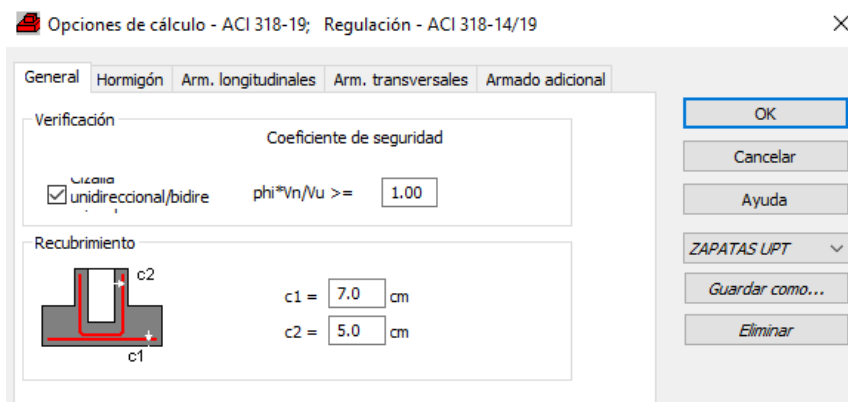


En la herramienta (Opciones de Cálculo) del programa (Figura 61); se incorporaron los datos relacionados al armado de la zapata como se describe a continuación:

En la pestaña general se estableció el recubrimiento de la armadura de 7 cm, en la pestaña hormigón se seleccionó el material de concreto armado de resistencia 210 Kg/cm² y finalmente el acero longitudinal y transversal de acuerdo a los diámetros comerciales.

Figura 61

Opciones de Cálculo en Zapata



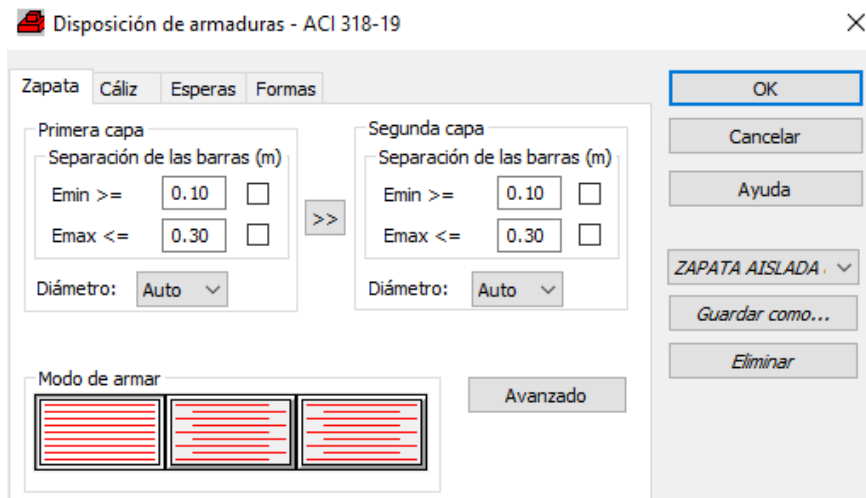
En la herramienta (Disposición de Armaduras) como se muestra en la Figura 62, se introdujo los datos relacionados a la separación de barras.

En la pestaña: Zapatas, se estableció las separaciones de los aceros de la zapata.

En la pestaña: Forma, se estableció los ganchos, estos solo si son necesarios.

Figura 62

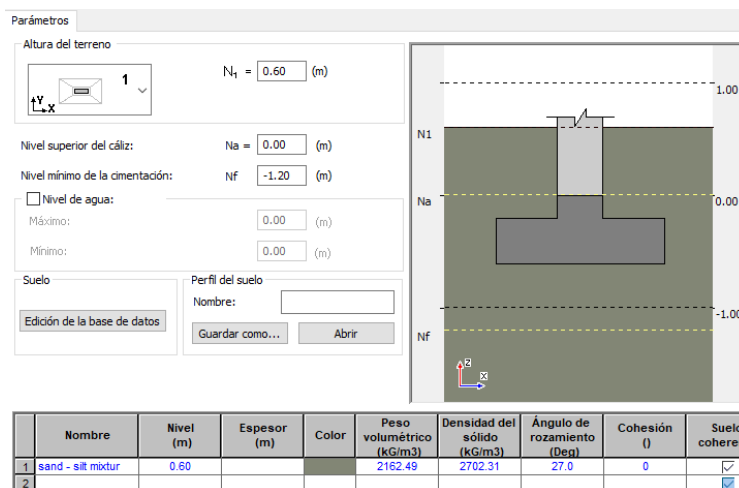
Disposición de Armaduras en Zapata



En la herramienta (Definir Suelo) como se aprecia en la Figura 63, se introdujo los datos relacionados al tipo de suelo siendo esta arena limosa (SM) y el nivel mínimo de cimentación de 1,20 m (Df).

Figura 63

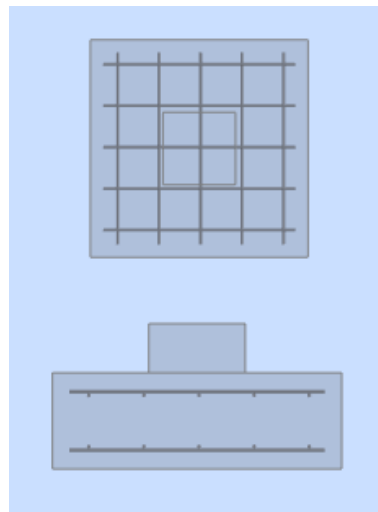
Parámetros de Suelo en Zapata



En la herramienta (Opciones geotécnicas) como se muestra en la Figura 64 pestaña Tensión, se introdujo el valor de la capacidad de carga admisible del suelo.

Figura 64*Opciones Geotécnicas en Zapata*

Con las consideraciones realizadas anteriormente se calculó el acero requerido para la cimentación (Figura 65 y 66).

Figura 65*Generación Armado en Zapata***Figura 66***Disposición de Acero en Zapata*

General Detallada Lista						
	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro	Número	(m)
1	1	<valores diferentes>	Grade 60	#5	20	L1 = 1.06
*						

3.5.17. Interoperabilidad Robot Structural – Revit

Para el cambio de información del programa Robot Structural hacia Revit se realizó según el Anexo 4; Esto con la finalidad de cuantificar y crear documentación del proyecto.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Aplicación de la Metodología BIM

La aplicación de BIM en esta investigación se orientó en la etapa de análisis y diseño de una edificación de concreto armado proyectado en la ciudad de Tacna esta cuenta con un área en planta de 120 m² y 5 niveles; en esta etapa se pudo apreciar mayor productividad en el análisis y diseño estructural, coordinación entre el modelo estructural y arquitectónico, consistencia de información y mejor visualización del modelo estructural bajo situaciones reales.

4.1.1. *Flujo de Trabajo en el Análisis Estructural*

Teniendo vinculado la arquitectura en el modelo estructural se procedió a ubicar los elementos estructurales tales como columnas, vigas y losas; y simultáneamente verificar si existe interferencias entre ambos modelos. Con la estructura modelada en su plenitud, se verificó el modelo analítico, en el transcurso de la revisión se pudo contar con la posibilidad de asignar casos de carga, combinaciones de carga, apoyos y otros, debido a que Revit no es un programa especialmente para el análisis y diseño estructural no se optó por asignar estas características. Después se exportó el modelo a analítico al programa Robot Structural, aquí se procedió a asignar características estructurales tales como masa de la estructura, excentricidades, comportamiento estructural de los paneles y otros para el respectivo análisis estático, dinámico y diseño de concreto armado.

Finalmente, correcto los resultados se envió la información generada devuelta a Revit y así generar la documentación y cuantificación relacionada con estructuras.

4.2. Plataforma y Herramienta BIM

La adopción del programa Revit como plataforma BIM permitió generar modelos geométricos de los distintos elementos estructurales que conformaron la edificación. El programa tiene en cuenta la función que desarrollarán estos elementos dentro del proyecto, siendo este aspecto importante al momento de intercambiar datos al programa de análisis estructural. Robot tiene las capacidades de análisis como otros programas e incluso otros aspectos más desarrollados. En este sentido la utilización de ambos programas permitió desarrollar la metodología BIM en la Ingeniería Estructural de manera eficiente.

4.2.1. *Modelo Geométrico y Analítico*

Cuando se desarrolló el modelo geométrico en Revit, simultáneamente se generó el modelo analítico; por otro lado, se observó que el modelo analítico tenía inconvenientes como desfases. Por tanto, para poder corregir este aspecto se procedió a modelar los elementos de centro a centro, de manera que, a los nudos lleguen los elementos correspondientes.

4.3. **Coordinación entre Arquitectura y Estructuras**

El proceso de coordinación entre las especialidades de Arquitectura y Estructuras durante el análisis estructural fue de vital importancia, puesto que cualquier cambio geométrico debido al análisis estructural, este se actualizó al modelo estructural en Revit, en consecuencia el modelo arquitectónico se actualiza ante estos cambios, como también sugiere otras alternativas generando así una comunicación entre ambas especialidades y dando como resultado un proyecto con pocas deficiencias al momento de la ejecución.

4.4. **Análisis Estructural**

De acuerdo a la arquitectura se hizo el pre dimensionamiento de los elementos estructurales y tener una base para el análisis estructural, estas dimensiones tentativas fueron las siguientes (Tabla 53).

Tabla 53

Resumen del Pre dimensionamiento

Elementos estructurales	Dimensiones
Losa	Espesor 20 cm
Vigas	0,25 m * 0,35 m 0,25 m * 0,55 m
Columnas	Esquineras 0,25 m * 0,25 m Laterales 0,30 m * 0,30 m Centrales 0,35 m * 0,35 m

Se optó por un sistema de pórticos de concreto armado en ambas direcciones, luego se procedió a modelar la estructura en Revit, terminado este proceso se integró la estructura al programa Robot. En un primer análisis este incumplía los requerimientos de la norma E.030, en este sentido se procedió a incrementar las secciones transversales de las columnas siendo las siguientes (Tabla 54).

Tabla 54*Sección de Columnas Finales*

Elemento estructural	Dimensiones	Disposición
Columnas	C1 (40 cm*40 cm)	Centrales
	C2 (35 cm*35 cm)	Esquineras
	C3 (35 cm*45 cm)	Perimetrales

4.4.1. Resultados del Análisis Estático

Con respecto al análisis estático la estructura tenía un comportamiento adecuado con las dimensiones finales adoptadas, los valores de derivas en las direcciones X y Y están en el rango permitido por la norma E.030 como se presenta en la Tabla 55.

Tabla 55*Resumen de Derivas (Análisis Estático)*

Derivas x-x	Derivas y-y
0,0029	0,0025
0,0048	0,0045
0,0062	0,0060
0,0069	0,0069
0,0053	0,0060

4.4.2. Resultados del Análisis Dinámico

De la misma manera, el análisis dinámico modal espectral se calcularon las derivas correspondientes (Tabla 56) que cumplen con lo especificado con la norma.

Tabla 56*Resumen de Derivas (Análisis Dinámico)*

Derivas x-x	Derivas y-y
0,0023	0,0020
0,0038	0,0036
0,0050	0,0050

Derivas x-x	Derivas y-y
0,0057	0,0058
0,0044	0,0052

4.5. Diseño Estructural

4.5.1. Losa Aligerada

El área neta de acero para losa aligerada (Tabla 57) fue calculada mediante una hoja de cálculo, se tomó los momentos máximos del tramo más crítico en la franja de diseño. En la siguiente tabla se muestra el área de acero requerida en la losa aligerada.

Tabla 57

Acero Requerido en Losa

	Tipo de acero	Cantidad de varillas
Acero negativo	1/2 "	1
Acero positivo	5/8 "	1

4.5.2. Viga

El área neta de acero de la viga (Eje 1-3 y Eje C-C) calculada en robot es como se muestra en la (Tabla 58).

Tabla 58

Acero Requerido en Viga

	Tipo de acero	Cantidad de varillas
Acero negativo	5/8 "	3
Acero positivo	5/8 "	3
Estribos	3/8 "	43

4.5.3. **Columna**

El área neta de acero de la columna (Eje 3 y Eje C) calculada en robot es como se muestra en la (Tabla 59).

Tabla 59

Acero Requerido en Columna (C-2)

	Tipo de acero	Cantidad de varillas
Estribos 1	3/8 "	23
Estribos 2	3/8 "	23
Acero longitudinal	5/8 "	12

4.5.4. **Zapata**

El área neta de acero de zapata (Eje 2 y Eje E) calculada en robot es como se muestra en la (Tabla 60).

Tabla 60

Acero Requerido en Zapata

	Tipo de acero	Cantidad de varillas
Acero superior	5/8 "	10
Acero inferior	5/8 "	10

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Hipótesis General Propuesta

La hipótesis general planteada fue “La aplicación de la metodología BIM en optimiza el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado”. La implementación de la metodología BIM en el proceso análisis y diseño estructural; redujo el tiempo de trabajo, a la vez permitió la reducción de incompatibilidades entre las distintas especialidades debido a la continua coordinación entre los mismos y el cambio de información bidireccional entre la plataforma y herramienta BIM.

5.2. Hipótesis Especifica 1

La hipótesis específica 1 planteada fue “La generación del modelo de información en el proceso de diseño estructural optimiza el tiempo de trabajo”. La generación del modelo de información virtual en el proceso inicial del diseño estructural, redujo el tiempo de trabajo; debido a que el mencionado modelo virtual de la estructura realizada en Revit, sirvió para la discretización automática de la estructura en el programa Robot Structural generando así un modelo analítico automático.

5.3. Hipótesis Especifica 2

La hipótesis específica 2 planteada fue “La coordinación entre especialidades de arquitectura y estructuras reduce incompatibilidades del proyecto”. La vinculación del modelo arquitectónico con el modelo estructural permitió reducir las interferencias entre ambos; como la posición, configuración y la geometría de los elementos estructurales (columnas, vigas y losas).

5.4. Hipótesis Especifica 3

La hipótesis específica 3 planteada fue “Los programas Revit y Robot Structural mejoran el proceso de análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado” La utilización de los programas Revit y Robot Structural; mejoraron el proceso de análisis y diseño estructural; debido a que estos programas admiten una comunicación bidireccional, permitiendo así un intercambio de información más óptima entre el modelo arquitectónico y el modelo estructural.

CONCLUSIONES

La implementación de la metodología BIM en el proceso análisis y diseño estructural; redujo el tiempo de trabajo, a la vez permitió la reducción de incompatibilidades entre las distintas especialidades debido a la continua coordinación entre los mismos y el cambio de información bidireccional entre las plataformas BIM.

La adopción de modelos de información permitió visualizar, aislar y filtrar fácilmente cualquier área o componentes de la estructura, permitiendo así un mejor panorama de la estructura, mejorando su comprensión y facilitando su proceso de análisis estructural.

La coordinación realizada entre las especialidades de arquitectura y estructura del proyecto, permitió la identificación y resolución de problemas; como la detección precisa de interferencias y errores del modelo estructural en tiempo real.

Se diseñó la edificación de concreto armado de cinco niveles y sus respectivos componentes estructurales utilizando la herramienta BIM Robot Structural, obteniendo los siguientes resultados:

El análisis sísmico estático de la estructura proyectada posee una deriva máxima de 0,0069, cumpliendo los requerimientos establecidos por la norma E.030.

El análisis sísmico dinámico de la estructura proyectada posee una deriva máxima de 0,0058, cumpliendo los requerimientos establecidos por la norma E.030.

El flujo de trabajo utilizado en la presente investigación supone una contribución al campo de la ingeniería estructural, explorando nuevas alternativas de diseño que contengan un enfoque más eficiente, preciso y económico.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a los futuros investigadores realizar la coordinación del modelo estructural con otras especialidades como instalaciones sanitarias, eléctricas y mecánicas; de manera que se abarque las interferencias que pueda presentar el proyecto y tener una comprensión global de esta.

Para siguientes trabajos de investigación, se recomienda al tesista considerar cómo influye los programas Revit y Robot Structural en sus versiones más actuales para el proceso de análisis y diseño estructural.

A los futuros investigadores se recomienda aplicar la metodología BIM en las distintas ramas de la ingeniería civil tales como la Ingeniería Hidráulica, Ingeniería de Carreteras, Ingeniería Geotécnica, Ingeniería ambiental e Ingeniería en seguridad y salud.

Se recomienda a la Universidad Privada de Tacna que se explore e implemente la metodología BIM en la enseñanza universitaria enfocado al área de estructuras; de modo que los estudiantes de ingeniería estén preparados con nuevas tecnologías y metodologías de diseño y construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. Michigan: ACI.
- Apaza Vizcarra, J. A. (2015). *Aplicación de metodología BIM para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: Editorial Episteme.
- Atto Valles, J. P., & Estrella López, K. A. (2019). *Diseño estructural mediante el Software "Autodesk Robot Structural Analysis" para la ampliación del Hotel Cielo, Tarapoto 2019*. Tarapoto: Universidad César Vallejo.
- Autodesk. (2015). *Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional*. Estados Unidos: Autodesk.
- Bhusar, A. A., & Akhare, A. R. (2014). Application of BIM in Structural Engineering. *SSRG International Journal of Civil Engineering volume 1(5)*, 11-13. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V1I5P103>.
- BIM Forum Argentina. (2017). *Estándares Argentina V 1.0*. Buenos Aires: Bim Forum Argentina.
- Blanco Blasco, A. (1998). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Lima: Capítulo de Ingeniería Civil, Consejo departamental de Lima.
- BuildingSMART. (2021). *Introducción a la Serie en ISO 19650*. Madrid: buildingSMART.
- Chi, H.-L., Xiangyu, W., & Yi, J. (2015). BIM-Enabled Structural Design: Impacts and Future Developments in Structural Modelling, Analysis and Optimisation Processes. *Archives of Computational Methods in Engineering volume 22*, 138-139,142. <https://doi.org/10.1007/s11831-014-9127-7>.
- Choquesa López, L. S. (2019). *Mejora de la productividad en proyectos de edificación mediante el sistema de gestión BIM-LEAN*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Condori Atencio, J. J. (2020). *Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología bim en el distrito de Tacna*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Fink, T. (2018). BIM for Structural Engineering. In: Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (eds) *Building Information Modeling*. Springer, 330-331. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_19.
- Guía Nacional BIM. (2021). *Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM*. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas.

- Hunt, C. A. (2013). *The Benefits of Using Building Information Modeling in Structural Engineering*. Utah: Utah State University.
- Kassimali, A. (2014). *Análisis estructural*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Kumar, B. (2021). Application of bim for structural engineering: a case study using revit and customary structural analysis and design software. *Journal of Information Technology in Construction ITcon Vol. 26*, 110. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.053>.
- López Oliver, Y. (2015). *Revit 2015*. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia.
- McCormac, J., & Brown, R. (2018). *Diseño de Concreto Reforzado*. New Jersey: Alfaomega.
- Mehrbod, S., French, S., Mahyar, N., & Tory, M. (2019). Characterizing Interactions With BIM Tools and Artifacts in Building Design Coordination Meetings. *ScienceDirect*, 196-197. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.025>.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2015). *Plan Desarrollo Urbano de la Ciudad de Tacna 2015 – 2025*. Tacna: Municipalidad Provincial de Tacna.
- Monfort Leonart, J. (2006). *Estructuras Metálicas para Edificación, Adaptado al CTE*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México: Pearson.
- Muñoz Rocha, C. I. (2015). *Metodología de la investigación*. Mexico: Oxford.
- Murcio Juarez, M. C. (2013). *Análisis y Diseño Estructural Utilizando Modelo BIM*. México: Universidad Autónoma de México.
- NTP E.020. (2006). *Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones Vers. SENCICO 2020*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- NTP E.030. (2018). *Diseño Sismoresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones Vers. SENCICO 2020*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- NTP E.060. (2009). *Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones Vers. SENCICO 2020*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Ortega García, J. E. (2014). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Macro.
- Planbim Chile. (2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos*. Santiago: Planbim Chile.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2011). *BIM Handbook*. New Jersey: Wiley.

- Sampaio, A. Z. (2017). BIM as a Computer-Aided Design Methodology in Civil Engineering. *Journal of Software Engineering and Applications*, 10, 195. <https://doi.org/10.4236/jsea.2017.102012>.
- Thea Huaccha, R. G., & Salluca Añamuro, R. A. (2019). *Desarrollo de protocolos de interoperabilidad BIM estructural*. Juliaca: Universidad Peruana Unión.
- Uribe Escamilla, J. (2000). *Análisis de Estructuras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Vera Chavez, J. J. (2018). *Confiabilidad estructural del modelado s-bim para un edificio de albañilería confinada de 04 pisos*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Villarroel Bejarano, C. E. (2016). *Análisis y Diseño de Estructuras con Autodesk Robot Structural Analysis 2016*. Santa Cruz: SENAPI.
- Villena Zúñiga, M. G. (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 análisis" (bim)*. Ambato: Universidad Técnica De Ambato.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO TACNA, 2022					
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADOR	MÉTODO
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable independiente: Aplicación de la metodología BIM.	Intercambio de información bidireccional (Escala: adimensional)	Tipo de Investigación: Descriptivo - Explicativo Nivel de la Investigación: El nivel de esta Investigación es documental Muestra: Muestra no probabilística por conveniencia
¿Cómo aplicar la metodología BIM en el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado?	Aplicar la metodología BIM en el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.	La aplicación de la metodología BIM optimiza el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.		Coordinación entre especialidades (Escala: adimensional)	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Optimización en el proceso de diseño estructural (Escala: adimensional)	Técnicas de Recolección de datos: Libros, Artículos Científicos y normas.
¿Cómo se realiza el modelo de información en el proceso de análisis estructural de una edificación de concreto armado?	Realizar el modelo de información en el proceso de análisis estructural de una edificación de concreto armado.	La generación del modelo de información en el proceso de diseño estructural optimiza el tiempo de trabajo.		Periodo fundamental de vibración (Escala: seg) Desplazamiento de entre piso (Escala: mm)	

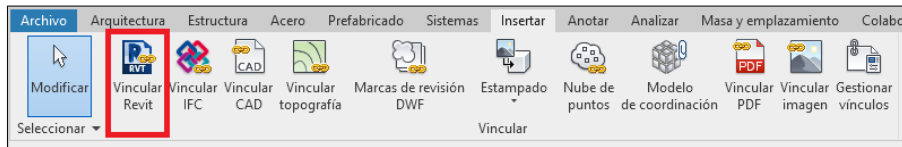
<p>¿Cómo realizar el proceso de coordinación entre las especialidades de arquitectura y estructura en el análisis y diseño de una edificación de concreto armado?</p>	<p>Realizar el proceso de coordinación entre las especialidades de arquitectura y estructura en el análisis y diseño de una edificación de concreto armado.</p>	<p>La coordinación entre especialidades de arquitectura y estructuras reduce incompatibilidades del proyecto.</p>	<p>Variable Dependiente: Análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.</p>	<p>Derivas de la estructura (Escala: adimensional) Cuantía de acero (Escala: %) Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ (Escala: Kg/cm²)</p>	<p>Instrumentos: Programa Revit Programa Robot Structural</p>
<p>¿Cómo realizar el análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado con los programas Revit y Robot Structural?</p>	<p>Analizar y Diseñar una edificación de concreto armado con los programas Revit y Robot Structural.</p>	<p>Los programas Revit y Robot Structural mejoran el proceso de análisis y diseño estructural de una edificación de concreto armado.</p>		<p>Distribución del acero de refuerzo (Escala: cm²)</p>	

Anexo 2. Vinculación de Arquitectura a Estructuras

Para realizar este procedimiento nos dirigimos a la ficha Insertar en el programa Autodesk Revit (Figura A), Click en la herramienta Vincular Revit.

Figura A

Herramienta Vincular de Revit

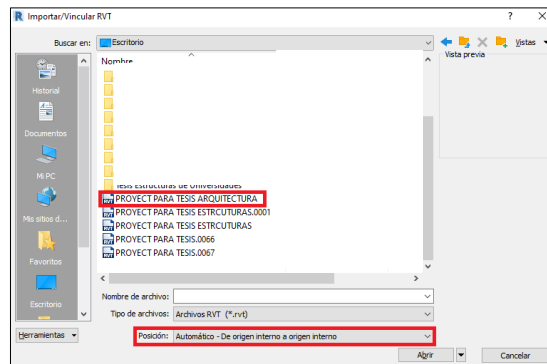


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Seguidamente se abrirá una ventana (Figura B) en el cual debemos seleccionar el archivo rvt. de arquitectura.

Figura B

Selección de Archivo de Arquitectura

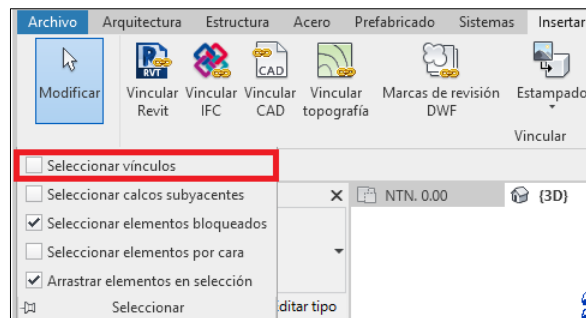


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Una vez Vinculado el archivo procedemos a desmarcar la opción *Seleccionar Vínculos* (Figura C) para que este no se desplace de su posición original.

Figura C

Configuración de Vinculo

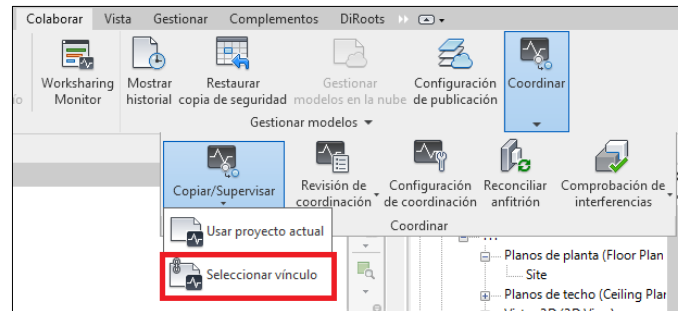


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Luego nos dirigimos a un alzado (Norte, Sur, Este, Oeste), para así copiar los niveles establecidos por la arquitectura. Click en la ficha Colaborar, luego nos dirigimos a la herramienta Coordinar (Figura D).

Figura D

Herramienta Coordinar de Revit

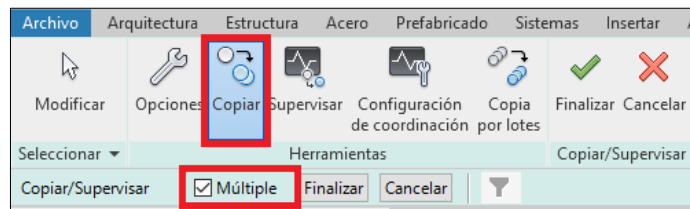


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Posteriormente seleccionamos el vínculo (modelo arquitectónico), nos dirigimos a copiar y seleccionamos la casilla múltiple como se aprecia en la Figura E.

Figura E

Duplicado de Niveles



Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Elegimos los niveles a copiar (Figura F), el nivel 0.00 no lo seleccionamos debido a que este ya está en el archivo base.

Figura F

Selección de Niveles Requeridos

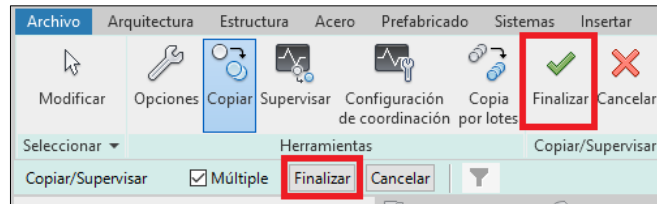


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Para finalizar este proceso daremos Click en *finalizar copiado* (Figura G), luego en Finalizar (Gestionar).

Figura G

Finalización de la Herramienta Gestionar

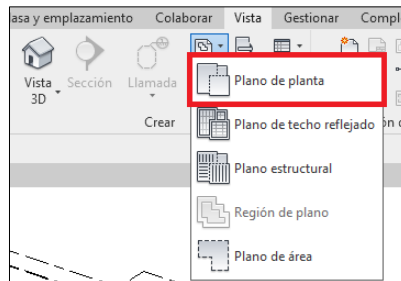


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Estos niveles creados estarán de un color negro, lo que significa que no se mostrarán como vistas en el navegador de proyectos, para modificar esto nos dirigimos a la Ficha Vista (Figura H), Click en la herramienta plano de vista, seleccionamos Plano de planta. Después seleccionamos todos los niveles y aceptar (Figura I).

Figura H

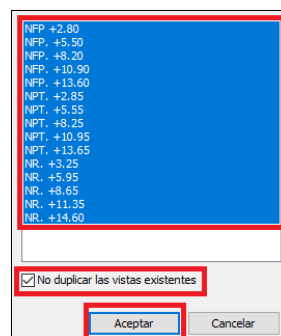
Herramienta Plano de Planta



Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Figura I

Finalización de la Herramienta Plano de Planta



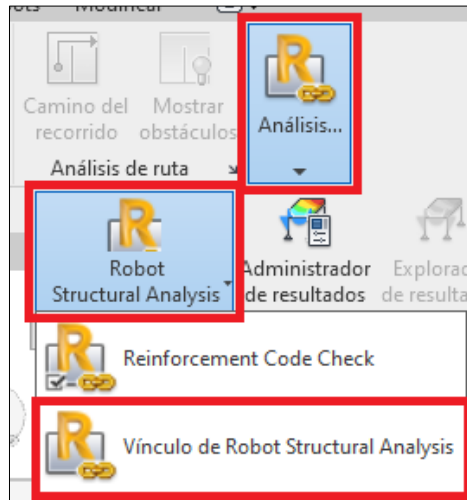
Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Anexo 3. Interoperabilidad Revit y Robot Structural

Primeramente, nos dirigimos a la ficha analizar en Revit, Click en la herramienta análisis estructural (Figura A).

Figura A

Herramienta de Análisis Estructural en Revit

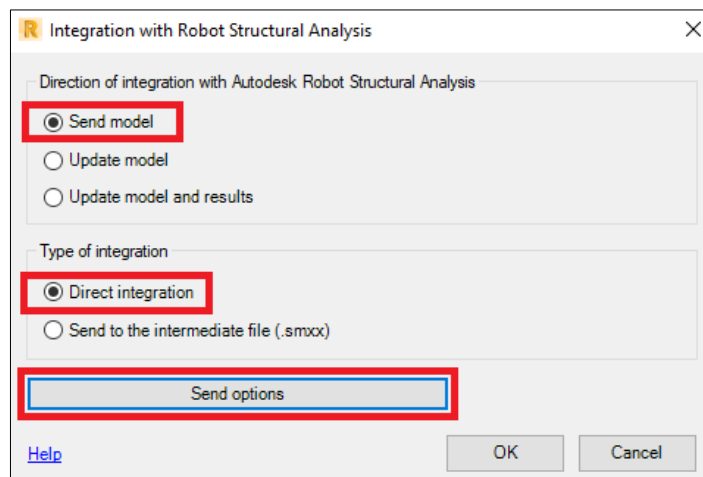


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Estando en la herramienta *Vínculo de Robot Structural Analysis* (Figura B), se seleccionan las opciones de envío de todo el modelo con una integración directa.

Figura B

Transferencia del Modelo por Integración Directa

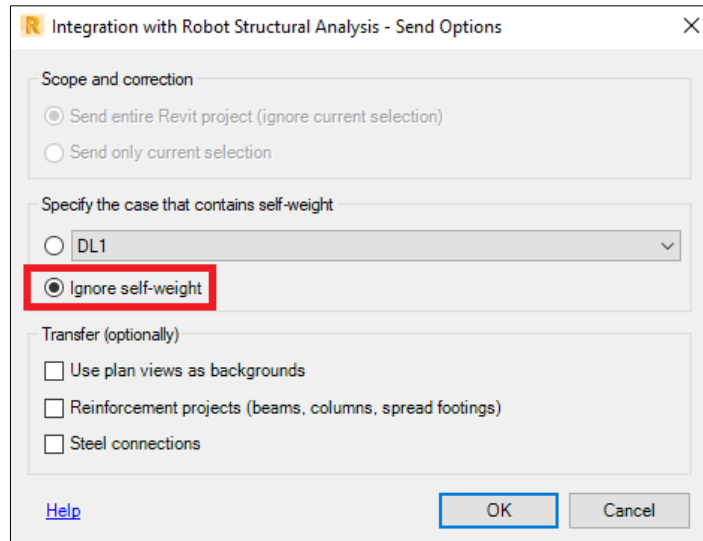


Nota. Extraído de Autodesk Revit.

C). Finalmente, en el botón de *opciones de envío* marcamos ignorar el peso propio (Figura

Figura C

Especificación del Caso de Carga



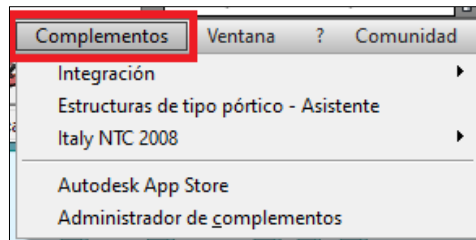
Nota. Extraído de Autodesk Revit.

Anexo 4. Interoperabilidad Robot Structural y Revit

Existen dos posibilidades de envío de información, una es seleccionando solo elementos que queremos enviar a Revit y la otra es enviar toda la información de la estructura a continuación se muestra el proceso de envío de información de Robot Structural a Revit.

Figura A

Ficha Complementos de Robot

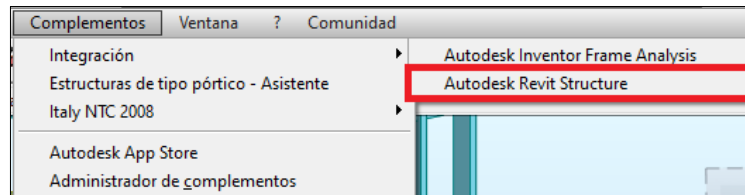


Nota. Extraído de Robot Structural.

Estando en la ficha complementos (Figura A), herramienta Integración, seleccionamos la opción de Autodesk Revit Structure (Figura B).

Figura B

Integración con Autodesk Revit

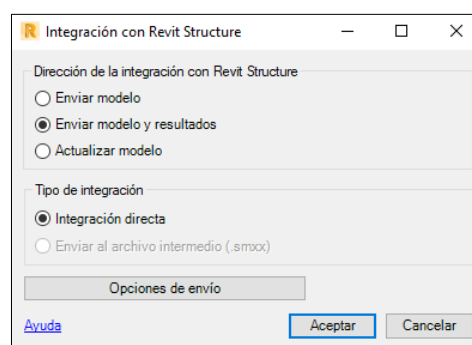


Nota. Extraído de Robot Structural

En las opciones de integración con Revit Structure se seleccionan las opciones de enviar modelo y resultados con una integración directa (Figura C).

Figura C

Opciones de Integración

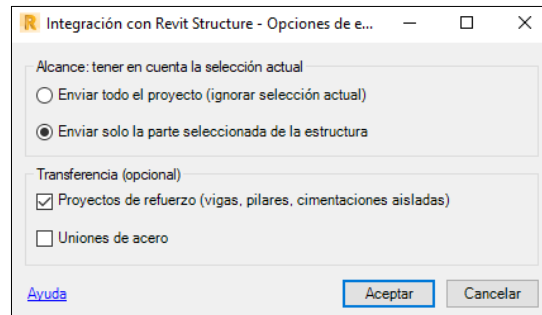


Nota. Extraído de Robot Structural.

Finalmente, en el botón de opciones de envío marcamos enviar solo la parte seleccionada de la estructura (Figura D).

Figura D

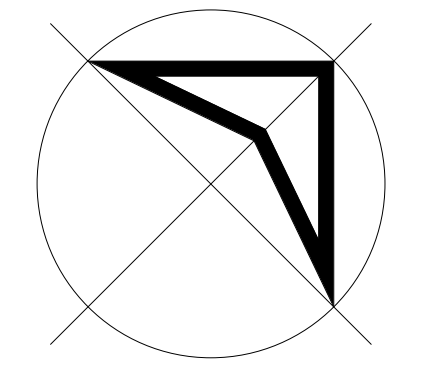
Opciones de Envío



Nota. Extraído de Robot Strutral.

Anexo 5. Planos Estructurales del Proyecto

- PLANO DE CIMENTACIONES
- PLANO DE COLUMNAS
- PLANO DE ALIGERADO



REVISIONES:

Tabla de planificación de revisiones

Número de revisión	Descripción de revisión	Fecha de revisión

VIVIENDA MULTIFAMILIAR

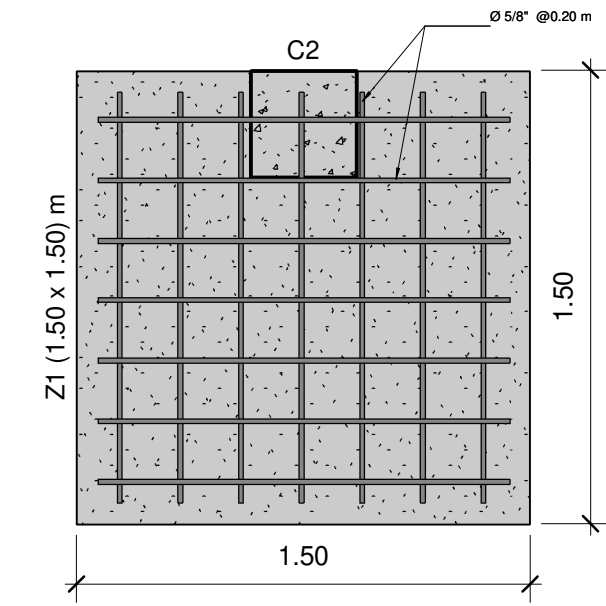
PLANO DE CIMENTACIONES

PLANO: ESTRUCTURAS

N° DE PROYECTO: 0001

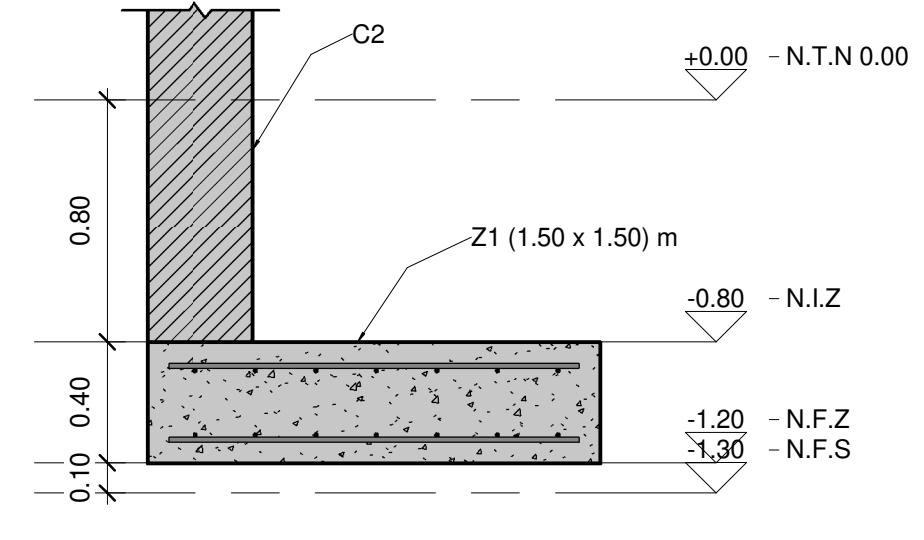
DIBUJADO POR: Bach. RONALD PHOL ALFONTE CHUCUYA

ESCALA: INDICADA FECHA: 05/29/22



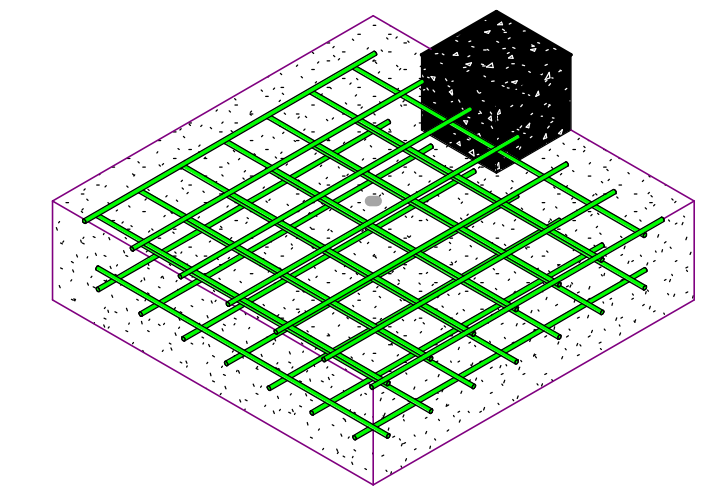
DETALLE 01 ZAPATA (Z-1)

Esc: 1 : 25

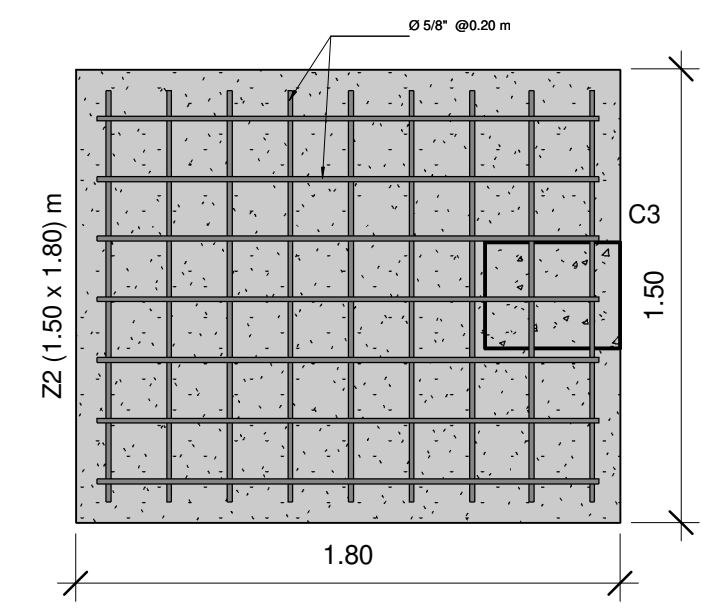


CORTE 01 ZAPATA (Z-1)

Esc: 1 : 25

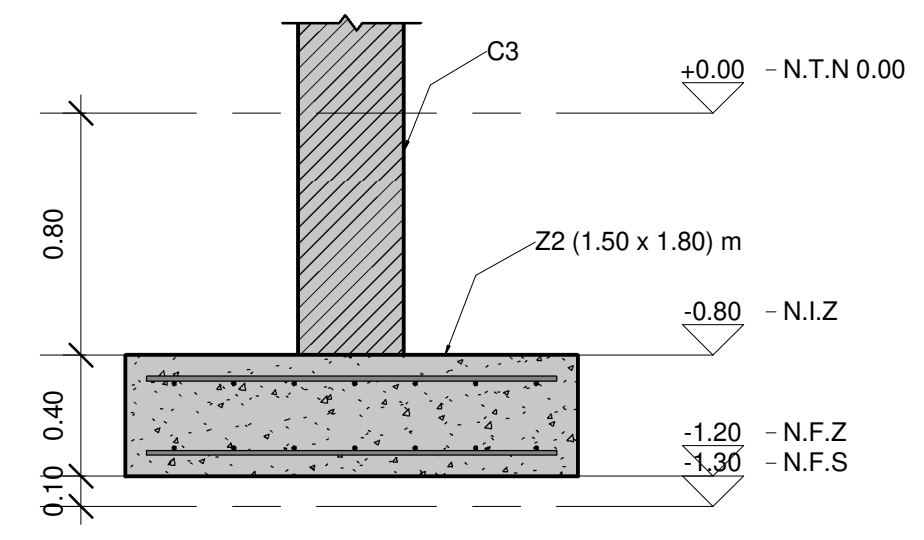


DETALLE 3D ZAPATA (Z-1)



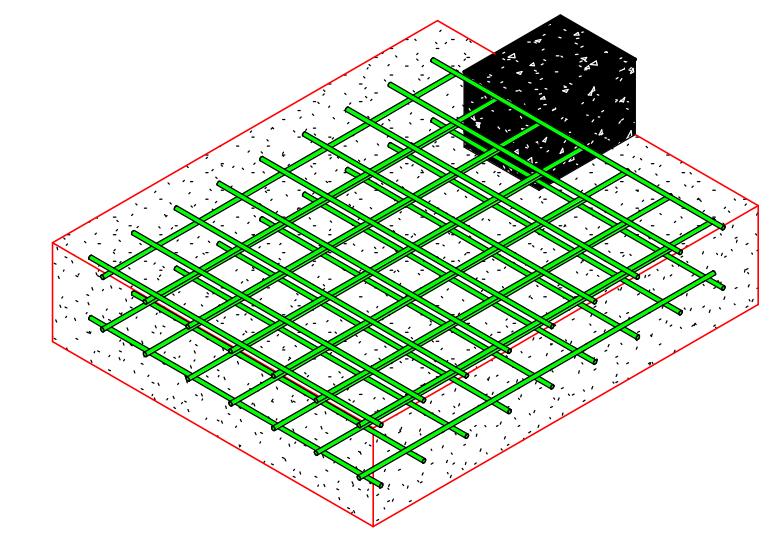
DETALLE 01 ZAPATA (Z-2)

Esc: 1 : 25

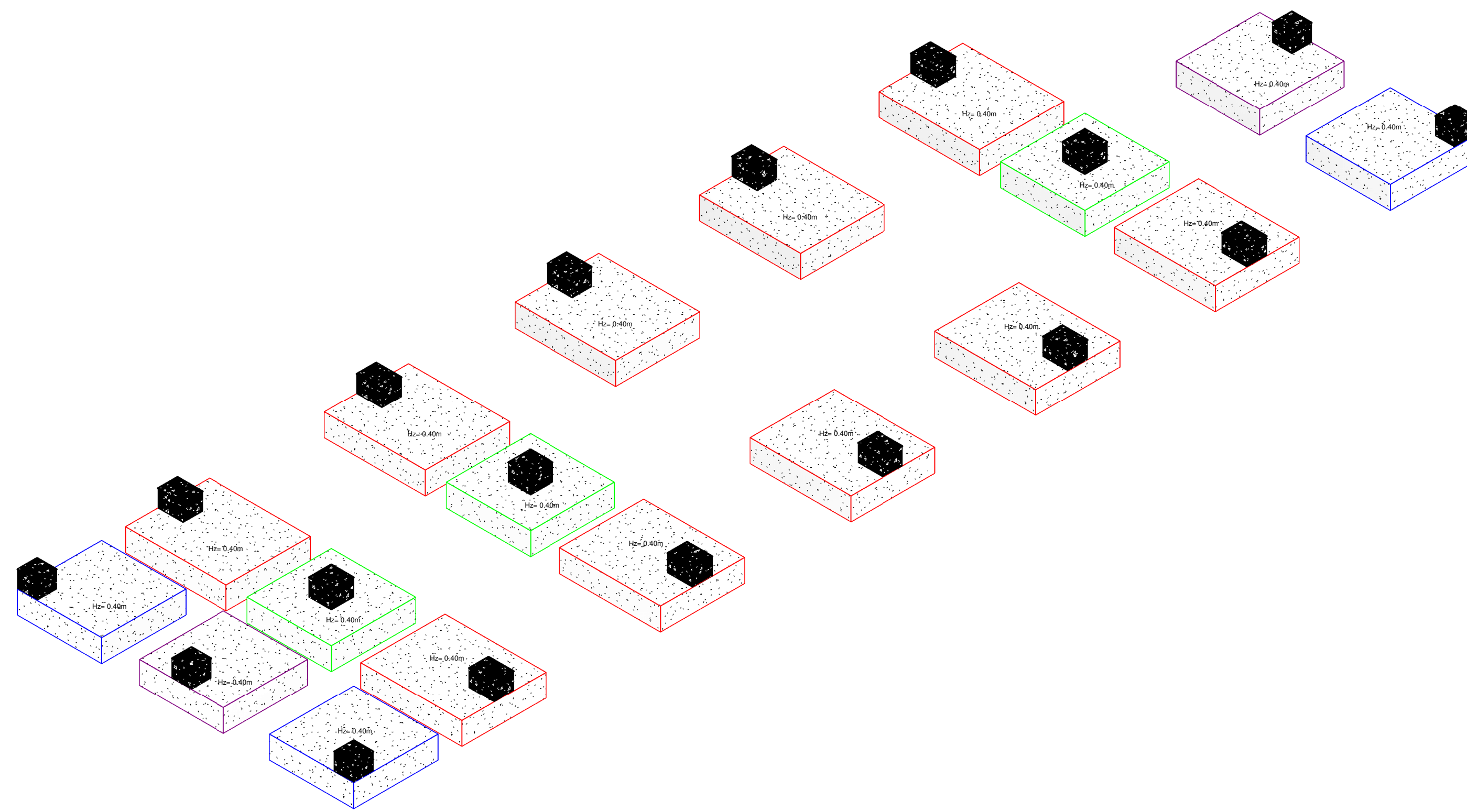


CORTE 01 ZAPATA (Z-2)

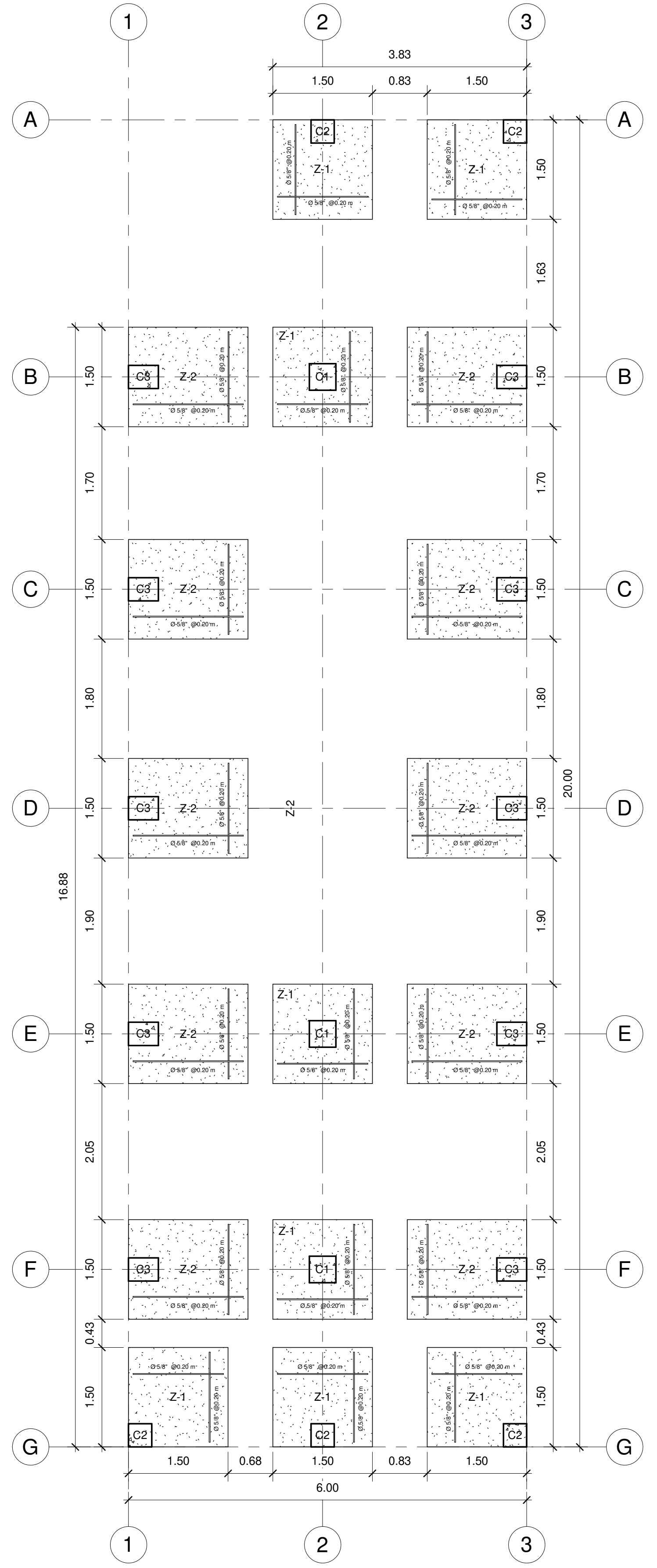
Esc: 1 : 25



DETALLE 3D ZAPATA (Z-2)

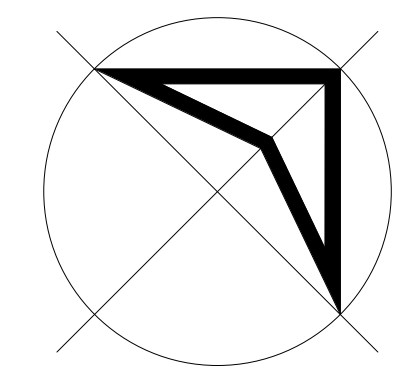


3D CIMENTACIONES



PLANO DE CIMENTACIONES

Esc: 1 : 50



REVISIONES:

Tabla de planificación de revisiones		
Número de revisión	Descripción de revisión	Fecha de revisión

VIVIENDA MULTIFAMILIAR

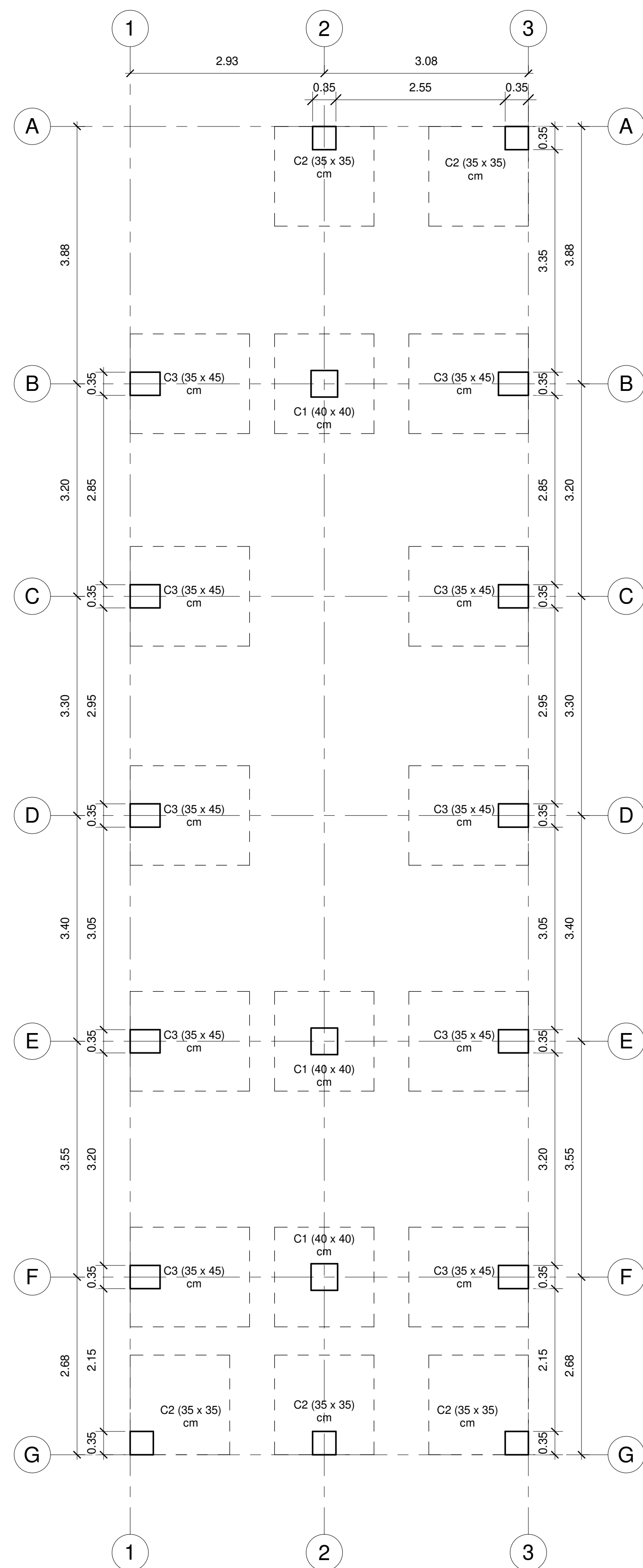
PLANO DE COLUMNAS

PLANO: ESTRUCTURAS

Nº DE PROYECTO: 0001

DIBUJADO POR: Bach. RONALD PHOL ALFONTE CHUCUYA

ESCALA: INDICADA FECHA: 05/29/22



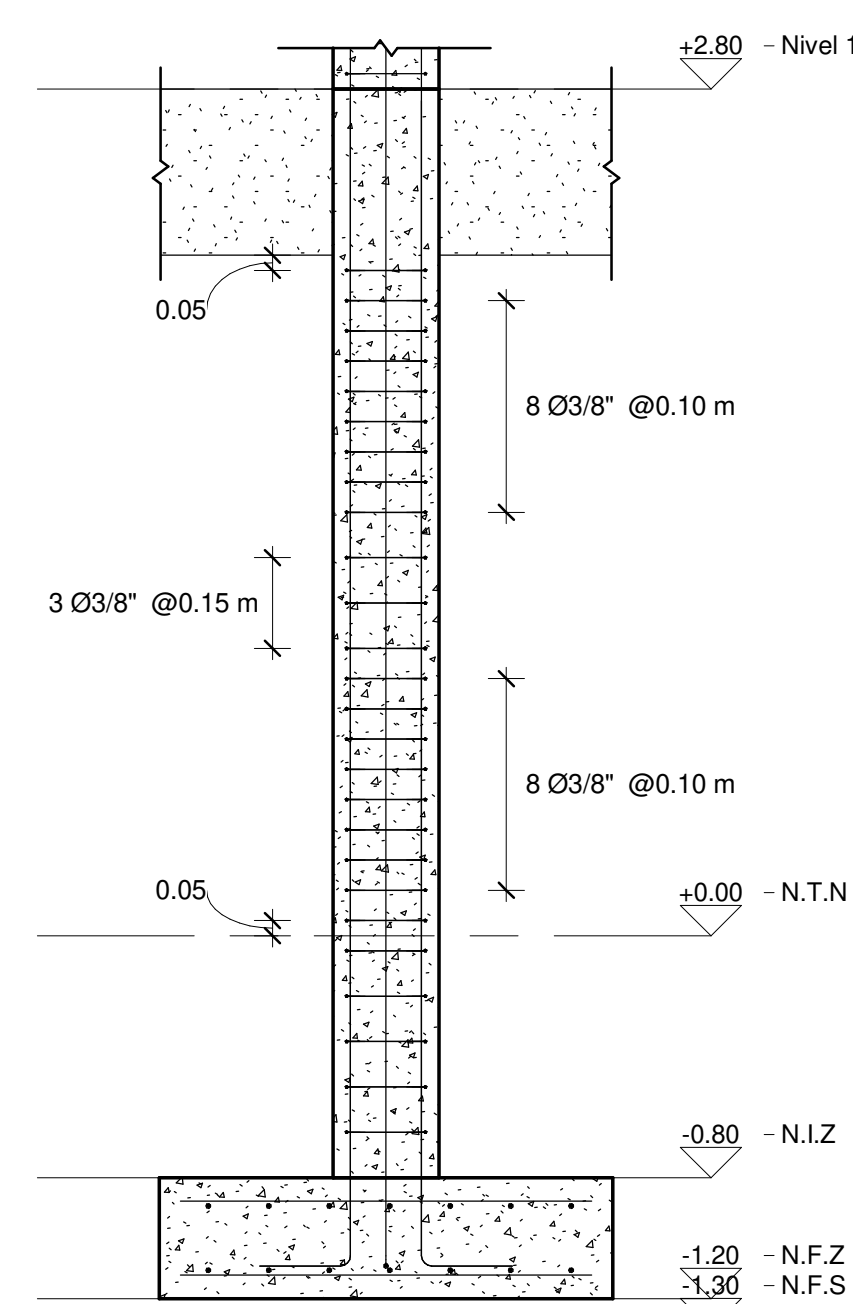
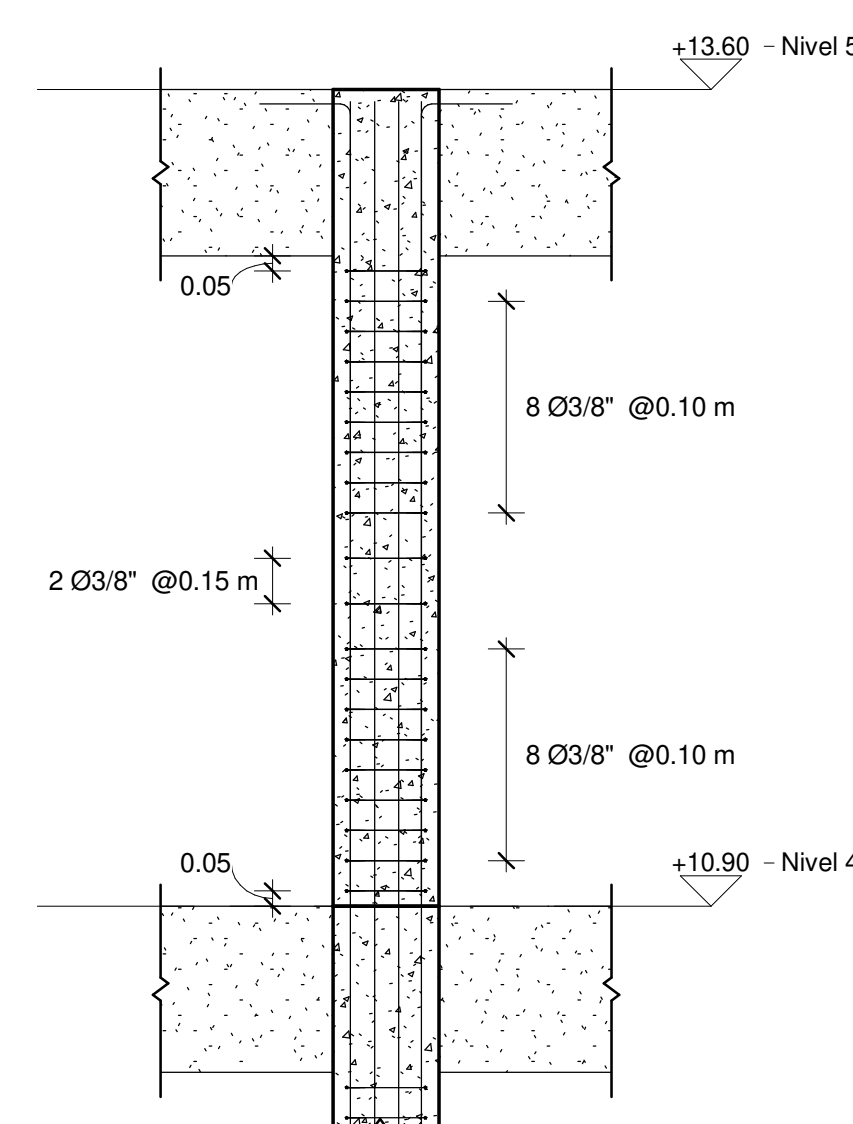
PLANO DE COLUMNAS

Esc: 1 : 50

CUADRO DE COLUMNAS			
TIPO	C - 1	C - 2	C - 3
DIMENSIÓN			
1º PISO	6 Ø3/4" + 2 Ø 5/8"	10 Ø 5/8"	12 Ø 5/8"
2º PISO	6 Ø3/4" + 2 Ø 5/8"	10 Ø 5/8"	12 Ø 5/8"
3º PISO	6 Ø3/4" + 2 Ø 5/8"	10 Ø 5/8"	12 Ø 5/8"
4º PISO	6 Ø3/4" + 2 Ø 5/8"	10 Ø 5/8"	12 Ø 5/8"
5º PISO	6 Ø3/4" + 2 Ø 5/8"	10 Ø 5/8"	12 Ø 5/8"
ESTRIBOS	2 Ø3/8", 1@ 0.05, 8@0.10 3@0.15, RESTO @0.20	2 Ø3/8", 1@ 0.05, 8@0.10 3@0.15, RESTO @0.20	2 Ø3/8", 1@ 0.05, 8@0.10 3@0.15, RESTO @0.20

CUADRO DE COLUMNAS

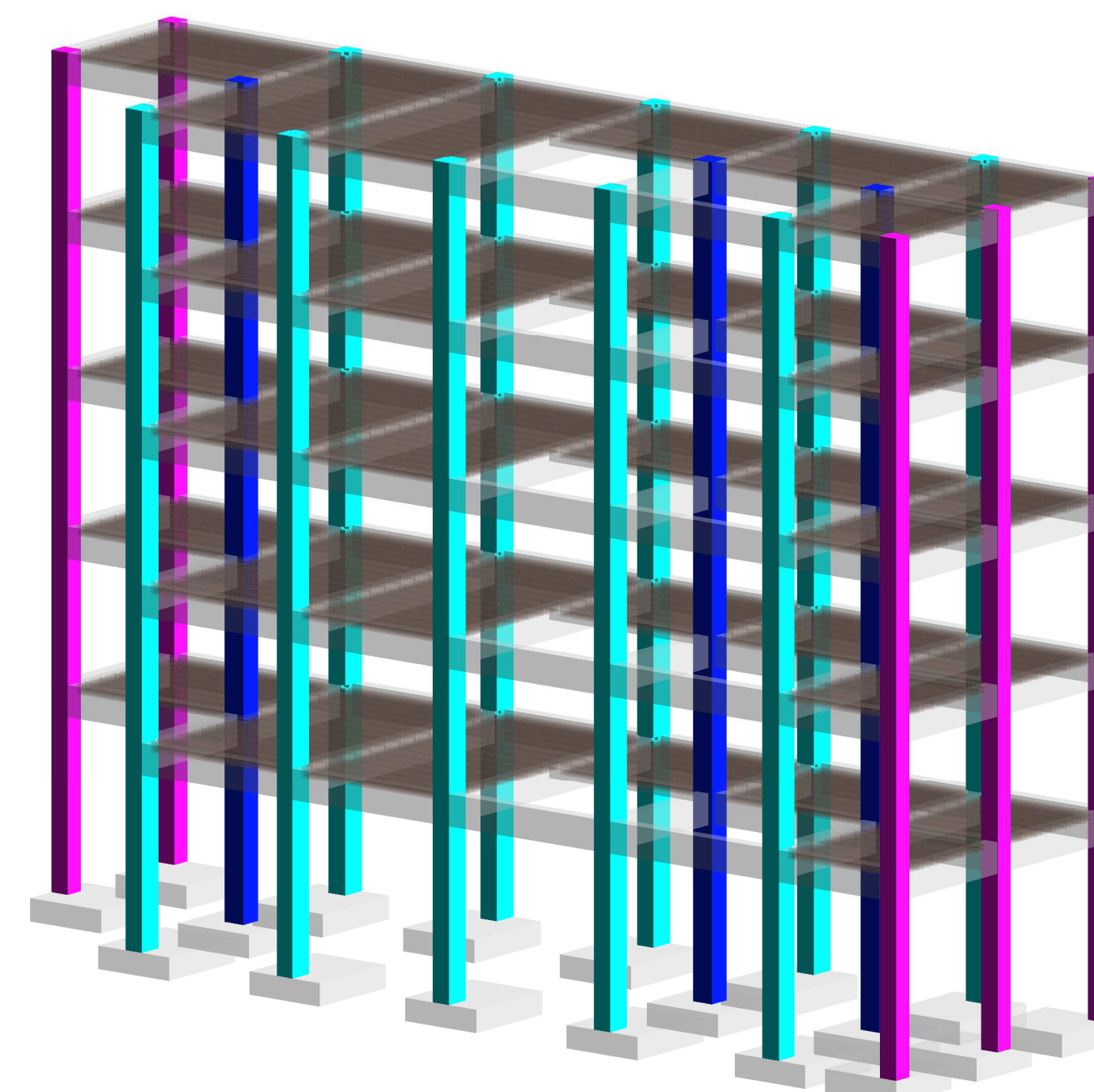
Esc: 1 : 50



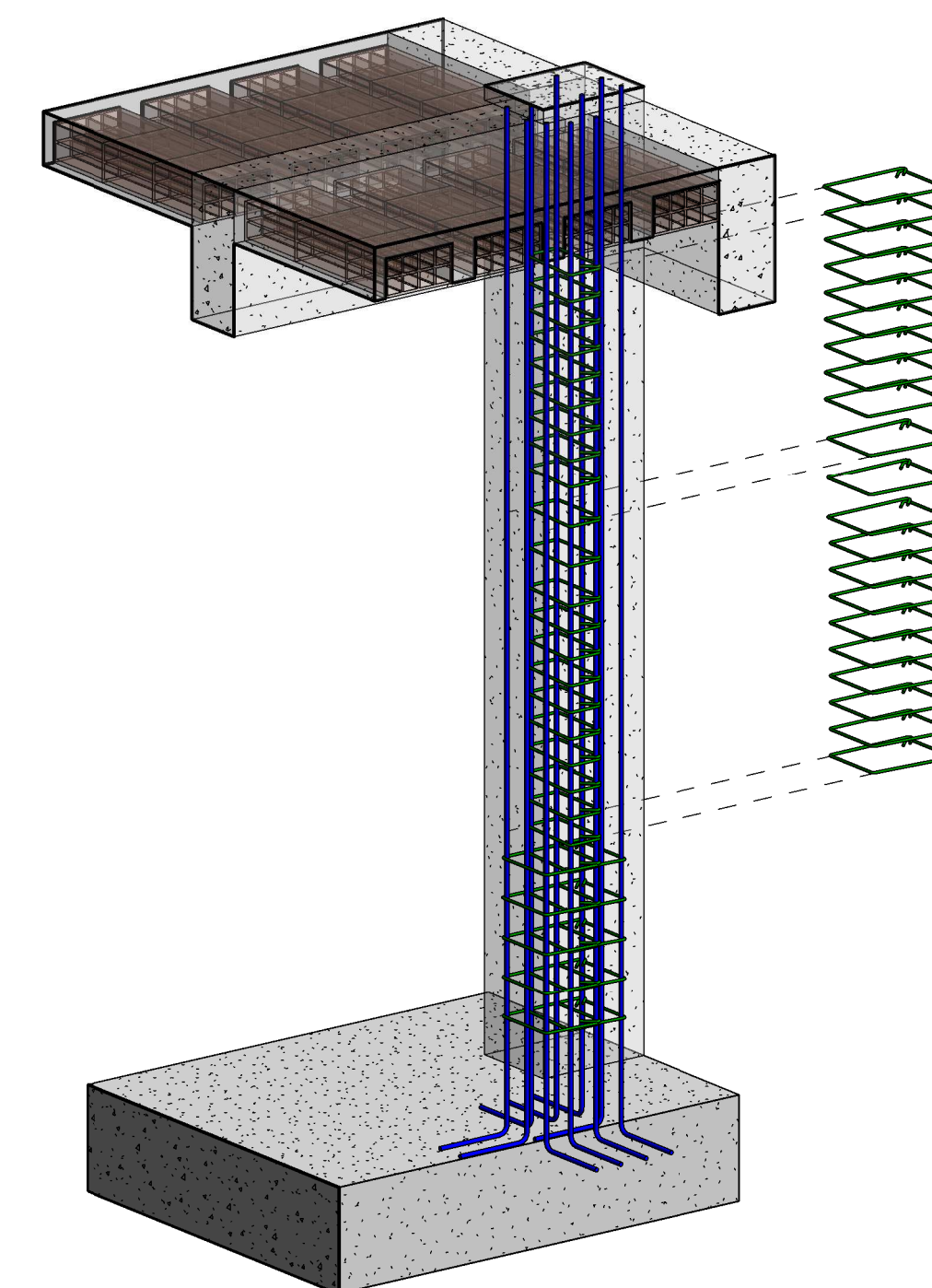
CORTE 01 DETALLE (C-3)

Esc: 1 : 25

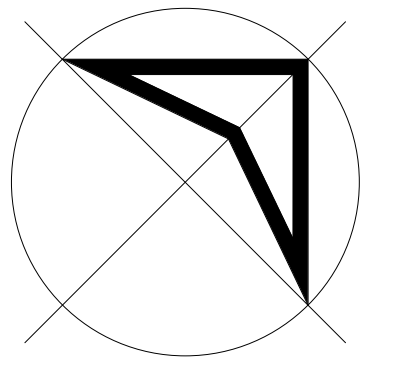
METRADO DE COLUMNAS				
Modelo	Tipo	Nivel base	Recuento	Volumen
C1	C1 (40 x 40) cm	N.I.Z	3	1.73 m³
C2	C2 (35 x 35) cm	N.I.Z	5	2.21 m³
C3	C3 (35 x 45) cm	N.I.Z	10	5.67 m³
C1	C1 (40 x 40) cm	Nivel 1	3	1.30 m³
C2	C2 (35 x 35) cm	Nivel 1	5	1.65 m³
C3	C3 (35 x 45) cm	Nivel 1	10	4.25 m³
C1	C1 (40 x 40) cm	Nivel 2	3	1.30 m³
C2	C2 (35 x 35) cm	Nivel 2	5	1.65 m³
C3	C3 (35 x 45) cm	Nivel 2	10	4.25 m³
C1	C1 (40 x 40) cm	Nivel 3	3	1.30 m³
C2	C2 (35 x 35) cm	Nivel 3	5	1.65 m³
C3	C3 (35 x 45) cm	Nivel 3	10	4.25 m³
C1	C1 (40 x 40) cm	Nivel 4	3	1.30 m³
C2	C2 (35 x 35) cm	Nivel 4	5	1.65 m³
C3	C3 (35 x 45) cm	Nivel 4	10	4.25 m³
				38.39 m³



MODELO 3D COLUMNAS



DETALLE 3D COLUMNA (C-3)



REVISIONES:

Tabla de planificación de revisiones

Número de revisión	Descripción de revisión	Fecha de revisión

VIVIENDA MULTIFAMILIAR

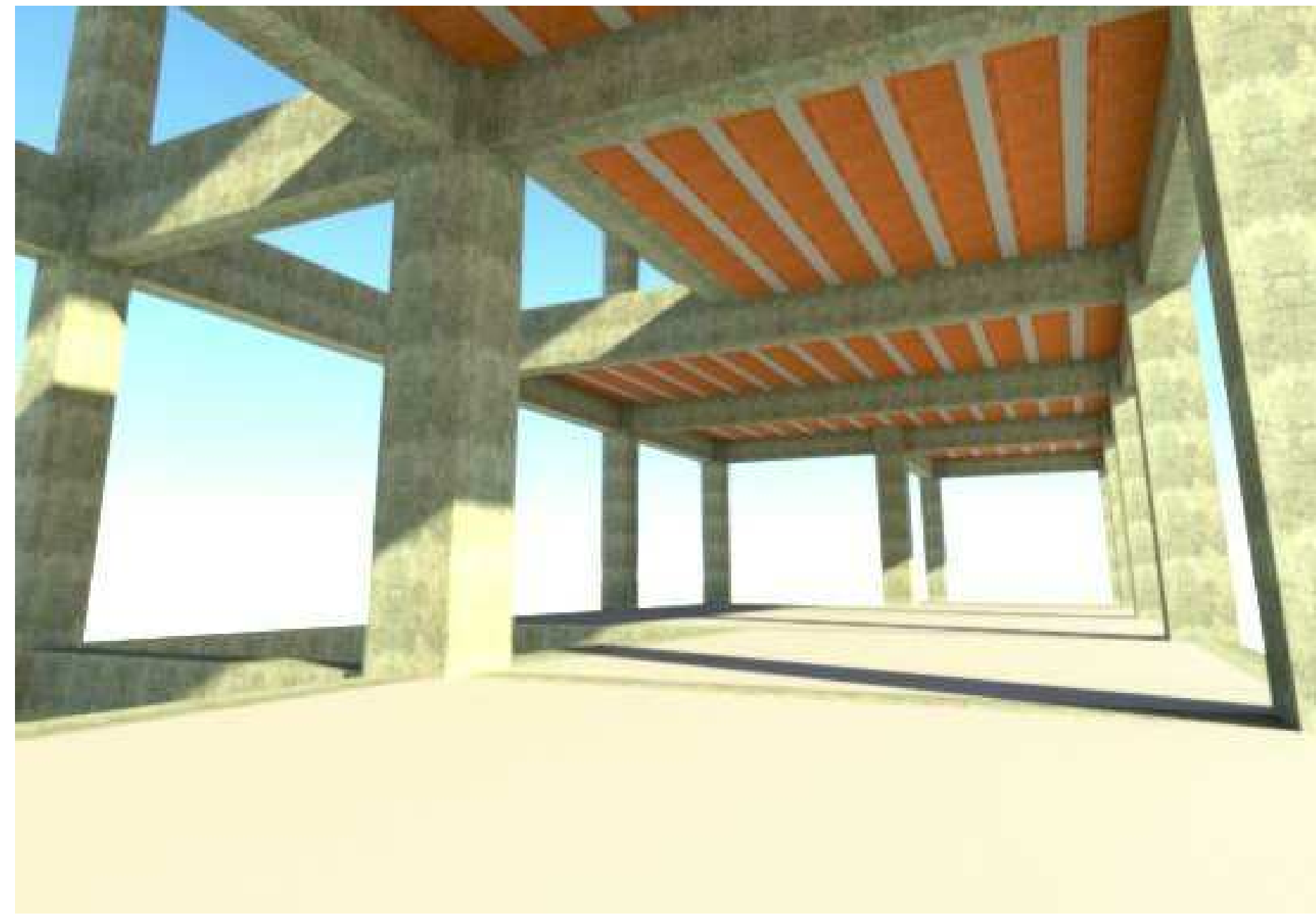
PLANO DE LOSA ALIGERADA

PLANO: ESTRUCTURAS

Nº DE PROYECTO: 0001

DIBUJADO POR: Bach. RONALD PHOL ALFONTE CHUCUYA

ESCALA: INDICADA FECHA: 05/29/22



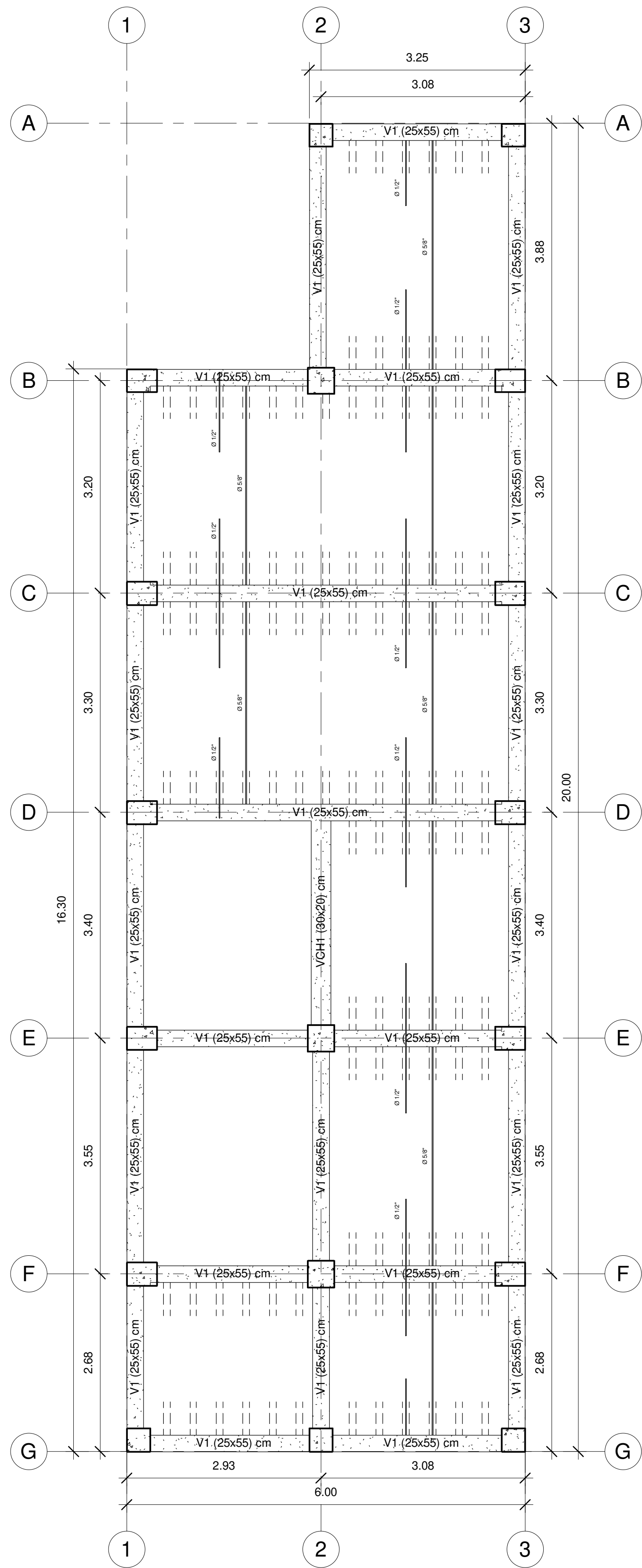
VISTA 3D LOSA ALIGERADA

Esc: 1 : 1

CUADRO DE VIGAS		
TIPO	V - 1 Eje C	VCH - 1
DIMENSION		
ACERO	1º PISO	6 Ø5/8"
	2º PISO	6 Ø5/8"
	3º PISO	6 Ø5/8"
	4º PISO	6 Ø5/8"
	5º PISO	6 Ø5/8"
ESTRIBOS	1 Ø3/8", 1 @ 0.05, 14 @ 0.10, 10 @ 0.20	1 Ø3/8", 1 @ 0.05, 6 @ 0.10, 4 @ 0.15

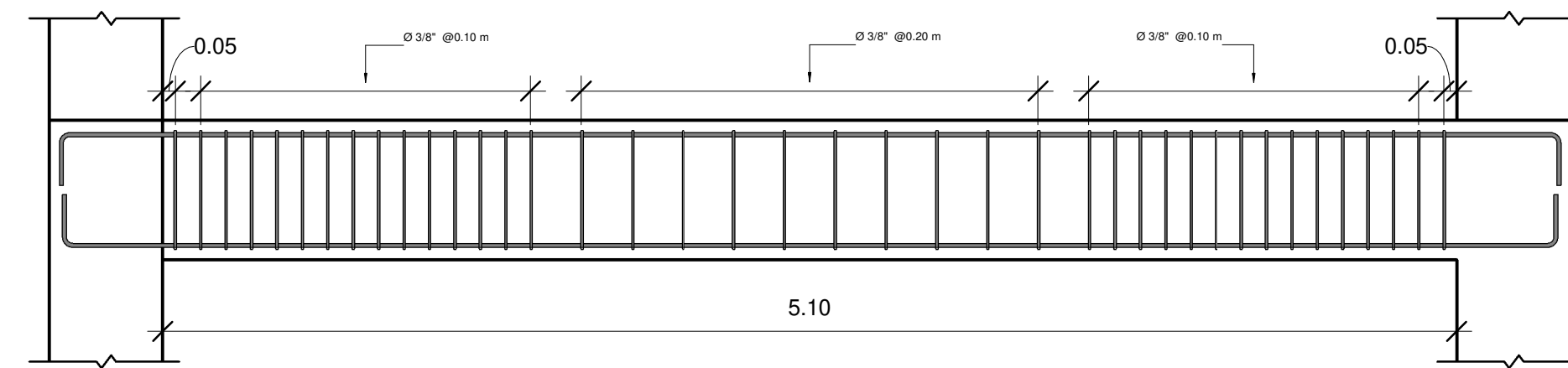
CUADRO DE VIGAS

Esc: 1 : 50



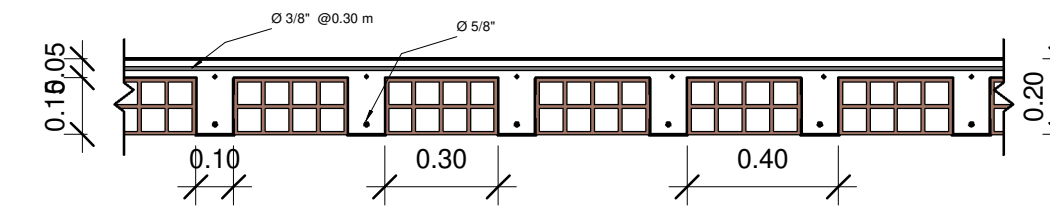
PLANO DE ALIGERADO

Esc: 1 : 50



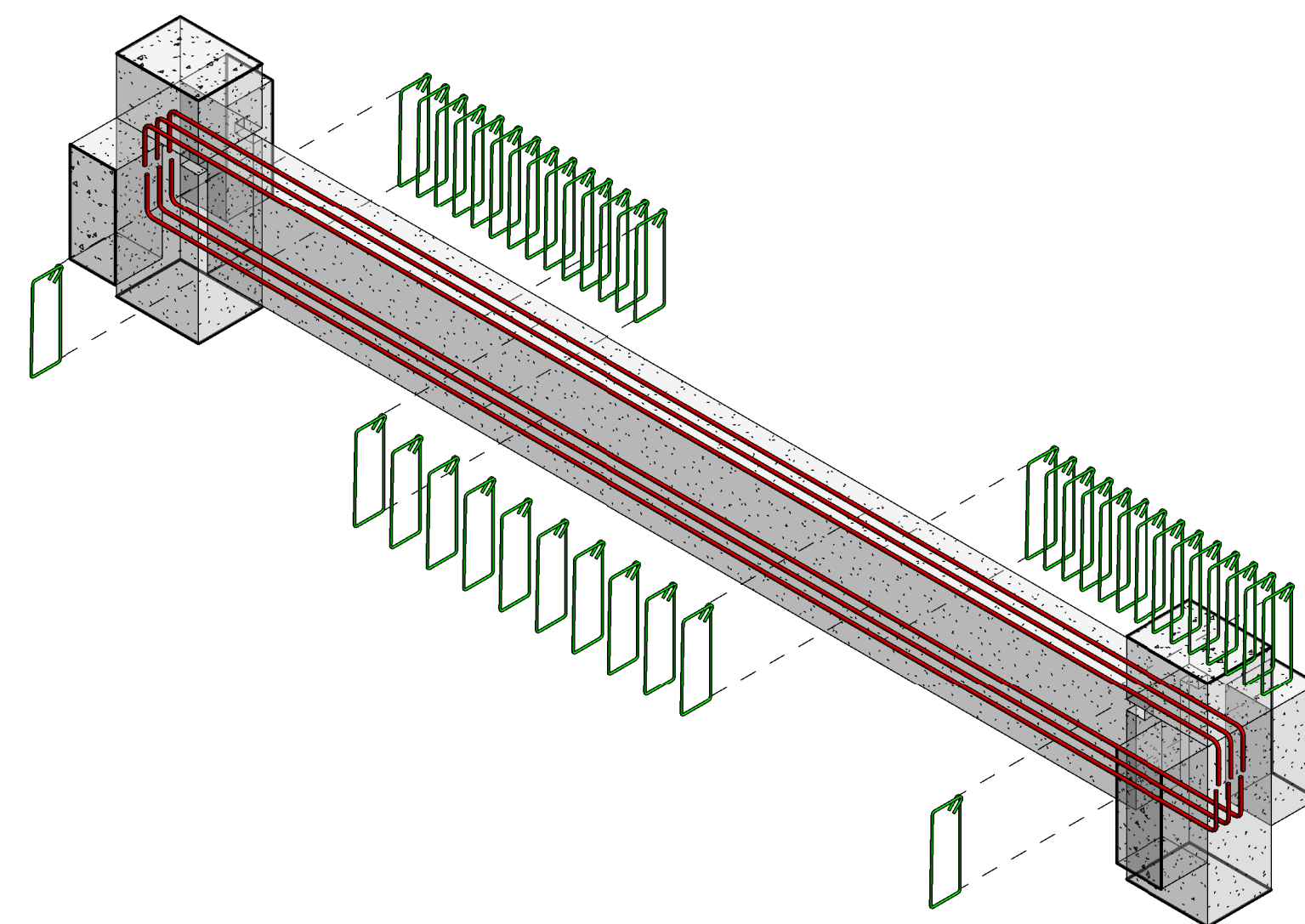
Viga Eje C-C

Esc: 1 : 25

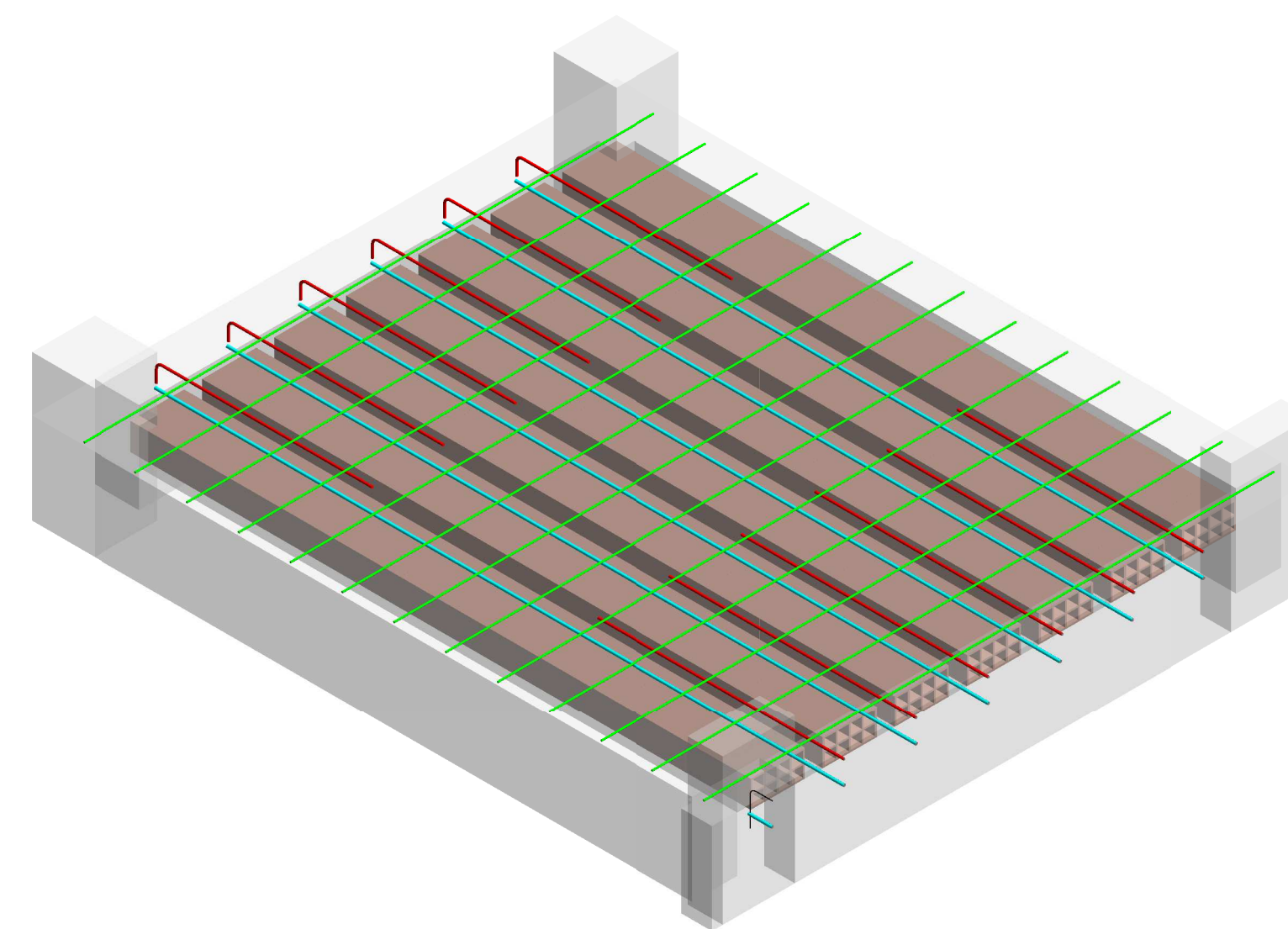


DETALLE LOSA ALIGERADA

Esc: 1 : 20



DETALLE 3D V-1 EJE C



DETALLE 3D LOSA ALIGERADA