

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PABELLÓN DE AULAS
DE LA I.E. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ UTILIZANDO TECNOLOGÍA
BIM EN EL DISTRITO CRL. GREGORIO ALBARRACÍN
LANCHIPA – TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. MARIO JEYSON LUPACA TICAHUANCA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ
2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PABELLÓN DE AULAS
DE LA I.E. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ UTILIZANDO TECNOLOGÍA
BIM EN EL DISTRITO CRL. GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA -
TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el día 20 de marzo de 2023 estando
integrado el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE


:
Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

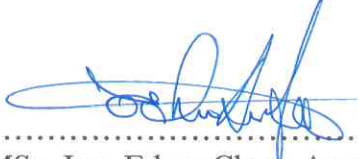
SECRETARIO


:
Phd. Ing. Edwin Martín Pino Vargas

VOCAL


:
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

ASESOR DE TESIS


:
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Edgar Chura Arocutipa en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad R.F. N° 106-2022-FIAG/UNJBG de la tesis titulada: "ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PABELLÓN DE AULAS DE LA I.E. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ UTILIZANDO TECNOLOGÍA BIM EN EL DISTRITO CRL. GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA - TACNA", presentado por el Bachiller Mario Jeyson Lupaca Ticahuanca para optar el título profesional de Ingeniero Civil, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software Antiplagio **TURNITIN** cuenta con el nivel de similitud cuyo porcentaje es 2% por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.



Firma de Asesor

DNI N° 00413327

Nombre y apellidos del asesor: Edgar Chura Arocutipa

DEDICATORIA

A mis padres que estuvieron apoyándome en cada momento de mi vida, quedaré eternamente agradecido por sus consejos y ser un soporte incondicional que me ayuda a ser una mejor persona y un mejor profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por cada día que me permite seguir adelante.

A mis docentes de la universidad por su ardua labor de enseñanza y brindarnos el conocimiento necesario para ejercer profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA	1
ACTA DE SUSTENTACIÓN	2
CONSTANCIA DE SIMILITUD	iii
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES	3
1.1. ANTECEDENTES.....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3.1. Interrogante general	6
1.3.2. Interrogantes específicas	6
1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	7
1.4.1. Hipótesis general	7
1.4.2. Hipótesis específicas	7
1.5. JUSTIFICACIÓN	7

1.6. OBJETIVOS	8
1.6.1. Objetivo general.....	8
1.6.2. Objetivos específicos	8
1.7. VARIABLES	9
1.7.1. Identificación de variables.....	9
1.7.2. Caracterización de las variables.....	9
1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES	10
1.8.1. Alcances.....	10
1.8.2. Limitaciones	10
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1. ANTECEDENTES.....	11
2.1.1. A nivel internacional.....	11
2.1.2. A nivel nacional.....	11
2.1.3. A nivel local.....	12
2.2. BASES TEÓRICAS.....	13
2.2.1. Concepto de BIM	13
2.2.2. Modelo paramétrico	14
2.2.3. Ciclo de vida de un proyecto	15
2.2.4. Interoperabilidad.....	16
2.2.5. Integración BIM en los proyectos de construcción.....	17
2.2.6. Adopción de metodologías BIM en el Perú y el mundo.....	19

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	22
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	24
3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	24
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	25
3.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	25
3.5.1. Configuración estructural	25
3.5.2. Predimensionamiento	33
3.5.3. Metrado de cargas	49
3.5.3. Análisis y diseño de losas aligeradas	50
3.5.4. Análisis sísmico	53
3.5.5. Diseño de vigas.....	60
3.5.6. Diseño de placas.....	67
3.5.7. Diseño de cimentaciones.....	75
3.5.8. Planos estructurales.....	87
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1. CONCLUSIONES	97
5.2. RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ANEXOS	104
ANEXO A: PLANOS	105
ANEXO B: LICENCIAS EDUCATIVAS PARA USO DE SOFTWARE	
AUTODESK	106
ANEXO C: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Propiedades del concreto</i>	31
Tabla 2 <i>Propiedades del acero</i>	31
Tabla 3 <i>Resumen de dimensiones de losas aligeradas</i>	35
Tabla 4 <i>Factor para predimensionamiento de vigas principales</i>	36
Tabla 5 <i>Resumen de dimensiones de vigas principales</i>	37
Tabla 6 <i>Resumen de vigas secundarias</i>	37
Tabla 7 <i>Factores para predimensionamiento de placas</i>	39
Tabla 8 <i>Metrados de carga muerta de placa PL-01</i>	39
Tabla 9 <i>Metrados de carga viva de placa PL-01</i>	39
Tabla 10 <i>Carga por servicio para placa PL-01</i>	39
Tabla 11 <i>Posibles dimensiones de placa por servicio</i>	40
Tabla 12 <i>Metrado de carga muerta</i>	41
Tabla 13 <i>Metrado de carga viva</i>	41
Tabla 14 <i>Peso sísmico</i>	41
Tabla 15 <i>Fuerza cortante sísmica</i>	41
Tabla 16 <i>Área obtenida según predimensionamiento</i>	42
Tabla 17 <i>Resumen de dimensiones de placas</i>	43

Tabla 18 <i>Resumen de dimensiones de zapatas.</i>	44
Tabla 19. <i>Cargas típicas.</i>	50
Tabla 20 <i>Periodos de los modos del Bloque O-2.</i>	58
Tabla 21. <i>Cortante estático y dinámico.</i>	60
Tabla 22. <i>Máximo desplazamiento, máximo desplazamiento relativo, máxima distorsión.</i>	60
Tabla 23 <i>Fuerzas internas en la parte inferior y superior de la placa</i>	70
Tabla 24. <i>Capacidad portante del Bloque O-2.</i>	77
Tabla 25. <i>Resumen de láminas estructurales.</i>	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Túnel de la Av. Néstor Gambetta, el primer “túnel inteligente” del Perú.	4
Figura 2 Nueva sede institucional del Banco de la Nación, Lima.....	4
Figura 3 Modelo BIM 3D integrado del proyecto Universidad del Pacífico.....	14
Figura 4 Modelo paramétrico de New Songdo City, Incheon, Corea del Sur.....	15
Figura 5 Ciclo de vida de del proyecto de una edificación.	16
Figura 6 <i>Interoperabilidad entre software BIM: Etabs y Revit</i>	17
Figura 7 <i>Diferentes interpretaciones en un proyecto por distintos profesionales encargados del proyecto.</i>	18
Figura 8 <i>Diagrama de coordinación de proyectos con Metodología BIM – Autodesk.</i>	19
Figura 9 <i>Modelo BIM Crusell Bridge, Finlandia, primer puente construido que utiliza la tecnología BIM</i>	20
Figura 10 <i>Modelo BIM Estadio “Santiago Bernabéu”, Madrid</i>	20
Figura 11 <i>Representación virtual 3D mediante el uso del BIM, Universidad del Pacífico.</i>	21
Figura 13 <i>Planimetría general del proyecto Luis Alberto Sánchez</i>	23
Figura 14 <i>Plano clave del proyecto Luis Alberto Sánchez</i>	23

Figura 15 Plano en planta primer nivel.	25
Figura 16 Plano en planta segundo nivel.	26
Figura 17 Plano en planta tercer nivel.	26
Figura 18 Plano en planta de azotea.	27
Figura 19 Plano en Corte 9-9.	27
Figura 20 Plano en Corte 10-10.	28
Figura 21 Plano en Elevación 3.	28
Figura 22 Plano en Elevación 5.	29
Figura 23 Definición del concreto $f'c=310$ kgf/cm ² en Robot.	31
Figura 24 Definición del concreto $f'c=280$ kgf/cm ² en Robot.	32
Figura 25 Definición del concreto $f'c=210$ kgf/cm ² en Robot.	32
Figura 26 Definición del acero en Robot.	33
Figura 27 Planta primer piso del Bloque O-2.	34
Figura 28 Peraltes o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones.	34
Figura 29 Área tributaria de la viga principal.	35
Figura 30 Área tributaria de viga secundaria.	37
Figura 31 Área tributaria de placa.	38
Figura 32 Ubicación de placas de concreto armado.	40
Figura 33 Placas usadas en el Bloque O-2.	42
Figura 34 Área tributaria de zapata más cargada.	43

Figura 35 Zapatas utilizadas en el proyecto.	45
Figura 36 Viga de cimentación a predimensionar.....	46
Figura 37 Resumen de dimensiones de vigas de cimentación.	47
Figura 38 Elementos estructurales del primer, segundo y tercer piso del Bloque O-2.	48
Figura 39 Modelo estructural del Bloque O-2.	48
Figura 40 Distribución de cargas de tabiquerías aisladas del Bloque O-2.....	49
Figura 41. Sección típica de losa aligerada.	50
Figura 42. Carga muerta distribuida.	50
Figura 43. Primera condición de carga viva.....	51
Figura 44. Segunda condición de carga viva.....	51
Figura 45. Tercera condición de carga viva.	51
Figura 46. Cuarta condición de carga viva.....	51
Figura 47. Quinta condición de carga viva.....	51
Figura 48. Envolvente de momentos en la cara de los apoyos ($Tn-m$).	51
Figura 49. Envolvente de cortantes (tn).	52
Figura 50. Acero inferior corrido y acero superior de 1/2'' (cm^2).....	52
Figura 51 Detalle de diseño de acero en losa aligerada, en la zona de aulas, del primer y segundo nivel, y azotea.	53
Figura 52 Sistemas estructurales.	55
Figura 53 Periodos del Bloque O-2.	58

Figura 54 <i>Definición del espectro de pseudo aceleraciones.</i>	59
Figura 55. <i>Sección típica de viga.</i>	61
Figura 56. <i>Diseño por corte en vigas.</i>	61
Figura 57 <i>Diagrama de momentos de la viga más cargada.</i>	62
Figura 58. <i>Diagrama de cortantes de la viga más cargada.</i>	62
Figura 59. <i>Detalle de diseño de la viga principal Eje 78, 79, 80, nivel 1 y 2.</i>	66
Figura 60 <i>Detalle de diseño de la viga principal Eje 77 y 81, nivel 1 y 2.</i>	66
Figura 61 <i>Detalle de diseño de viga principal Eje 78, 79, 80, nivel 3.</i>	67
Figura 62 <i>Detalle de diseño de viga principal Eje 77, 81, nivel 3.</i>	67
Figura 63 <i>Dimensiones (m) de la placa y modelo estructural.</i>	68
Figura 64 <i>Envolvente de fuerzas axiales (ton).</i>	68
Figura 65 <i>Envolvente de fuerzas cortantes (ton).</i>	69
Figura 66 <i>Envolvente de momentos flectores (ton.m).</i>	69
Figura 67 <i>Diagrama de interacción $\Phi M3- \Phi P$ de la placa TIPO 1.</i>	70
Figura 68 <i>Diagrama de interacción $\Phi M2- \Phi P$ de la Placa 01.</i>	71
Figura 69 <i>Diagrama de interacción M2- P de la Placa 01.</i>	72
Figura 70 <i>Detalle de diseño de placa 01 (Eje 78, 79, 80, con Eje M, R).</i>	74
Figura 71 <i>Detalle de diseño de placa 06 (Eje 77, 81, con Eje M, R).</i>	75
Figura 72. <i>Módulo de reacción del suelo. Datos para SAFE.</i>	76
Figura 73. <i>Modelo Matemático de la cimentación del Bloque O-2.</i>	77
Figura 74. <i>Diagrama de presiones (Kgf/cm²): Estado de carga sin sismo.</i>	78

Figura 75. Diagrama de presiones (Kgf/cm ²): Estado de carga con sismo en X.	79
Figura 76. Diagrama de presiones (Kgf/cm ²): Estado de carga con sismo en Y.	80
Figura 77. Acero requerido (cm ² /m) en la dirección X.	81
Figura 78. Acero requerido (cm ² /m) en la dirección Y.	82
Figura 79. Cortante nominal X-X=21.66 ton < Cortante del concreto (89.58 ton).	83
Figura 80. Cortante nominal Y-Y=21.44 ton < Cortante del concreto (89.58 ton).	83
Figura 81 Detalle de diseño de zapatas Z-2' y ZC-25.	84
Figura 82. Acero requerido (cm ²).	85
Figura 83. Cortante nominal=3.42 ton < Cortante del concreto (20.84 ton), por lo tanto, se usará estribos a cada 30cm.	86
Figura 84. Detalle de diseño de viga de cimentación (Eje 78, 79, 80).	86
Figura 85 Modelamiento de secciones de concreto armado y tabiquerías en Revit.	88
Figura 86 Modelamiento de armado de acero en Revit.	89
Figura 87 Detalle en 3D de armado de conexión zapatas - viga de cimentación.	89
Figura 88 Detalle en 3D de armado de viga principal.	90
Figura 89 Detalle en 3D de armado de viga secundaria, en esta zona se muestra el empalme en los aceros inferiores y superiores.	90
Figura 90 Detalle en 3D de armado de conexión viga – placa.	91

Figura 91 *Detalle en 3D de armado de conexión zapata – placa.*91

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca analizar y diseñar estructuralmente el pabellón O-2 de la I.E. Luis Alberto Sánchez ubicado en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, este es un proyecto que busca mejorar la calidad educativa de la institución mencionada, esta edificación del pabellón O-2 cuenta con 3 niveles y 6 aulas, y un sistema de muros de concreto armado en ambas direcciones.

El procedimiento a seguir en la tesis, fue primeramente realizar el modelamiento estructural en el programa Revit, realizando previamente el predimensionado de todas las secciones de concreto armado, luego se realizó la exportación y vinculación con el programa Robot para realizar el análisis y diseño de todos los elementos de la superestructura, cumpliéndose con los criterios normativos actuales del Reglamento Nacional de Edificaciones, el análisis y diseño de la cimentación se llevó a cabo en el software SAFE, una vez realizado los cálculos se procedió al detallado de acero y concreto en el programa Revit exportándose detalles en 3D.

Se logra optimizar tiempos con la metodología BIM al no realizar retrabajos en de dibujo y modelado estructural, con la utilización de Revit y Robot, es más rápido el detallado acero, se aumenta la calidad de los planos y se evitan consultas en el proceso de ejecución del proyecto.

PALABRAS CLAVE: BIM, análisis, diseño, infraestructura, planos, optimización.

ABSTRACT

The present research work seeks to analyze and structurally design the O-2 pavilion of the I.E. Luis Alberto Sánchez located in the district of Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa - Tacna, this is a project that seeks to improve the educational quality of the aforementioned institution, this building of pavilion O-2 has 3 levels and 6 classrooms, and a system of walls reinforced concrete in both directions.

The procedure to follow in the thesis, was first to carry out the structural modeling in the Revit program, previously carrying out the pre-dimensioning of all the reinforced concrete sections, then the export and linking with the Robot program was carried out to carry out the analysis and design of all the elements of the superstructure, complying with the current regulatory criteria of the National Building Regulations, the analysis and design of the foundation was carried out in the SAFE software, once the calculations were made, the steel and concrete detailing was carried out in the program Revit exporting 3D details.

It is possible to optimize times with the BIM methodology by not carrying out rework in drawing and structural modeling, with the use of Revit and Robot, steel detailing is faster, the quality of the plans is increased and consultations are avoided in the execution process of the project.

KEY WORDS: BIM, analysis, design, infrastructure, plans, optimization.

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional el Building Information Modeling (BIM) viene siendo una solución a la realidad problemática de incumplimiento de plazos y presupuestos, baja calidad, poca productividad, altos índices de accidentes en comparación con otros sectores de la economía, entre otros, todo ello debido a la ineficiente gestión y a una inadecuada planificación y control de proyectos (Saldias, 2010).

A nivel nacional la realidad problemática es la falta de infraestructuras educativas idóneas el cual es un pilar importante en el país para la educación, de ello depende el crecimiento económico, social y cultural, por ello en todo el Perú se realizan múltiples proyectos por parte de todos los niveles de gobierno, creándose incluso programas, como el Programa Nacional de Infraestructura Educativa (PRONIED), que nace del Ministerio de Educación (MINEDU) en beneficio de la comunidad.

La Institución Educativa Luis Alberto Sánchez (I.E.E. LAS) cuenta con 6 pabellones con un área total del terreno de 2,688.44 m² y un perímetro de 215.95 ml, el cuál es insuficiente según la demanda de alumnos que existe en el sector, incluso encontrándose en mal estado cada una de las edificaciones.

El BIM es una metodología que busca formular, diseñar y construir e incluso operar un proyecto. Fue creado para una mejor interoperabilidad entre especialidades e involucrados externos, para cada una de esas fases; últimamente se ha escuchado mucho de esto en nuestro país debido al gran éxito que se obtuvo en la construcción

eficiente de la infraestructura de los Juegos Panamericanos Lima 2019, donde el Perú se ha visto beneficiado por la gran cantidad de turistas que llegaron al país lo que mejoró la economía de nuestra sociedad.

Desde el punto de vista científico la investigación tiene relevancia debido a que se puede optimizar tiempos y mejorar la calidad de futuros proyectos gubernamentales tipo instituciones educativas los cuales varían muy poco en cuanto a configuración estructural. La metodología BIM aplicada en el proceso de diseño estructural solo es el primer paso para aplicarlo en las demás especialidades generando un mayor valor en el proyecto que se verá reflejada en el mayor conocimiento de éste, contribuyendo en futuras infraestructuras para obtener mejores propuestas a nivel de diseño, un mejor control en la ejecución y utilización óptima en la operación.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES

Mediante RDR. N° 001849 de fecha 03 de mayo del año 2002 se resuelve, crear la I.E. LAS, ello con la finalidad de experimentar y validar innovaciones pedagógicas establecidas por la Alta Dirección del MINEDU. Hoy la I.E. tiene el desafío para que su misión y visión se logren con el esfuerzo mancomunado de docentes, alumnos, padres de familia y autoridades distritales, ya que el producto de esta unión será alcanzar una Educación Integral de calidad. Actualmente la I.E. LAS es de Jornada Escolar completa del distrito Gregorio Albarracín de género mixto.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todos los proyectos de edificación son únicos, debido a la complejidad que presentan sea en la etapa de diseño, durante su ejecución e incluso en la post construcción. Un buen comienzo significa una buena ejecución por ende esta etapa es muy importante, y se debe optimizar, así como identificar interferencias entre especialidades (arquitectura, estructuras, sanitarias, y eléctricas), esto servirá para que los responsables de la construcción puedan cumplir con el plazo y no incida negativamente en los costos. El BIM es una herramienta que nos ayudará para realizar un buen proyecto.

En la Figura 1 se puede observar la complejidad de la construcción del túnel de la Av. Néstor Gambetta, y en la Figura 2 se observa el edificio del Banco de la Nación.

Figura 1

Túnel de la Av. Néstor Gambetta, el primer “túnel inteligente” del Perú.



Nota. Imagen obtenida de GCAQ Ingenieros (2014).

Figura 2

Nueva sede institucional del Banco de la Nación, Lima.



Nota. Imagen obtenida de González (2013).

El estado actual de la I.E. LAS se encuentra en un 70% en mal estado observándose, agrietamientos y fisuras en sus elementos estructurales, una baja resistencia del concreto obtenido mediante corazones diamantinos, todo ello sustentado en el informe técnico de evaluación estructural del estado actual realizado el año 2021 de las edificaciones de la institución en mención realizado por la Sub Gerencia de Estudios (2021b).

Uno de los más grandes problemas que afronta el Perú es el problema sísmico porque se encuentra ubicada en el cinturón de fuego del Pacífico, en toda su costa y en específico la región de Tacna, la cual es originado por la subducción de la placa de Nazca y la placa sudamericana que se desplaza hacia el este, produciéndose en este alrededor del 90% de los terremotos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes del mundo (Quispe & Huisa, 2021).

En este contexto surge el problema general de ¿cómo aplicar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?, teniendo como problemas específicos: ¿cuáles son los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?, ¿de qué manera se evaluará estructuralmente un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio

Albarracín Lanchipa – Tacna?, ¿cómo se diseñará estructuralmente un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Interrogante general

- ¿Cómo aplicar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?

1.3.2. Interrogantes específicas

- ¿Cuáles son los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?
- ¿De qué manera se evaluará estructuralmente un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?
- ¿Cómo se diseñará estructuralmente un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna?

1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

- El análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM logra optimizar tiempos.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna son obtenidos de las estudios básicos y requeridos por la normativa vigente.
- La evaluación estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna es acorde a su sistema estructural.
- El diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna es eficaz.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Ante la necesidad de optimizar y realizar una buena etapa de diseño, nace utilizar la tecnología BIM siendo esta tesis un aporte para ello, buscándose estudiar su

aplicabilidad, limitaciones, y cómo esta puede ser utilizada por estudios privados o estatales.

Otra necesidad existente son los problemas en la ejecución por incompatibilidad, interferencias y falta de detalles de constructibilidad que hace que una obra se retrase o genere mayores costos para su construcción.

En esta investigación se tomará más en cuenta el tema de optimización en tiempos de análisis y diseño estructural sin olvidar su importancia de la metodología BIM, para tener claro líneas futuras de investigación que partan de esta tesis y poder obtener mejores expedientes técnicos elaborados en la ciudad de Tacna.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

- Aplicar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna.

- Evaluar estructuralmente un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna.
- Diseñar estructuralmente un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez mediante la tecnología BIM en el distrito Crl. Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna.

1.7. VARIABLES

1.7.1. Identificación de variables

- Variable dependiente: Aplicación de la tecnología BIM.
- Variable independiente: Infraestructura educativa.

1.7.2. Caracterización de las variables

- Independiente:

Infraestructura educativa: Es la edificación o conjunto de edificaciones que presta un servicio para la educación, esta está conformada por distintas especialidades como son: arquitectura, estructuras, sanitarias, eléctricas, mobiliario, equipamiento y data (Criterios Generales de Diseño Para Infraestructura Educativa, 2022).

- Dependiente:

Aplicación de la tecnología BIM: Es la aplicación de una herramienta tecnológica para un mejor trabajo colaborativo en un proyecto de

construcción, con la finalidad de centrar toda la información en un solo modelo virtual (C. González, 2015).

1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.8.1. Alcances

Se busca tener un documento claro y conciso, que demuestre las ventajas y desventajas de la aplicación del BIM en un modelo estructural y con ello ser importante para futuros estudios de proyectos de construcción que quieran implementarlo en la ciudad de Tacna.

1.8.2. Limitaciones

No se podrá aplicar la tecnología BIM en un 100%, debido a que habría tomado mayor cantidad de tiempo, así como de especialistas que deberían verificar el proceso de elaboración y corregirlo si fuese el caso, por otra parte, para los objetivos de esta investigación cumple con todas ellas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. A nivel internacional

En Chile, Eliash (2015), realizó el trabajo de investigación denominado: “Entendiendo el uso de BIM en los procesos de diseño y coordinación de especialidades en Chile”, concluyen que las empresas que han implementado dicha herramienta han podido realizar la entrega de un servicio de alto nivel y con personal muy conforme con su trabajo.

En España, Coloma (2008), realizó el trabajo de investigación denominado: “Introducción a la Tecnología BIM”, como objetivo principal tuvo el dar una visión general del BIM en la industria de la construcción, con la finalidad de esclarecer definiciones fundamentales. Posteriormente se realiza comentarios acerca de los 5 principales softwares dedicados al modelamiento arquitectónico los cuales son: Archicad 11, Autocad Architecture 2009, Bentley Architecture V8i, Allphan FT 2008 y Revit Architecture 2009.

2.1.2. A nivel nacional

En Perú, Alcántara (2013), realizó la tesis denominada: “Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM”, según el modelo tradicional de elaboración de proyectos

(diseño/licitación/construcción), los documentos provenientes de la etapa de diseño en general cuando pasan a la empresa constructora para su ejecución presentan incompatibilidades, o no están completos, no son precisos e incluso presentan ambigüedades, haciendo que esta empresa solicite aclaraciones al proyectista lo cual genera retrasos, por ende es esencial que la información salida de la etapa de diseño sea entregada eficientemente.

Eyzaguirre (2015), quién realizó el trabajo de investigación denominado: “Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación”, concluye que las herramientas 4D ayudan a simular anticipadamente la construcción de una edificación siendo el principal beneficio en la etapa de planificación.

2.1.3. A nivel local

Condori (2020), en su tesis “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” logró obtener un mayor control en la etapa de diseño, detectando interferencias, vinculando el modelo arquitectónico con el modelo estructural, y posteriormente con el modelo matemático usando el software Etabs y Safe para el análisis y diseño de los elementos estructurales, se usaron igualmente plantillas en Mathcad. Se realizó el modelado de acero para posteriormente cuantificarlo en

Revit, el cual se obtuvo de una manera automática, así como la elaboración de planos, garantizando una mejor comprensión en la etapa de ejecución.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Concepto de BIM

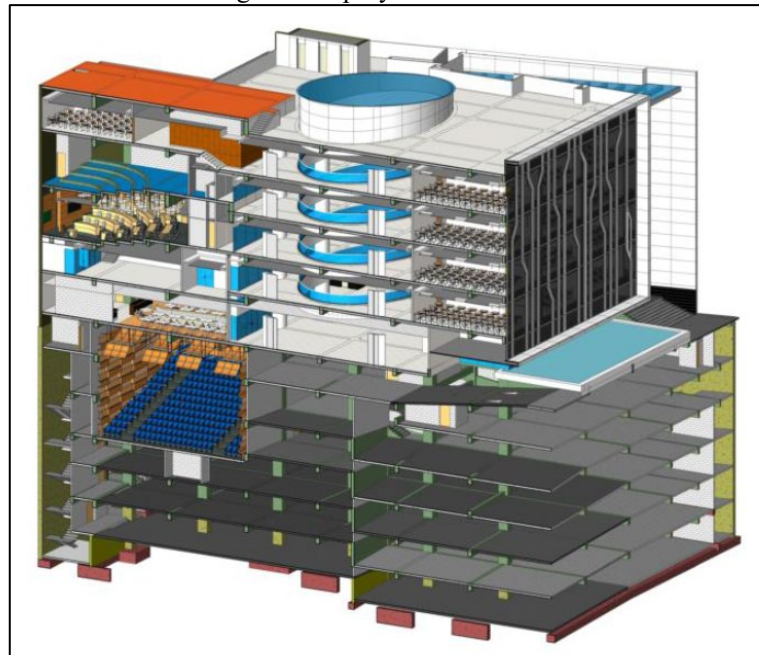
BIM es una herramienta que nos permite integrar toda la información de un proyecto en un único modelo, estos detalles pueden ser geométricos, propiedades del material, proveedor, fecha de construcción, cronogramas, etc. En sí toda la información relevante para el proyecto.

El glosario del “BIM Handbook” de Eastman et al. (2011), define al BIM como un conjunto de procesos, herramientas y tecnologías donde se describe documentación digital acerca de una edificación.

Autodesk describe al BIM como un proceso basado en un único modelo inteligente que facilita el proceso de planificación, diseño, construcción y gestión.

Figura 3

Modelo BIM 3D integrado del proyecto Universidad del Pacífico.

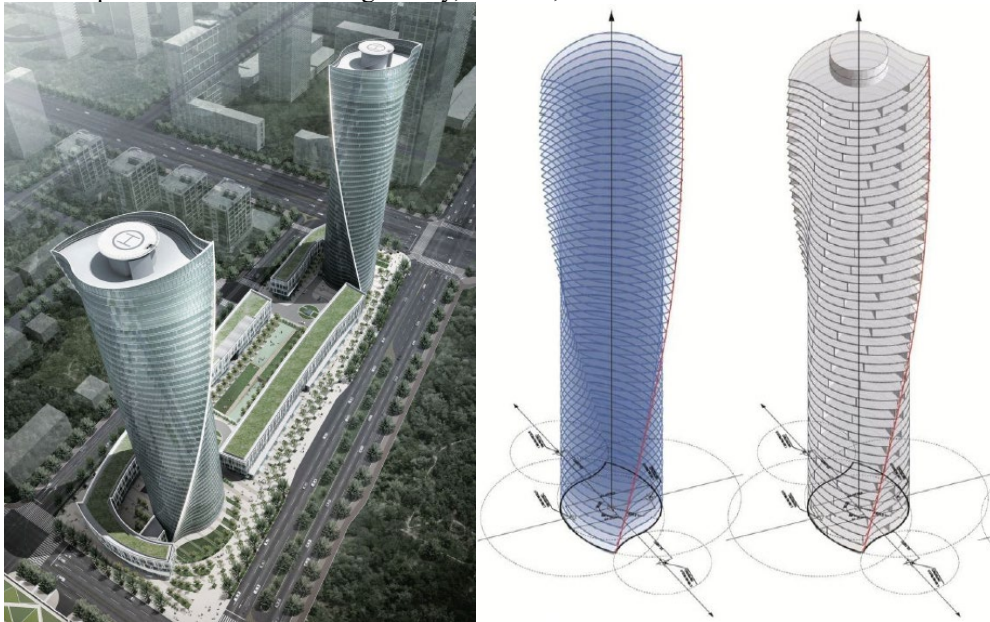


Nota. Imagen obtenida de Encalada (2016)

2.2.2. Modelo paramétrico

El modelo paramétrico permite modificar fácilmente el diseño regresando dentro del historial del modelo y cambiando sus parámetros, estos parámetros incorporan reglas, características y definiciones en un espacio virtual.

Figura 4
Modelo paramétrico de New Songdo City, Incheon, Corea del Sur.



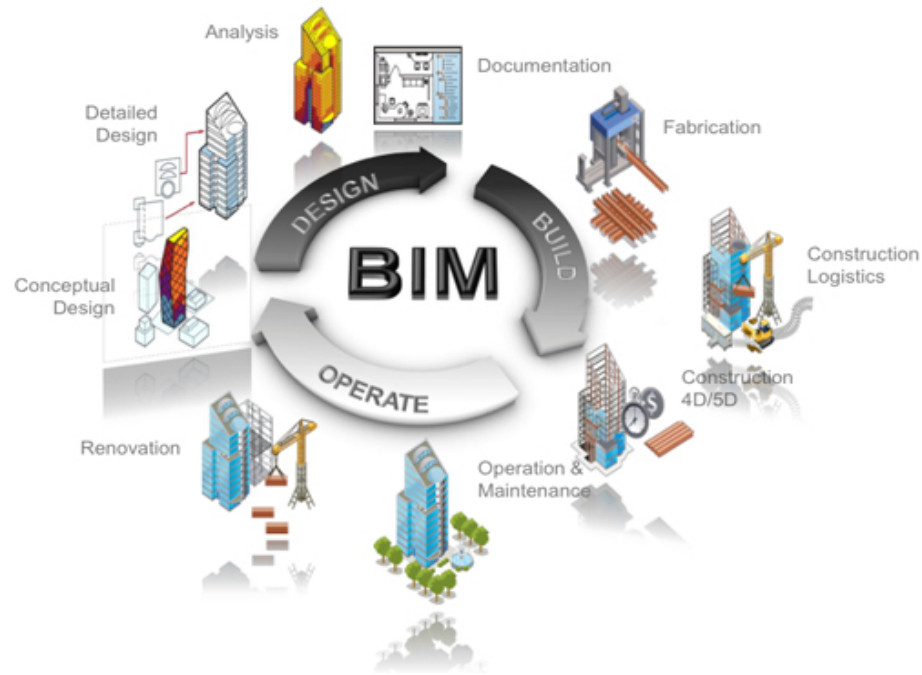
Nota. Imagen obtenida de Seongwon (2014)

2.2.3. Ciclo de vida de un proyecto

Según el Project Management Institute [PMI] (2017) en la GUIA del PMBOK 5ª EDICION, se define el ciclo de vida de un proyecto como una serie de fases que pasa un proyecto desde el comienzo hasta el final, los cuales se ven envueltas por necesidades de gestión y control de la organización.

El BIM puede cubrir por completo todo un ciclo de vida de un proyecto, desde un enfoque en el impacto ambiental, el diseño y la documentación.

Figura 5
Ciclo de vida de del proyecto de una edificación.

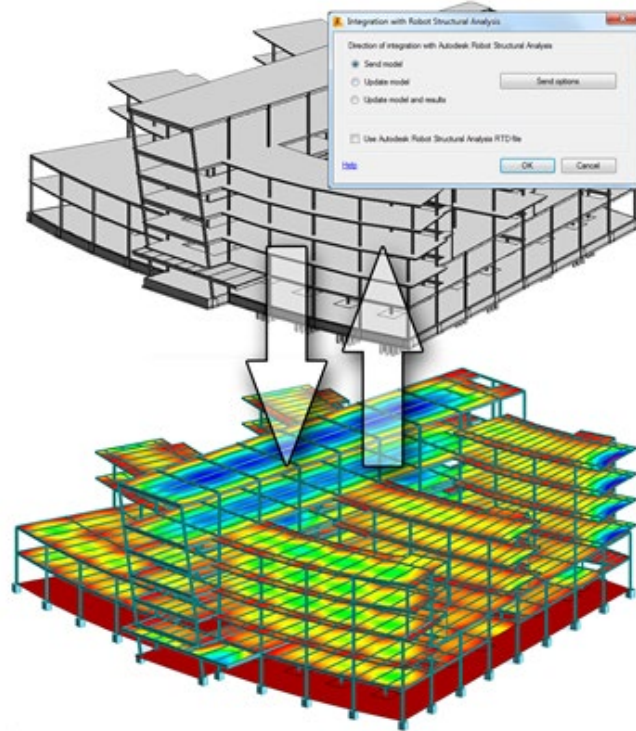


Nota. Imagen obtenida de ASOCEM (2018).

2.2.4. Interoperabilidad

Es común que se realice el proceso de importación de planos en 2D para luego pasarlo a un software de modelamiento en 3D (sea el caso como de Autocad a Revit) así como se realice el proceso de manera inversa. La interoperabilidad no solo se lleva a cabo en programas de la misma compañía, sino también por medio de otros programas también como Tekla, ArchiCAD, o Bentley Architecture, e incluso pudiendo realizarse cambios u otro tipo de análisis, como se observa en la Figura 6 el cual muestra la interoperabilidad entre el software Etabs y Revit en un análisis estructural y modelamiento en 3D.

Figura 6
Interoperabilidad entre software BIM: Etabs y Revit.



Nota. Imagen obtenida de Ruben (2018).

2.2.5. Integración BIM en los proyectos de construcción

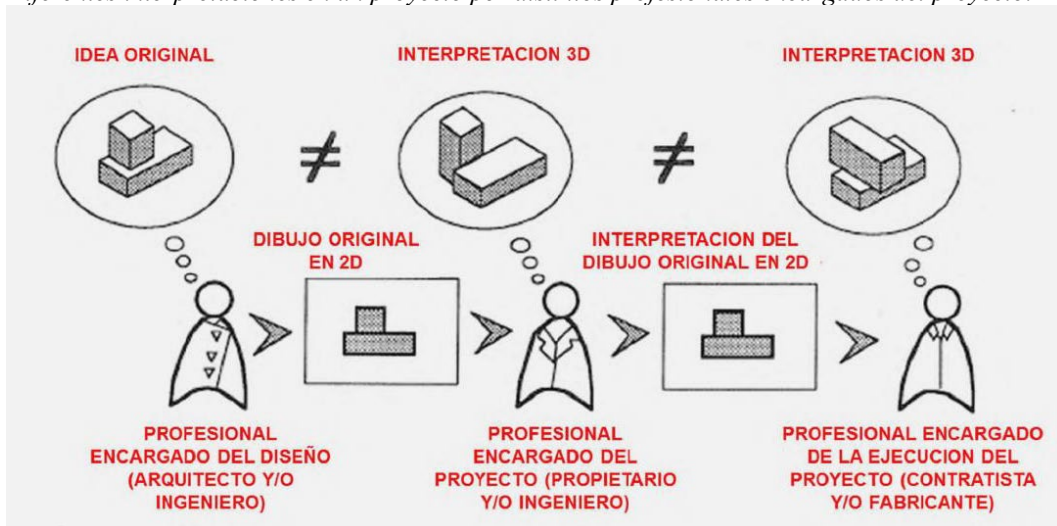
En la construcción la información es intensa, abundante y única para cada tipo de proyecto, sin embargo, esto aún se sigue haciendo mediante el papel para comunicar a cada uno de los diferentes encargados de éste.

En la Figura 7, el propietario transmite una idea al profesional encargado del diseño, quien lo interpreta y crea un modelo mental del proyecto, para luego plasmarlo en planos, detalles y especificaciones, esta información luego pasa al profesional encargado del proyecto, el cual interpreta de otra manera la idea inicial, para luego pasar al profesional encargado de la ejecución (contratista) quién se genera una

nueva imagen del proyecto el cuál no coincidirá con la idea de los anteriores encargados y se generarán dudas y formularán consultas del cual se tendrán como consecuencia retrasos, tiempos muertos y demoras.

Figura 7

Diferentes interpretaciones en un proyecto por distintos profesionales encargados del proyecto.

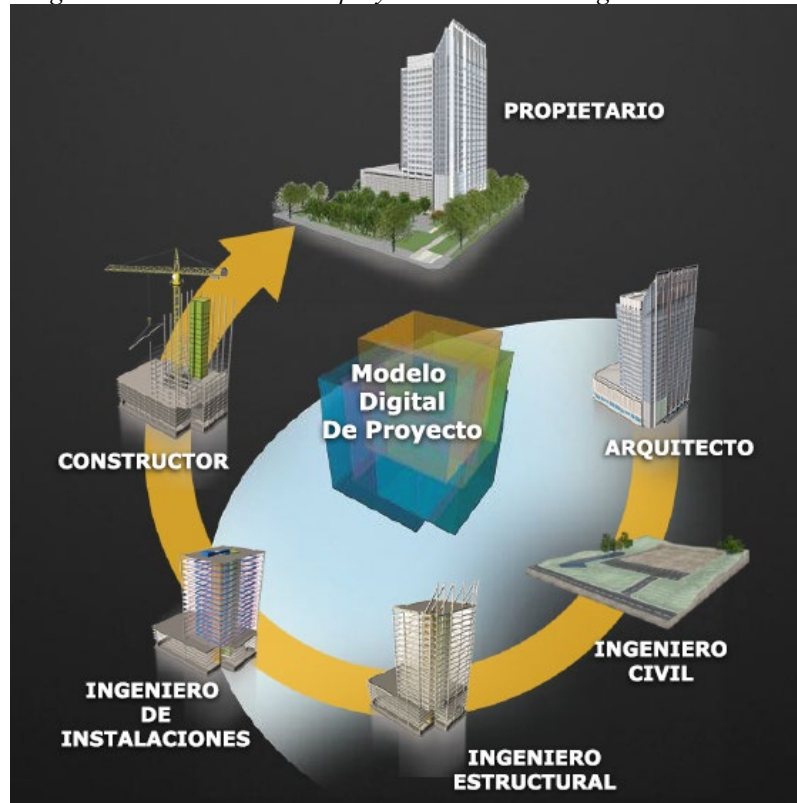


Nota. Imagen obtenida de Encalada (2016).

Mencionado lo anterior, es común encontrar en proyectos de construcción un alto índice de consultas, cambios durante la ejecución de la obra, trabajos rehechos tanto en los documentos de diseño y de construcción conllevando a pérdidas de tiempo y aumento de costos. Todo ello debido a una falta de información o nula interacción entre equipos de diseño y construcción, el BIM ofrece una gran ventaja para una mejor coordinación, supervisión, control y estandarización de la información.

Figura 8

Diagrama de coordinación de proyectos con Metodología BIM – Autodesk.



Nota. Imagen obtenida de Encalada (2016).

2.2.6. Adopción de metodologías BIM en el Perú y el mundo

2.2.6.1. BIM en el mundo

El BIM ha ido evolucionando, los países que más desarrollaron esta tecnología son Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Alemania y Francia, quienes apuestan por integrar el BIM en el sector AECO (Architecture, Engineering, Construction & Operations), En Norte América ya se publicó la primera versión de la National BIM Guide for Owners y Canadá creó entidades como CanBIM, en Corea del Sur ya se dio la primera conferencia BIM y en China ya existe una norma estándar para su aplicación.

Figura 9

Modelo BIM Crusell Bridge, Finlandia, primer puente construido que utiliza la tecnología BIM.



Nota. Imagen obtenida de Pulkkinen et al. (2016).

Figura 10

Modelo BIM Estadio “Santiago Bernabéu”, Madrid.



Nota. Imagen obtenida de Barco (2020).

2.2.6.2. BIM en el Perú

En el Perú, el 18% de los constructores y diseñadores de Lima conocen de las herramientas 3D y 4D para el diseño, planificación y control de proyectos (Zavala 2006). Sin embargo, las herramientas no son usadas entre ellos intensamente.

Actualmente la aplicación del BIM en pequeñas y grandes empresas es de manera aislada y depende de la necesidad que se tenga para aprovechar esta herramienta, sin embargo, el fin del BIM no es solo utilizarlo de esta manera sino de una forma más integral con un cambio de pensamiento en la gestión de proyectos.

Figura 11

Representación virtual 3D mediante el uso del BIM, Universidad del Pacífico.



Nota. Encalada (2016)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es de tipo aplicada puesto que busca resolver un problema específico que es el análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. LAS ubicado en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, mediante tecnología BIM, basándose en conocimientos de la investigación básica ya establecidas.

Debido a que se realizan cálculos estructurales en cada elemento de concreto armado, la presente tesis tendrá un enfoque cuantitativo.

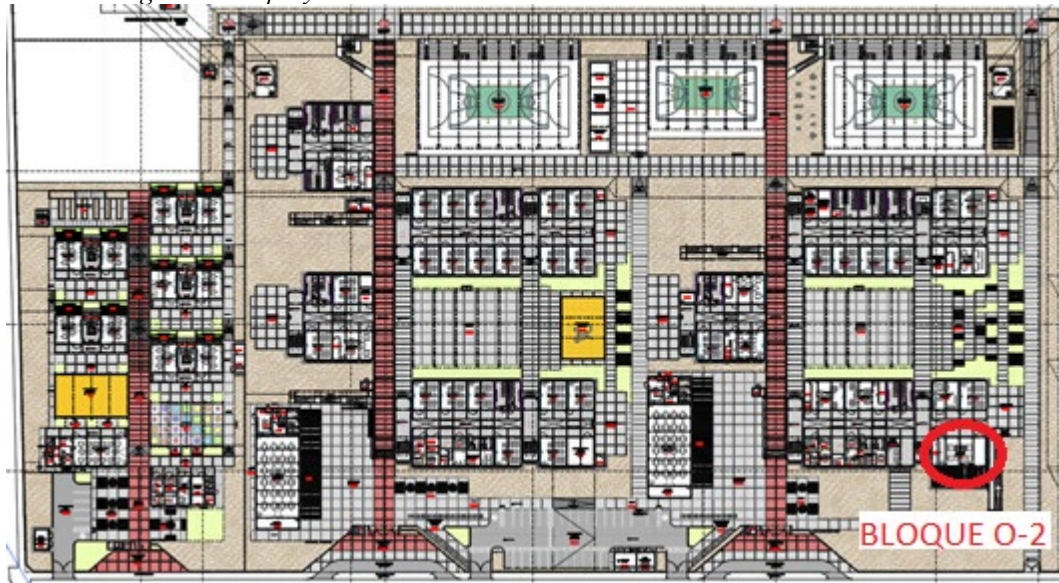
Además, se indica que la investigación es de nivel no explicativo puesto que el proyecto solo busca hacer uso del análisis y diseño estructural.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población es la I.E. LAS, esta cuenta con un área de 87,713.53 m², se ubica en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, en la provincia de Tacna y la región de Tacna, esta institución imparte educación a nivel inicial primaria y secundaria, el proyecto nuevo, se dio debido a la antigüedad de las edificaciones actuales y a que solo contaba con 6 pabellones, actualmente el proyecto tiene módulos de la A a la S con 30 pabellones en total como se muestran en las figuras 13 y 14.

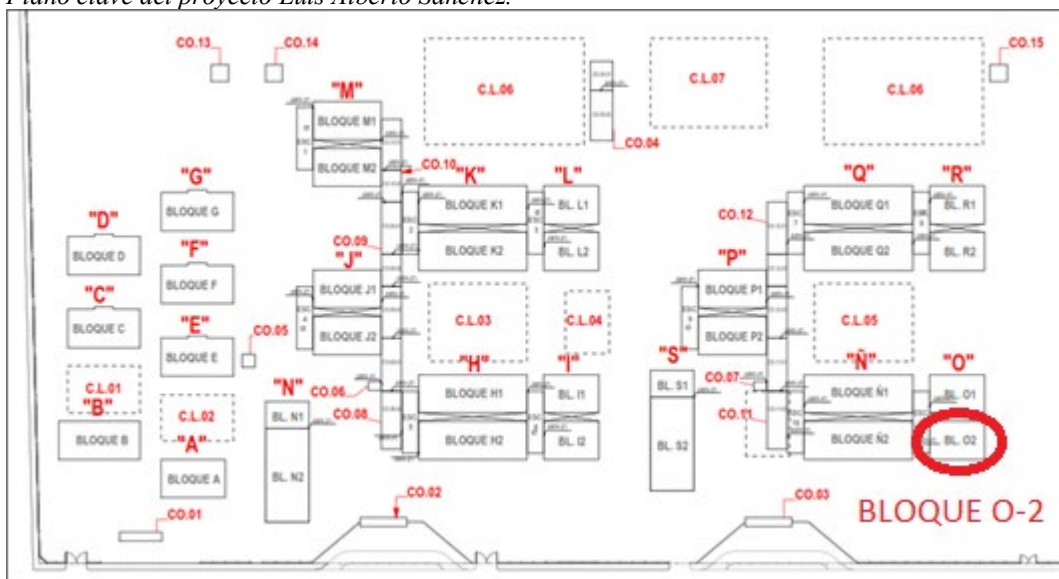
La muestra es el pabellón O-2, esta edificación cuenta con un área de intervención de 175.14 m², esta es de tres niveles, con 6 aulas distribuidas interiormente.

Figura 12
Planimetría general del proyecto Luis Alberto Sánchez.



Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 13
Plano clave del proyecto Luis Alberto Sánchez.



Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

3.2. PROCEDIMIENTOS

- a) Se recopiló información técnica de diversas fuentes de las entidades públicas y privadas:
 - Planos de arquitectura y estructuras de la I.E. Luis Alberto Sánchez (fuente: Sub Gerencia de Estudios (2021)).
 - Mapa de peligros de Tacna (fuente: Proyecto Ciudades Sostenibles (2004)).
 - Estudios de suelos del centro educativo (fuente: Sub Gerencia de Estudios (2021)).
 - Historia sísmica del Perú (fuente: Silgado (2012)).
- b) Trabajo de gabinete, una vez recopilada la información técnica, se procede a realizar el modelamiento en Revit y posteriormente el exportado a Robot Structural para su análisis, se va modificando el modelo para obtener planos y la memoria de cálculo final.
- c) Análisis e interpretación de los resultados en cuanto a los objetivos de la investigación.
- d) Elaboración de planos de detalle de diseño estructural y especificaciones técnicas.

3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos de un pabellón de aulas del centro educativo I.E. LAS, se presentarán dentro de la investigación en forma de tablas, gráficos, planos, memoria de cálculo, y especificaciones técnicas, cumpliendo con los objetivos iniciales, se usarán los softwares especializados: Revit, AutoCAD, Excel, Robot, Safe los resultados cumplen con la normativa del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

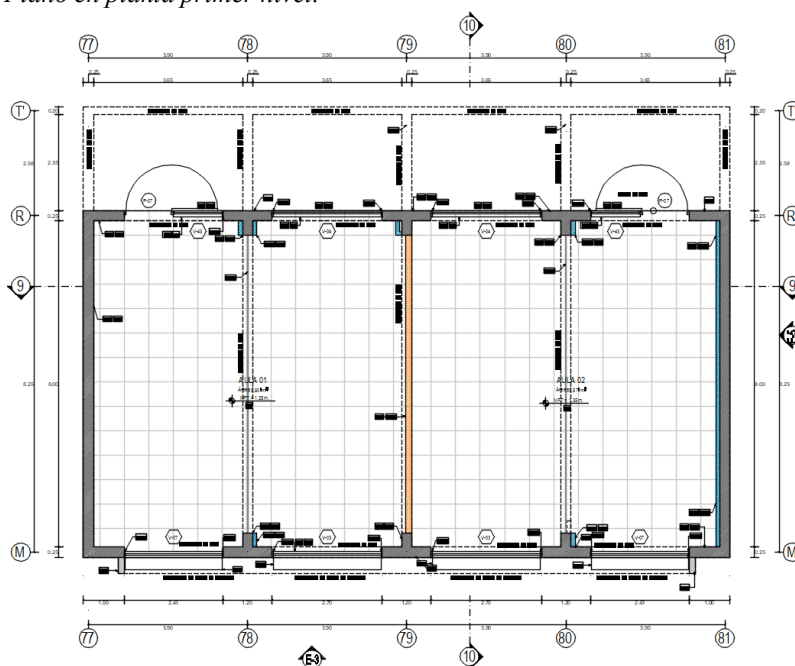
Se utilizó la técnica de la observación para el reconocimiento del terreno a nivel topográfico y de estudio de suelos, así como la revisión de documentos técnicos como planos de arquitectura, informes, entre otros.

3.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.5.1. Configuración estructural

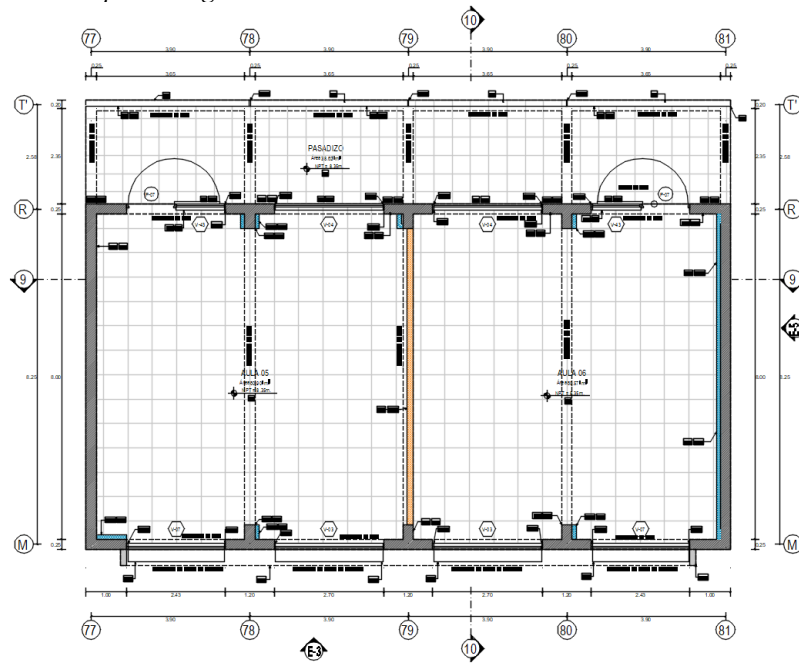
La estructura tiene unas dimensiones en X y Y de 15.85m y 11.05m respectivamente con un sistema de muros de concreto armado en ambos sentidos, se presenta una estructura regular.

Figura 14
Plano en planta primer nivel.



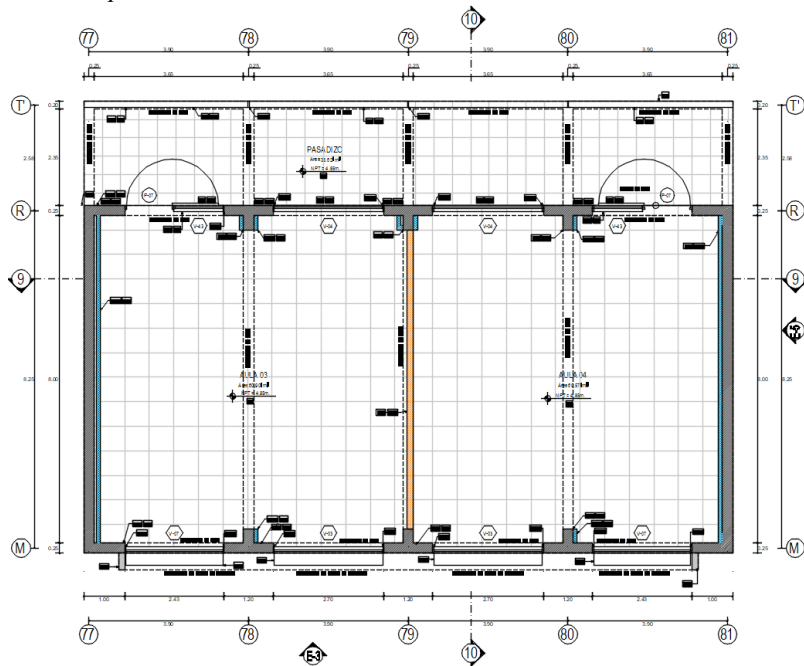
Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 15
Plano en planta segundo nivel.



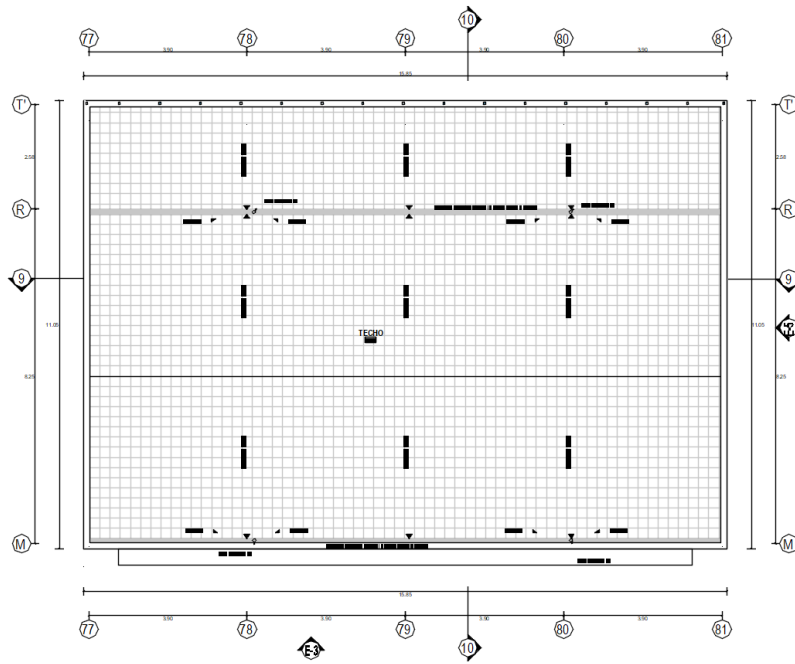
Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 16
Plano en planta tercer nivel.



Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 17
Plano en planta de azotea.



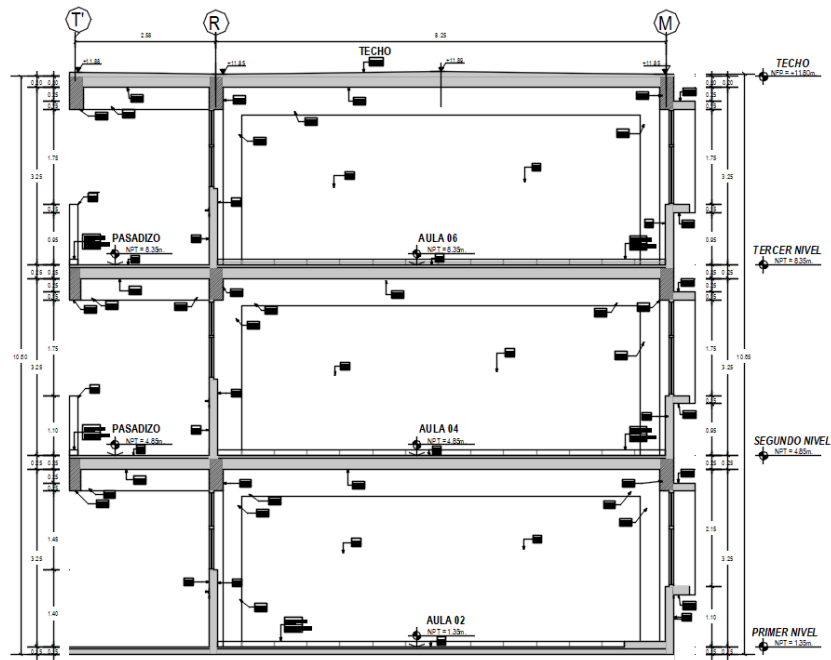
Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 18
Plano en Corte 9-9.



Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 19
Plano en Corte 10-10.



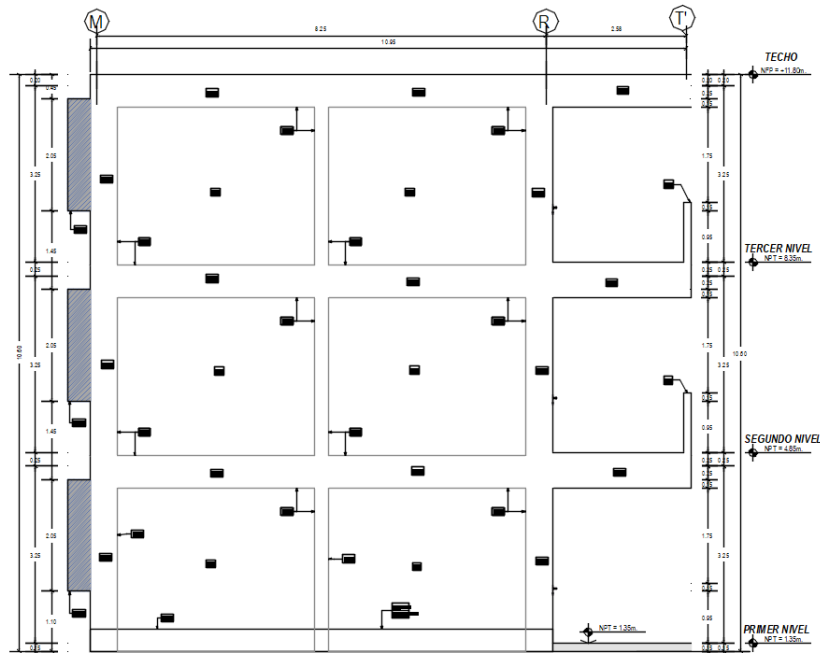
Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 20
Plano en Elevación 3.



Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

Figura 21
Plano en Elevación 5.



Nota. Sub Gerencia de Estudios (2021)

3.5.1.1. Normas técnicas

- Norma Técnica de Edificación E.020 Cargas [E.020] (2006)
- Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente [E.030] (2018)
- Norma Técnica de Edificación E.050 Suelos y Cimentaciones [E.050] (2018)
- Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado [E.060] (2009)
- Norma Técnica de Criterios Generales de Diseño para Infraestructura Educativa, RSG. N° 239-2018-MINEDU (Ministerio de Educación, 2022).

3.5.1.2. Hipótesis de análisis

El análisis estructural se realizó con el programa ROBOT STRUCTURAL, en el cual se creó un modelo tridimensional, para su análisis se supuso un

comportamiento lineal y elástico de los elementos de concreto armado los cuales fueron idealizados como elementos viga y paneles. El modelo se considera solo los elementos que aportan rigidez y resistencia a la estructura considerando las tabiquerías o elementos no estructurales como cargas lineales o de superficie.

3.5.1.3. Consideraciones de diseño

Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según el EMS (Estudio de Mecánica de Suelos) la capacidad portante del terreno a una profundidad de desplante de 2.50m es de 3.81 kgf/cm² en la calicata 2 (CFC Técnicos e Ingenieros, 2021).
- El diseño de todos los elementos de concreto armado será según la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado (2009).
- El concreto de las zapatas, losas aligeradas, vigas, columnas y muros de concreto armado será de $f'c = 310 \text{ kgf/cm}^2$, $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, se tomaron en cuenta estas tres resistencias a exigencia del EMS y para no sobrepasar la cuantía máxima en vigas de voladizos, la calidad del acero será de $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$.

3.5.1.4. Propiedades de los materiales

Tabla 1

Propiedades del concreto.

Peso propio (γ)	2400 kgf/m ³	2400 kgf/m ³	2400 kgf/m ³
Resistencia a la compresión ($f'c$)	210 kgf/cm ²	280 kgf/cm ²	310 kgf/cm ²
Módulo de elasticidad (E_c)	217371 kgf/cm ²	250998 kgf/cm ²	264102 kgf/cm ²
Módulo de corte ($G_c = E_c / 2(\mu_c + 1)$)	94509 kgf/cm ²	109130 kgf/cm ²	114827 kgf/cm ²
Módulo de poisson (μ_c)	0.15	0.15	0.15

Tabla 2

Propiedades del acero.

Peso propio acero (γ)	7850 kgf/m ³
Esfuerzo de fluencia (f_y)	4200 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidad (E_s)	2000000 kgf/cm ²

Figura 22

Definición del concreto $f'c = 310$ kgf/cm² en Robot.

Figura 23

Definición del concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en Robot.

The screenshot shows a software dialog box titled "Definición del material" with a close button (X) and a help button (?). It has tabs for "Acero", "Hormigón", "Aluminio", "Madera", and "Otros", with "Hormigón" selected. The "Nombre:" field is set to "CA 280" and the "Descripción:" field is "Hormigón estándar".

Elasticidad

módulo de Young, E:	250998.00	(kgf/cm ²)
coeficiente de Poisson, ν :	0.15	
coeficiente de Kirchoff, G:	109130.00	(kgf/cm ²)

Resistencia

Característico	280.00	(kgf/cm ²)
Muestra:	Cilíndrico	

Peso específico (densidad): 2400.00 (kgf/m³)

Dilatación térmica: 0.000010 (1/°C)

Coeficiente de 0.04

Buttons at the bottom: "Agregar", "Eliminar", "OK", "Cancelar", "Ayuda".

Figura 24

Definición del concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ en Robot.

The screenshot shows a software dialog box titled "Definición del material" with a close button (X) and a help button (?). It has tabs for "Acero", "Hormigón", "Aluminio", "Madera", and "Otros", with "Hormigón" selected. The "Nombre:" field is set to "H-210" and the "Descripción:" field is "Hormigón H-210".

Elasticidad

módulo de Young, E:	217370.6	(kgf/cm ²)
coeficiente de Poisson, ν :	0.15	
coeficiente de Kirchoff, G:	94571.08	(kgf/cm ²)

Resistencia

Característico	210.00	(kgf/cm ²)
Muestra:	Cilíndrico	

Peso específico (densidad): 2.40 (tf/m³)

Dilatación térmica: 0.000010 (1/°C)

Coeficiente de 0.04

Buttons at the bottom: "Agregar", "Eliminar", "OK", "Cancelar", "Ayuda".

Figura 25
Definición del acero en Robot.

The image shows a software dialog box titled "Definición del material" with a close button (X) and a help button (?). The dialog has several tabs: "Acero", "Hormigón", "Aluminio", "Madera", and "Otros". The "Acero" tab is selected. Inside the dialog, there are two input fields: "Nombre:" with a dropdown menu showing "ACERO" and "Descripción:" with an empty text box. Below these are two main sections: "Elasticidad" and "Resistencia".

Elasticidad		Resistencia	
módulo de Young, E:	2000000 (kgf/cm ²)	Característico	4200 (kgf/cm ²)
coeficiente de Poisson, ν :	0.3	reducción para el cortante:	1.54
coeficiente de Kirchoff, ζ :	825970.13 (kgf/cm ²)	límite de tracción:	4200 (kgf/cm ²)
Peso específico (densidad):	7.85 (tf/m ³)	<input type="checkbox"/> Tratamiento térmico	
Dilatación térmica:	0.000012 (1/°C)		
Coeficiente de	0.04		

At the bottom of the dialog are five buttons: "Agregar", "Eliminar", "OK", "Cancelar", and "Ayuda".

3.5.2. Predimensionamiento

3.5.2.1. Predimensionamiento de losas aligeradas

Se predimensionó la losa aligerada en una dirección del Bloque O-2 del encofrado del primer piso, al ser típica en los demás ambientes.

Figura 26
Planta primer piso del Bloque O-2.

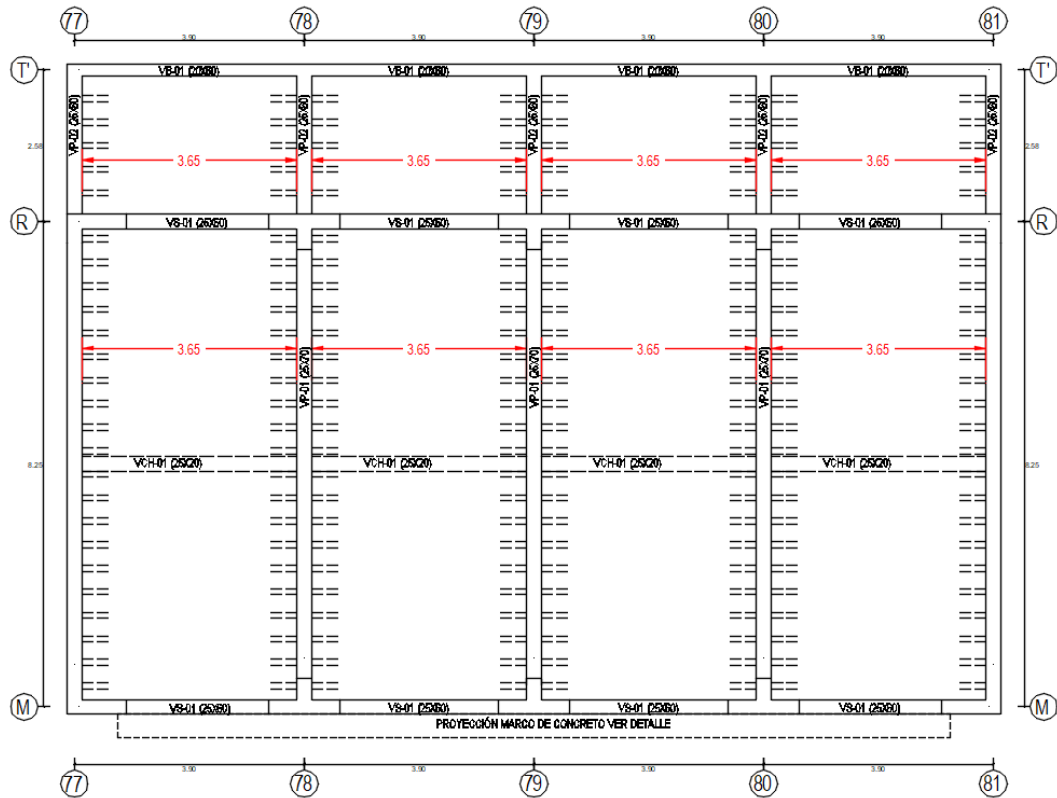


Figura 27
Peraltes o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones.

	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Nota.

El peralte mínimo para no verificar deflexiones:

$$\frac{l}{18,5} = \frac{3,65m}{18,5} = 0,197m \approx 0,20m$$

Por lo que no se verificará deflexiones.

Se realiza el mismo procedimiento para los demás niveles concluyéndose en las siguientes dimensiones:

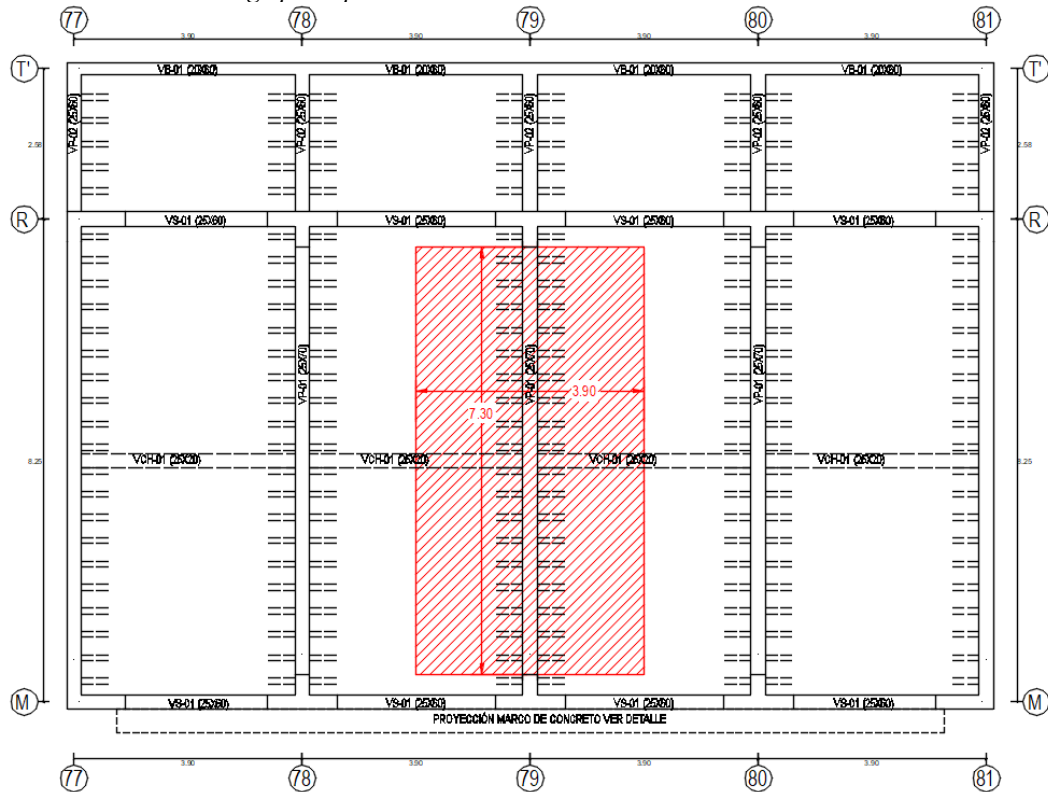
Tabla 3
Resumen de dimensiones de losas aligeradas.

Nivel	Dimensión
1	Espesor de 20 cm.
2	Espesor de 20 cm.
3	Espesor de 20 cm.

3.5.2.2. Predimensionamiento de vigas

Se predimensionó la viga principal en el eje 79 del primer nivel del Bloque O-2.

Figura 28
Área tributaria de la viga principal.



$$b = \frac{B}{20} \geq 0.25m$$

$$h = \frac{L_n}{\alpha}$$

Dónde:

B: Ancho tributario.

L_n : Luz libre.

Tabla 4

Factor para predimensionamiento de vigas principales.

Ws/c	α
$S/C \leq 200 \text{ kgf/m}^2$	12
$200 \text{ kgf/m}^2 < S/C \leq 350 \text{ kgf/m}^2$	11
$350 \text{ kgf/m}^2 < S/C \leq 600 \text{ kgf/m}^2$	10
$600 \text{ kgf/m}^2 < S/C \leq 750 \text{ kgf/m}^2$	9

Nota. (Oviedo, 2016)

Por lo tanto:

$$b = \frac{3.90}{20} = 0.195 \approx 0.25m \geq 0.25m$$

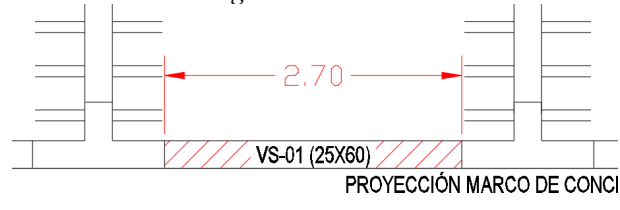
$$h = \frac{7.30}{11} = 0.66m$$

Por lo que para las vigas principales usaremos vigas de 25 x 70cm.

Se predimensionó la viga secundaria del Bloque O-2, en el eje M, tramo 78 – 79.

Figura 29

Área tributaria de viga secundaria.



Por lo tanto:

$$b_{\min} = 0.25m$$

$$h = \frac{2.70}{14} = 0.19m \approx 0.20m$$

Por lo que para las vigas secundarias usaremos vigas de 25 x 60cm.

Se realiza el mismo procedimiento para los demás ejes concluyéndose en las siguientes dimensiones:

Tabla 5

Resumen de dimensiones de vigas principales.

Nivel	Ejes	Tramo	Dimensión
1 y 2	Eje 78, 79, 80	Tramo M - R	VP 25 x 70
3	Eje 77, 78, 79, 80, 81	Tramo R - T'	VP 25 x 60

Tabla 6

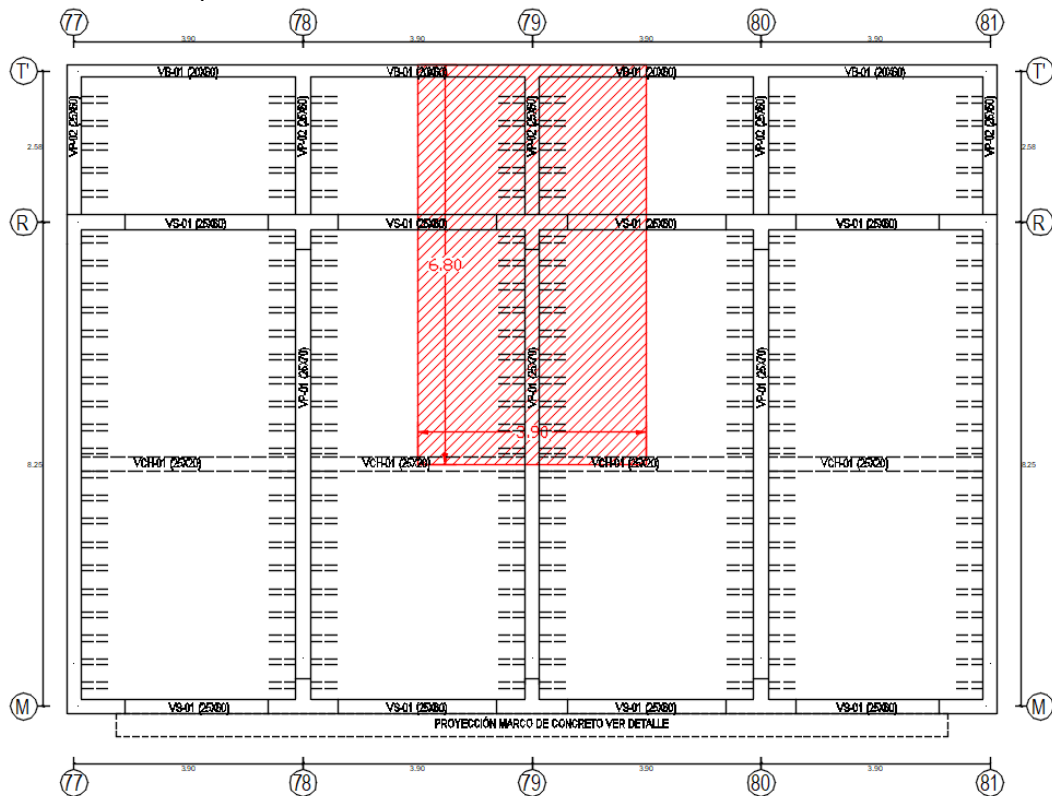
Resumen de vigas secundarias.

Nivel	Ejes	Tramo	Dimensión
1, 2 y 3	Eje M, R	Tramo 78-79, 79-80	VS 25 x 60
1, 2 y 3	Eje M, R	Tramo 77-78, 80-81	VS 25 x 60
1, 2 y 3	Eje T'	Tramo 77-78, 78-79, 79-80, 80-81	VB 20 x 60

3.5.2.3. Predimensionamiento de placas

Se predimensionó la placa más cargada del Bloque O-2 (Intersección de Eje 79 con el eje R).

Figura 30
Área tributaria de placa.



$$A_{placa} = \frac{\lambda \cdot P_G}{\eta \cdot f'c}$$

Donde:

A_{placa} : Área de la placa.

P_G : Carga de gravedad.

λ, n : Factores que dependen de la ubicación de la placa.

Tabla 7
Factores para predimensionamiento de placas

Tipo de placa	λ	η
Central	1.1	0.3
Perimetral	1.25	0.25
Esquina	1.5	0.2

Nota. (Oviedo, 2016)

Tabla 8
Metrados de carga muerta de placa PL-01

Descripción	# Pisos	Área (m ²)	Longitud (m)	Peso (tn/m ²)	Peso (tn)
Peso acabado	3	28.47		0.12	10.25
Peso tabiquería típica	2	28.47		0.12	6.83
Peso tabiquería último nivel	1	28.47		0.06	1.71
Peso de losa	3	28.47		0.30	25.62
Vigas en dirección X	6	0.15	1.35	2.40	2.92
Vigas en dirección X	6	0.12	1.83	2.40	3.15
Vigas en dirección Y	3	0.15	2.35	2.40	2.54
Vigas en dirección Y	3	0.18	3.80	2.40	4.79
Placa 01	1	0.39	10.50	2.40	9.77
				D	67.57

Tabla 9
Metrados de carga viva de placa PL-01

Descripción	# Pisos	Área (m ²)	Peso (tn/m ²)	Peso (tn)
Sobrecarga típica (L)	2	28.47	0.25	14.24
Sobrecarga último nivel (LT)	1	28.47	0.10	2.85
			L+LT	17.08

Tabla 10
Carga por servicio para placa PL-01

Descripción	Peso (tn)
P. servicio (D+L+LT)	84.66

Por lo tanto:

$$A_{placa} = \frac{1.25(84.66)}{0.25(0.21)} = 1812 \text{ cm}^2$$

Las dimensiones podrían ser:

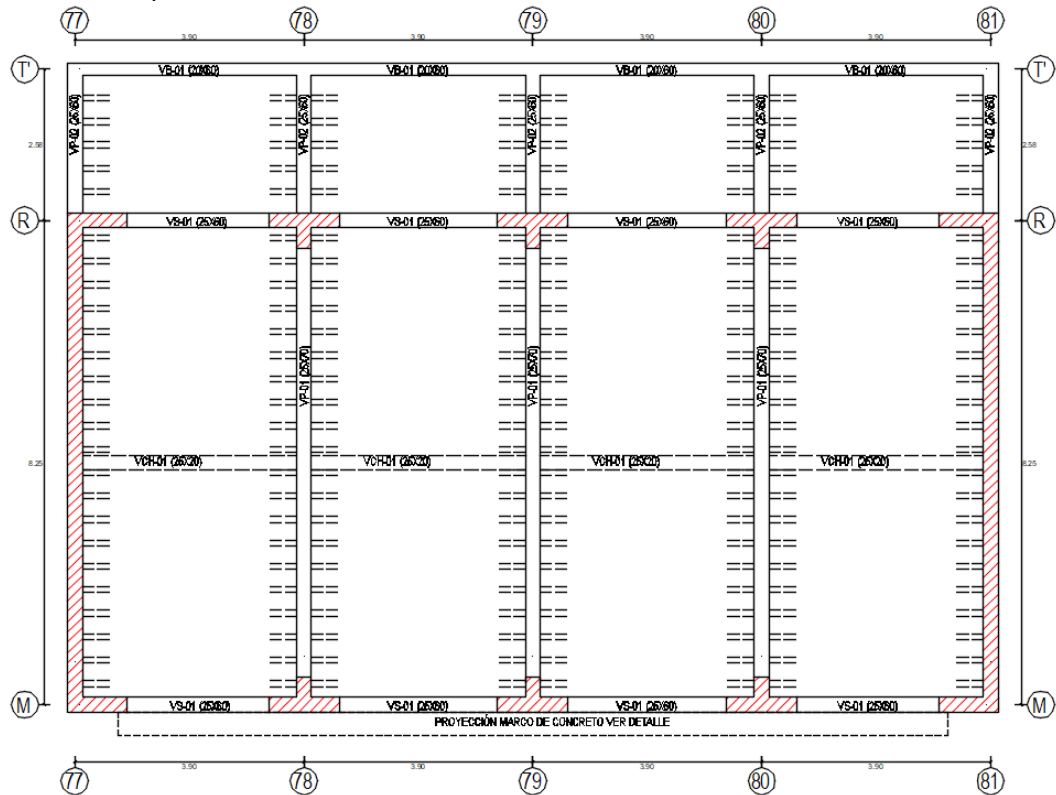
Tabla 11
Posibles dimensiones de placa por servicio

b (cm)	h (cm)
25	80
30	65
35	60
40	50
45	45
50	40

La dimensión asumida finalmente fue de 120 x 60 x 25 cm.

Ahora se verificará el predimensionamiento según la rigidez.

Figura 31
Ubicación de placas de concreto armado.



La carga por peso sísmico de la edificación:

Tabla 12*Metrado de carga muerta*

Descripción	# Pisos	Área (m ²)	Longitud (m)	Peso (tn/m ²)	Peso (tn)
Peso acabado	3	175.14		0.12	63.05
Peso tabiquería típica	2	175.14		0.12	42.03
Peso tabiquería último nivel	1	175.14		0.06	10.51
Peso de losa	3	175.14		0.30	157.63
Vigas en dirección X	6	0.15	15.85	2.40	34.24
Vigas en dirección X	3	0.12	15.85	2.40	13.69
Vigas en dirección Y	15	0.15	2.35	2.40	12.69
Vigas en dirección Y	9	0.18	8.00	2.40	30.24
Placa 01	6	0.39	10.50	2.40	58.59
Placa 06	2	2.50	10.50	2.40	126.00
				D	548.67

Tabla 13*Metrado de carga viva*

Descripción	# Pisos	Área (m ²)	Factor	Peso (tn/m ²)	Peso (tn)
Sobrecarga típica (0.5L)	2	175.14	0.50	0.25	43.79
Sobrecarga último nivel (0.25LT)	1	175.14	0.25	0.10	4.38
				0.5L+0.25LT	48.16

Tabla 14*Peso sísmico*

Descripción	Peso (tn)
P. sísm. (D+0.5L+0.25 LT)	596.84

Determinación de la fuerza cortante sísmica:

Tabla 15*Fuerza cortante sísmica*

Factor	Valor
Z	0.45
U	1.50
C	2.50
S	1.05
R	6.00
P (tn)	596.84
V (tn)	176.25

Determinamos del área de corte:

Las placas asumirán en un 100% el cortante basal.

$$V = 100\%(176.25tn) = 176.25tn$$

$$A_c = \left(\frac{V}{\phi 0.53 \sqrt{f'c}} \right); \quad \phi = 0.85$$

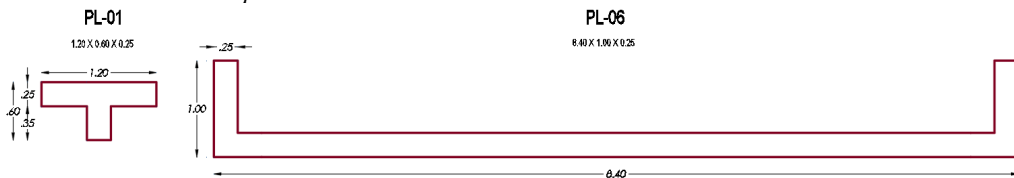
$$A_c = \left(\frac{176.25tn}{\phi 0.53 \sqrt{21000}} \right)$$

$$A_c = 2.70cm^2$$

Por lo tanto, se usarán las siguientes placas:

Figura 32

Placas usadas en el Bloque O-2.



Cumpliendo con el área mínima exigida por el predimensionamiento:

Tabla 16

Área obtenida según predimensionamiento.

Placa	Cant.	L (m)	t (m)	Área (m ²)
PL-1	2.00	1.00	0.25	0.50
PL-6	6.00	1.20	0.25	1.80
Total				2.30

Se realiza el mismo procedimiento para los demás ejes concluyéndose en las siguientes dimensiones:

Tabla 17

Resumen de dimensiones de placas.

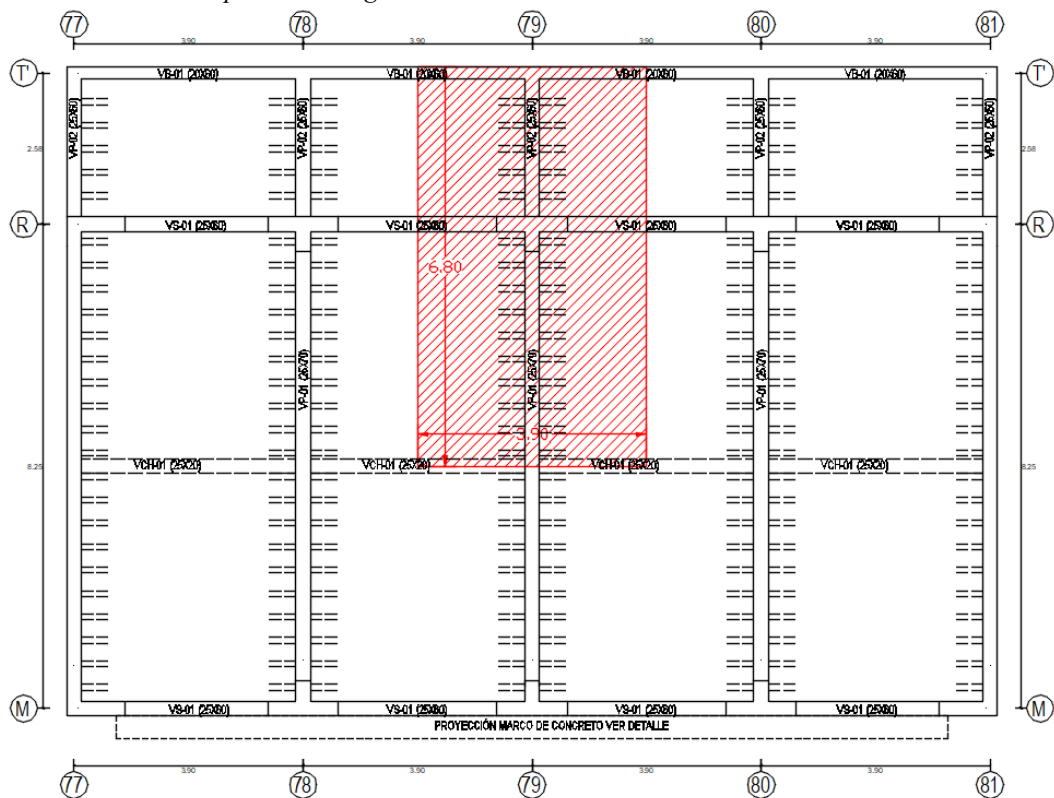
Eje	Dimensión
Eje 77, 81, entre Ejes M-R	Placa en T de 1.20 x 0.60 m con espesor de 0.25 m
Eje 78, 79, 80 intersección con Eje R	Placa en T de 1.20 x 0.60 m con espesor de 0.25 m
Eje 78, 79, 80 intersección con Eje M	Placa en C de 8.40 x 1.00 m con espesor de 0.25 m

3.5.2.4. Predimensionamiento de zapatas

Se predimensionó la zapata de la columna más cargada del Bloque O-2 (Eje 79 intersección con Eje R)

Figura 33

Área tributaria de zapata más cargada.



$$A_z = \frac{P}{\sigma_n}$$

$$\sigma_n = \sigma_p - h_f \cdot \gamma_m - S/C$$

Donde:

Az: Área de zapata.

P: Peso en servicio.

σ_n : Capacidad neta del suelo.

Con el peso de servicio obtenido del metrado anterior y con una capacidad admisible del suelo de 3.83 kg/cm², obtenemos las medidas de la zapata:

$$\sigma_n = 38.3 \frac{tn}{m^2} - (1.20m) \cdot \left(2.0 \frac{tn}{m^3}\right) - 0.40 \frac{tn}{m^2}$$

$$\sigma_n = 35.5 \frac{tn}{m^2}$$

$$A_z = \frac{84.66 tn}{35.5 \frac{tn}{m^2}} = 2.38m^2$$

La dimensión asumida finalmente fue de 160 x 320 cm.

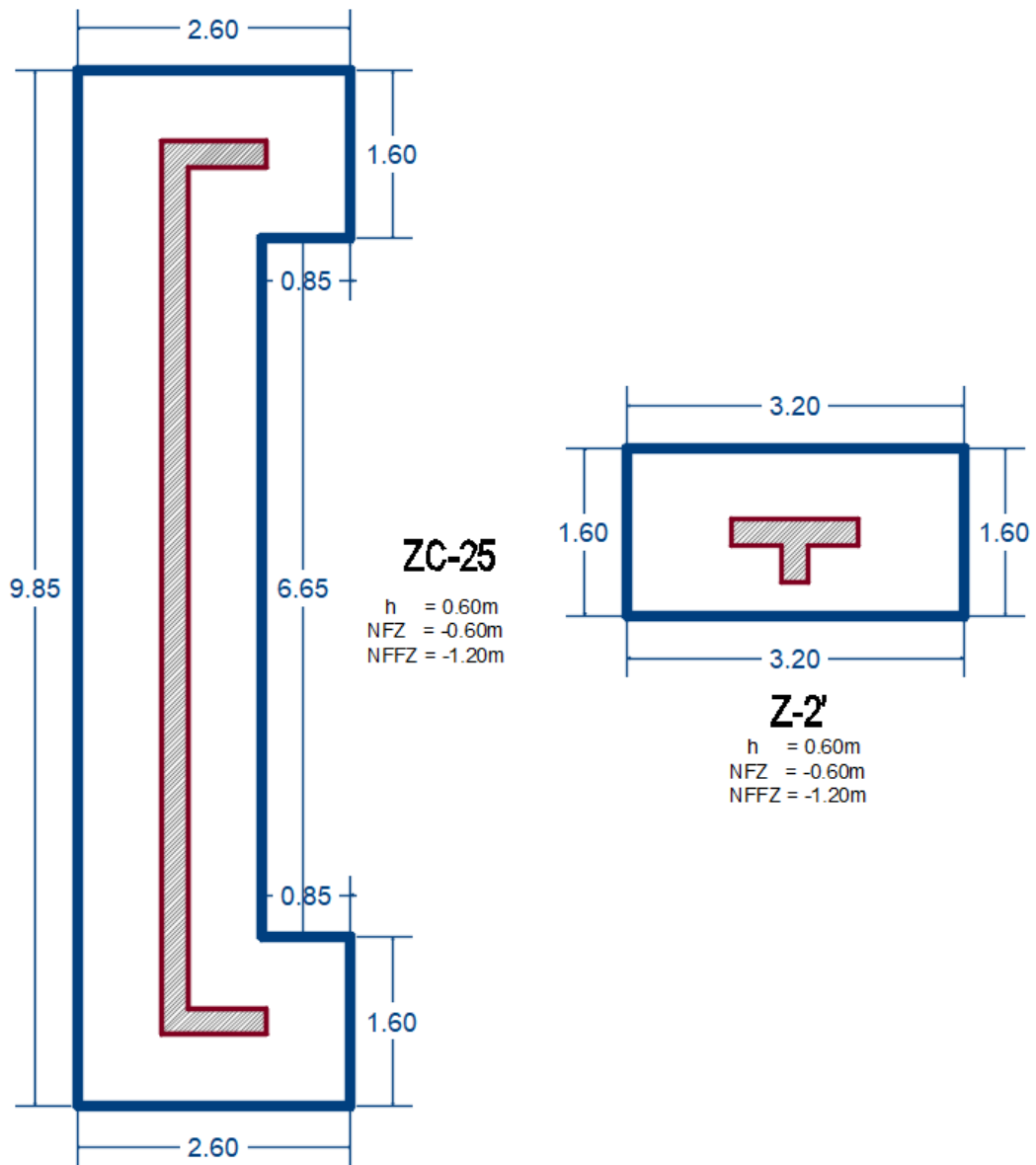
Se realiza el mismo procedimiento para los demás ejes concluyéndose en las siguientes dimensiones:

Tabla 18

Resumen de dimensiones de zapatas.

Eje	Dimensión
Eje 77, 81, entre Ejes M-R	Zapata en C de 2.60 x 9.85 m con espesor de 0.60 m
Eje 78, 79, 80 intersección con Eje R	Zapata rectangular de 3.20 x 1.60 m con espesor de 0.60 m
Eje 78, 79, 80 intersección con Eje M	Zapata rectangular de 3.20 x 1.60 m con espesor de 0.60 m

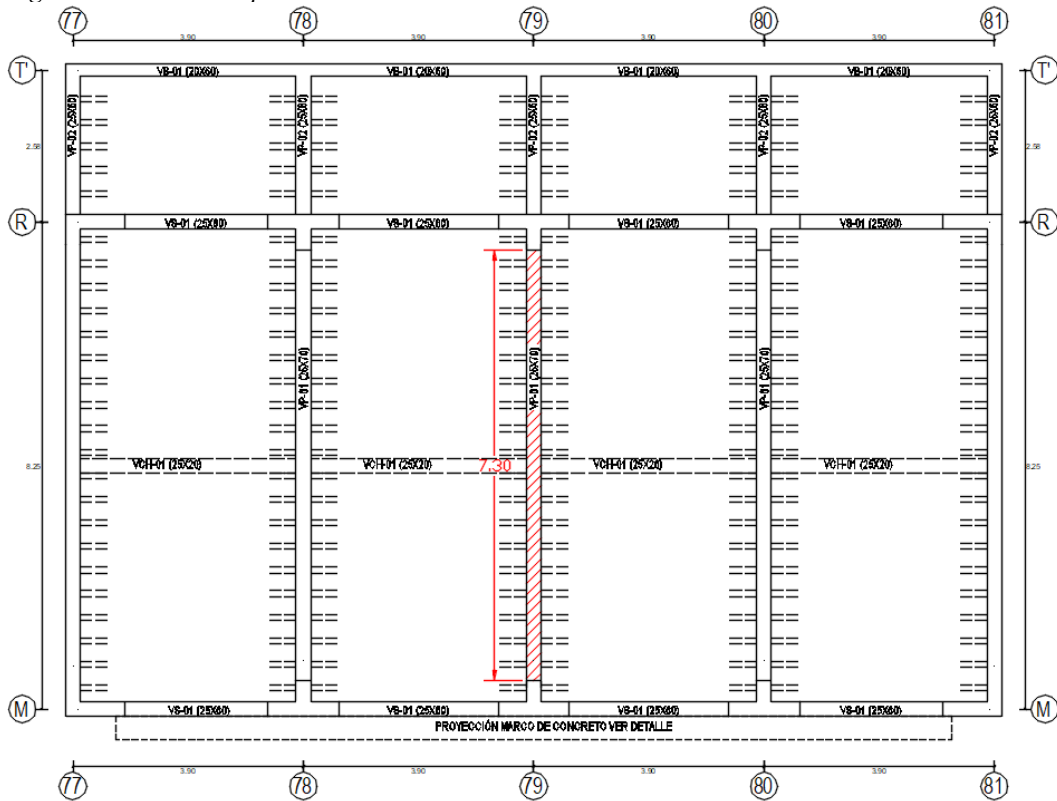
Figura 34
Zapatas utilizadas en el proyecto.



3.5.2.5. Predimensionamiento de vigas de cimentación

Se predimensionó la viga de cimentación del Bloque O-2 (Eje 79, entre Ejes M y R).

Figura 35
Viga de cimentación a predimensionar.



$$h = \frac{Ln}{7} \sim \frac{Ln}{9}$$

$$b \geq 25cm$$

Siendo:

$Ln =$ Luz máxima entre ejes.

Por lo tanto:

$$h = \frac{7.30}{7} \sim \frac{7.30}{9}$$

$$h = 1.04 \sim 0.81 \text{ cm}$$

$$b = 25cm$$

La dimensión asumida finalmente fue de 25 x 100 cm.

Se realiza el mismo procedimiento para los demás ejes concluyéndose en las siguientes dimensiones:

Figura 36

Resumen de dimensiones de vigas de cimentación.

Nivel	Ejes	Tramo	Dimensión
1	Eje 78, 79, 80	Ejes M - R	VC 25 x 100

3.5.2.6. Resumen de dimensiones

Losas Aligeradas: de acuerdo a las luces y a la sobrecarga para edificaciones con fin educativo (250 kg/m^2 en aulas y 400 kg/m^2 en pasadizos) se considera un espesor de 0.20m.

Vigas: de acuerdo a las luces y sobrecarga se consideran las siguientes secciones en metros: VP (0.25x0.70), VP (0.25x0.60), VS (0.25x0.60) y VB (0.20x0.60).

Muros estructurales: de acuerdo al área tributaria, longitud de anclaje y el criterio de columna fuerte – viga débil se consideran las siguientes secciones: PL-01 (T) (1.20x0.60x0.25), PL-06 (C) (8.40x1.00x0.25).

Figura 37
Elementos estructurales del primer, segundo y tercer piso del Bloque O-2.

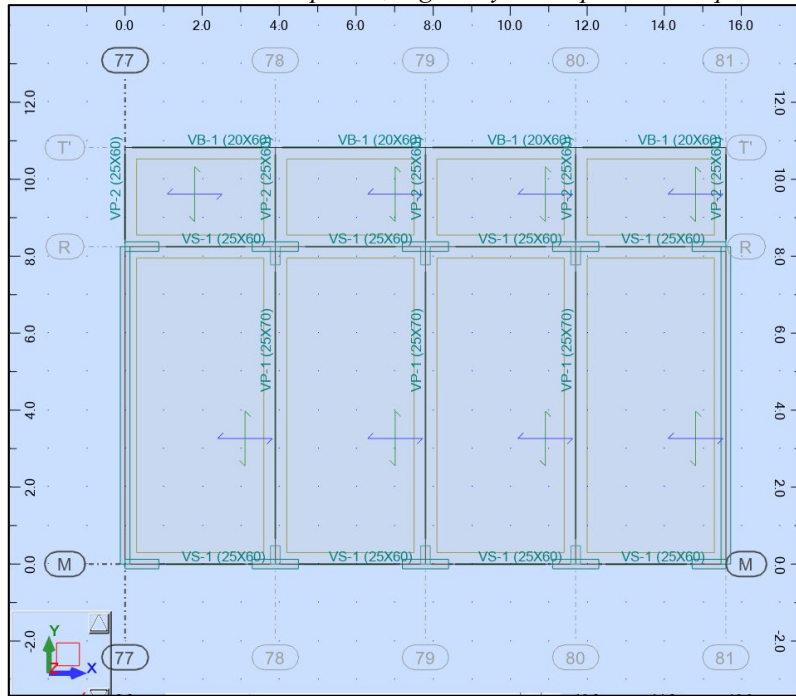
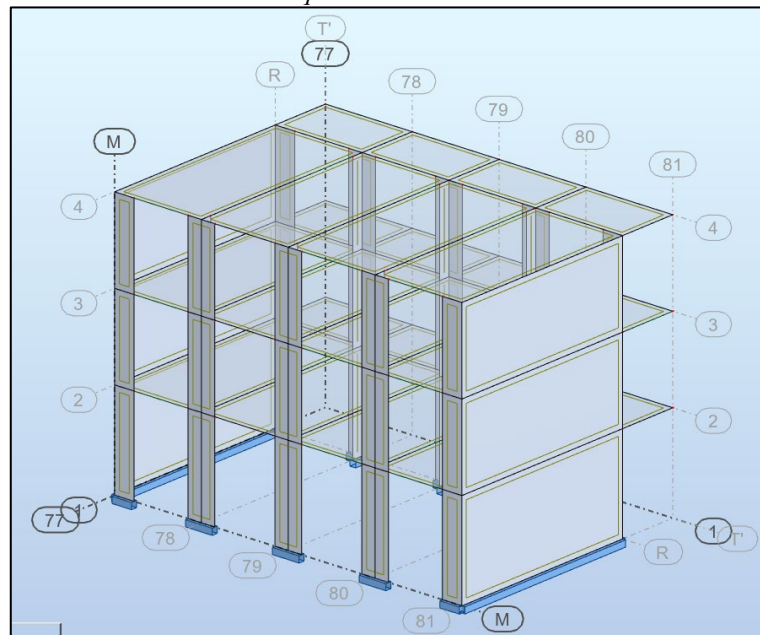


Figura 38
Modelo estructural del Bloque O-2.



3.5.3. Metrado de cargas

3.5.3.1. Cargas por peso propio

Para elementos de concreto armado	:	2'400 kg/m ³
Para losa aligerada (h=0.20m)	:	300 kg/m ²
Para piso terminado (h=0.05m)	:	120 kg/m ²
Para muros de albañilería de soga (h=1.15m)	:	350 kg/m ²
Para muros de albañilería de soga (h=1.45m)	:	450 kg/m ²

3.5.3.2. Cargas vivas

Sobrecarga en aulas	:	250 kg/m ²
Sobrecarga en corredores	:	400 kg/m ²
Sobrecarga en azotea	:	100 kg/m ²

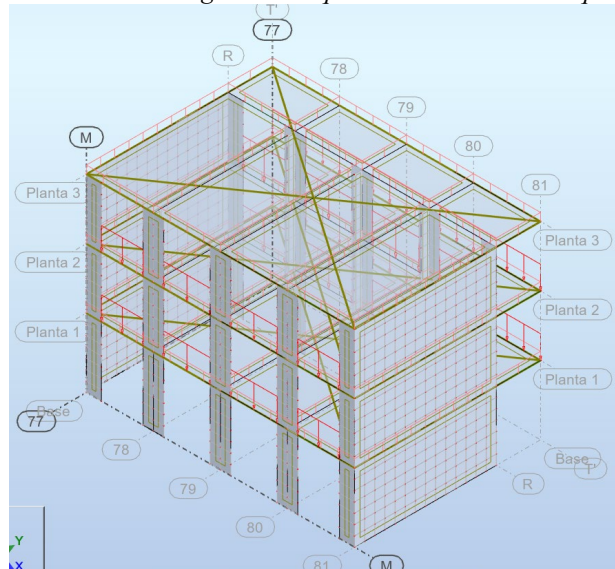
3.5.3.3. Cargas producidas por sismo

Calculadas mediante un análisis estático y dinámico según el RNE E.030 (2018).

3.5.3.4. Distribución de cargas de tabiquería aislada

Figura 39

Distribución de cargas de tabiquerías aisladas del Bloque O-2.



3.5.3. Análisis y diseño de losas aligeradas

Se diseñará la losa aligerada del pasadizo.

Figura 40.
Sección típica de losa aligerada.

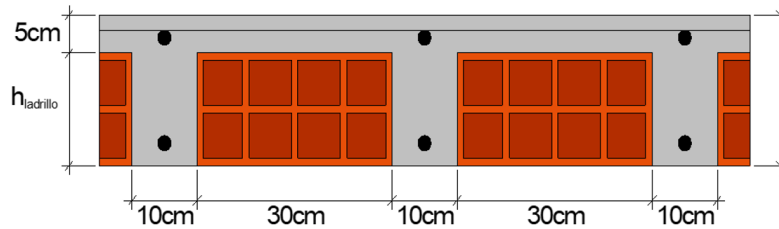


Tabla 19.
Cargas típicas.

CARGA MUERTA	
P.Losa Aligerada (h=20cm)	300 kg/m ²
Acabados	120 kg/m ²
Carga Muerta	400 kg/m²
En 0.40m de Alma	160 kg/m
CARGA VIVA (Azotea)	
Sobrecarga (S/C)	100 kg/m ²
Carga Viva	100 kg/m ²
En 0.40m de Alma	40 kg/m
CARGA VIVA (Aulas)	
Sobrecarga (S/C)	250 kg/m ²
Carga Viva	250 kg/m ²
En 0.40m de Alma	100 kg/m

Metrado de Cargas:

Figura 41.
Carga muerta distribuida.

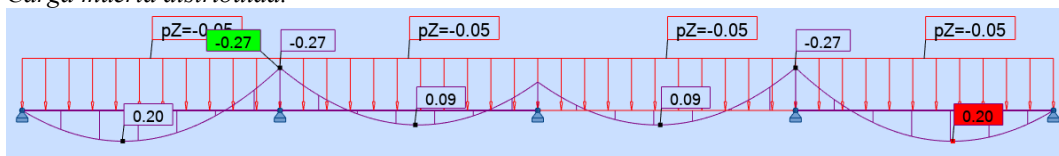


Figura 42.
Primera condición de carga viva.

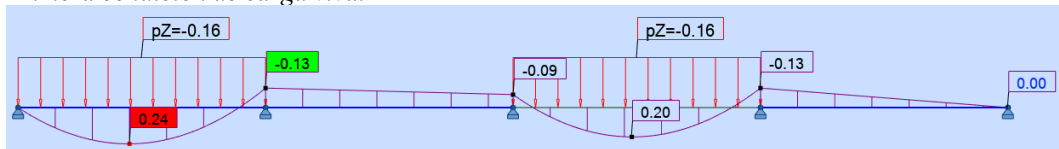


Figura 43.
Segunda condición de carga viva.

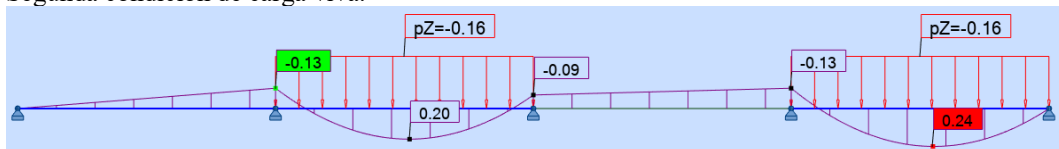


Figura 44.
Tercera condición de carga viva.

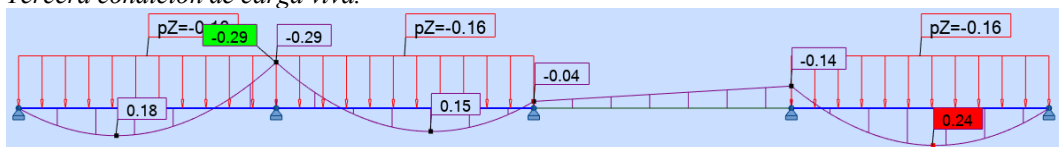


Figura 45.
Cuarta condición de carga viva.

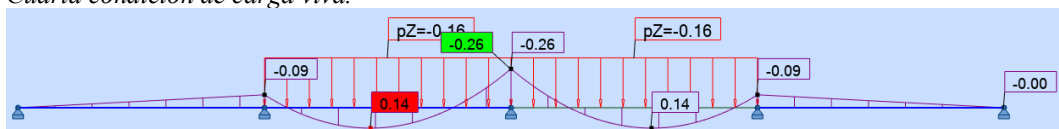


Figura 46.
Quinta condición de carga viva.

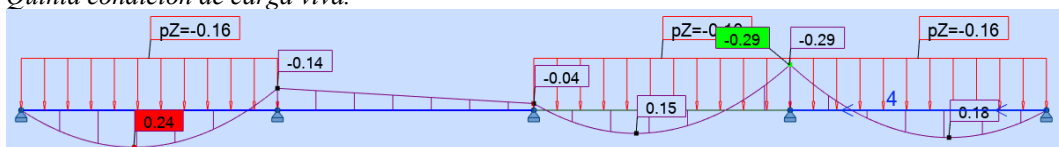


Figura 47.
Envolvente de momentos en la cara de los apoyos (T_n-m).

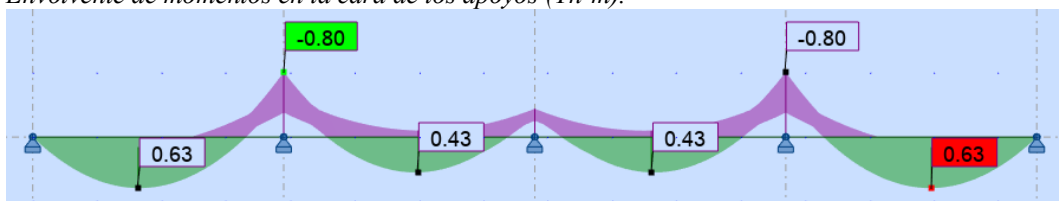


Figura 48.

Envolvente de cortantes (tn).

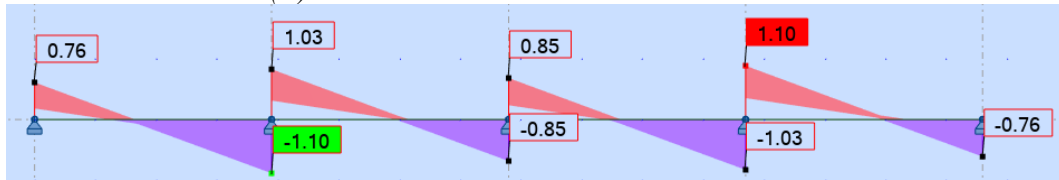


Figura 49.

Acero inferior corrido y acero superior de 1/2'' (cm²).

Acero superior	
f'c (Tn/m ²)	2800
fy (Tn/m ²)	42000
b (m)	0.10
h (m)	0.20
r (m)	0.030
Øb (m)	0.0127
d (m)	0.1637
Mu (Tn-m)	0.67
As (cm ²)	1.16
1Ø1/2"	

Acero inferior	
f'c (Tn/m ²)	2800
fy (Tn/m ²)	42000
b (m)	0.10
h (m)	0.20
r (m)	0.030
Øb (m)	0.0127
d (m)	0.1637
Mu (Tn-m)	0.63
As (cm ²)	1.08
1Ø1/2"	

$$V_c = 1.1(0.85)(0.53)\sqrt{280}(17)(10)/1000 = 1.41 \text{ Tn} > 1.10 \text{ Tn} \Rightarrow OK$$

El concreto absorbe todo el corte.

$$A_{stemp} = 0.0018(100)(5) = 0.90 \text{ cm}^2$$

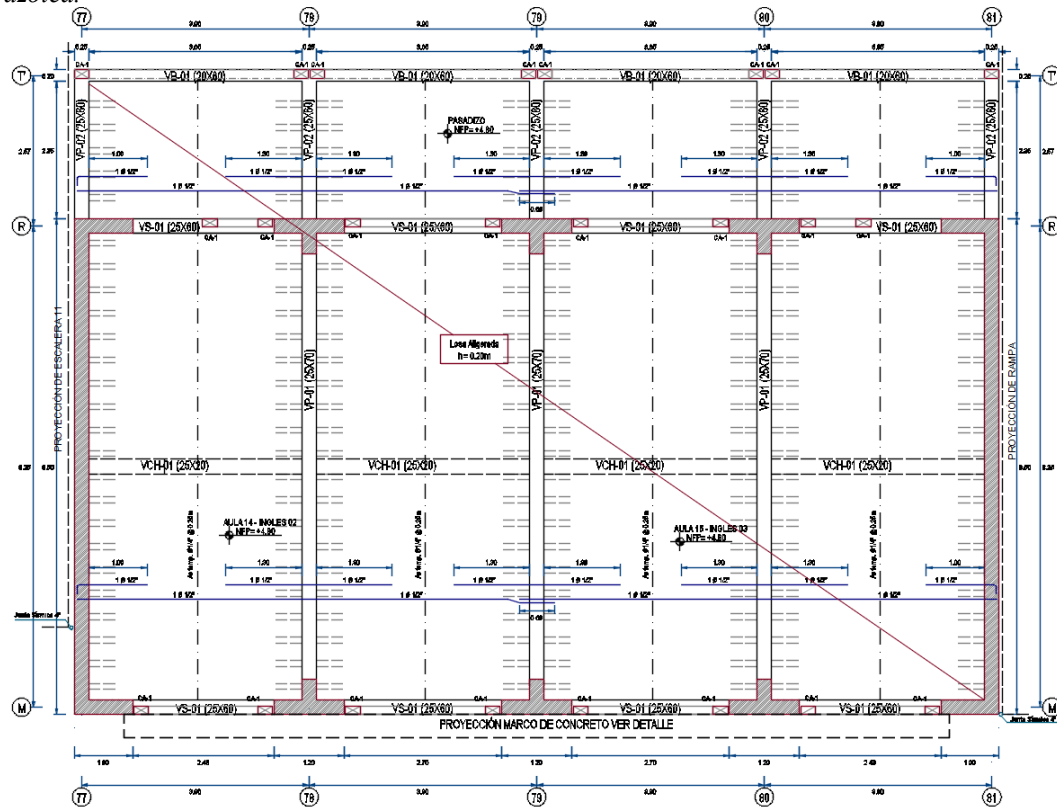
$$N^{\circ} \text{ varillas de } 1/4'' = \frac{0.90}{0.32} = 2.8125$$

$$S = \frac{100}{2.8125} = 35.56 \Rightarrow \text{Usar: } \emptyset 1/4'' @ 0.25$$

Se realiza el mismo procedimiento para las demás losas concluyéndose en el siguiente refuerzo:

Figura 50

Detalle de diseño de acero en losa aligerada, en la zona de aulas, del primer y segundo nivel, y azotea.



3.5.4. Análisis sísmico

3.5.4.1. Consideraciones sísmicas

3.5.4.1.1. Zonificación (Z)

Según la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2018), el factor "Z" idealiza la aceleración máxima del suelo con probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, el cual será 0.45.

3.5.4.1.2. Parámetros del suelo (S)

Según la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2018), el factor “S” idealiza la velocidad de propagación de ondas de corte en función de las propiedades mecánicas, espesor del estrato y periodo fundamental de vibración, el parámetro T_P y T_L asociado será de 0.60s y 2.00s respectivamente y el factor de amplificación del suelo se considera $S=1.05$.

3.5.4.1.3. Factor de amplificación sísmica (C)

Según la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2018), el factor “C” se define según las siguientes ecuaciones:

$$C = 2.5; T \leq T_P \quad C = 2.5 (T_P/T); T_P < T \leq T_L \quad C = 2.5 (T_P \cdot T_L/T^2); T > T_L$$

3.5.4.1.4. Categoría de las edificaciones (U)

El factor “U”, será de 1.5 debido a que la edificación es esencial por ser parte de una institución educativa.

3.5.4.1.5. Sistemas estructurales (R)

El factor “R”, se define según el material predominante de la estructura en cada dirección, existen factores de irregularidad que alteran este factor, sin embargo, no se aplicarán debido a que la edificación es de uso esencial y no se permiten irregularidades, que por su estructuración (típica en colegios) no será necesario verificar.

Figura 51
Sistemas estructurales.

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

Nota. Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2018)

En ambas direcciones la resistencia y rigidez será proporcionada por muros de concreto armado con un espesor de 0.25 m por lo que $R=6.00$ (Sismo Severo). La estructura es regular tanto en elevación como en altura.

3.5.4.1.6. Análisis estático

Se representa la fuerza sísmica en cada centro de masa de cada nivel de la estructura, teniendo los siguientes parámetros para calcular ello:

Fuerza cortante total en la base:

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

La relación entre C/R no deberá ser menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i V$$

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

Donde n es el número de pisos del edificio, k está relacionado con el período (T):

a) Para $T \leq 0.5$ s: $k = 1$.

b) Para $T \geq 0.5$ s: $k = (0.75 + 0.5 T) \leq 2$.

3.5.4.1.7. Análisis dinámico

El análisis se tomará mediante movimientos de superposición espectral, basándose en la utilización de periodos y modos de vibración considerándose adecuadamente las propiedades de rigidez y distribución de masas de la edificación.

3.5.4.1.8. Aceleración espectral

El espectro inelástico de pseudo-aceleraciones está definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Donde:

$Z = 0.45$ (zona 4 – Tacna)

$U = 1.50$ (categoría A.2 – edificación esencial)

$S = 1.05$ ($T_P = 0.6$, $T_L = 2.0$ – suelos intermedios)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (aceleración de la gravedad)

$R_{\text{muros}} = 6.00$ (muros estructurales)

$C = 2.5$; $T \leq T_P$ $C = 2.5 (T_P/T)$; $T_P < T \leq T_L$ $C = 2.5 (T_P \cdot T_L/T^2)$; $T > T_L$

3.5.4.1.9. Desplazamientos laterales permisibles

Se relaciona al máximo desplazamiento relativo obtenido de un análisis lineal elástico multiplicado por un factor de 0.75 R para estructuras regulares.

3.5.4.1.10. Verificación de desplazamientos

Los desplazamientos conseguidos se verificarán en el programa ROBOT con los permisibles de la normativa actual.

3.5.4.1.11. Obtención de esfuerzos

Para el diseño de estructuras se necesitarán los esfuerzos de corte, flexión y carga axial en vigas, columnas, muros de concreto armado.

3.5.4.2. Análisis modal de la estructura

Se calcula los primeros 12 periodos y modos de vibración de la estructura, la suma de masas efectivas es mayor al 90% de la masa total según la NTE 0.30 en el artículo 4.6.1.

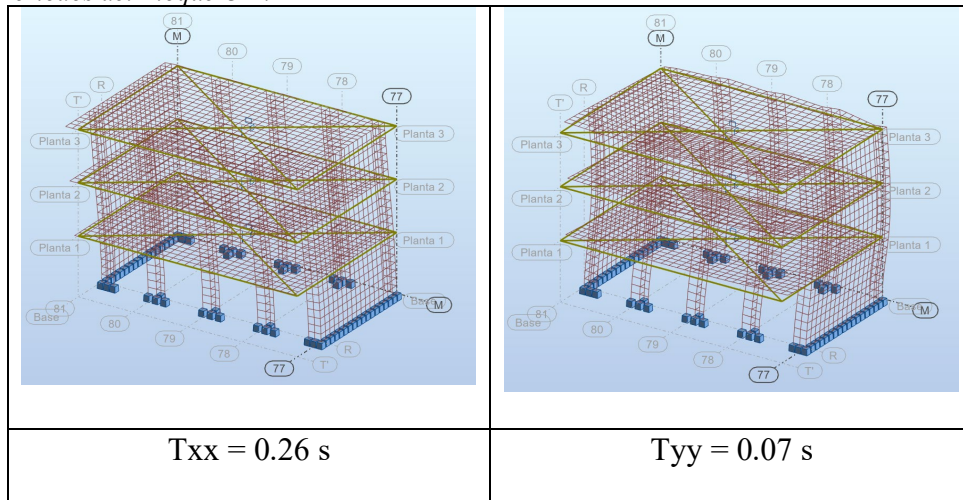
Tabla 20

Periodos de los modos del Bloque O-2.

Modo	Periodo	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	0.26	0.75	0.00	0.75	0.00
2	0.07	0.13	0.09	0.88	0.09
3	0.07	0.02	0.68	0.90	0.77
4	0.05	0.00	0.00	0.90	0.77
5	0.03	0.04	0.00	0.94	0.77
6	0.03	0.00	0.00	0.94	0.77
7	0.03	0.01	0.00	0.95	0.77
8	0.02	0.00	0.00	0.95	0.77
9	0.02	0.00	0.00	0.95	0.77
10	0.02	0.00	0.14	0.95	0.91
11	0.02	0.00	0.00	0.95	0.91
12	0.02	0.00	0.00	0.95	0.92

Figura 52

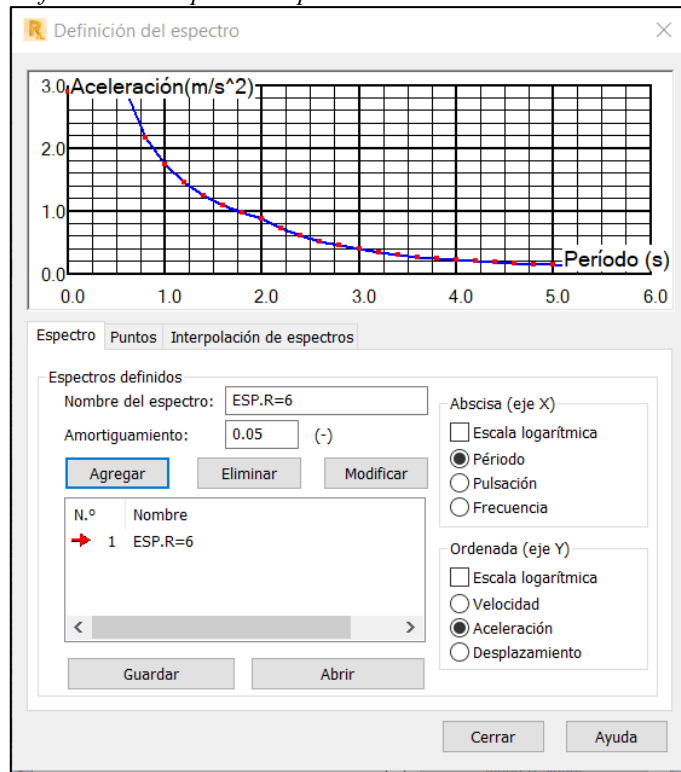
Periodos del Bloque O-2.



3.5.4.3. Análisis dinámico

El espectro de pseudo-aceleraciones será obtenida con los parámetros anteriormente indicados, para ambas direcciones, el cual será empleado en el programa ROBOT.

Figura 53
Definición del espectro de pseudo aceleraciones.



Los espectros con un coeficiente de reducción representan lo siguiente, se usará un $R=6$ para muros estructurales.

3.5.4.4. Verificación del cortante en la base

De acuerdo a lo indicado en el Art. 29.4 (Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente, 2018), se debe verificar que la fuerza cortante en la base obtenida del análisis dinámico para cada una de las direcciones consideradas en el análisis debe ser mayor o igual al 80% del cortante en la base para estructuras regulares obtenido del análisis estático. Obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 21.
Cortante estático y dinámico.

Cortante	Vest	80%Vest	Vdin	Factor
Vx	100.79	80.63	85.52	1.00
Vy	100.79	80.63	86.17	1.00

El cortante dinámico basal X-X del Bloque O-2 es de 85.52 ton, es superior al 80% del cortante estático (80.63 ton). En la dirección Y-Y, el cortante dinámico es de 86.17 ton siendo superior al 80% del cortante estático (80.63 ton).

3.5.4.5. Desplazamiento y distorsiones

El máximo desplazamiento relativo según el análisis sísmico anterior no debe exceder de la distorsión máxima permitida.

Límites para la distorsión de Entrepiso:

Para estructuras regulares:

$$\delta_{C^{\circ}A^{\circ}} = 0.75R_{C^{\circ}A^{\circ}} \frac{\Delta_i}{h_{ei}} \leq 0.007$$

Tabla 22.
Máximo desplazamiento, máximo desplazamiento relativo, máxima distorsión.

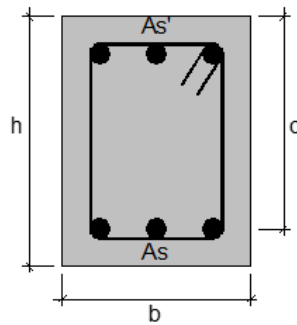
Nivel	Desp. Máx. (cm)		Desp. Máx. Rel. (cm)		Distorsión	
	X	Y	X	Y	X	Y
3	3.1539	0.1900	1.0865	0.0635	0.0031	0.0002
2	2.0674	0.1265	1.1970	0.0682	0.0034	0.0002
1	0.8704	0.0583	0.8704	0.0583	0.0025	0.0002

En el sentido XX ni YY, superan a 0.007(sistema de concreto armado).

3.5.5. Diseño de vigas

Se diseñará la viga del eje 79, tramo M-R.

Figura 54.
Sección típica de viga.



La V_u de diseño se obtendrá mediante la suma de cortantes obtenida de momentos probables en flexión ($M_{pr}=1.00M_n$) sobre la luz libre y las cargas últimas de gravedad por la luz libre entre 2.

Figura 55.
Diseño por corte en vigas.

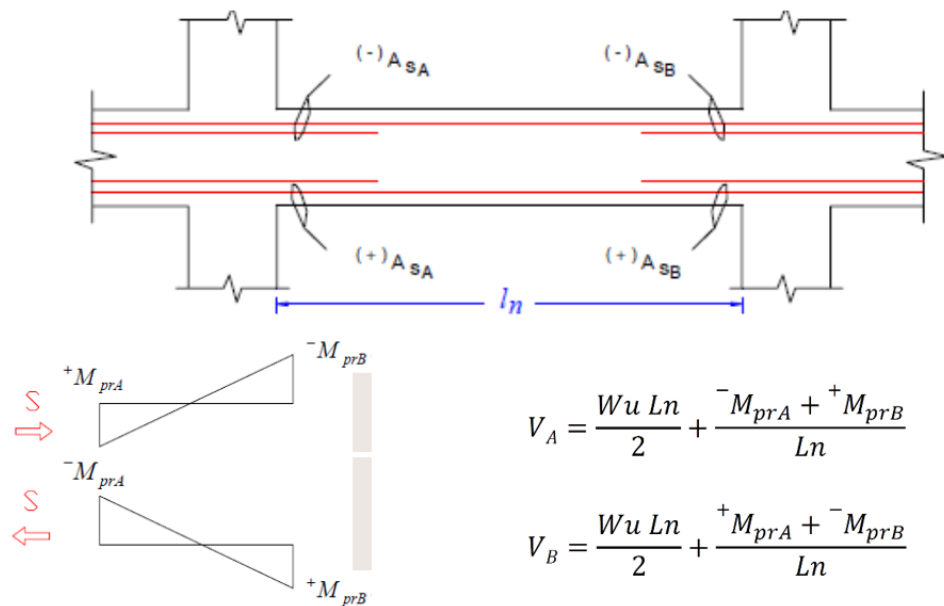


Figura 56
Diagrama de momentos de la viga más cargada.

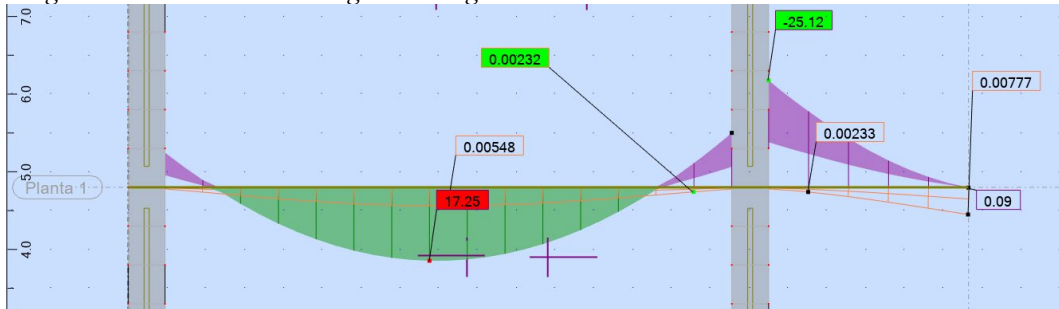
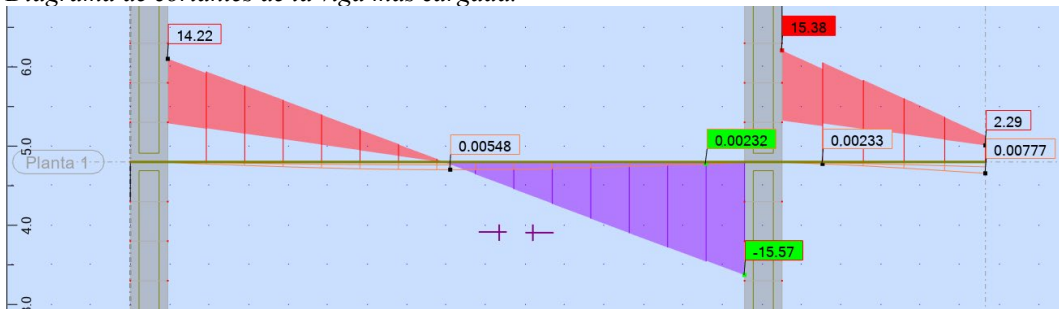


Figura 57.
Diagrama de cortantes de la viga más cargada.



Diseño a flexión:

Para el momento negativo $M_{u_neg} := 25.12 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$ se calculará el área de acero

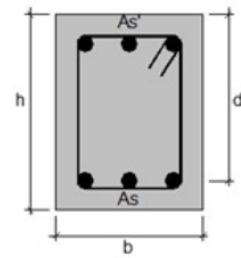
requerido: $\phi := 0.90$ $f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $b := 25 \text{ cm}$

Considerando $h := 70 \text{ cm}$ $d := h - 6 \text{ cm} = 64 \text{ cm}$ $a := \frac{d}{5} = 12.8 \text{ cm}$

$$A_s := \frac{M_{u_neg}}{\phi \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 11.54 \text{ cm}^2 \quad a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot b \cdot f'_c} = 8.14 \text{ cm}$$

$$A_s := \frac{M_{u_neg}}{\phi \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 11.09 \text{ cm}^2 \quad a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot b \cdot f'_c} = 7.83 \text{ cm}$$

$$A_s := \frac{M_{u_neg}}{\phi \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 11.06 \text{ cm}^2 \quad a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot b \cdot f'_c} = 7.81 \text{ cm}$$



$A_s := 4 A3_4 + 1 \cdot A8_8 = 16.47 \text{ cm}^2$ Se usará 4 barras de 3/4" y 1 barra de 1".

Se calculará ahora las áreas de acero mínimo y máximo:

$$E_s := 20000000 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\beta_1 := 0.85$$

$$p_b := \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{0.003 \cdot E_s}{0.003 \cdot E_s + f_y} \right) = 0.03$$

$$A_{s_mín} := \frac{0.70 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}}{f_y} \cdot b \cdot d = 4.46 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_máx} := 0.50 \cdot p_b \cdot b \cdot d = 22.67 \text{ cm}^2$$

Cumple con los límites de la norma.

Diseño por corte:

Base de la viga: $b := 25 \text{ cm}$
 Altura de la viga: $h := 70 \text{ cm}$
 Recubrimiento: $r := 4 \text{ cm}$
 Luz libre: $L_n := 7.3 \text{ m}$
 Ancho tributario: $L := 3.9 \text{ m}$ $\phi := 0.85$

Resistencia a compresión del concreto: $f'c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
 Resistencia de fluencia del acero: $fy := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
 Peso específico del concreto armado: $\gamma_{conc} := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$
 Diámetro de la barra longitudinal: $db := \frac{5}{8} \text{ in}$
 Diámetro del estribo: $de := \frac{3}{8} \text{ in}$

Cargas:

$$w_{alig} := 300 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \quad w_{acab} := 120 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \quad w_{sob} := 250 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Peso propio de la viga: $PP_{viga} := b \cdot h \cdot \gamma_{conc} = 420.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
 Peso propio de la losa: $PP_{losa} := (L - b) \cdot w_{alig} = 1095.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
 Peso propio de los acabados: $PP_{acab} := L \cdot w_{acab} = 468.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
 Carga muerta: $W_D := PP_{viga} + PP_{losa} + PP_{acab} = 1983.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
 Carga viva: $W_L := L \cdot w_{sob} = 975 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
 Carga última: $W_U := 1.25 \cdot (W_D + W_L) = 3697.50 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

$$As_{izq_neg} := 10.77 \text{ cm}^2 \quad As_{der_neg} := 10.77 \text{ cm}^2 \quad d_{izq_neg} := 63.8 \text{ cm} \quad d_{der_neg} := 63.8 \text{ cm}$$

$$As_{izq_pos} := 5.94 \text{ cm}^2 \quad As_{der_pos} := 5.94 \text{ cm}^2 \quad d_{izq_pos} := 64.27 \text{ cm} \quad d_{der_pos} := 64.27 \text{ cm}$$

$$a_{izq_neg} := \frac{As_{izq_neg} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = 7.6 \text{ cm}$$

$$a_{der_neg} := \frac{As_{der_neg} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = 7.6 \text{ cm}$$

$$a_{izq_pos} := \frac{As_{izq_pos} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = 4.19 \text{ cm}$$

$$a_{der_pos} := \frac{As_{der_pos} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = 4.19 \text{ cm}$$

$$Mn_{izq_neg} := As_{izq_neg} \cdot fy \cdot \left(d_{izq_neg} - \frac{a_{izq_neg}}{2} \right) = 27.14 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$Mn_{izq_pos} := As_{izq_pos} \cdot fy \cdot \left(d_{izq_pos} - \frac{a_{izq_pos}}{2} \right) = 15.51 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$Mn_{der_neg} := As_{der_neg} \cdot fy \cdot \left(d_{der_neg} - \frac{a_{der_neg}}{2} \right) = 27.14 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$Mn_{der_pos} := As_{der_pos} \cdot fy \cdot \left(d_{der_pos} - \frac{a_{der_pos}}{2} \right) = 15.51 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$V_A := \frac{W_U \cdot Ln}{2} + \frac{Mn_{izq_neg} + Mn_{der_pos}}{Ln} = 19.34 \text{ tonnef}$$

$$V_B := \frac{W_U \cdot Ln}{2} + \frac{Mn_{izq_pos} + Mn_{der_neg}}{Ln} = 19.34 \text{ tonnef}$$

$$V := \max(V_A, V_B) = 19.34 \text{ tonnef}$$

$$Vn := \frac{V}{\phi} = 22.75 \text{ tonnef}$$

$$d := \min(d_{izq_neg}, d_{izq_pos}, d_{der_neg}, d_{der_pos}) = 63.8 \text{ cm}$$

$$Vc := 0.53 \cdot \sqrt{f'c \cdot \frac{kgf}{cm^2}} \cdot b \cdot d = 14.15 \text{ tonnef}$$

$$Vs := Vn - Vc = 8.61 \text{ tonnef}$$

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

$$s := \frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vn} = 16.72 \text{ cm}$$

$$Vn := Vc + Vs \quad \frac{Vu}{\phi} < Vn$$

Espaciamiento máximo en muros estructurales:

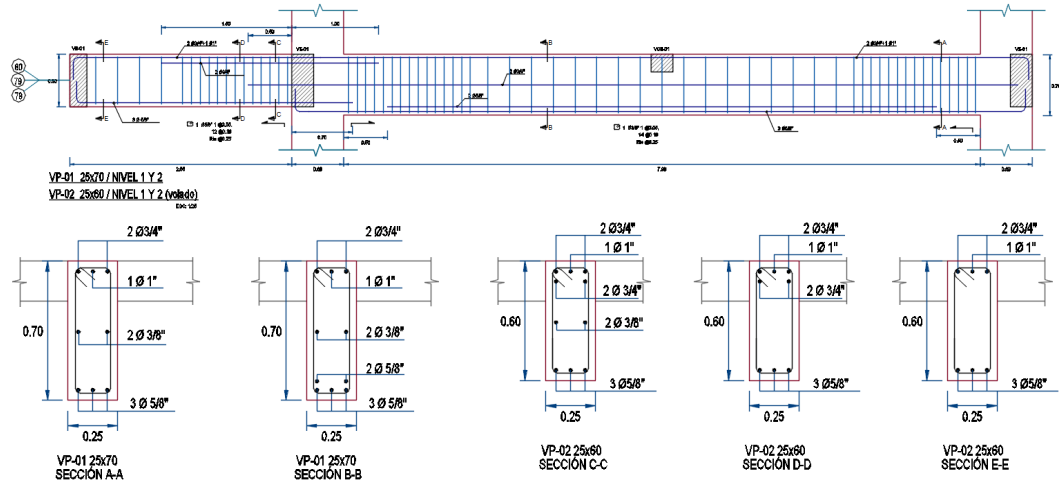
$$s_{conf} := \min\left(\frac{d}{4}, 8 \cdot db, 24 \cdot de\right) = 12.7 \text{ cm} \quad l_{conf} := 2 \cdot h = 1.4 \text{ m}$$

$$s_{cent} := \min\left(\frac{d}{2}\right) = 31.9 \text{ cm}$$

La distribución final de estribos será de: $\square \phi 3/8", 1@5, 14@10, \text{Rto.}@25.$

Figura 58.

Detalle de diseño de la viga principal Eje 78, 79, 80, nivel 1 y 2.



Se realiza el mismo procedimiento para las demás vigas concluyéndose en el siguiente refuerzo:

Figura 59

Detalle de diseño de la viga principal Eje 77 y 81, nivel 1 y 2.

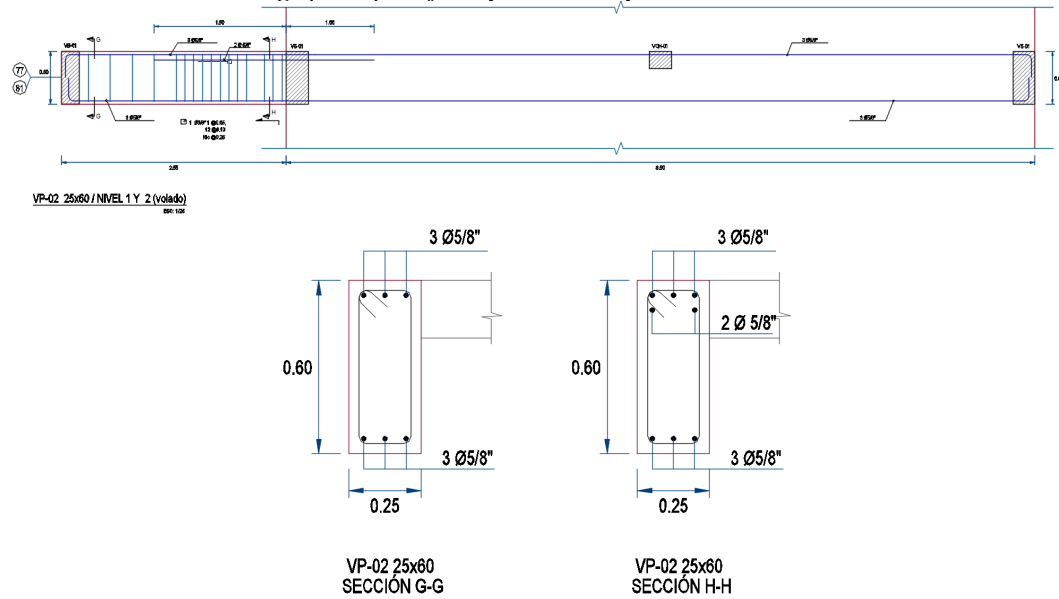


Figura 60
 Detalle de diseño de viga principal Eje 78, 79, 80, nivel 3.

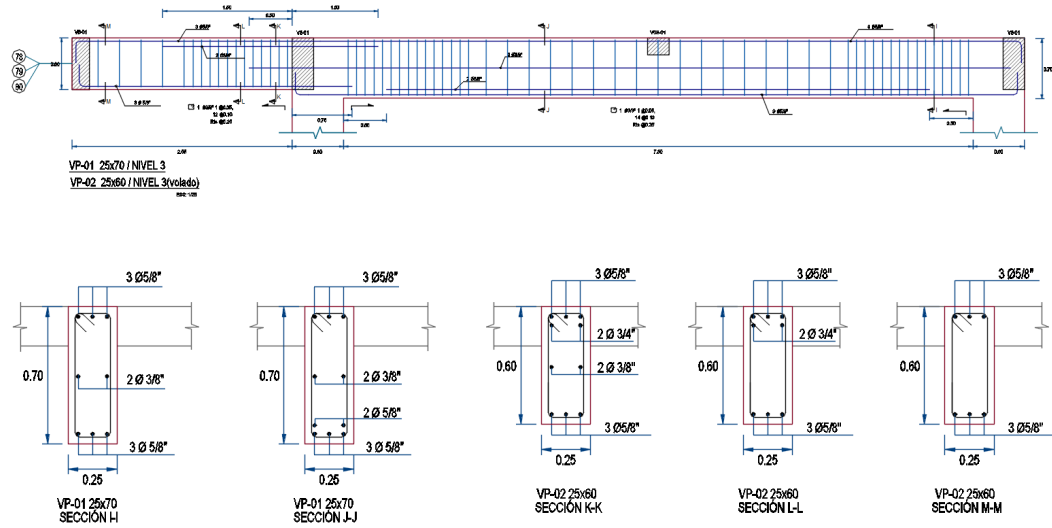
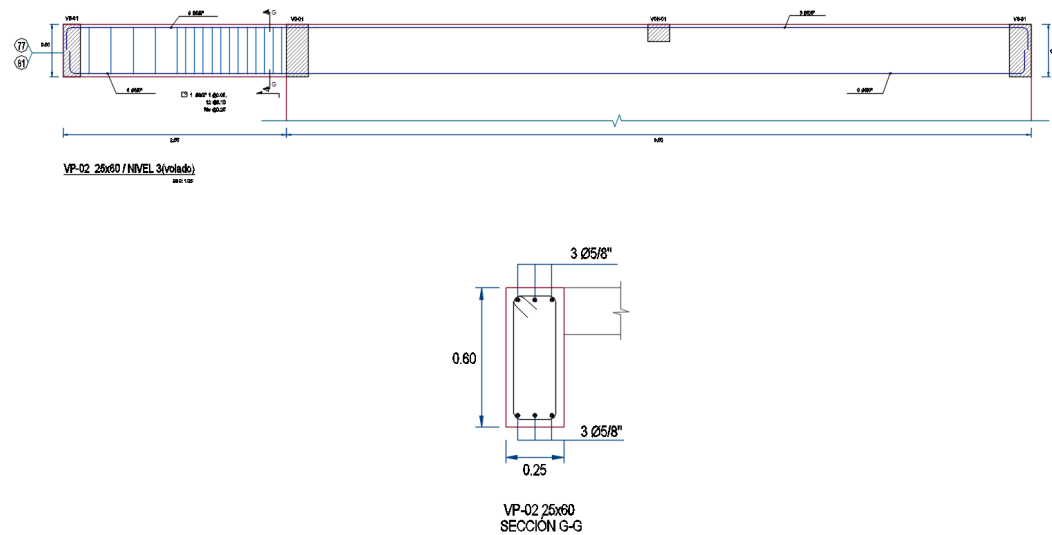


Figura 61
 Detalle de diseño de viga principal Eje 77, 81, nivel 3.



3.5.6. Diseño de placas

Diseño de la Placa 01 (1.20x0.60x0.25m) Eje 79 con Eje R

Figura 62
 Dimensiones (m) de la placa y modelo estructural.

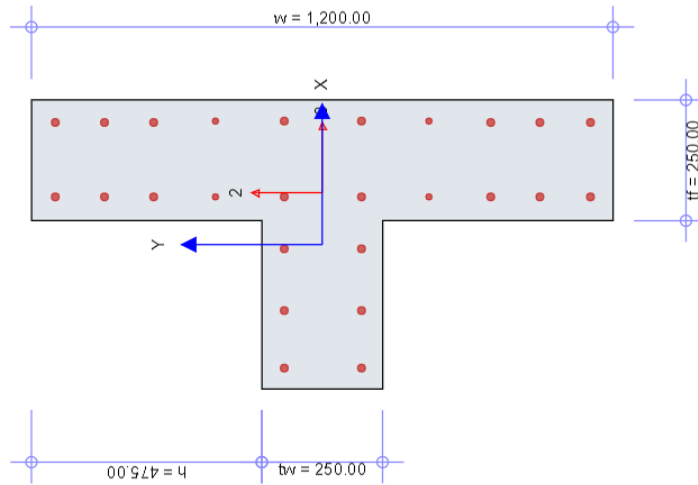


Figura 63
 Envoltura de fuerzas axiales (ton).

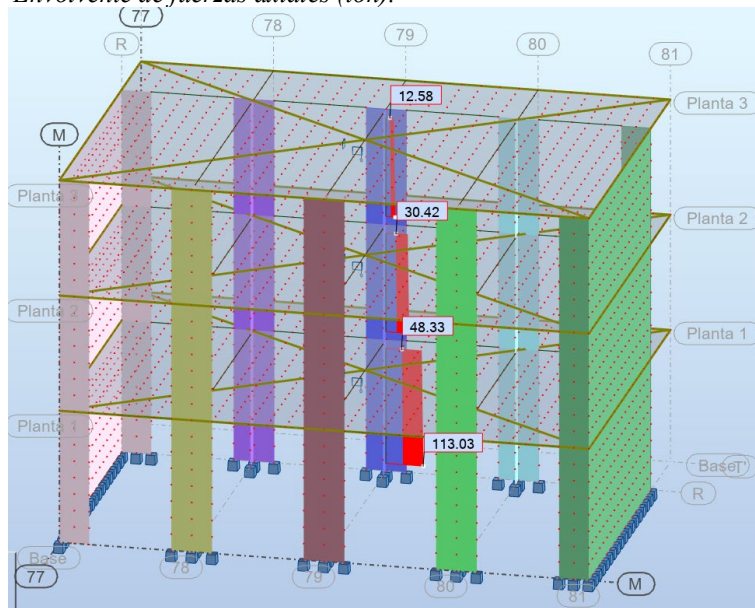


Figura 64
Envolvente de fuerzas cortantes (ton).

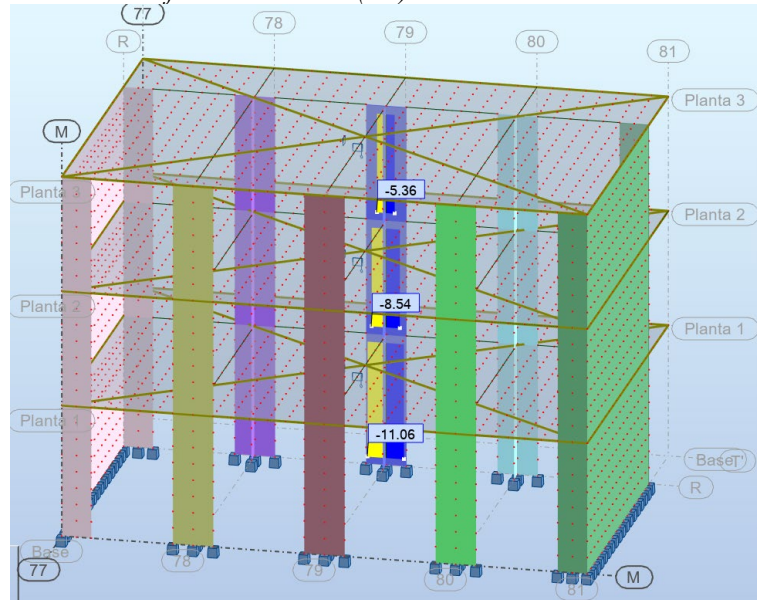


Figura 65
Envolvente de momentos flectores (ton.m).

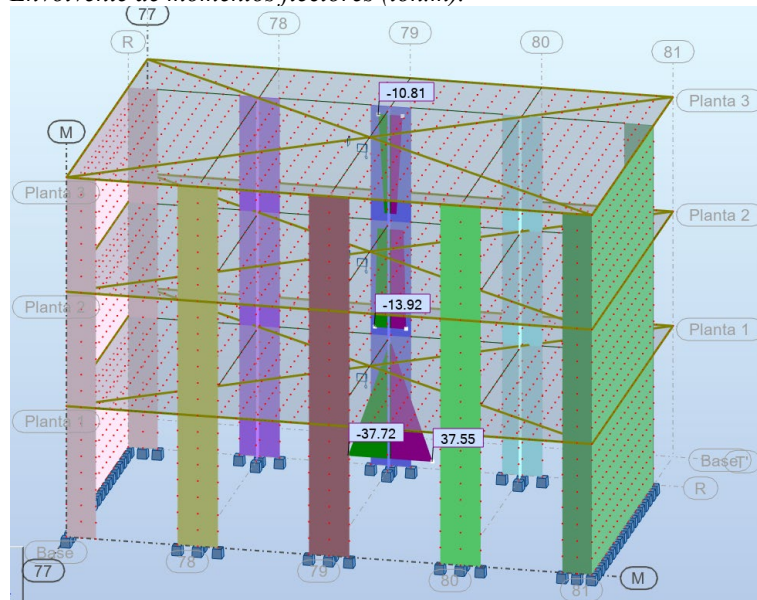


Tabla 23

Fuerzas internas en la parte inferior y superior de la placa

Load Case/Combo	Location	P tonf	V2 tonf	V3 tonf	T tonf-m	M2 tonf-m	M3 tonf-m
COMB 1	Top	108.11	0.06	0.97	0.00	2.80	0.07
COMB 2	Top	91.36	9.13	0.87	0.32	2.44	2.42
COMB 3	Top	91.34	-9.03	0.81	-0.32	2.38	-2.30
COMB 4	Top	91.39	0.62	1.00	0.03	2.51	0.94
COMB 5	Top	91.31	-0.52	0.68	-0.03	2.31	-0.82
COMB 6	Top	48.39	9.11	0.54	0.32	1.47	2.40
COMB 7	Top	48.37	-9.05	0.48	-0.32	1.41	-2.32
COMB 8	Top	48.42	0.60	0.67	0.03	1.54	0.92
COMB 9	Top	48.34	-0.54	0.35	-0.03	1.34	-0.84
COMB 1	Bottom	113.04	0.06	1.07	0.00	0.92	0.16
COMB 2	Bottom	95.76	9.33	0.97	0.42	0.90	31.55
COMB 3	Bottom	95.74	-9.23	0.89	-0.42	0.70	-31.27
COMB 4	Bottom	95.79	0.71	1.15	0.04	1.36	1.49
COMB 5	Bottom	95.71	-0.61	0.71	-0.04	0.24	-1.21
COMB 6	Bottom	51.55	9.31	0.60	0.42	0.60	31.49
COMB 7	Bottom	51.53	-9.25	0.52	-0.42	0.40	-31.33
COMB 8	Bottom	51.58	0.69	0.78	0.04	1.06	1.43
COMB 9	Bottom	51.50	-0.63	0.34	-0.04	-0.06	-1.27

Figura 66

Diagrama de interacción $\Phi M3$ - ΦP de la placa TIPO 1.

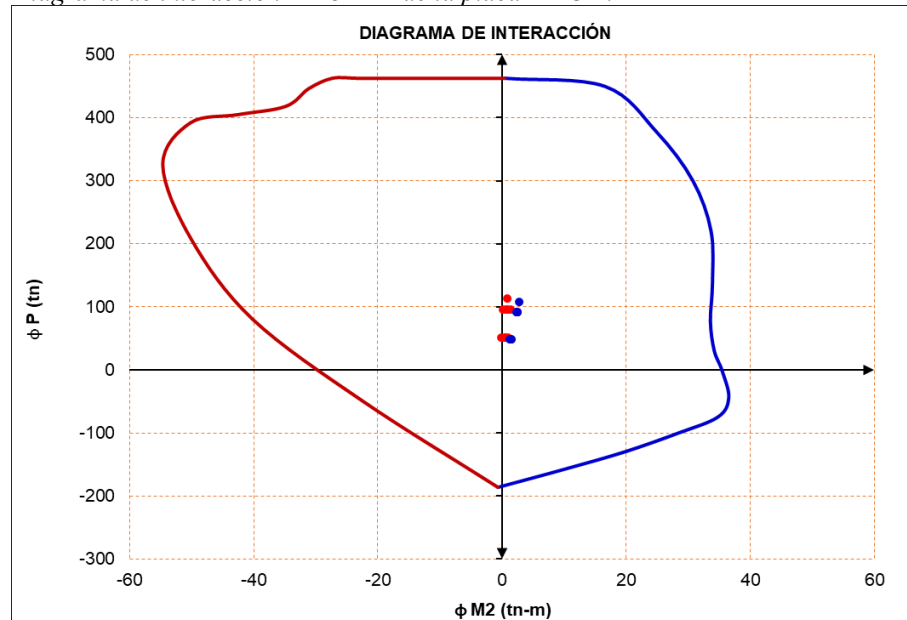
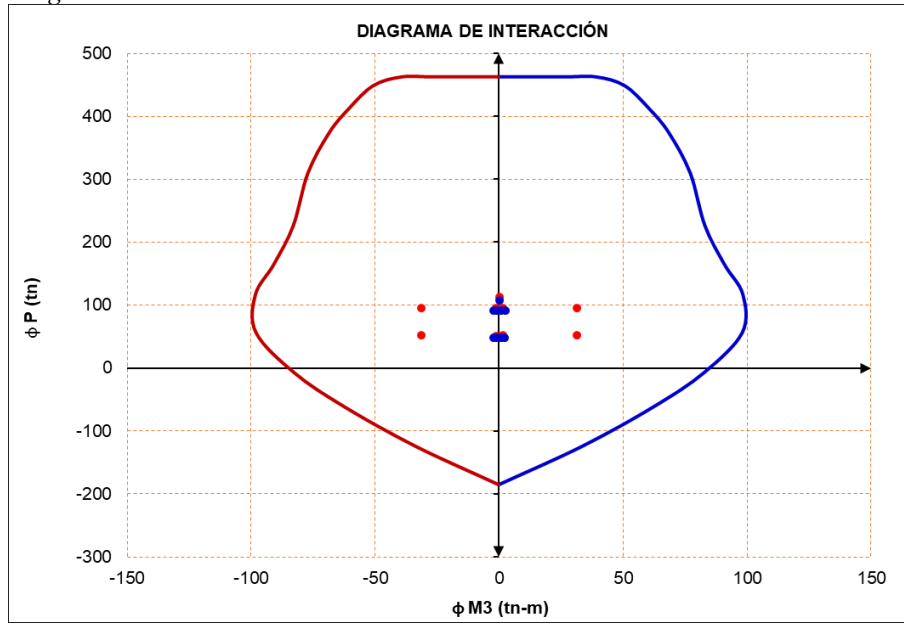


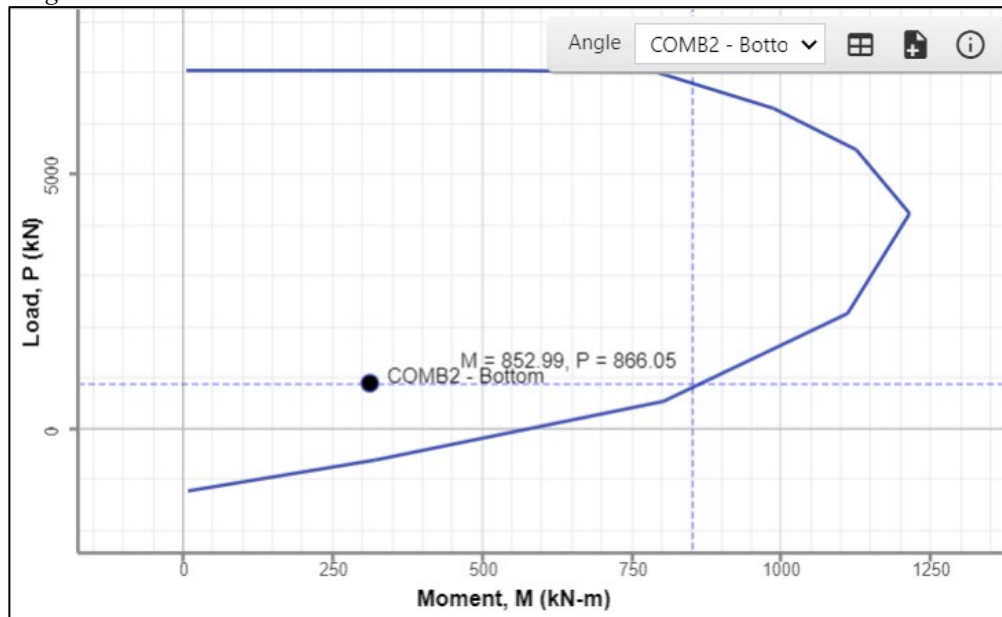
Figura 67

Diagrama de interacción $\Phi M2$ - ΦP de la Placa 01.



Para las dos direcciones principales de análisis se tienen los puntos dentro de los diagramas de interacción.

Figura 68
 Diagrama de interacción M2- P de la Placa 01.



Capacidad por flexión para el $P_u=95.76$ ton.

Conociendo los valores de $V_{ua} = 9.33$ tn, $M_{ua} = 31.55$ tn. m, $M_n = 86.98$ tn.m.

Resistencia al cortante en el plano del muro cap. 21.9.7 E.060

Si:

$$\frac{M_n}{M_{ua}} = \frac{86.98}{31.55} = 2.76 < R = 6; \text{usar } 2.76$$

$$V_u = V_{ua} \left(\frac{M_n}{M_{ua}} \right) = 9.33(2.76) = 12.09 \text{ ton}$$

Cortante que resiste el concreto según el art. 11.10 del E.060:

$$V_c = A_{cw}(\alpha c \sqrt{f'_c})$$

$$\frac{h_m}{l_m} = \frac{10.5}{1.20} = 8.75 > 2; \text{ por lo tanto } \alpha_c = 0.53$$

Por lo tanto, $A_{cw} = 0.25 \cdot 1.20 \cdot 0.80 = 0.24m^2$.

$$\emptyset V_c = 0.85 \cdot 0.53 \cdot \sqrt{280} \cdot 0.24 \cdot 100^2 / 1000 = 18.09 \text{ tn.}$$

Todo el cortante es tomado por el concreto, por lo que para un rango inelástico se asumirá que el acero tomará el V_u/\emptyset , y se coloca una cuantía mínima 0.0025.

Por lo tanto, el acero horizontal a suministrar es:

$$A_{sh} = \rho_h \cdot b \cdot d = 0.0025 \cdot 25 \cdot (120 \cdot 0.8) = 6.00cm^2$$

Usando acero horizontal dos ramas de $\emptyset 3/8$ " que representa un área $A_{vs}=1.42cm^2$ el espaciamiento "S" resulta:

$$n^\circ = \frac{6.00cm^2}{1.42cm^2} = 4.22und \rightarrow s = \frac{120}{4.22} = 28.44cm \text{ se usará } s = 0.15m$$

Resistencia V_n máxima en muros según art. 11.10.4 E.060:

$$V_{n_{max}} = 2.6 \cdot \sqrt{280} \cdot 0.24 \cdot \frac{100^2}{1000} = 104.42 \text{ tn.}$$

Resistencia proporcionada:

$$V_c = 0.53 \cdot \sqrt{280} \cdot 0.24 \cdot \frac{100^2}{1000} = 21.28 \text{ tn.}$$

$$V_s = 0.24 \cdot \frac{100^2}{1000} \cdot 0.0025 \cdot 4200 = 25.20 \text{ tn.}$$

$$V_n = V_c + V_s = 46.48 \text{ ton} < V_{n_max} = 104.42 \text{ ton} \text{ ok! verifica}$$

Longitud de confinamiento:

Longitud del muro $L_m = 1.20 \text{ m}$

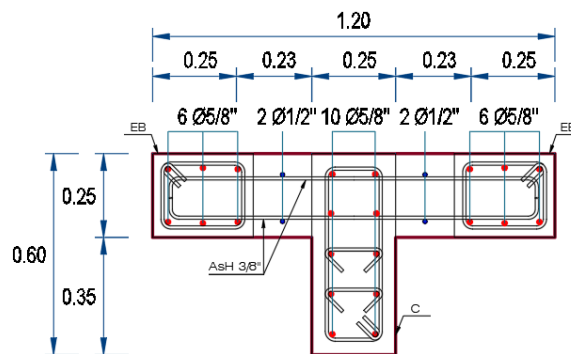
$$\frac{M_u}{4V_u} = 0.85 \text{ m}$$

Se confinará en toda la placa.

Por lo tanto, usar refuerzo horizontal 12 @ 0.05, Rto. @0.15 m a doble malla en cada cara.

Figura 69

Detalle de diseño de placa 01 (Eje 78, 79, 80, con Eje M, R).

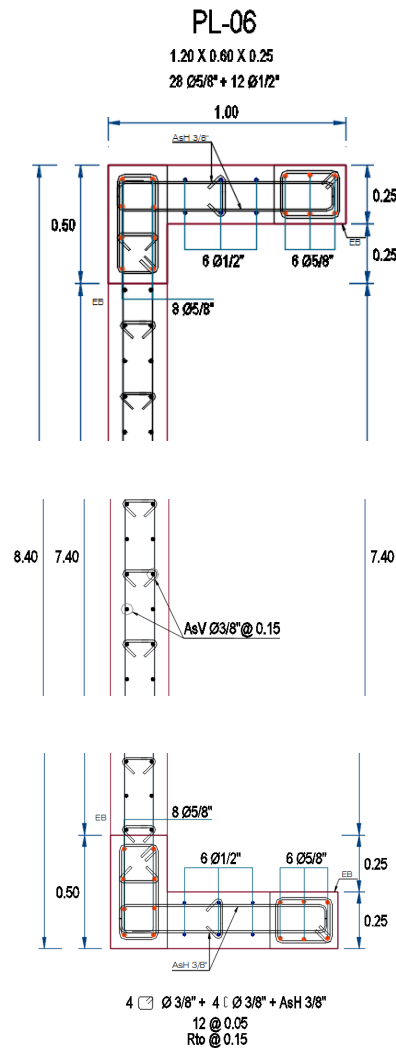


3 \varnothing 3/8" + 2 \varnothing 3/8" + AsH 3/8"
 12 @ 0.05
 Rto @ 0.15

Se realiza el mismo procedimiento para las demás placas concluyéndose en el siguiente refuerzo:

Figura 70

Detalle de diseño de placa 06 (Eje 77, 81, con Eje M, R).



3.5.7. Diseño de cimentaciones

Se usaron zapatas aisladas, vigas de cimentación y cimientos corridos los cuales están apoyados sobre resortes con una rigidez obtenida del módulo de reacción de la subrasante (o módulo de balasto) de la siguiente tabla. Las cargas exportadas de la superestructura son importadas al software SAFE 2016 el cual mediante

elementos finitos calculas las presiones y esfuerzos internos de la cimentación. Nótese que el programa igual al comportamiento del suelo, no toma en cuenta las tracciones del suelo.

Figura 71.
Módulo de reacción del suelo. Datos para SAFE.

Modulo de Reaccion del Suelo					
Datos para SAFE					
Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)
0.25	0.65	1.55	3.19	2.85	5.70
0.30	0.78	1.60	3.28	2.90	5.80
0.35	0.91	1.65	3.37	2.95	5.90
0.40	1.04	1.70	3.46	3.00	6.00
0.45	1.17	1.75	3.55	3.05	6.10
0.50	1.30	1.80	3.64	3.10	6.20
0.55	1.39	1.85	3.73	3.15	6.30
0.60	1.48	1.90	3.82	3.20	6.40
0.65	1.57	1.95	3.91	3.25	6.50
0.70	1.66	2.00	4.00	3.30	6.60
0.75	1.75	2.05	4.10	3.35	6.70
0.80	1.84	2.10	4.20	3.40	6.80
0.85	1.93	2.15	4.30	3.45	6.90
0.90	2.02	2.20	4.40	3.50	7.00
0.95	2.11	2.25	4.50	3.55	7.10
1.00	2.20	2.30	4.60	3.60	7.20
1.05	2.29	2.35	4.70	3.65	7.30
1.10	2.38	2.40	4.80	3.70	7.40
1.15	2.47	2.45	4.90	3.75	7.50
1.20	2.56	2.50	5.00	3.80	7.60
1.25	2.65	2.55	5.10	3.85	7.70
1.30	2.74	2.60	5.20	3.90	7.80
1.35	2.83	2.65	5.30	3.95	7.90
1.40	2.92	2.70	5.40	4.00	8.00
1.45	3.01	2.75	5.50		
1.50	3.10	2.80	5.60		

Nota. Morrison (1993)

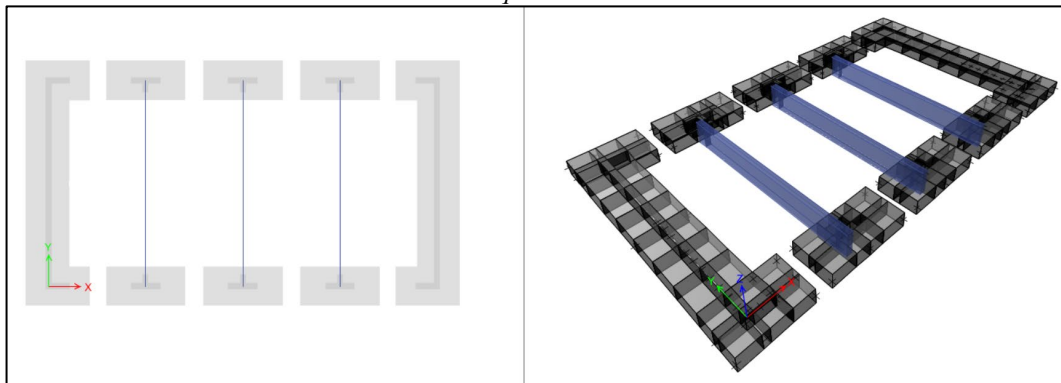
CAPACIDAD PORTANTE

Obtenido del EMS (Estudio de Mecánica de Suelos) y de acuerdo al cálculo se requiere una profundidad de desplante y una capacidad portante del suelo, según la siguiente tabla:

Tabla 24.
Capacidad portante del Bloque O-2.

Nro. Calicata	Df (m)	Tipo de suelo	C. Portante (kgf/cm ²)
C-2	2.50	GP	3.83

Figura 72.
Modelo Matemático de la cimentación del Bloque O-2.



3.5.7.1. Verificación de presiones

Las combinaciones de cargas usadas para encontrar la envolvente de esfuerzos y verificar que no sobrepase la capacidad portante del suelo, son las siguientes:

PRESION 1: $D + L$

PRESION 2: $D + L + 0.8 SX$

PRESION 3: $D + L - 0.8 SX$

PRESION 4: $D + L + 0.8 SY$

PRESION 5: $D + L - 0.8 SY$

Las cargas sísmicas serán reducidas en un 80% debida a que provienen de un análisis estático, así como la presión admisible se podrá incrementar en 30% según el (RNE E.060, 2009).

A continuación, se muestran gráficamente las presiones obtenidas:

Figura 73.

Diagrama de presiones (Kgf/cm²): Estado de carga sin sismo.

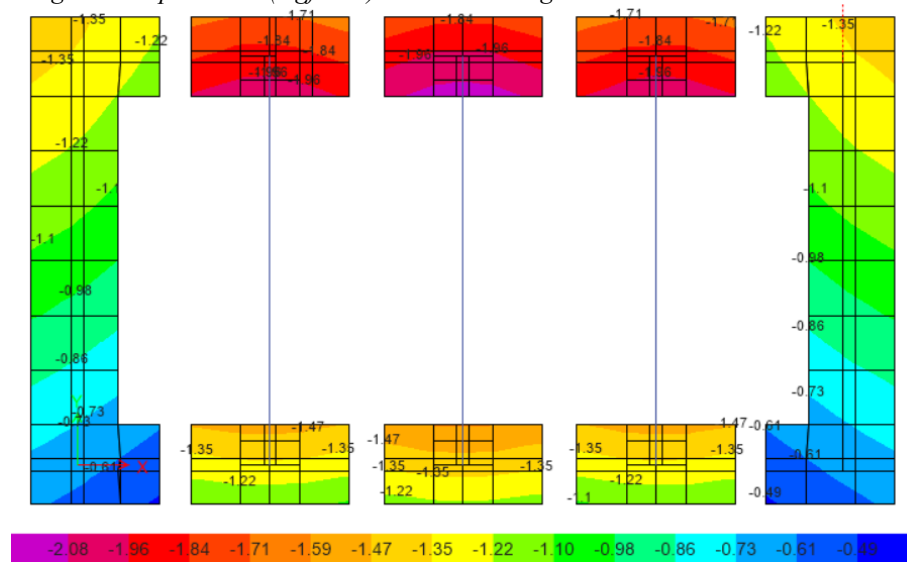


Figura 74.

Diagrama de presiones (Kgf/cm²): Estado de carga con sismo en X.

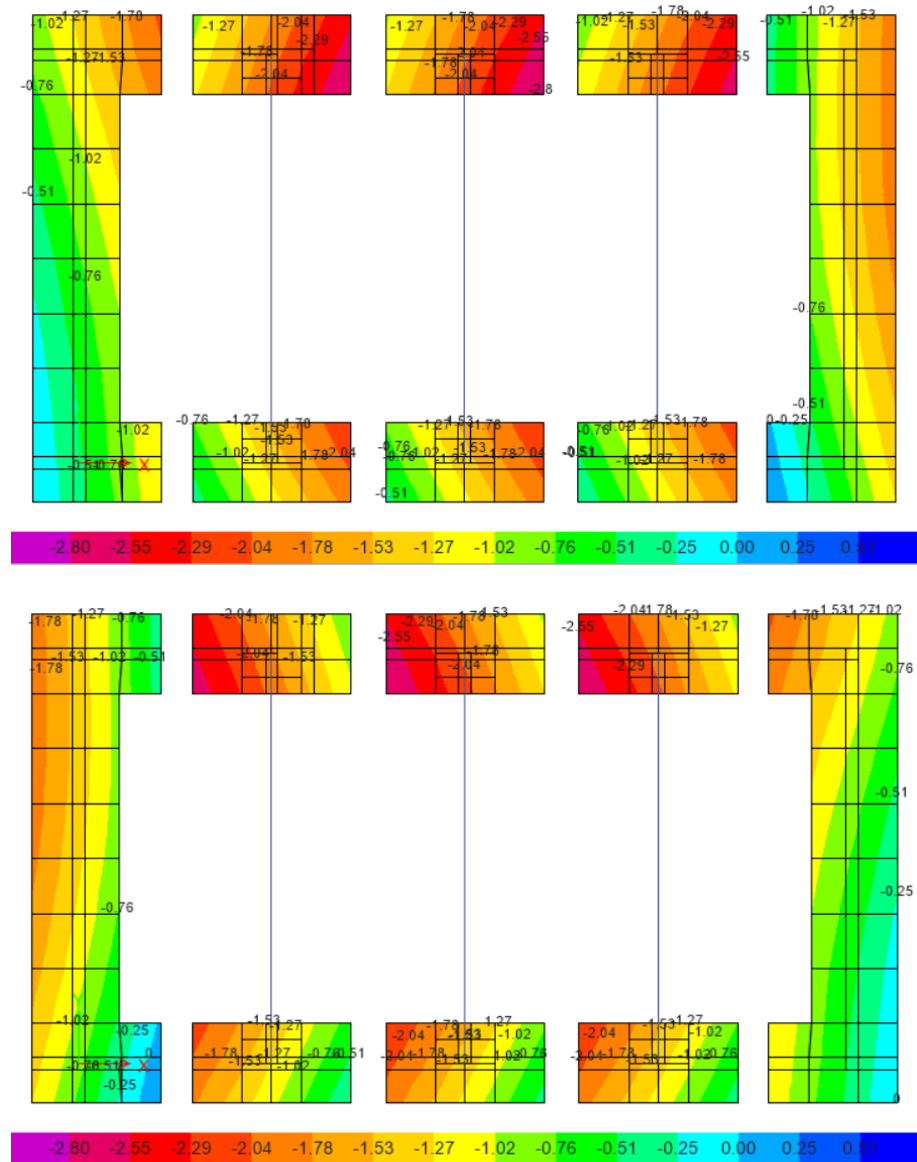
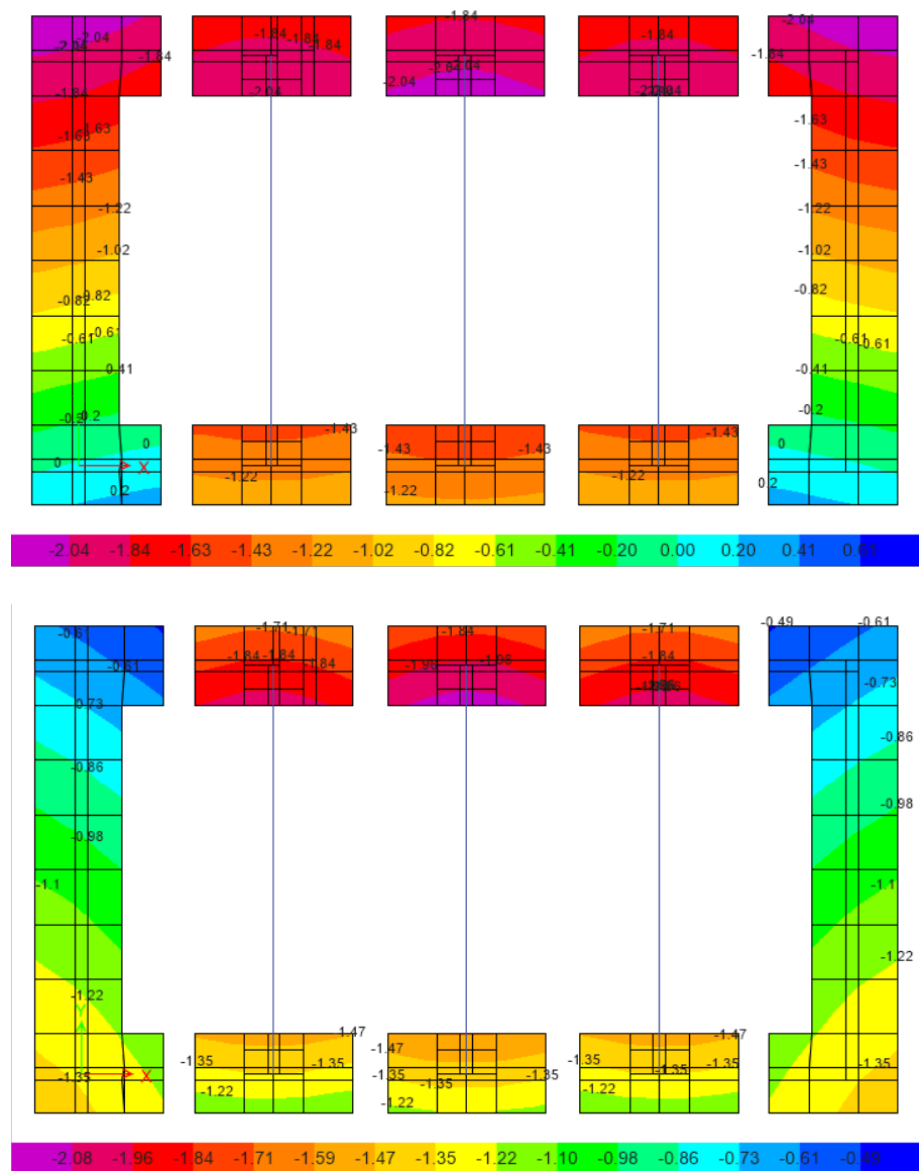


Figura 75.

Diagrama de presiones (Kgf/cm²): Estado de carga con sismo en Y.



Del estudio de suelos realizado se ha obtenido una capacidad portante admisible de terreno de 3.83 kg/cm², a una profundidad de cimentación de 2.50 m, conforme el software utilizado SAFE se ha obtenido las presiones de terreno actuante de 2.83 kg/cm² lo cual es inferior a 3.83 kg/cm², en consecuencia, se puede concluir que

las dimensiones de las zapatas cumplen adecuadamente para soportar las cargas permanentes, vivas y sismo.

3.5.7.2. Diseño de zapatas

3.5.7.2.1. Diseño por flexión

Se usaron las combinas de carga según el Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado (2009), así como sus factores de reducción, con ello se obtuvo una distribución óptima el cual está indicado en los planos anexos.

Figura 76.

Acero requerido (cm²/m) en la dirección X.

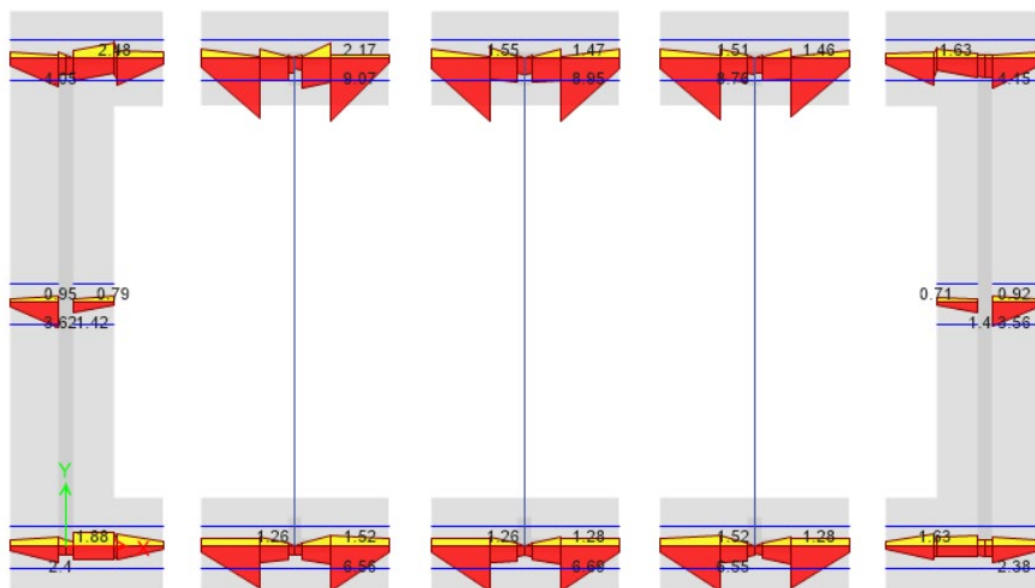
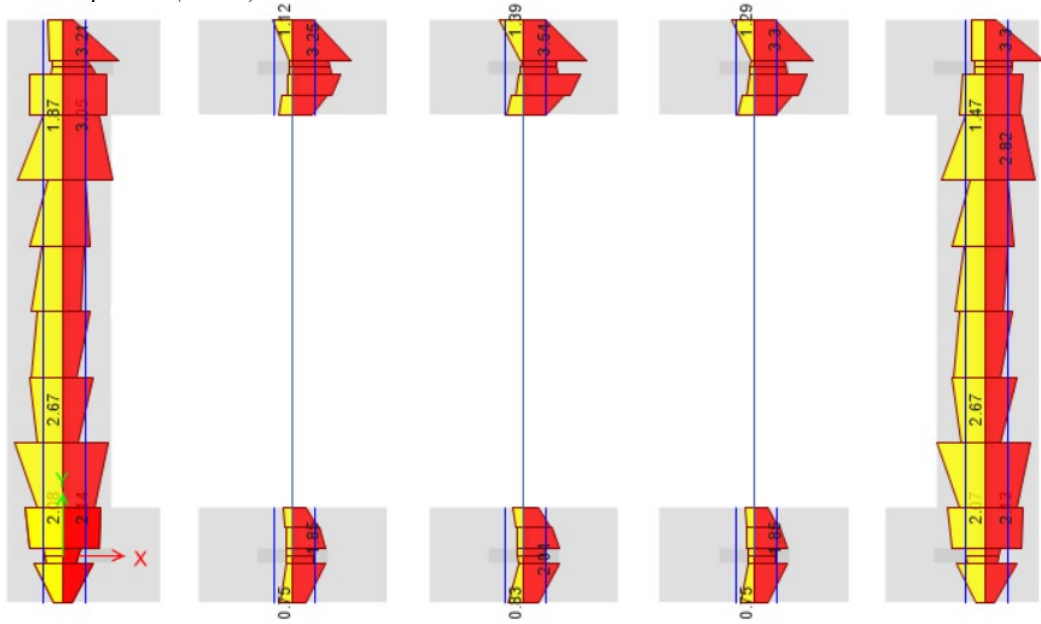


Figura 77.

Acero requerido (cm²/m) en la dirección Y.



3.5.7.2.2. Diseño por corte

El concreto tiene un cortante de:

$$V_c = \frac{0.53x\sqrt{280x160x60}}{1000} = 89.58 \text{ ton}$$

Figura 78.

Cortante nominal X-X=21.66 ton < Cortante del concreto (89.58 ton).

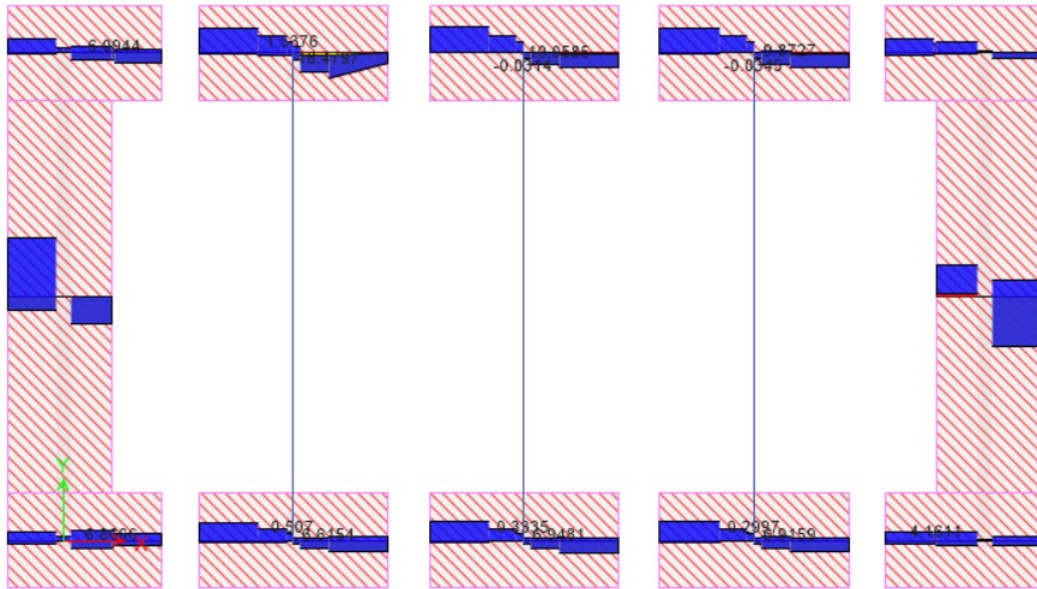
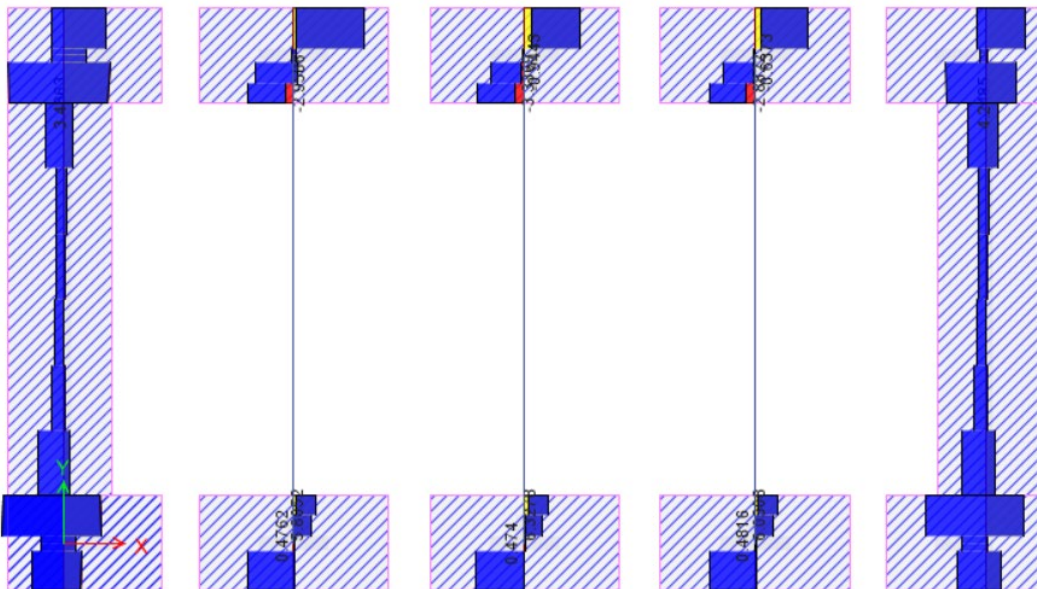


Figura 79.

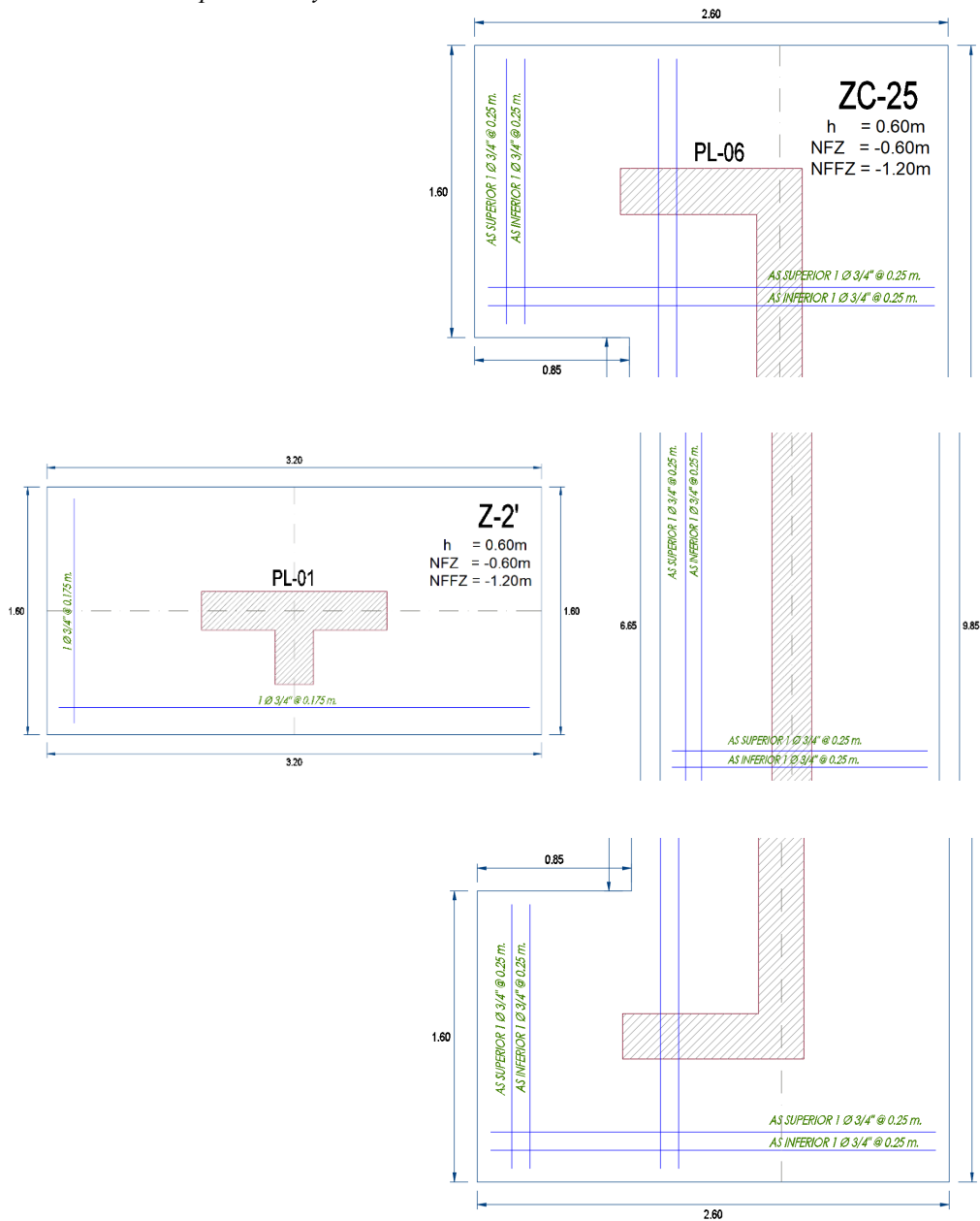
Cortante nominal Y-Y=21.44 ton < Cortante del concreto (89.58 ton).



3.5.7.2.3. Zapatas utilizadas

Se concluye el siguiente detalle de diseño de acero de zapatas:

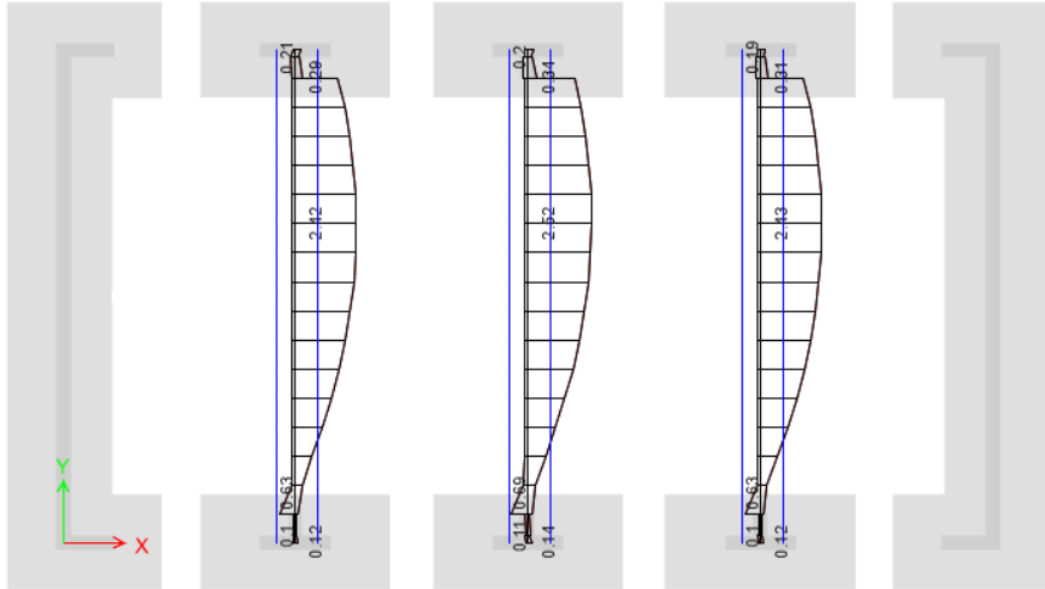
Figura 80
 Detalle de diseño de zapatas Z-2' y ZC-25.



3.5.7.3. Diseño de vigas de cimentación

Figura 81.

Acero requerido (cm²).



El concreto tiene un cortante de:

$$V_c = \frac{0.53x\sqrt{210}x25x94}{1000} = 20.84 \text{ ton}$$

Figura 82.

Cortante nominal=3.42 ton < Cortante del concreto (20.84 ton), por lo tanto, se usará estribos a cada 30cm.

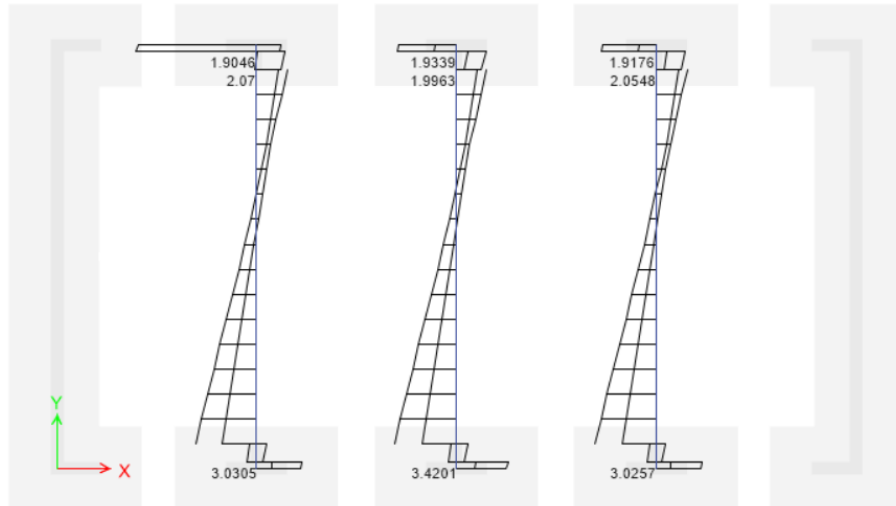
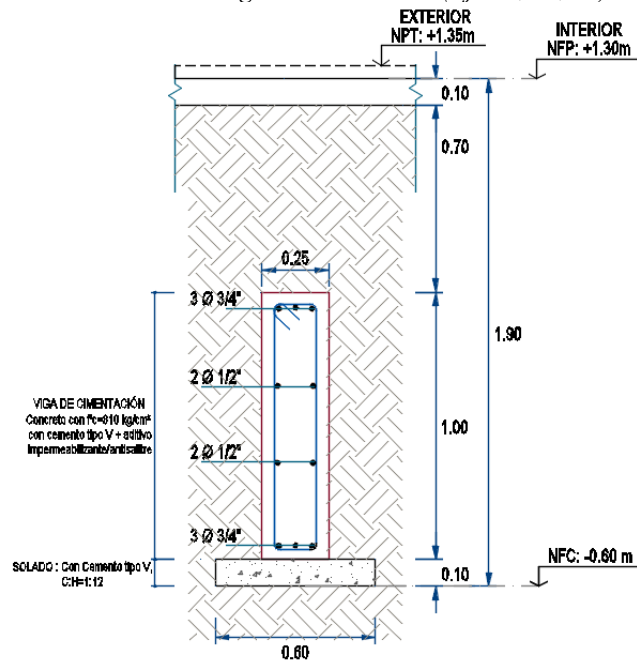


Figura 83.

Detalle de diseño de viga de cimentación (Eje 78, 79, 80).



3.5.8. Planos estructurales

Luego de la modelación de la edificación se obtuvo de forma directa detalles estructurales en 3D de todos los elementos, esta información es importante al momento de compatibilizar planos, así como para observar con mayor detalle el armado de acero, o dimensiones de los elementos de concreto armado, esto servirá también para comprender mejor el proceso constructivo.

En la tabla 25 se contempla los planos estructurales obtenidos de la edificación.

Tabla 25.
Resumen de láminas estructurales.

Código	Lámina	Descripción
E.O2.01	Cimentaciones Bloque O-2	Se observa un plano en planta a escala 1/50 de la subestructura donde se indica los tipos de zapatas, viga de cimentación, cimientos corridos, placas, así como otros detalles de lo anteriormente indicado, adicionalmente se observa detalles de sobrecimientos, vigas de sobrecimiento, juntas de aislamiento, y otros detalles generales, así como especificaciones técnicas.
E.O2.02	Encofrados nivel 1, 2 y 3 Bloque O-2	Este plano contiene la planta de losas aligeradas del primer, segundo y tercer nivel a escala 1/50, desarrollos de viga, secciones, marco de concreto y especificaciones técnicas.

El programa Revit optimiza la creación de planos y detalles estructurales, mostrando gráficas en 3D siendo ésta su principal ventaja, se puede resolver esto

de manera más eficaz con plantillas predefinidas, el cual cuenta generalmente con rótulos, vistas ya predefinidas, tablas de metrados, imágenes (tal vez de alguna conexión estructural), textos, entre otros elementos.

Figura 84

Modelamiento de secciones de concreto armado y tabiquerías en Revit.

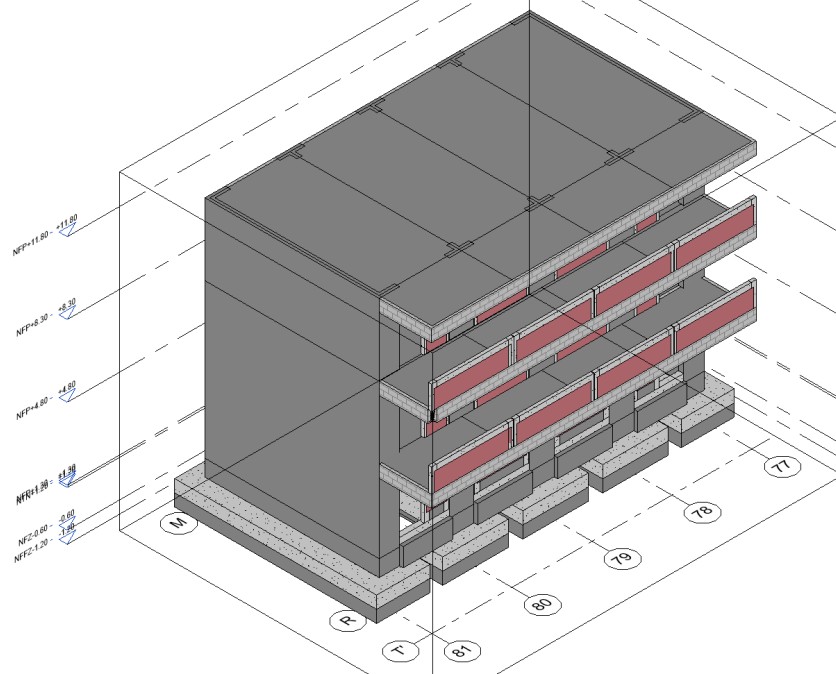


Figura 85
Modelamiento de armado de acero en Revit.

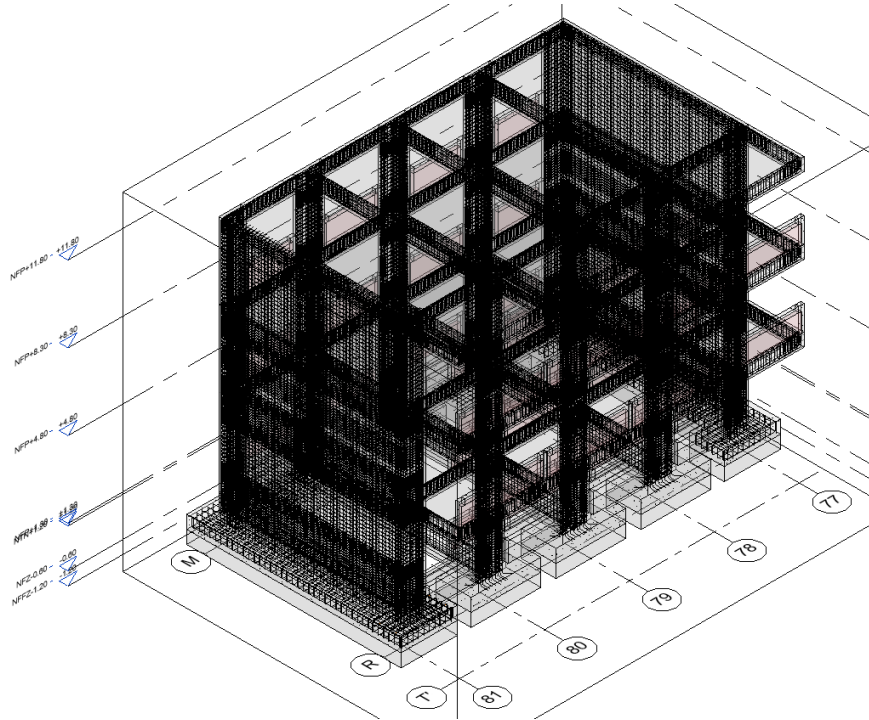


Figura 86
Detalle en 3D de armado de conexión zapatas - viga de cimentación.

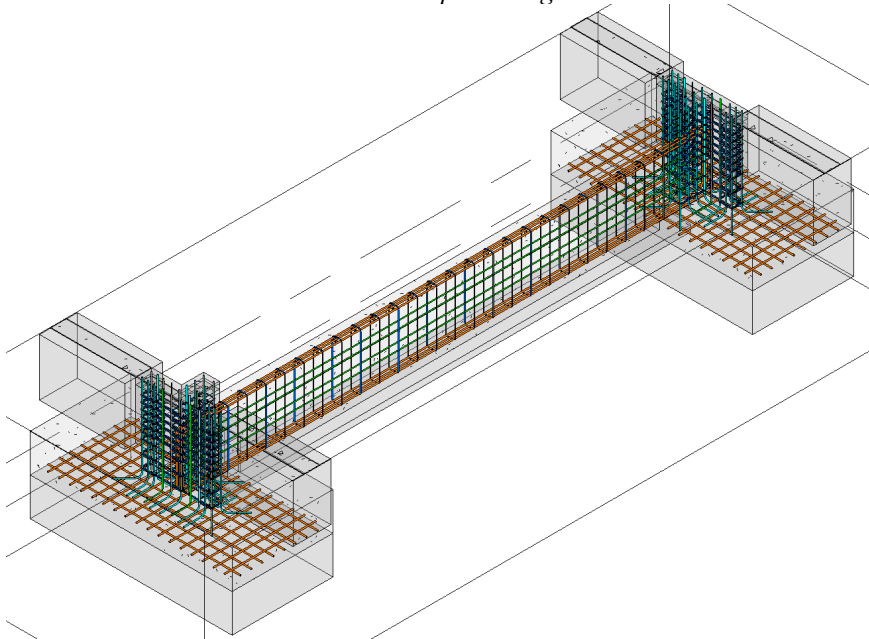


Figura 87
Detalle en 3D de armado de viga principal.

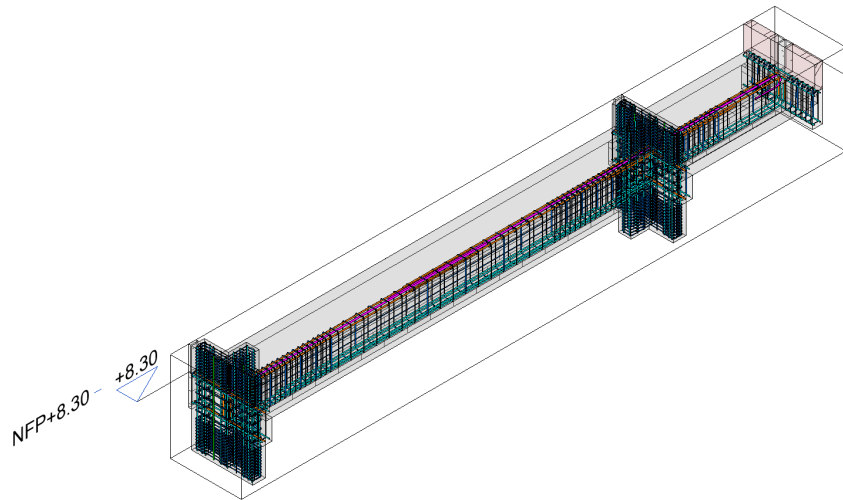


Figura 88
Detalle en 3D de armado de viga secundaria, en esta zona se muestra el empalme en los aceros inferiores y superiores.

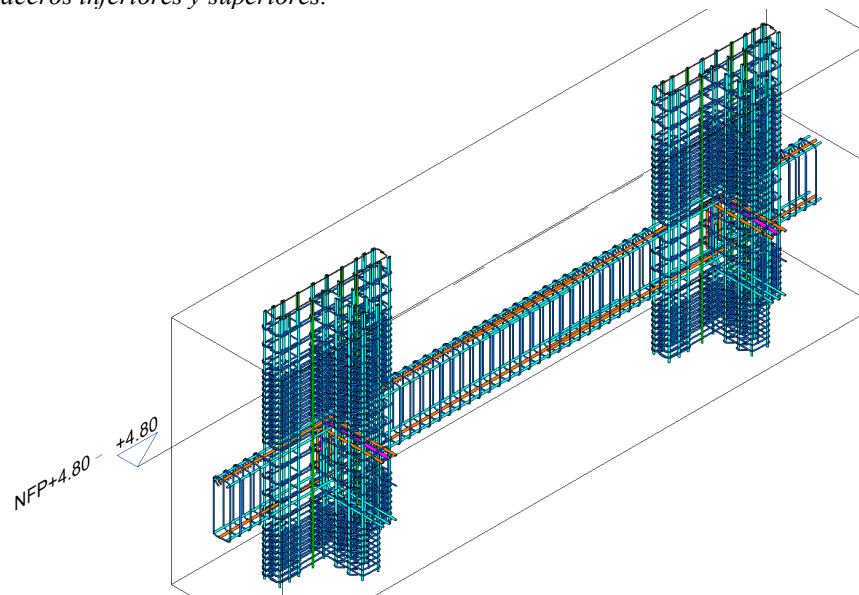


Figura 89

Detalle en 3D de armado de conexión viga – placa.

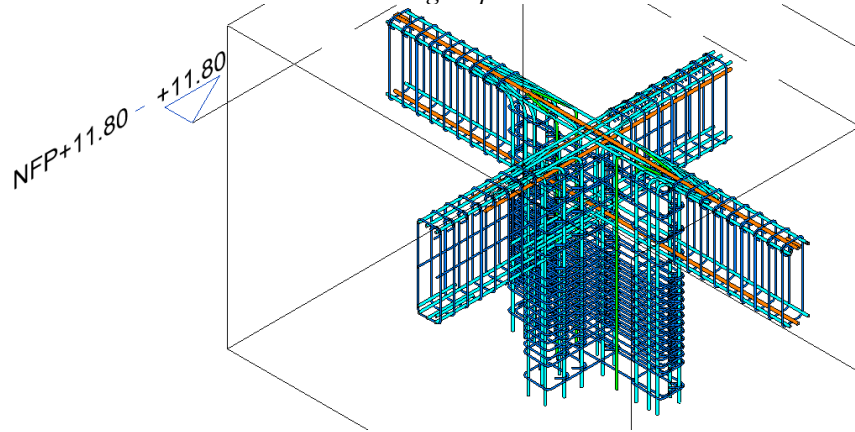
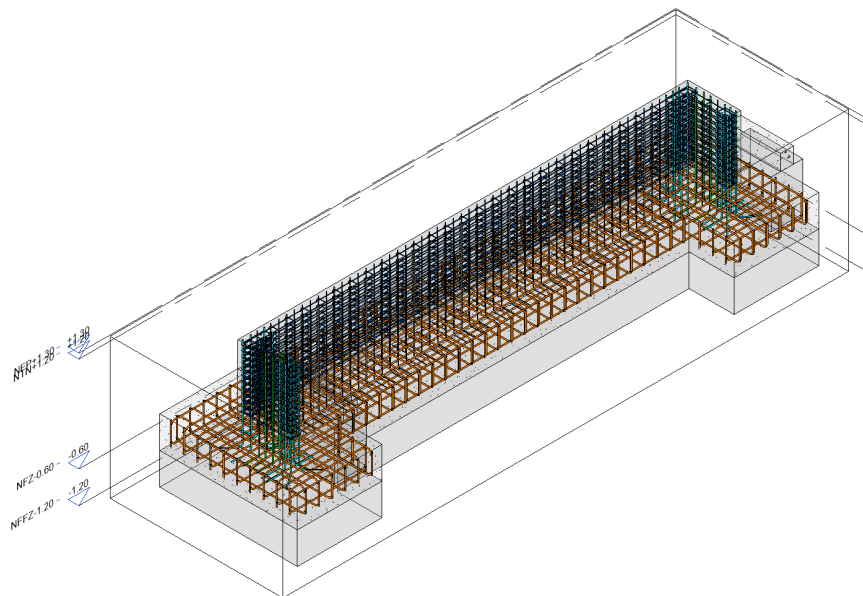


Figura 90

Detalle en 3D de armado de conexión zapata – placa.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después del modelamiento estructural en Revit, se realizó el análisis de losas aligeradas mediante elementos tipo viga, y el análisis sísmico de toda la edificación en el programa Robot Structural, también usando elementos tipo viga, muros y plantas conjuntamente.

El sistema estructural es de muros de concreto armado, presenta tres tipos de resistencia del concreto de 310, 280 y 210 kgf/cm², respectivamente como indica en planos, la edificación cuenta con 3 niveles, y es solo para uso de aulas. La diferencia de resistencias que se colocaron en planos se debe principalmente al EMS (Estudio de Mecánica de Suelos) donde indicaba una resistencia mínima a compresión de 310 kgf/cm² del concreto armado por ser de tipo severo su ataque de sulfatos, por ende, todo elemento en contacto con el suelo debe tener esta característica; la resistencia de 280 kgf/cm² se debe a que la cuantía obtenida en la sección en voladizo de la viga principal de 25x60cm, que soporta cargas de pasadizo, es de 16.47 cm² superando al máximo permitido de 13.55 cm² para una resistencia de 210 kgf/cm², por lo tanto se utilizó una resistencia de 280kgf/cm², aumentando su cuantía máxima a 18.06 cm².

Se realizó el predimensionamiento de losas aligeradas, colocándose un espesor de 20cm para evitar la verificación por deflexión, las vigas principales se colocaron de 25x70 cm en la zona de aulas y 25x60 cm en la zona del corredor, así como vigas secundarias en todos los ejes de 25x60 cm y vigas de borde de 20x60 cm. Se colocaron placas en T de 120x60x25cm y en C de 100x840x25 cm. Las zapatas se predimensionaron de 320x160x60cm las rectangulares que soportan la carga de las placas en T y en C la que soporta la carga de la placa en C, esta tuvo una dimensión de 985x260x60cm. Las vigas de cimentación fueron de 25x100cm, estas conectaron las zapatas rectangulares en los ejes verticales.

En el análisis y diseño de losas aligeradas se obtuvieron refuerzo de $\frac{1}{2}$ " para todos los paños sea de aulas, corredor y azotea en los tres niveles, el cortante en el tramo más desfavorable es de 1.10 tonf menor al máximo permitido de 1.41 tonf por lo que no requiere ensanche. El acero por temperatura colocado fue de $\frac{1}{4}$ " a cada 25cm.

En el análisis dinámico de la edificación se obtuvieron periodos de 0.26s en X y 0.07s en Y, el cortante dinámico en X y Y es de 85.52 tonf y 86.17 tonf respectivamente, siendo mayores al 80% de la cortante estática de 80.63 tonf; los desplazamientos obtenidos son de 3.15 cm en X y 0.19 cm en Y, con distorsiones menores a 0.007, de 0.0031 en X y 0.0002 en Y.

En el eje 78, 79 y 80 entre los ejes M y R del nivel 1 y 2 se colocaron 5 aceros de 5/8" en la zona positiva, y la zona negativa cercana al corredor se colocaron 4 varillas de 3/4" y 1 varilla de 1"; los aceros continuos en todo el eje fueron como acero superior de 2 varillas de 3/4" más una de 1" y como acero inferior de 3 de 5/8". En los ejes 77 y 81 entre los ejes R y T' del nivel 1 y 2 se colocaron acero adicional de 5 varillas de 5/8" en la zona negativa, los aceros continuos son de 3 de 5/8" superior e inferior. En el nivel 3, en los ejes 78, 79, y 80 el acero colocado fue de 5 de 5/8" en la zona positiva central entre los ejes M y R, 3 de 5/8" más dos aceros de 3/4" en la zona cercana al corredor, como acero continuo se colocaron 3 de 5/8" en la parte superior como inferior, en los extremos, ejes 77 y 81 se colocaron igualmente aceros continuos de 3 de 5/8".

Para la placa en T se utilizó 6 aceros de 5/8" en los elementos de borde extremos (dimensiones de 30x25 cm), y en la columna interna de la placa (dimensión de 25x60 cm), se usó 10 varillas de 5/8", las cuantías fueron de 1.58% y 1.32% respectivamente cumpliendo con el mínimo exigido por la norma de 1%, el acero horizontal fue de 3/8" y para el acero vertical fueron varillas de 1/2", se usaron estribos y grapas como elementos de confinamiento para los elementos de borde y columna interna, con distribución de 12 a cada 5 cm y resto a 15 cm. Para la placa en C, se colocaron dos elementos de borde en cada extremo (con dimensiones de 30x25 cm y 25x50 cm) de 6 varillas de 5/8" y 8 varillas de 5/8" con cuantías de

1.58% y de 1.27%, se usará acero vertical de 3/8" a cada 15 cm y acero horizontal con estribos de los elementos de borde de 12 a cada 5 cm y resto a cada 15 cm.

Se verificó las presiones de la cimentación, obteniéndose una presión máxima de 2.83 kgf/cm² inferior a 3.83 kgf/cm² obtenido del estudio de mecánica de suelos.

El refuerzo en zapatas rectangulares será de 3/4" a cada 17.5 cm en cada dirección a una sola malla con una cuantía de acero de 0.0024 superior a 0.0018 mínimo de la norma. El refuerzo para zapatas en C es de 3/4" a cada 25cm en ambas direcciones y a doble malla con una cuantía de 0.0019 superior a 0.0012 que es el mínimo para estructuras de concreto a doble malla.

El diseño de las vigas de cimentación resultó en 3 aceros continuos de 3/4" inferior y superior con 2 varillas de 1/2" a cada lado, el refuerzo por cortante resultó mínimo con la siguiente distribución: 1 a 5 cm y resto a 30 cm con estribos de 3/8".

Al modelar todo en Revit se tiene un mayor control del armado, verificando las longitudes de acero se puede colocar empalmes en el modelo, así como también la verificación de ganchos que se mantengan dentro de las secciones de concreto armado. El tiempo optimizado se debe principalmente a no realizar redibujos, por ejemplo, en un modelo tradicional, primero se debe realizar el detallado en 2D en Autocad para posteriormente volverlo a dibujar en Etabs, eso sería en la superestructura, sin contar con que pueden existir incompatibilidades entre ambos

softwares, en cambio con BIM ese retrabajo ya no es necesario, al momento de dibujar en Revit, este modelo se puede exportar a Robot, y cualquier cambio que se haga desde alguno de esos programas se puede actualizar automáticamente porque existe una interoperabilidad entre ambos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis y diseño estructural de un pabellón de aulas de la I.E. Luis Alberto Sánchez logra un mayor control del proceso de elaboración de planos y memoria de cálculo al aplicar la tecnología BIM.
- Los parámetros necesarios para realizar el análisis y diseño estructural son obtenidos de los estudios básicos y la normativa vigente, como son la capacidad portante del suelo de 3.81 kgf/cm², la resistencia del concreto utilizado de 310, 280 y 210 kgf/cm² en cada nivel de la edificación, así como consideraciones técnicas para el predimensionamiento de cada elemento estructural.
- Del análisis estructural se concluye que el periodo en X y Y es de 0.26s y 0.07s respectivamente cumpliéndose con la suma del 90% de masas efectivas, se obtuvieron distorsiones de 0.0031 y 0.0002 menores al 0.0007 indicado en la norma E.030.
- Se logra una optimización de tiempos con la metodología BIM al no realizar retrabajos en el modelamiento estructural e incluso aumentando la calidad

de los detalles de armado en acero con detalles en 3D que mejorarán el proceso constructivo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un plan de implementación BIM destinadas a instituciones educativas, debido a que son típicas en el Perú.
- Se recomienda aplicar el BIM desde el comienzo del proyecto involucrando a todos los actores del proyecto.
- Se recomienda siempre verificar los cálculos automatizados, mediante plantillas de Excel o con otro software si existiese algún dato posiblemente errado.
- Se recomienda aplicar lenguajes de programación como Dynamo para automatizar más aún procesos como metrados, programación, o cálculos estructurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, P. (2013). *Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM* (pp. 1–141).
- ASOCEM. (2018). *Entorno BIM (Building Information Modeling): Video interactivo*. <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/entorno-bim>
- Barco, D. (2020, January 13). *¿Es obligatorio el BIM en España?* BIM Today. <https://bimchannel.net/es/es-obligatorio-bim-en-espana/>
- CFC Técnicos e Ingenieros. (2021). *Informe Técnico. Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación, pavimentación, clasificación e identificación. Proyecto “Ampliación y mejoramiento de los servicios educativos de la institución educativa Luis Alberto Sánchez, distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - Tacna.”*
- Coloma, E. (2008). *Introducción a la tecnología BIM* (1st ed., Vol. 1). Departament d’Expressió Gráfica Arquitectónica I.
- Condori, J. (2020). *Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna* (pp. 1–168).

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook* (2nd ed., Vol. 1). John Wiley & Sons, Inc.

Eliash, A. (2015). *Entendiendo el uso de BIM en los procesos de diseño y coordinación de especialidades en Chile* (pp. 1–111).

Encalada, S. (2016). *Aplicación de la tecnología BIM en la gestión de la construcción y análisis de los beneficios del modelamiento 4D y 5D (tiempo-coste) en un edificio de 9 pisos en la ciudad de Arequipa* (pp. 1–202).

Eyzaguirre, R. (2015). *Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación* (pp. 1–103).

GCAQ Ingenieros. (2014). *Túnel Gambeta en el Callao. Perú.*
<https://www.gcaq.com.pe/proyectos/2014-tunel-gambeta-peru.html>

González, C. (2015). *Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos* [Tesis de postgrado].
Universidad Politécnica de Valencia.

González, O. (2013, October 11). Cosapi construirá nueva sede del Banco de la Nación y será de 30 pisos. *Gestión.*
<https://www.cosapi.com.pe/Site/Index.aspx?aID=903>

Criterios generales de diseño para infraestructura educativa, Pub. L. No. RV N°010-2022-MINEDU, 1 (2022).

Ministerio de Educación. (2022). *Criterios generales de diseño para infraestructura educativa* (pp. 1–61).

Norma Técnica de Edificación E.020 Cargas, Pub. L. No. D.S. 011-2006-Vivienda, 1 (2006).

Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto armado, Pub. L. No. D.S. 010-2009-VIVIENDA, 1 (2009).

Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño sismorresistente, Pub. L. No. R.M. N°355-2018-Vivienda, 1 (2018).

Norma Técnica de Edificación E.050 Suelos y cimentaciones, Pub. L. No. R.M. N°406-2018-Vivienda, 1 (2018).

Morrison, N. (1993). *Interacción suelo-estructuras: Semiespacio de Winkler* [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Cataluña.

Oviedo, R. (2016). *Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado* (Oviedo Ingeniería EIRL, Ed.; Primera).

Project Management Institute. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* (Inc. P. M. Institute, Ed.; 6th ed., Vol. 1).

Proyecto Ciudades Sostenibles. (2004). *Mapa de peligros de la ciudad de Tacna*.

Pulkkinen, P., Turunen, M., Toivola, P., & Eriksson, E. (2016). Structural health monitoring of Crusell bridge. *19th IABSE Congress Stockholm*.

Quispe, D., & Huisa, R. (2021). *Análisis y diseño estructural comparativo de una vivienda multifamiliar de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada en Tacna, 2020* (pp. 1–295).
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1766>

RNE E.030. (2018). *Diseño sismorresistente* (pp. 1–32). Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

RNE E.060. (2009). *Concreto armado*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

Ruben. (2018, July 27). *Análisis estructural de una edificación utilizando Revit y Robot Structural Analysis*. SONDA. <https://www.sondamco.com/novedad/novedades-analisis-estructural-de-una-edificacion-utilizando-revit-y-robot-structural-analysis>

Saldias, R. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM* (pp. 1–156).

Seongwon, C. (2014). Proyección de diseño de “Central Park 3rd” no realizada. In *Incheon*. <http://www.incheonilbo.com/news/articleView.html?idxno=532065>

Silgado, E. (2012). *Historia de los sismos más ocurridos en el Perú (1513-1974)* (V. López, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Guzlop Editoras.

Sub Gerencia de Estudios. (2021a). *Expediente Técnico “Ampliación y mejoramiento de los servicios educativos de la institución educativa Luis Alberto Sánchez, distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa - Tacna - Tacna.”*

Sub Gerencia de Estudios. (2021b). *Informe técnico de demolición “Ampliación y mejoramiento de los servicios educativos de la institución educativa Luis Alberto Sánchez, distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa - Tacna - Tacna.”*

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS

ANEXO B: LICENCIAS EDUCATIVAS PARA USO DE SOFTWARE AUTODESK

ANEXO C: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS (Extracto del EMS del
Gobierno Regional de Tacna – 2021