

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



“INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM
MEDIANTE LA INTEROPERABILIDAD ENTRE REVIT Y ROBOT
ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON
SISTEMA DUAL”

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

PRESENTADO POR:

Bach. CRISTIAN DAVID LLANOS GARCÍA

ASESOR:

MSc. Ing. HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA

CAJAMARCA - PERÚ

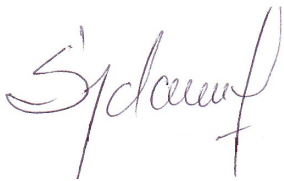
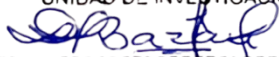
2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

- Investigador:** CRISTIAN DAVID LLANOS GARCÍA
DNI: 72644105
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
- Asesor:** Héctor Hugo Miranda Tejada
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
"INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM MEDIANTE LA INTEROPERABILIDAD ENTRE REVIT Y ROBOT ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON SISTEMA DUAL"
- Fecha de evaluación:** 23/10/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 21 %
- Código Documento:** 3117:397810526
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 24 /10/2024

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  <p>----- Dra. Ing. Laura Sofía Bazán Díaz DIRECTORA</p>
<p>_____ FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos Héctor Hugo Miranda Tejada DNI: 26617213</p>	<p>_____ UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mis padres José Isabel Llanos Tinoco y Luz Marina García Chuquilín, a mis hermanos Alexander Llanos García, Carmen Rocío Alvarado García y en general a toda mi familia quienes cada día me brindaron su gran apoyo de forma incondicional, razón por la cual siempre daré muestras de mi infinita gratitud.

Hago extensivo mi agradecimiento también a mis docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, por brindarme todas sus enseñanzas las cuales fueron necesarias para poder formarme y fortalecerme como un profesional destacado en la sociedad.

Asimismo, al MSc. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada, por su apoyo mediante el asesoramiento para la investigación y elaboración de la tesis, dedicando sus conocimientos y aportes que fueron primordiales para culminarla de manera adecuada.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESIS.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.6. OBJETIVOS.....	5
1.6.1. Objetivo General.....	5
1.6.2. Objetivos Específicos.....	5
1.7. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes locales.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. Análisis y diseño estructural de las edificaciones.....	9
2.2.1.1. Función estructural.....	10
2.2.1.2. Tipología de estructuras.....	10
2.2.1.3. Sistema estructural dual.....	10
2.2.2. Modelamiento de información de construcción (Building Information Modeling).....	11
2.2.2.1. Origen del BIM y su situación actual.....	12
2.2.2.2. Características de la metodología BIM.....	14
2.2.2.3. Beneficios de la metodología BIM.....	15
2.2.2.4. Usos de la metodología BIM.....	16
2.2.2.5. Ventajas y desventajas del uso de tecnologías BIM.....	19
2.2.2.6. Normatividad para el uso de esta metodología.....	20
2.2.3. Análisis y diseño estructural con la metodología BIM.....	22
2.2.4. Interoperabilidad de programas BIM para estructuras.....	23
2.2.4.1. Autodesk Revit.....	23

2.2.4.2. Autodesk Robot Structural Analysis	24
2.2.4.3. Interoperabilidad Revit – Robot Structural Analysis	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	26
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.3. PROCEDIMIENTO.....	30
3.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DEL EDIFICIO.....	30
3.3.2. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	31
3.3.2.1. Dimensiones de las estructuras.....	31
3.3.2.1.1. Estructuración.....	31
3.3.2.1.2. Predimensionamiento.....	31
A. Predimensionamiento de columnas.....	31
B. Predimensionamiento de vigas.....	32
C. Predimensionamiento de losa aligerada en una dirección.....	33
D. Predimensionamiento de placas.....	34
3.3.2.2. Resistencia de las estructuras.....	35
3.3.2.3. Características para el metrado de cargas.....	35
3.3.3. ANÁLISIS SÍSMICO DEL EDIFICIO.....	36
3.3.3.1. Análisis sísmico estático.....	36
3.3.3.1.1. Fuerza cortante basal estática.....	37
3.3.3.1.2. Selección de los parámetros para el análisis sísmico.....	37
3.3.3.1.3. Estimación del peso de la edificación (P).....	40
3.3.3.1.4. Distribución en altura de la fuerza sísmica	41
3.3.3.1.5. Periodo fundamental de vibración de la estructura.....	42
3.3.3.2. Análisis sísmico dinámico.....	42
3.3.3.2.1. El espectro de pseudoaceleraciones	43
3.3.3.2.2. Modos de vibración.....	43
3.3.3.2.3. Fuerza cortante mínima de diseño.....	43
3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	44
3.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	44
3.4.1.1. Población	44
3.4.1.2. Muestra.....	44
3.4.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.4.3. TIPO DE ANÁLISIS.....	44
3.4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
3.4.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	45

3.4.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	46
3.4.6.1. Evaluación estructural, interoperabilidad, análisis sísmico y diseño.....	46
3.4.6.1.1. Cálculos manuales preliminares.....	46
A. Estructuración del sistema de la edificación.....	47
B. Cálculo del predimensionamiento.....	47
C. Cálculo del metrado de cargas.....	52
D. Cálculo del peso sísmico.....	59
E. Cálculo de la cortante basal estática.....	60
F. Cálculo y distribución de las fuerzas sísmicas en altura.....	62
3.4.6.1.2. Modelamiento estructural en Revit.....	62
A. Modelamiento de columnas.....	63
B. Modelamiento de placas.....	63
C. Modelamiento de vigas.....	64
D. Modelamiento de losas aligeradas.....	64
E. Modelo geométrico y analítico de Revit.....	65
3.4.6.1.3. Interoperabilidad entre Revit y Robot Structural Analysis.....	66
3.4.6.1.4. Configuraciones preliminares en Robot Structural.....	67
3.4.6.1.5. Características de los elementos estructurales exportados.....	68
3.4.6.1.6. Asignación de las cargas a las estructuras.....	70
3.4.6.1.7. Análisis sísmico estático en Robot Structural Analysis.....	71
A. Cortante basal estática calculada con Robot Structural.....	73
B. Análisis modal de la estructura.....	74
C. Comprobación de los datos calculados con Robot Structural.....	74
D. Control de derivas por análisis estático.....	75
3.4.6.1.8. Análisis sísmico dinámico en Robot Structural Analysis.....	76
A. Espectro de pseudoaceleraciones.....	77
B. Configuraciones para el análisis dinámico.....	78
C. Cortante basal dinámica calculada con Robot Structural.....	80
D. Análisis modal espectral.....	82
E. Control de derivas por análisis dinámico.....	83
F. Comprobación del porcentaje de cortante basal en placas y pórticos.....	85
3.4.6.1.9. Diseño de los elementos de concreto armado con Robot Structural.....	86
A. Diseño de columnas.....	86
B. Diseño de vigas.....	89
C. Diseño de losas aligeradas.....	92
D. Diseño de placas.....	93
E. Diseño de zapatas.....	95

3.4.6.1.10. Interoperabilidad entre Robot Structural Analysis y Revit.....	98
3.4.6.2. Detección de fallas durante la interoperabilidad.....	99
3.4.6.2.1. Fallas en el modelo analítico de Revit.....	99
3.4.6.2.2. Fallas en el modelo exportado en Robot Structural.....	103
3.4.6.2.3. Elementos que más sufren desfases durante la interoperabilidad.....	105
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1. DETECCIÓN DE FALLAS APLICANDO LA METODOLOGÍA BIM.....	107
4.2. ADOPCIÓN DE PLATAFORMAS BIM.....	109
4.3. COORDINACIÓN ENTRE ESPECIALIDADES.....	109
4.4. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	110
4.4.1. Diseño de columna.....	110
4.4.2. Diseño de viga.....	110
4.4.3. Diseño de losa aligerada.....	111
4.4.4. Diseño de placa.....	111
4.4.5. Diseño de zapata.....	111
4.5. DISCUSIÓN.....	112
4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	113
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. CONCLUSIONES.....	114
5.2. RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hitos del Plan BIM Perú.....	13
Tabla 2. Características del edificio.....	30
Tabla 3. Constante “n” en función al tipo de columna.....	32
Tabla 4. Peso en función de la categoría de la edificación.....	32
Tabla 5. Peraltes recomendados para losas aligeradas.....	33
Tabla 6. Densidad y espesor de placas recomendados.....	34
Tabla 7. Características de los materiales de las estructuras.....	35
Tabla 8. Cargas para asignar a las estructuras.....	36
Tabla 9. Factor de amplificación del suelo “S”.....	39
Tabla 10. Periodos “TP” y “TL”.....	39
Tabla 11. Porcentajes de carga viva según la categoría.....	41
Tabla 12. Valores de CT según el sistema estructural.....	42
Tabla 13. Cálculo del peso de servicio.....	48
Tabla 14. Cálculo del área de la sección transversal de las columnas.....	48
Tabla 15. Medidas del predimensionamiento de columnas.....	49
Tabla 16. Cálculo del peralte y base de las vigas principales.....	49
Tabla 17. Cálculo del peralte y base de las vigas secundarias.....	50
Tabla 18. Medidas del predimensionamiento de vigas.....	50
Tabla 19. Cálculo del peralte de las losas aligeradas.....	51
Tabla 20. Medidas del predimensionamiento de losa aligerada.....	51
Tabla 21. Medidas del predimensionamiento de placas.....	52
Tabla 22. Dimensiones finales de las columnas.....	52
Tabla 23. Dimensiones finales de las placas.....	52
Tabla 24. Volumen de las columnas, según cada tipo.....	53
Tabla 25. Volumen de las vigas, según cada tipo y eje.....	53
Tabla 26. Área correspondiente a la losa aligerada.....	54
Tabla 27. Volumen de cada tipo de placas.....	54
Tabla 28. Peso propio de columnas.....	55
Tabla 29. Peso propio de vigas.....	55
Tabla 30. Peso propio de losas aligeradas.....	56
Tabla 31. Peso propio de placas.....	56
Tabla 32. Peso por acabados en vigas.....	56
Tabla 33. Peso por acabados en losas.....	56
Tabla 34. Peso de tabiquería en vigas.....	57
Tabla 35. Peso de tabiquería en losas aligeradas.....	57
Tabla 36. Cargas muertas totales de la edificación.....	57

Tabla 37. Sobrecarga asignada a vigas de entrepiso.....	58
Tabla 38. Sobrecarga asignada a losas de entrepiso.....	58
Tabla 39. Sobrecarga asignada a vigas de techo.....	58
Tabla 40. Sobrecarga asignada a losas de techo.....	58
Tabla 41. Cargas vivas totales de la edificación.....	59
Tabla 42. Resumen de las cargas de la estructura.....	59
Tabla 43. Peso sísmico para cada nivel de la edificación.....	60
Tabla 44. Parámetros sísmicos para la cortante basal estática	61
Tabla 45. Distribución de la fuerza sísmica en altura, dirección X	62
Tabla 46. Distribución de la fuerza sísmica en altura, dirección Y.....	62
Tabla 47. Análisis modal, resultado del análisis estático.....	74
Tabla 48. Control de derivas en la dirección X, análisis estático.....	75
Tabla 49. Control de derivas en la dirección Y, análisis estático.....	76
Tabla 50. Espectro de pseudoaceleraciones para el análisis dinámico.....	77
Tabla 51. Cortante mínima de diseño.....	82
Tabla 52. Análisis modal en dirección X, resultado del análisis dinámico.....	82
Tabla 53. Análisis modal en dirección Y, resultado del análisis dinámico.....	83
Tabla 54. Periodo fundamental de vibración.....	83
Tabla 55. Control de derivas en la dirección X, análisis dinámico.....	84
Tabla 56. Control de derivas en la dirección Y, análisis dinámico.....	85
Tabla 57. Porcentaje de cortante basal en placas y en pórticos.....	85
Tabla 58. Características del acero de refuerzo en la columna.....	88
Tabla 59. Características del acero de refuerzo en la viga.....	91
Tabla 60. Características del acero de refuerzo positivo en losa aligerada.....	92
Tabla 61. Características del acero de refuerzo negativo en losa aligerada.....	93
Tabla 62. Características del acero de refuerzo en la placa.....	95
Tabla 63. Características del acero de refuerzo en la zapata.....	98
Tabla 64. Desfase de las losas en el modelo analítico.....	100
Tabla 65. Desfase de las vigas en el modelo analítico.....	101
Tabla 66. Desfase de las columnas en el modelo analítico.....	102
Tabla 67. Desfase de las placas en el modelo analítico.....	102
Tabla 68. Desfase de las losas exportadas.....	103
Tabla 69. Desfase de las vigas exportadas.....	104
Tabla 70. Desfase de las columnas exportadas.....	104
Tabla 71. Desfase de las placas exportadas.....	105
Tabla 72. Porcentaje de elementos desfasados por cada nivel.....	106
Tabla 73. Acero requerido para la columna.....	110

Tabla 74. Acero requerido para la viga.....	110
Tabla 75. Acero requerido para la losa aligerada.....	111
Tabla 76. Acero requerido para la placa.....	111
Tabla 77. Acero requerido para la zapata.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edificio con sistema estructural dual.....	11
Figura 2. Vínculo bidireccional en Revit y Robot Structural Analysis.....	26
Figura 3. Ubicación de Cajamarca respecto al Perú y al departamento.....	28
Figura 4. Ubicación referencial del edificio.....	28
Figura 5. Ubicación de acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano.....	29
Figura 6. Visualización en 3D del edificio de 5 pisos.....	30
Figura 7. Área tributaria según la columna.....	32
Figura 8. Zonificación sísmica.....	38
Figura 9. Distribución arquitectónica del primer piso.....	47
Figura 10. Distribución arquitectónica típica de pisos superiores.....	49
Figura 11. Modelado de columnas.....	63
Figura 12. Modelado de placas.....	63
Figura 13. Modelado de vigas.....	64
Figura 14. Modelado de losas.....	64
Figura 15. Modelo geométrico de toda la edificación.....	65
Figura 16. Modelo analítico de la edificación.....	66
Figura 17. Modelo de la edificación exportado a Robot Structural.....	67
Figura 18. Configuración de las preferencias del proyecto.....	67
Figura 19. Características de columna en Robot.....	68
Figura 20. Características de viga en Robot.....	68
Figura 21. Características de losa aligerada en Robot.....	69
Figura 22. Dirección de armado de losas aligeradas.....	69
Figura 23. Características de placa en Robot.....	70
Figura 24. Asignación del peso propio a vigas, columnas y placas.....	70
Figura 25. Asignación de cargas muertas a las losas.....	71
Figura 26. Cargas sísmicas asignadas en la dirección X.....	72
Figura 27. Casos de carga de la edificación.....	72
Figura 28. Cortante basal estática, dirección X.....	73
Figura 29. Cortante basal estática, dirección Y.....	73
Figura 30. Desplazamientos en la dirección X, análisis estático.....	75
Figura 31. Desplazamientos en la dirección Y, análisis estático.....	76
Figura 32. Gráfico del espectro de pseudoaceleraciones.....	78
Figura 33. Creación de los casos modales.....	78
Figura 34. Número de modos de vibración.....	79
Figura 35. Ingreso del espectro de pseudoaceleraciones.....	79
Figura 36. Casos de cargas para el análisis dinámico.....	80

Figura 37. Conversión de cargas a masas.....	80
Figura 38. Cortante basal dinámica, dirección X.....	81
Figura 39. Cortante basal dinámica, dirección Y.....	81
Figura 40. Desplazamientos en la dirección X, análisis dinámico.....	84
Figura 41. Desplazamientos en la dirección Y, análisis dinámico.....	85
Figura 42. Columna C3, seleccionada para su diseño.....	86
Figura 43. Combinaciones de cargas para el diseño de columnas.....	86
Figura 44. Herramienta de opciones de cálculo de Robot Structural.....	87
Figura 45. Herramienta para disposición de armaduras de Robot Structural.....	87
Figura 46. Armadura de la columna diseñada.....	88
Figura 47. Viga VP1, seleccionada para su diseño.....	89
Figura 48. Opciones de cálculo para las vigas.....	89
Figura 49. Disposición de armaduras para las vigas.....	90
Figura 50. Disposición de los estribos para las vigas.....	90
Figura 51. Armadura de la viga diseñada.....	91
Figura 52. Momentos de la losa aligerada.....	92
Figura 53. Opciones de cálculo para las placas.....	93
Figura 54. Disposición de armaduras para las placas.....	94
Figura 55. Armadura de la placa diseñada.....	94
Figura 56. Zapata, seleccionada para su diseño.....	95
Figura 57. Combinación de cargas para el diseño de zapatas.....	95
Figura 58. Definición de las dimensiones geométricas básicas.....	96
Figura 59. Opciones de cálculo para las zapatas.....	96
Figura 60. Disposición de armaduras para las zapatas.....	97
Figura 61. Opciones geotécnicas.....	97
Figura 62. Armadura de la zapata diseñada.....	98
Figura 63. Modelos arquitectónico y analítico en Revit.....	99
Figura 64. Desfase de losas analíticas.....	100
Figura 65. Desfase de vigas analíticas.....	101
Figura 66. Desfase de placas analíticas.....	102
Figura 67. Desfase de losas exportadas.....	103
Figura 68. Desfase de vigas exportadas.....	104
Figura 69. Desfase de placas exportadas.....	105
Figura 70. Desfase de todos los elementos durante la interoperabilidad.....	107
Figura 71. Placa desfasada (A) y placa corregida (B).....	108

RESUMEN

La interoperabilidad entre programas se ha vuelto muy usual, pero muchas veces se generan desfases en la posición de los elementos estructurales, lo cual ocasiona que los modelos exportados presenten fallas en el programa subsiguiente. Es así que surge la necesidad de que mediante la metodología BIM y valiéndonos de los modelos tridimensionales de alta precisión que nos brindan los Softwares de este entorno, se corrija a tiempo cualquier desfase encontrado antes del análisis y diseño final de las estructuras. Por lo tanto en esta investigación se plantea como objetivo determinar la influencia de la aplicación de la metodología BIM en la interoperabilidad entre dos softwares, hallando las fallas que esta acarrea y corrigiéndolos adecuadamente. Utilizando Revit y Robot Structural, con un prototipo de edificio que tiene sistema dual. Se realizó una investigación del tipo aplicada, con diseño no experimental. Los resultados mostraron que el modelo analítico a exportar que nos proporciona Revit presenta desfases de los elementos, en unos más que en otros. Concluyendo que, si bien la interoperabilidad forma parte de la metodología BIM pero las fallas son propios de cada programa, en este caso el modelo analítico de Revit presentó desfases de posición, los mismos que se pueden corregir manualmente al ser exportado a Robot, gracias al modelo 3D más preciso que tiene este programa y que también es parte de la misma metodología, asimismo se observó que las columnas no se desfasaron ninguna, las vigas un 36.36% del total, las losas 30% y las placas se desfasaron en su totalidad, esto es debido a que sus ejes locales no coinciden con los ejes globales del edificio, generando que los demás elementos que están adyacentes a ellas también se desfasen, en busca de acoplar sus ejes.

Palabras clave: Metodología BIM, interoperabilidad, software BIM, Revit, Robot Structural Analysis, sistema dual, análisis y diseño estructural.

ABSTRACT

Interoperability between programs has become very common, but mismatches are often generated in the position of structural elements, which causes the exported models presented to fail in the subsequent program. Thus, the need arises for, through the BIM methodology and using the high precision three-dimensional models provided by the Software of this environment, any gaps found are corrected in time before the analysis and final design of the structures. Therefore, the objective of this research is to determine the influence of the application of the BIM methodology on the interoperability between two software, finding failures that it entails and correcting them appropriately. Using Revit and Robot Structural, with a building prototype that has a dual system. An applied type of research was carried out, with a non-experimental design. The results showed that the analytical model to be exported that Revit presents offsets in the elements, in some more than in others. Concluding that, although interoperability is part of the BIM methodology, the failures are specific to each program, in this case the Revit analytical model presented deformations, which can be corrected manually when exported to Robot, thanks to the most precise 3D model that this program has and which is also part of the same methodology, it was also observed that the columns were not out of phase, the beams 36.36% of the total, the slabs 30% and the plates were all out of phase, this is because its local axes do not coincide with the global axes of the building. Causing the other elements that are adjacent to them to also move out of phase, seeking to couple their axes.

Key words: BIM methodology, interoperability, BIM software, Revit, Robot Structural Analysis, dual system, structural analysis and design.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema se evidencia en que ciertos softwares que forman parte de la metodología BIM no logran integrarse completamente de una manera adecuada, incurriendo en fallas de interoperabilidad, lo cual provoca contratiempos al momento de intercambiar archivos o al realizar el trabajo en diferentes etapas del proyecto, generándose desfases en la posición de algunos elementos del modelo al pasar de un programa a otro. Asimismo, pueden presentarse problemas de compatibilidad cuando se utiliza diferentes versiones del mismo software. (Revista Mdt Arquitectura, 2023)

El proceso de diseño de obras civiles tiene un bajo nivel de coordinación, desde un punto de vista tecnológico entre las diferentes disciplinas intervinientes, debido a la poca aplicación de tecnología mediante los softwares BIM o por su mal uso, generándose problemas de intercambio de información entre los modelos exportados y si no se ha tenido en cuenta ello se realizan los diseños finales sobre modelos diferentes al original, por ejemplo al momento de traspasar un modelo arquitectónico para su diseño estructural en otro software algunos de los elementos se van a desfasar o mover de su lugar original, esto produce posteriores conflictos y atrasos que afectan de forma negativa al proyecto. (Cerón & Liévano, 2017)

El diseño estructural actualmente aún funciona con procesos convencionales, generando elementos estructurales ineficientes y en algunos casos se utiliza más material del necesario para cumplir con los requerimientos solicitados, ante esto, ha surgido la metodología BIM, pero se hace necesaria una buena interoperabilidad entre los programas, ya que se va administrar enormes cantidades de información que permiten la cooperación interdisciplinaria y al mismo tiempo aumentan el nivel de detalle del modelo, para lo cual se debe identificar los puntos débiles al interoperar las herramientas tecnológicas como son los softwares Autodesk Revit y Autodesk Robot Structural Analysis Professional. (Díaz et al., 2021)

La globalización contemporánea nos genera exigencias de productividad y calidad en los proyectos, por otro lado, el desarrollo de las aplicaciones BIM han llegado a un estado de madurez tal que se hacen accesibles para la mayoría de sus usuarios, esto es así gracias a la gran evolución de las posibilidades del hardware medio, ya que se trata de un software mucho más exigente a este nivel que las herramientas de dibujo convencionales, pero siempre hay fallas de interacción entre un programa y otro, los cuales se deben identificar a tiempo. (Coloma, 2008)

Mientras que algunos ingenieros usan la metodología BIM con regularidad, otros tratan este tema por primera vez o disponen de muy poco tiempo para ello, asimismo, muchos desconocen los problemas de interoperabilidad acarreados entre softwares. En la ingeniería estructural este tema es el más importante, ya que son necesarias las visualizaciones que indiquen los materiales seleccionados, las secciones, el espesor de los elementos estructurales, la necesidad de reconocer los espacios y limitaciones disponibles para estimar mejor las posibles situaciones de conflicto; todo ello debe ser acorde al modelo que se diseñó originalmente antes de su exportación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la presente tesis el problema de investigación se encuentra sintetizado en la siguiente pregunta:

¿Cuál es la influencia de la aplicación de la metodología BIM mediante la interoperabilidad entre Revit y Robot Structural en edificios de concreto armado con sistema dual?

1.3. HIPÓTESIS

La aplicación de la metodología BIM influye positivamente, mejorando la calidad de la información, al permitirnos identificar a tiempo los desfases en las estructuras que ocurren durante la interoperabilidad entre softwares para el análisis de edificaciones, optimizando el diseño estructural.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se justifica desde un aspecto práctico, teniendo en cuenta que en un proyecto de construcción, es de suma importancia minimizar fallas en todas las etapas, principalmente en el análisis y diseño estructural, ya que durante el proceso constructivo estos generan sobrecostos innecesarios, por lo tanto se hace necesario la aplicación de la tecnología BIM (Building Information Modeling), desde el inicio y en todas las fases del proyecto, la cual además tiene una amplia ventaja frente al método tradicional de dibujo y cálculo.

Por otro lado, en el aspecto teórico, este estudio pretende dar un aporte sobre la correcta interacción entre softwares reduciendo las fallas que acarree este proceso entre los programas BIM de dibujo y de análisis estructural, para que estos nos permitan transferir modelos, actualizarlos y realizarles pruebas mediante mallas de elementos finitos con las mayores precisiones de cálculo, para que finalmente podamos tener un óptimo diseño estructural.

Teniendo en cuenta el aspecto técnico, mediante esta investigación se incrementa el conocimiento referente a la correcta interoperabilidad entre programas de la metodología BIM, es decir Revit y Robot Structural, identificando fallas del modelo de dibujo a exportar para su posterior análisis y diseño estructural, al mismo tiempo mediante esta metodología se reducen las interferencias entre especialidades, las cuales cuando no se detectan a tiempo obligan a la constructora a revisar y rectificar el diseño, y lo que es peor que esta revisión se da cuando ya empezó la construcción. De esta manera se trata de llenar ciertos vacíos técnicos en este campo del conocimiento y puede ser empleado por todos aquellos que lo necesiten.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Para evaluar la interoperabilidad, se realizó el diseño de un edificio de 5 pisos, de concreto armado con sistema estructural dual, ubicado en la ciudad de Cajamarca, mediante el Modelado de la Información de la Edificación, enfocado en el proceso de modelamiento estructural, análisis sísmico, diseño estructural y detallado, teniendo en cuenta la interacción bidireccional de información entre un software de dibujo y un software de análisis de la estructura.

Esta investigación busca encontrar a tiempo las fallas provenientes de la interoperabilidad cuando se aplica la metodología BIM entre dos softwares de este entorno, es decir identificar las fallas en el modelo exportado antes de su análisis y diseño estructural, para que de esta manera se pueda evitar desfases en los elementos, en forma más general evitar incompatibilidades entre los modelos arquitectónicos y estructurales.

El modelo arquitectónico del edificio se realizó en el software Revit, del cual se exportó a Robot Structural, para evaluar la interacción y posteriormente hacer un análisis estructural y diseño de los elementos de concreto armado, finalmente contando con el diseño óptimo se regresó nuevamente el modelo a Revit para efectuar el detallamiento de las estructuras, buscando reducir el tiempo de todo el procedimiento anterior e identificando siempre las posibles incompatibilidades entre los modelos de cada programa, con el fin de lograr una buena interoperabilidad entre ambos. Es necesario mencionar que en el modelamiento del edificio se consideró la base empotrada, por lo tanto, no se realizó el análisis de interacción suelo-estructura.

Para realizar la exportación desde Revit a Robot es mejor realizarlo directamente a través de su propio plugin, ya que a diferencia de cuando se exporta de Revit a cualquier otro programa que se opta por usar formatos IFC para evitar la pérdida de información, en este caso en particular los programas Revit y Robot Structural se interrelacionan y complementan entre sí, mediante la integración directa que existe entre ambos.

Por otro lado, es necesario definir la cantidad de información indispensable para llevar a cabo la presente investigación, por ello, se debe ajustar el NOD (Nivel de desarrollo) o LOD (Level Of Development) para asegurar la calidad y facilidad de manejo de información del modelo a analizar. Se sabe que el LOD es el promedio de LODs de los diferentes elementos que componen un modelo y que no es necesario que todos los elementos del mismo tengan el mismo nivel de desarrollo; es muy importante ser realista con las necesidades del proyecto ya que de ello depende el LOD necesario para conseguir los objetivos esperados con la mayor agilidad, precisión y ahorro económico; por ende, en la presente investigación se trabajó con

un promedio de 300, el cual nos permite tener información suficiente para generar planos a escala 1/100 y 1/50.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

- Determinar la influencia de la aplicación de la Metodología BIM, detectando los desfases de los elementos estructurales durante la interoperabilidad entre los softwares Revit y Robot Structural, para las edificaciones de concreto armado.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar los desfases de los elementos estructurales en el modelo analítico del edificio que Revit proporciona para su exportación al software Robot, durante la interoperabilidad, usando la metodología BIM basado en modelos tridimensionales.
- Determinar los desfases de los elementos estructurales en el modelo exportado en Robot Structural, mediante el modelado 3D que nos proporciona la metodología BIM.
- Identificar los elementos de la estructura que más sufren cambios de posición respecto al planteamiento arquitectónico original, cuando se realiza la interoperabilidad entre softwares.

1.7. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está organizada en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

- **Capítulo I:** Se presenta la introducción, que comprende el planteamiento del problema, formulación del problema, hipótesis, justificación, alcances y objetivos.
- **Capítulo II:** Este capítulo corresponde a los contenidos de antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas, definición de términos básicos.
- **Capítulo III:** Se indica la ubicación geográfica de la Edificación, el tiempo en el que se realizó la investigación; además, se describe la metodología y resultados del diseño y análisis estructural en los softwares Autodesk Revit y Robot Structural.

- **Capítulo IV:** Se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos del diseño y análisis estructural en los softwares Autodesk Revit y Robot Structural.
- **Capítulo V:** Corresponde a la presentación de las conclusiones, se proponen recomendaciones para complementar los conocimientos relacionados a esta investigación.
- **Referencias bibliográficas.**
- **Anexos.**

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- Díaz, A. y Dugaro, M. (2022), en su investigación “PROBLEMAS DE INTEROPERABILIDAD ENTRE SOFTWARE DE MODELADO Y SOFTWARE DE CÁLCULO Y POSIBLES SOLUCIONES”, desarrollaron un artículo investigativo referente a las herramientas informáticas que usan los arquitectos y los ingenieros dedicados a las estructuras, con el fin de identificar el grado de interoperabilidad enfocado en el análisis estructural, desde las perspectivas teórica y práctica para su aplicación. Con base en un análisis experimental simplificado hallaron problemáticas respecto a la interacción entre programas con entorno estructural bajo el entorno común de datos. Concluyendo que existe una serie de divergencias, las cuales se pueden mejorar realizando una correcta cobertura de información en el esquema IFC para la importación/exportación en softwares BIM; por otro lado, afirman que hace falta un método de enfoque de arriba hacia abajo para representar los elementos estructurales con el fin de rastrear cambios semánticos de las partes que pertenecen a diferentes modelos.

- Muñoz García, G. (2020), en su investigación “INTEROPERABILIDAD EN EL ENTORNO BIM”, se planteó realizar un estudio sobre la interoperabilidad y los errores e ineficiencias en el proceso de diseño y posterior proceso constructivo, ya que por diferentes motivos los actores involucrados son impedidos de lograr intercambiar información precisa, lo cual ocasiona problemas en la fase inicial del proyecto con grandes repercusiones en etapas futuras. Bajo este concepto, la adopción de la metodología BIM también ayuda a identificar a tiempo varias de las fallas entre modelos. Asimismo, concluye que la implementación de esta metodología promueve formatos abiertos promoviendo soluciones al problema de interoperabilidad tecnológica, pero también reconoce que el uso de otras metodologías colaborativas junto con BIM dan soluciones eficaces a los errores de interoperabilidad desde los aspectos humanos, por lo cual los profesionales deben usarlo por la gran efectividad constatada.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- Cusirimay Centeno, EB. (2022) en su tesis titulada “IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA PÚBLICA: INSTALACIÓN DEL CENTRO RURAL DE FORMACIÓN EN ALTERNANCIA AGOIGANAERA MAGANIRO DE LA COMUNIDAD DE SHIMAA, DISTRITO DE ECHARATE, LA CONVENCION - CUSCO”, indica que esta metodología se caracteriza por ser colaborativa, al estar basada en procesos estándares y tecnologías que gestionan de manera integrada toda la información del proyecto, pero al ser aplicada se percibe como una realidad abrumadora, ya que los autores de la construcción desconocen los potenciales beneficios, debido a lo cual su aplicación viene siendo muy lenta, dado esto, se plantea como objetivo describir el impacto de la implementación de la metodología BIM, concluyendo que esto conlleva a una repercusión económica positiva, ya que los impactos se ven reflejados por ejemplo en los metrados donde se obtuvieron hasta 18.53% de precisión con respecto a los obtenidos de forma manual, lo cual índice directamente en los costos del proyecto, con esto al adquirir los materiales de construcción se reducen los márgenes de desperdicios.
- Carlos Cueva, SF. (2021) en su tesis “PROCESO DE DISEÑO ESTRUCTURAL CON LA METODOLOGÍA BIM EN LA ETAPA DE PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO EN UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR DE SEIS NIVELES Y UN SEMISÓTANO UBICADO EN EL DISTRITO DE ATE VITARTE – PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA”, se planteó como objetivo aplicar la metodología BIM en el diseño estructural durante la etapa de planificación de un proyecto para una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano, esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo no experimental, al mismo tiempo es de tipo aplicada ya que busca dar soluciones a los problemas de la industria de la construcción mediante nuevas formas de trabajo colaborativo. Obtuvo como resultados que el proceso de diseño estructural pasó de ser un proceso con información no colaborativa y dispersa a crear un flujo de trabajo integrado de todo el proceso de análisis y diseño en un solo modelo BIM, de esta forma esta metodología se convierte en un intercambio continuo de información entre los profesionales intervinientes en cada fase del proyecto.

2.1.3. Antecedentes Locales

- Villa, J. (2017) en su tesis “IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS BIM – REVIT EN LOS PROCESOS DE PROYECTOS EN LA EMPRESA CONSULTORA JC. INGENIEROS S.R.L”, esta investigación se basó en realizar un nuevo análisis y modelamiento de la infraestructura de la institución educativa inicial La Colpa con la implementación de BIM-Revit, obteniendo un mejor diseño, tablas de cuantificación de materiales exactas y la representación 3D de cada uno de los elementos que componen este proyecto e identificar las variaciones de los costos por partida y especialidad del presupuesto total calculado con el uso de tecnologías tradicionales y con tecnologías BIM-Revit, obteniendo una estimación de los potenciales beneficios de utilizar esta tecnología. El enfoque principal utilizado para analizar los beneficios de implementar BIM fue lograr una mejor gestión de diseño de proyectos en la empresa JC. Ingenieros S.R.L., así como elevar su competitividad en relación a empresas similares del mercado. Finalmente concluyó que BIM-Revit es una aplicación indispensable y necesaria para el diseño de proyectos en las empresas privadas y entidades públicas, pues en el proyecto estudiado pudo determinar que esta aplicación permite detectar errores en la etapa de diseño del proyecto, lo que evitaría, posibles sobrecostos en la ejecución del mismo. Además, se logró obtener una mejor estética y visualización 3D en los dibujos y modelamiento de planos, con diseños renderizados con un alto grado de realismo, haciéndolos más accesibles a los involucrados que no tengan conocimientos técnicos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Análisis y diseño estructural de las edificaciones

Definido como el proceso de determinar y calcular los efectos de las cargas que originan las reacciones internas de un edificio, este procedimiento es muy importante para los ingenieros estructurales ya que ayuda a comprender en mejor medida los impactos y rutas de las cargas que posee su diseño de ingeniería, permite además garantizar que una edificación sea segura bajo las cargas estimadas que espera soportar. Durante el análisis generalmente se evalúan elementos estructurales individuales, tales como columnas, vigas, losas, placas, etc; todos estos tienen cargas

externas aplicadas, tales como sismo o viento, por lo tanto, se debe revisar el comportamiento de cada uno de ellos. (Carigliano, 2015)

2.2.1.1. Función estructural

Una estructura exige requisitos específicos para que pueda resistir las acciones para las que fue prevista, estas acciones son de masa, de tipo físico, cambios de dimensiones y fuerzas inerciales.

Por lo tanto, la principal función debe ser la de soportar estas acciones ya que esto es básicamente lo que la define, tanto las propias como las externas; asimismo la estructura debe garantizar la estabilidad, ofreciendo como garantía que bajo estas cargas no va a colapsar; por otro lado la estructura debe mantener la forma, evitando que los elementos que la conforman lleguen a la rotura o en el peor de los casos puedan obtener una deformación controlada; la estructura además debe proteger las partes delicadas por ejemplo las escaleras de emergencia, los ascensores, entre otros. (Construir, 2024)

2.2.1.2. Tipología de las estructuras

La tipología de las estructuras para la presente investigación tiene como característica básica una geometría que depende tanto del uso como de las condiciones estructurales.

Las estructuras constituidas de concreto armado con elementos de soporte como columnas y placas pertenecen a una tipología clásica y es muy difundida, poseen un entramado de barras con nudos rígidos que son realizados in situ, además presentan continuidad en sus elementos; estas estructuras son más usuales en el ámbito urbano por la disposición de la mano de obra y acceso a los materiales como el cemento, acero y agregados. (Oliden y Pinzón, 2021)

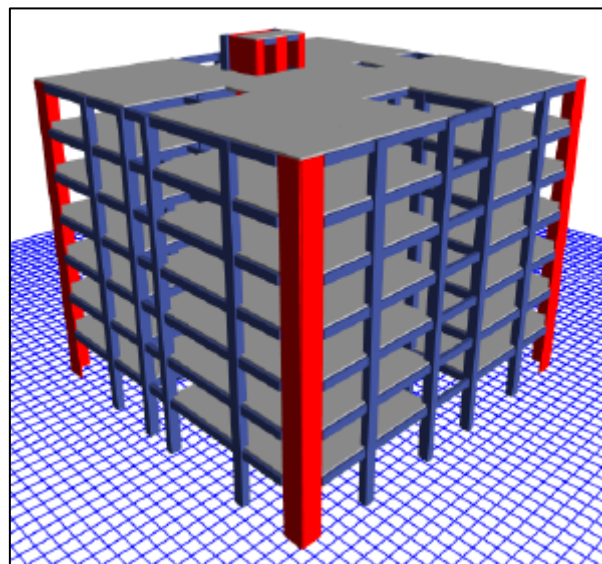
2.2.1.3. Sistema estructural dual

La Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) establece que es un sistema en el cual las acciones sísmicas son resistidas por una adecuada combinación de pórticos y de muros estructurales. En este caso la fuerza cortante

que es tomada por los muros es mayor que 20% y menor que 70% del cortante que actúa en la base del edificio.

En este sistema los muros estructurales tienden a tomar una parte de los esfuerzos que se encuentran en los pisos inferiores y los pórticos disipan la energía sísmica en los niveles superiores. Es generada una estructura con una rigidez y resistencia lateral mucho mayor al de solo pórticos, esto hace que el sistema dual sea muy eficiente para resistir las fuerzas sísmicas, siempre y cuando la distribución de los elementos estructurales sea la correcta. En los pisos inferiores los muros tienen una rigidez muy alta, esto restringe el desplazamiento, a diferencia de los pisos superiores.

Figura 1. Edificio con sistema estructural dual.



Fuente: Ramírez (2018).

2.2.2. Modelamiento de la información de la construcción (Building Information Modeling BIM)

Según la Norma Técnica Peruana – ISO 19650-1:2021, BIM es el “Uso de una representación digital compartida de un activo construido, para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, con la finalidad de contar con una base confiable para la toma de decisiones”.

Por otro lado, la Guía Nacional BIM nos dice que “Utilizar BIM no significa solo crear un modelo en 3D, sino que también involucra la configuración ordenada de toda

la información de la inversión y una adecuación organizacional” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021, pág. 20)

Según la Nota Técnica de Introducción BIM, lo define como “Una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de la información de una inversión, que hace uso de un modelo de información, el cual es creado por las partes involucradas, para facilitar la programación multianual, formulación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de infraestructura pública, asegurando una base confiable para la toma de decisiones”. Finalmente, el Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú, menciona que el “BIM no es solo el uso de herramientas tecnológicas, sino que se trata de un conjunto de actividades colaborativas, estas se deben basar en estándares que utilizan herramientas digitales que logren gestionar la información de la inversión”. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021, pág. 10)

2.2.2.1. Origen del BIM y su situación actual

Para entender el origen de la metodología BIM, su desarrollo y situación actual es necesario mencionar cada uno de los hitos que se produjeron a lo largo de la historia, los cuales han marcado las diferentes etapas de su evolución:

En el año de 1963, se desarrolló SketchPad, el cual fue un asistente de dibujo que se presenta como uno de los primeros programas de dibujo por computadora, el cual fue producido por Iván Edward Sutherland y presentado en su tesis doctoral titulada “SketchPad: A man-machine graphical communication system” (SketchPad: Un sistema de comunicación gráfica hombre - máquina). Este sistema permitía dibujar puntos y líneas en una determinada pantalla usando un lápiz de luz. Esto ayudó a establecer las bases para desarrollar la interfaz gráfica de usuario que se usa actualmente, debido a que se introdujo conceptos como el diseño modular y el modelado que se orienta a objetos, esto fue una novedad e influyó en la arquitectura y la ingeniería. (Villa, 2017)

En 1984 por primera vez en la historia, la empresa de origen húngara “Graphisoft” aplicó el concepto BIM, implementado bajo el nombre “Virtual Building” y el programa ArchiCAD, el cual lo desarrolló Gábor Bojár y es reconocido como el primer software

CAD que tiene la capacidad de crear modelos 2D y 3D. Luego, en el año 1988, Parametric Technology Corporation (PTC) lanzó la primera versión de Pro/Engineer, siendo el primer programa CAD que utilizó un modelado paramétrico. (Pérez, 2019)

En nuestro país actualmente viene implementándose la metodología BIM de una forma progresiva, teniendo en el sector privado un gran avance en los últimos tiempos, de acuerdo a un sondeo del 2021 por la Cámara Peruana de la Construcción se muestra que el 44.6% de las empresas han utilizado BIM en sus proyectos que fueron desarrollados en el 2020, pero nadie lo utilizó en la etapa de operación y mantenimiento. En el sector público se ha desarrollado el Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019 – 2030, este es un Plan BIM el cual establece las acciones y objetivos para que se implemente BIM de manera progresiva hasta el año 2030, en todas las empresas y entidades públicas que se encuentran sujetas al Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021)

Tabla 1. Hitos del Plan BIM Perú.

Hito 1	Hasta Jul-2021	Hasta Jul-2025	Hasta Jul-2030
Proyecto de Decreto Supremo que regula el BIM (Set-2019)	Estándares y requerimientos BIM elaborados	BIM aplicado en proyectos del Gobierno Nacional y Gobiernos Regionales en tipologías seleccionadas	Plataforma tecnológica habilitante para uso en todo el sector público
Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM (Mar-2020)	Proyectos piloto aplicando la metodología BIM	Marco regulatorio para la aplicación del BIM en el sector público y articulación con sistemas administrativos aprobado	Obligatoriedad del BIM en todo el sector público normada
	Estrategia de formación de capital humano para el uso del BIM iniciada	Plataforma tecnológica habilitante para sectores priorizados del Gobierno Nacional	

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas (2021).

2.2.2.2. Características de la metodología BIM

A diferencia de la metodología tradicional de los programas CAD, el BIM (Modelamiento de la Información para la Construcción) es una gran herramienta tecnológica que nos ayuda o asiste para dibujar los proyectos y a la vez nos permite tener visualizaciones en 3D, almacena los datos de toda la información que se va originando en el proyecto, esto nos permite cuantificar los materiales a utilizar, permitiendo así una programación más exacta del trabajo que se realizará en campo evitando cualquier interferencia a la hora de construir. (Miranda y Muñoz, 2015)

Entre las principales características de la metodología BIM tenemos las siguientes:

- Es una metodología multidisciplinar, en la que los modelos BIM más completos abarcan las disciplinas como: Arquitectura, Estructuras, Instalaciones, Control de costos, Presentación y Diseño energético del proyecto. La cantidad de aplicaciones compatibles con programas BIM tiene un gran incremento cada año, por ejemplo, en la actualidad ya se está llegando a la gestión de residuos y planificación de la obra. Asimismo, es posible intercambiar información al modelo BIM para que sean aprovechadas las diferentes disciplinas del proyecto, gracias a que la comunicación entre los programas tiene la propiedad de ser bidireccional. (Villa, 2017)
- Es paramétrico, está compuesto por una serie de objetos que se han parametrizado, es decir diseñado según las características propias que los definen, esto se realiza mediante una interface que conceptualiza con una multitud de parámetros preestablecidos y al mismo tiempo existe otra que permite su edición de forma dinámica. Un objeto parametrizado se puede relacionar con otros objetos, es necesario que el modelo paramétrico se trate como una base de datos unificada para que todos los parámetros antes mencionados puedan interactuar. Debido a que la parametrización de objetos puede ser un poco complicada, existen librerías de componentes que ya están pre configurados y que tienen comportamientos preestablecidos de acuerdo a la necesidad del proyecto. (Villa, 2017)
- Es multivista, esto se refiere a que las representaciones se pueden automatizar, debido a que todas provienen de un mismo modelo,

permitiendo que siempre se coordinen entre sí, de esta manera se actualicen y tengan una generación casi inmediata. Se debe configurar cada una de las diferentes vistas a generar para que de esta manera se pueda obtener una buena visualización y presentación de entregables, una vez que estén bien configuradas estas pueden ser utilizadas para cualquier otro proyecto posteriormente, ahorrando tiempo en la generación del entregable. Las diferentes vistas además de aportar representaciones gráficas, también aportan representaciones del tipo alfanumérico, tales como tablas, leyendas, esquemas, entre otros. (Villa, 2017)

2.2.2.3. Beneficios de la metodología BIM

La metodología BIM tiene una serie de notables beneficios, estos se reflejan en todos los países del mundo debido a la buena aceptación en sus distintos niveles de madurez. Se ha demostrado que las medianas y pequeñas empresas que han implementado esta metodología de trabajo lograron una mejora notable en la productividad, obteniendo un retorno positivo de las inversiones, reduciendo materiales, costos, y una menor burocracia. Por otro lado, las áreas que se modelaron y prefabricaron mediante el uso de BIM tuvieron un aumento en su productividad entre el 75% al 240%, en contraste con las que usaron el enfoque tradicional. En Lima y Callao un 70% de los encuestados ha considerado que el usar BIM permitido mejorar la planificación de obra y reducción de los costos de producción, además, el 60% considera que este uso permite la reducción del tiempo de construcción. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021)

En la Guía Nacional BIM, Ministerio de Economía y Finanzas (2021) se menciona que la aplicación de esta metodología genera beneficios a la forma de planificar y ejecutar las inversiones, esto abarca la concepción, desarrollo, operación, mantenimiento y disposición de proyectos. Entre los beneficios de la adopción de BIM tenemos los siguientes:

- **Transformación digital:** El uso de BIM durante el ciclo de inversión, significa desprenderse de documentos en físico y lograr un avance hacia el intercambio de información digital, este en un tiempo real; garantizando la

transparencia, trazabilidad, buen control de calidad y mayor velocidad de procesamiento.

- **Integración:** La información no gráfica como la gráfica se pueden integrar y enriquecer mediante una variedad de datos. Información sobre infraestructura, información topográfica, costos, entre otros. Toda esta información puede optimizar el diseño y planificar mejor la ejecución de obra, lo que reduce cualquier retraso.
- **Calidad:** Se mejora la calidad de la inversión, ya que posibilita el análisis y control de los estándares de calidad, del mismo modo se verifica el cumplimiento de las normas aplicables. Asegura la identificación de interferencias e incompatibilidades de diseño, reduciendo así las modificaciones durante la ejecución de la obra.
- **Eficiencia:** Se reducen costos y los plazos del desarrollo, teniendo una mejor utilización racional de los recursos destinados a su construcción y mantenimiento.
- **Supervisión del avance de obra:** Nos permite la simulación gráfica en tiempo real del avance de la ejecución gracias a la integración de los datos de diseño, programación y costos, todo esto en un solo modelo.

Araya (2019) menciona que en el contexto de los proyectos de construcción se identifican diferentes beneficios tales como el fomento de un entorno colaborativo, la visualización, así como la reducción de incertidumbre que se relaciona con la estimación de la cantidad.

2.2.2.4. Usos de la metodología BIM

En el transcurso de los años la metodología BIM ha sumado una gran variedad de usos, resaltando la optimización del diseño, cambios en el modelo determinados en la etapa de construcción y a tiempo real, visualización mejorada de la ingeniería a detalle, lograr una simulación del proceso constructivo en 4D y la alertar tempranamente las interferencias e incompatibilidades. (Miranda y Muñoz, 2015)

Por otro lado, la Guía Nacional BIM, Ministerio de Economía y Finanzas (2021) nos dice que los usos BIM son métodos de aplicación que sirven para explicar las

diferentes maneras en las que las partes involucradas pueden utilizar la metodología BIM, a continuación, se describen los usos más importantes:

- **Levantamiento de condiciones existentes:** La utilización de los modelos de información que representan condiciones existentes halladas en el entorno o instalaciones específicas. Puede ser aplicado a los proyectos de conservación patrimonial o al levantamiento de la información de una edificación, superficie o topografía.
- **Análisis del entorno físico:** La evaluación de las características y propiedades del entorno, logrando que la ubicación sea óptima para la ejecución de la obra. Se aplica para planificar, simular y visualizar según los aspectos geográficos de la zona.
- **Diseño de especialidades:** Se realiza el diseño de las especialidades que son requeridas para el proyecto, mediante la realización de modelos de información.
- **Elaboración de documentación:** Utilización de dicho modelo de información para poder extraer los datos esenciales y la documentación técnica para el desarrollo de planos y lo contenido adicionalmente en ellos, tales como tablas, esquemas, entre otros.
- **Visualización 3D:** Se utiliza el modelo de información para mostrar y comunicar el proyecto mediante imágenes 3D, recorridos virtuales y otras herramientas gráficas visuales. Para facilitar el entendimiento de la propuesta de diseño entre los miembros del equipo del proyecto.
- **Coordinación de la información:** Es donde las partes involucradas realizan la coordinación del desarrollo del diseño o la construcción, mediante software y plataformas que usan distintos formatos de intercambio de información compatibles.
- **Estimación de cantidades y costos:** Uso del modelo de información para generar las cantidades de los componentes y cuantificar materiales para el proyecto, en base a esto se realizan las estimaciones de costos.
- **Revisión del diseño:** Para revisar y luego validar los aspectos del diseño de todas las especialidades del proyecto, incluyendo la visualización del diseño dentro de un entorno virtual y según los criterios la normativa y reglamentación.

- **Análisis estructural:** Realizar el análisis y determinar cómo se comporta el sistema estructural a partir del modelo de información. La aplicación de esto nos permite hacer simulaciones del rendimiento de la estructura para determinar un diseño efectivo y eficiente.
- **Análisis de constructibilidad:** Revisión de todos los métodos y procesos de construcción antes de que comience dicha etapa, para identificar posibles fallas y obstáculos que ocasionen retrasos en el cronograma y sobrecostos. Esto nos permite detectar cualquier problema que pueda surgir debido a la compatibilidad en el diseño, problemas de espacio, logística, circulación, etc.
- **Análisis de otras ingenierías:** Esto se realiza para evaluar los sistemas que intervienen o complementan el desarrollo de todos los requisitos del proyecto, mediante el uso del modelo de información.
- **Detección de interferencias e incompatibilidades:** Detección de interferencias mayormente en la geometría del modelo, estas pueden causar problemas en la construcción. Para automatizar el proceso de revisión este proceso puede usar software de análisis de interferencias o también se puede hacer de manera visual mediante recorridos virtuales.
- **Planificación de la ejecución:** Para determinar las etapas o fases constructivas del proyecto a partir de un modelo de información. Esto nos permite controlar y optimizar la ejecución.
- **Diseño de sistemas constructivos para la ejecución:** analizar y diseñar la elaboración de sistemas de construcción complementarios, como los encofrados, amarres, paneles de vidrios, etc. Para optimizar la planificación.
- **Planificación de obras preliminares y provisionales:** Ubicación y representación de los trabajos preliminares y provisionales que se requerirán durante la ejecución física del proyecto. Se puede enlazar al cronograma de obra para poder identificar los momentos en los que se ejecutarán estos trabajos.
- **Control de equipos para montajes:** Diseño de estos equipos y de sus instalaciones a partir de modelos de información. Se puede enlazar con tecnología GPS de las maquinarias de movimiento de tierras para guiar la movilización.

- **Planificación y prevención de desastres:** Acceso a toda la información crítica del proyecto durante una situación de emergencia que pueda ocurrir, a partir de un sistema integrado al modelo de información permitirá obtener respuestas rápidas, minimizando riesgos y mostrando dónde se encuentra la emergencia dentro del proyecto. Esto permite identificar las posibles soluciones y reconocer otros lugares que son peligrosos.

2.2.2.5. Ventajas y desventajas del uso de tecnologías BIM

El uso del BIM presenta una variedad de ventajas, una de las más importantes es la calidad de la información y la calidad del entregable que nos brinda para el cliente; gracias a la mejora en la calidad de información, las herramientas de visualización que presenta, cuantificación de materiales, estimación de costos y el análisis del diseño, permiten tomar mejores decisiones durante las diferentes etapas del proyecto. Sin embargo, hay que tener presente que el uso del BIM no necesariamente garantiza el éxito de un proyecto, este se debe basar en una metodología apoyada en tecnologías y un buen equipo de trabajo para poder lograr los resultados esperados. (Fustamante, 2014)

Las ventajas más resaltantes se señalan a continuación:

- Actualización automática de las diferentes plataformas BIM, gracias a que estas herramientas permiten que la información sea editada en cualquier disciplina o vista del modelo, se actualiza de manera instantánea en las demás disciplinas, esto conlleva a minimizar drásticamente errores debido a que esta información siempre es coherente. (Bentué, 2017)
- BIM nos permite en todo momento tener al alcance la información de cualquiera de las disciplinas establecidas, incluso se pueden realizar modificaciones en tiempo real, estas se actualizarán de manera automática en todos los parámetros y en todos los resultados del proyecto, lo cual brinda una personalización del mismo y una mejor toma de decisiones en cualquier etapa. (Bentué, 2017)
- El uso de las tecnologías BIM proporciona la ventaja de poder evaluar conflictos en etapas tempranas del proyecto, permitiendo cotejar información entre las diferentes disciplinas del proyecto, además, nos

permiten evaluar la sustentabilidad facilitando el cálculo de eficiencia energética del proyecto y de sus instalaciones. (Bentué, 2017)

- Otra de las ventajas es la satisfacción del cliente, debido a las visualizaciones del modelo, videos de recorrido, los renderizados, entre otros; lo cual no solo es más agradable a la vista y permite una mejor presentación, sino que también permite un mejor entendimiento del proyecto, asegurando que lo diseñado sea acorde con los requerimientos del cliente. (Bentué, 2017)

Así como encontramos múltiples ventajas en el uso del BIM, también presenta algunas desventajas, tales como las señaladas a continuación:

- Entre las principales resalta el hecho de que requiere una buena capacitación, preparación y mucha práctica para llegar a obtener la destreza necesaria con la que se pueda desarrollar desde las actividades más básicas hasta llegar a tener la solvencia suficiente para realizar modelos mucho más complejos y con mayor detalle. Sin embargo, la mayor desventaja a la que nos enfrentamos es al cambio de filosofía relativa al uso de las tecnologías BIM, esto implica dejar atrás la metodología tradicional y entrar en una reestructuración y en una constante capacitación. (Villa, 2017)
- Por otro lado, Marín et al. (2021) nos mencionan que las principales desventajas del uso del BIM en el Perú son: La escasa difusión de su aplicación por parte de las entidades académicas estatales y privadas, es decir no existe un liderazgo de entidades en la difusión de esta metodología, esto se debe a que existe una resistencia al cambio de la metodología tradicional por la nueva tendencia de la gestión de proyectos, además se necesita contar con una formación académica que sea especializada para poder dominar las herramientas de esta metodología.

2.2.2.6. Normatividad para el uso de esta metodología

El estudio del marco normativo a nivel internacional tiene mayor énfasis en las normativas y recomendaciones como las normas ISO, las propuestas del Comité

Europeo de Normalización y BuildingSmart Internacional; las cuales sirven de guías para las normativas de cada país ya que estas se encuentran basadas en las mencionadas anteriormente. (Pérez, 2019)

- **Normativa ISO:** La regularización se alinea a los establecido por el subcomité ISO/TC59/SC13, Edificación y Obra Civil. Las normativas más resaltantes son las siguientes:

ISO /TS 12911: Marco guía para la metodología BIM.

ISO 16757-1: Estructura de datos. Conceptos, arquitectura y modelo.

ISO 12006-2: Marco de la clasificación.

ISO 12006-3: Construcción. Marco orientado a objetos con información.

ISO 16354: Pautas para librería de información y objetos.

ISO 22263: Marco para la gestión de la información del proyecto.

ISO 29481-1: BIM. Manual de entrega de información. Metodología y forma.

ISO 29481-2: BIM. Manual de entrega de información. Marco de interacción.

ISO 29481-3: BIM. Manual de entrega de información, visualización.

ISO/NP 16739-1: IFC, datos esquema utilizando definición EXPRESS.

ISO/NP 16739-2: IFC, datos esquema utilizando definición XML.

- **Normativas del Comité Europeo de Normalización:** Quien se encarga de armonizar el uso de la metodología BIM es la parte CEN/TC 442 del Comité Europeo de Normalización, tiene la finalidad de desarrollar especificaciones y estándares que garanticen un uso adecuado de esta metodología, actualmente los estándares publicados hacen referencia solamente a la adopción de las normas principales internacionales ISO BIM como las europeas EN. (Pérez, 2019)

- **BuildingSMART INTERNACIONAL:**

La organización BuildingSMART fue creada sin fines de lucro y promueve desde 1995 la promulgación y el uso activo de estándares OpenBIM, estos permiten que la infraestructura civil sea desarrollada abarcando todos los procesos integrados del ciclo de vida del proyecto sin inconvenientes, dando mantenimiento y desarrollo al tipo de archivo IFC, este es su “estándar de datos”. Tiene presencia a nivel internacional y su metodología de trabajo se

basa en capítulos, teniendo un total de 26, distribuidos en países de Europa Norte América y Asia. Está en una posición muy favorable para la promulgación y estandarización de guías de diseño debido a su presencia globalizada. (Pérez, 2019)

2.2.3. Análisis y diseño estructural con la metodología BIM

En la actualidad las aplicaciones específicas orientadas al análisis y diseño estructural facultadas por BIM tienen básicamente orientación a los temas relacionados con las bases de datos parametrizadas, con la visualización de los modelos analíticos y el modelado interactivo; además poseen una interfaz uniforme de comunicación para la evaluación de la sostenibilidad y verificación de la normatividad vigente.

Una de las principales utilidades del BIM en el análisis y diseño estructural es que mediante esta metodología se generan modelos en 3D de la estructura, en ella se encuentra toda la información de una manera centralizada, contenida en una base de datos. Hay que tener presente que los análisis estructurales se basan en elementos de barra y superficie, a los que hacen referencia también las normas como en el caso del cálculo de esfuerzos internos y deformaciones, exceptuando los elementos no estructurales; por esto, entre otras razones, es necesario que el software BIM sea operado por usuarios que tengan un conocimiento bastante adecuado del análisis estructural, así como la aplicación de programas para el cálculo. (Rustler, 2019)

Se deben verificar los modelos de análisis generados automáticamente ya que el cálculo de todo este modelo puede requerir la consideración de las etapas de construcción.

La ingeniería estructural contribuye al proceso BIM mediante la colaboración con las demás disciplinas como la arquitectura, instalaciones, construcción y mantenimiento; las que al mismo tiempo compartirán con el resto del proyecto. En esta rama, los datos que forman parte del modelo BIM se dan en forma de modelo estructural integrado en modelos más complejos, análisis y cálculo de elementos terminados y descripciones técnicas, así como la documentación.

2.2.4. Interoperabilidad de programas BIM para estructuras

Inicialmente se modela la parte arquitectónica de la edificación, luego se abre una variedad de programas con una serie de posibilidades ofrecidas por BIM para realizar el análisis y diseño de estructuras, de todos estos se tiene que elegir el más adecuado y con el que pueda interoperar de la manera más eficiente.

Se debe buscar softwares que tengan conexión directa, es decir, se pueda maniobrar la exportación mediante un plugin propio y de fácil acceso. Con cada programa hay muchas formas de exportación e importación, pero en todos los casos siempre hay un primer proceso, es el mapeado o comparación entre las bases de datos de los softwares.

Cabe mencionar que el modelo que se transmitirá no es el geométrico sino el analítico, los programas de análisis estructural que tienen conexión con Revit mediante el uso de plugin son SAP2000, SAFE, ETABS, entre otros; pero con él que tiene una afinidad más directa es con Robot Structural Analysis.

2.2.4.1. Autodesk Revit

Revit es un programa que se dirige principalmente a los profesionales de la construcción como ingenieros, arquitectos, contratistas, jefes de obra, fabricantes, decoradores y propietarios. Posee un sistema de diseño y de documentación de los proyectos de construcción dentro de la metodología BIM que se refiere a la compartición de lo múltiples agentes involucrados en la información del modelo constructivo, comprendiéndolo como un desarrollo continuo que inicia desde el croquis y anteproyecto, análisis del modelo, el proyecto de ejecución, la obra, el control de calidad, llegando hasta las últimas fases del mantenimiento del edificio. El software Revit es bastante personalizable que se puede aplicar a cualquier actividad del tipo constructivo, pudiéndole sacar el máximo provecho. (López, 2015)

La base de datos con la que trabaja Revit es del tipo cualificada y cuantificada:

- **Cualificada:** porque los elementos intervinientes en el modelo tienen características físicas determinadas, las cuales están compuestas por materiales y se agrupan en sistemas constructivos definidos.

- Cuantificada: porque obtiene valores reales de las cantidades de los elementos intervinientes, como los materiales o tipos de familias.

Los cambios realizados son automáticos y unívocos, por ser una base única con variadas representaciones como vistas, leyendas, planos, detalles y las tablas de cuantificación; todo esto nos proporciona considerables mejoras de productividad, de coordinación y se reducen drásticamente los errores.

Revit es un programa paramétrico, es decir cada elemento del proyecto tiene sus propias propiedades o parámetros, estos pueden ser el material, la visibilidad, la longitud, etc. Asimismo, estos elementos se organizan en categorías ya sean estas de modelo como las entidades 3D o las categorías de anotación como las entidades 2D, dentro de las categorías se encuentran las Familias, las cuales vienen a ser cada una de las modalidades para una misma categoría. Dentro de las familias se encuentran los Tipos, en los cuales varía el valor que se le asigna al parámetro, finalmente cada elemento que hay en un modelo es único y se le llama Ejemplar, este se diferencia de los otros de su mismo tipo por la ubicación espacial donde está ubicado. (López, 2015)

2.2.4.2. Autodesk Robot Structural Analysis

Es un programa de análisis estructural que utiliza los elementos finitos, adecuado para la ingeniería estructural, permite modelar, analizar y realizar el diseño utilizando una gran variedad de materiales, tales como estructuras de concreto, acero y madera; en base a la normatividad internacional.

Permite la operatividad BIM, optimizando y mejorando los diseños, posibilitando la trazabilidad de los cambios que ocurren durante el proceso de diseño al ser un software rápido y versátil, comparte los modelos de información BIM, realiza el cálculo de modelos simples y complejos, posibilita el flujo de trabajo colaborativo ya que se puede interoperar con enlaces bidireccionales con otros programas del entorno BIM; facilita a los ingenieros y proyectistas ejecutar funciones avanzadas de análisis y de simulaciones de los edificios dentro de un entorno dinámico, reduciendo errores y verificando con las normas vigentes.

El modelo analítico con el que trabaja este software es una representación simplificada 3D, según la descripción de la ingeniería completa del modelo físico estructural, este se encuentra formado por los componentes, la geometría, las propiedades de los materiales y las cargas que conforman todo el sistema; a la vez este modelo analítico se encuentra formado por una serie de modelos analíticos de cada elemento de la estructura como son las vigas, columnas, losas, muros estructurales.

Robot Structural presenta además las siguientes características: es posible cargar los formatos provenientes en formatos DWG, DXF, SAP2000, entre otros que contengan la geometría del modelo; tiene la posibilidad de vincularse directamente con la estructura creada en Revit y luego exportar nuevamente el modelo analizado y diseñado a este último para su detallado final de las estructuras. Se estructura en una serie de módulos, donde cada uno es responsable para una etapa específica en el diseño estructural (modelamiento, análisis, diseño, etc.), todos los módulos funcionan en el mismo entorno. (Villarroel, 2016)

2.2.4.3. Interoperabilidad Revit – Robot Structural Analysis

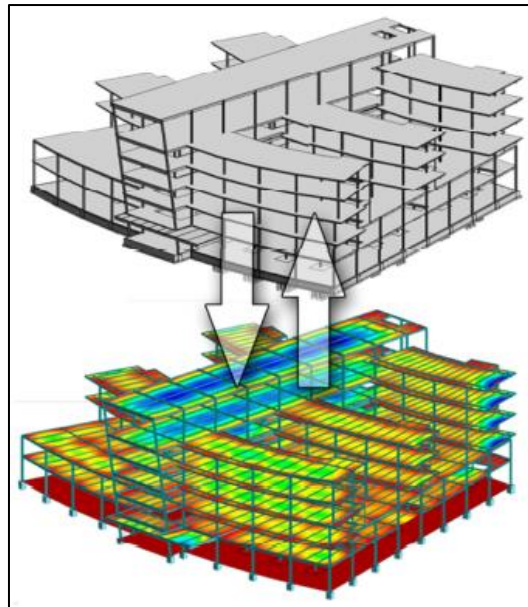
El análisis estructural de la edificación que se modeló en Revit, se realiza exportándolo al programa Robot Structural mediante tres posibles caminos:

- Mediante el formato IFC, ya que todos los programas BIM reconocen y generan estos archivos.
- Mediante la conexión directa desde Revit, transmitiendo el modelo analítico.
- Mediante el cálculo en la nube, esto se hace mediante un plugin específico.

Entre estos dos softwares la interoperabilidad es más factible ya que ambos provienen de Autodesk, el intercambio es directo si ambos programas se encuentran instalados en la misma computadora y son de la misma versión.

Es posible modelar tanto el modelo físico como el analítico gracias a la interoperabilidad entre ambos programas, ya que Revit además de generar la parte geométrica, también realiza la modelación analítica. (Autodesk, 2013)

Figura 2. Vínculo bidireccional en Revit y Robot Structural Analysis.



Fuente: Autodesk (2013).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Metodología BIM**

Es el acrónimo de Building Information Modeling, viene a ser un método de trabajo definido dentro de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, realiza una profunda transformación que abarca todos los procesos de diseño, de construcción y de gestión de los activos en el proyecto. (Bentué, 2017)

- **Modelamiento de la información**

Proceso de analizar y definir de manera coordinada, coherente y continua una o más bases de datos compatibles que contienen toda la información referida al proyecto, dicha información puede ser del tipo formal y también se puede referir a los materiales, cualidades físicas y espacios. (Coloma, 2008)

- **Softwares del entorno BIM**

Son los programas con los cuales el usuario procesa la información visualizando la relación entre la estructura física y su simplificación analítica, la cual es necesaria para su análisis y diseño; mediante un modelo que es la base para la creación de documentación final. (Autodesk, 2013)

- **Interoperabilidad**

Vínculo bidireccional entre los programas, ayuda a que el intercambio de información analítica estructural sea de una forma mucho más fluida, pasando de un software de modelamiento geométrico a otro de análisis, para finalmente actualizar el modelo en base a los resultados obtenidos. (Autodesk, 2013)

- **Modelo analítico**

Es una representación 3D simplificada de un modelo físico estructural y lo conforman la geometría, los componentes, las propiedades de los materiales y junto con las cargas estructurales; constituyendo todo este conjunto un sistema de ingeniería. (Autodesk, 2013)

- **Concreto armado**

Material compuesto por grava, arena, cemento y agua generando una combinación muy dura y resistente, siendo un elemento ideal para la construcción de estructuras, al incorporarle el acero formamos el concreto armado, que tiene propiedades tanto de compresión como tracción para resistir las cargas externas. (Cype, 2024)

- **Sistema dual**

Es un sistema estructural en el cual se combinan la resistencia de los pórticos de concreto armado que soportan las cargas de gravedad y un muro estructural de corte encargado de resistir la mayor proporción de las fuerzas cortantes que provienen de la actividad sísmica, las cantidades que se tendrán de cada elemento dependen del módulo de elasticidad, la rigidez y la ductilidad. (Velarde et al., 2022)

- **Detallamiento estructural**

El detallamiento de una estructura es el proceso de incorporar todo el desarrollo mediante el cual el diseñador concibió cada parte o elemento, para que se comporte de forma segura y satisfactoria bajo las cargas impuestas y a la vez eficientemente cuando las solicitaciones lo requieran, este trabajo se debe reflejar en los planos con abundancia de detalles. (Ottazzi, 2014)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

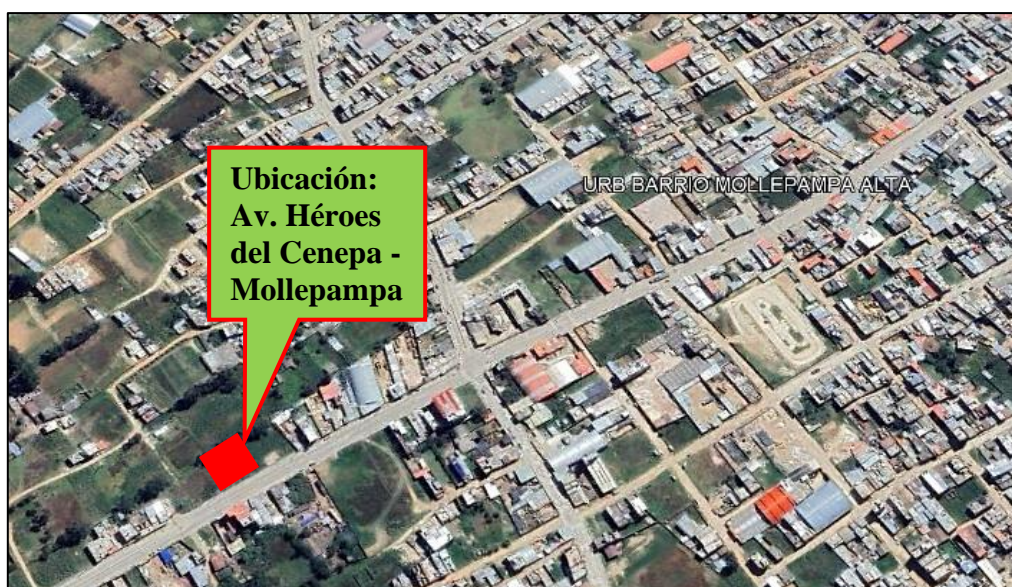
La investigación realizada tiene como ubicación la ciudad de Cajamarca, dentro del distrito, provincia y departamento de Cajamarca – Perú.

Figura 3. Ubicación de Cajamarca respecto al Perú y al departamento.



Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca. (2022).

Figura 4. Ubicación referencial del edificio.



Fuente: Google Earth. (2023).

La ubicación elegida para el edificio dentro de la ciudad de Cajamarca, según el Plan de Desarrollo Urbano (PDU 2016 – 2026), es dentro de la zona R5, esta es una zona residencial de alta densidad y es apta para la construcción de edificios de una magnitud como la propuesta en este estudio, es decir con una altura de 5 pisos. Cabe mencionar que para esta zona la altura máxima de las edificaciones es de 22.50 m, además el edificio se encuentra proyectado en la Av. Héroes del Cenepa, la cual tiene un ancho de vía > 15 m.

Esta ubicación está dentro del barrio de Mollepampa, el cual posee un suelo blando, cuya capacidad portante es de aproximadamente 1 kgf/cm², según los estudios de suelos realizados para el Plan de Desarrollo Urbano de Cajamarca – PDU, tal como consta en su numeral 4: Análisis y caracterización de los aspectos ambientales, sección 4.4: Geología, subsección 4.4.4: Resistencia del suelo, contenido en dicho plan.

Figura 5. Ubicación de acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano.



Fuente: PDU - Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2023).

3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación denominada *“Influencia de la aplicación de la metodología BIM mediante la interoperabilidad entre Revit y Robot Estructural en edificios de concreto armado con sistema dual”*, fue realizada desde el mes de mayo de 2023 hasta el mes de noviembre del 2023, mediante el procedimiento hasta elaborar el informe final.

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DEL EDIFICIO

El edificio proyectado presenta las siguientes características:

Tabla 2. Características del edificio.

ITEM	CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO
PROYECTO	Edificio Multifamiliar
N° DE NIVELES	5 niveles
SISTEMA ESTRUCTURAL	Dual
ÁREA DEL TERRENO	200.00 m ²
ÁREA TECHADA	160.85 m ²
ALTURA 1° PISO	3 m
ALTURA PISOS SUPERIORES	2.7 m
DISTRIBUCIÓN DE CADA DEPARTAMENTO	1 Sala Comedor, 1 Cocina, 3 Dormitorios, 1 Patio de servicio, 2 SS. HH. y 1/2 Baño
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	DINÁMICO (para el diseño final de las estructuras) ESTÁTICO (para hallar la cortante basal mínima que exige la norma E.030)

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Figura 6. Visualización en 3D del edificio de 5 pisos.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

3.3.2. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

3.3.2.1. Dimensiones de las estructuras

3.3.2.1.1. Estructuración

Luego de tener la distribución arquitectónica de todo el edificio se procede a la estructuración, para realizar una adecuada disposición de los elementos estructurales que lo componen. Es recomendable que la estructura sea lo más regular posible, tanto en planta como en altura, para que al realizarle su análisis sísmico se obtengan resultados que estén lo más cercanos a la realidad.

3.3.2.1.2. Predimensionamiento

Son las dimensiones tentativas que se obtienen mediante cálculos para los distintos elementos estructurales que contiene la edificación, consistente en verificaciones y ajustes iterativos. Mediante el predimensionado de los elementos se conoce el comportamiento preliminar de la estructura y de acuerdo a esto se obtienen las dimensiones finales que actúan bajo las cargas requeridas en el diseño.

A. Predimensionamiento de columnas

Las columnas son elementos estructurales que se encuentran sometidas a cargas axiales y momentos flectores, debido a esto se las tiene que pre dimensionar teniendo en cuenta estos dos efectos simultáneamente. Se puede predimensionar suponiendo un área de su sección transversal que depende de la carga de servicio y de su ubicación en la edificación:

$$A_c = \frac{P_{servicio}}{n \cdot f'_c} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{servicio} = P \times Atrib \times N^{\circ} \text{ pisos} \dots\dots\dots (2)$$

Donde: A_c : Sección transversal de la columna.

$P_{servicio}$: Peso de servicio.

n : Constante en función al tipo de columna.

P : Peso de la edificación.

$Atrib$: Área tributaria de la columna.

Tabla 3. Constante “n” en función al tipo de columna.

Constante "n"		
Columna Céntrica	Columna Excéntrica	Columna Esquinada
n = 0.45	n = 0.35	n = 0.35

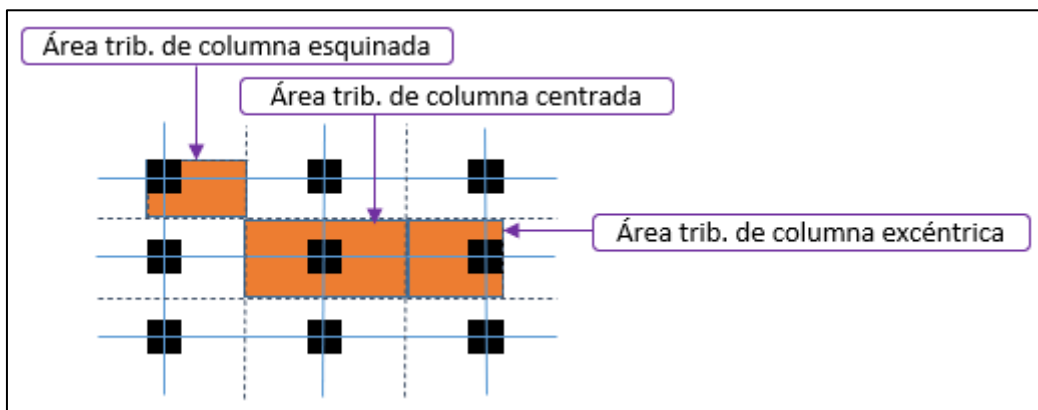
Fuente: Blanco (1998).

Tabla 4. Peso en función de la categoría de la edificación.

Peso de la edificación: P		
Categoría A	Categoría B	Categoría C
1500 kg/m ²	1250 kg/m ²	1000 kg/m ²

Fuente: Norma E.030 – RNE (2018).

Figura 7. Área tributaria según la columna.



Fuente: Elaborado en base a software Excel.

B. Predimensionamiento de vigas

Las vigas se predimensionan teniendo en cuenta la luz libre entre ejes, trabajando con la luz crítica con el fin de uniformizar el peralte, además se tiene en cuenta la zona sísmica y si la viga es principal o secundaria. Mediante las siguientes fórmulas:

Peralte de las vigas principales:

$$h = \frac{L}{10} \text{ a } \frac{L}{12} \dots\dots\dots (3)$$

Peralte de las vigas secundarias:

$$h = \frac{L}{13} \text{ a } \frac{L}{15} \dots\dots\dots (4)$$

Mientras que para la base o ancho de las vigas ya sean principales o secundarias se utiliza la fórmula siguiente:

$$b = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (5)$$

Donde: *h*: Peralte o altura de la viga.

b: Base o ancho de la viga.

L: Luz libre de la viga, entre caras de los apoyos.

C. Predimensionamiento de losa aligerada en una dirección

Respecto a las losas aligeradas para su predimensionamiento se toma en cuenta la luz menor de esta entre ejes, cabe mencionar que la losa aligerada en esta investigación es en una dirección, dadas sus dimensiones y con el fin de uniformizar el peralte en todos los paños. Para el cálculo del espesor se usa la siguiente expresión:

$$h = \frac{Lm}{25} \dots\dots\dots (6)$$

Donde: *h*: Peralte de la losa aligerada.

Lm: Luz menor de la losa, entre ejes.

Asimismo; se proponen peraltes que son recomendados dependiendo de la luz de las losas, según la siguiente tabla:

Tabla 5. Peraltes recomendados para losas aligeradas.

Luz menor de la losa: Lm	Peralte de la losa: h
Menor a 4 m	17 cm
Entre 4 m a 5.5 m	20 cm
Entre 5 m a 6.5 m	25 cm
Entre 6 m a 7.5 m	30 cm

Fuente: Blanco (1998).

D. Predimensionamiento de placas

Para el caso de las placas o muros de concreto armado se hace un poco complicado fijar un predimensionamiento ya que su principal función es absorber las fuerzas cortantes provenientes del sismo y mientras más abundantes sean más porcentaje tomarán del cortante sísmico lateral, reduciendo la cantidad absorbida por los pórticos, en el sistema dual.

Pero si solamente se considerarían pórticos se generarían deformaciones laterales muy importantes, lo cual no es conveniente en las edificaciones, debido a esto es importante combinar los pórticos con las placas, siempre que estén de acuerdo a las posibilidades arquitectónicas, para así poder obtener un balance adecuado en cuanto a los porcentajes de absorción de la cortante por cada estructura, controlando de esta manera la flexibilidad de la edificación.

Según Blanco, el espesor mínimo de las placas es de 10 cm, aunque generalmente se considera 15 cm para el caso de las edificaciones de pocos pisos, pero conforme la altura del edificio se incrementa o se disminuye la densidad de muros estos incrementan su espesor a 20, 25 o 30 cm.

Las placas se predimensionan en ambos sentidos X e Y por separado, ya que se requiere que en ambos sentidos absorban la fuerza cortante sísmica, por otro lado, teniendo en cuenta la zona sísmica donde se encuentra la investigación se recomiendan las siguientes dimensiones de predimensionado:

Tabla 6. Densidad y espesor de placas recomendados.

Longitud mínima en las direcciones X e Y	Espesor mínimo, en zonas de alta sismicidad
1.20 m	20 cm

Fuente: Villarreal (2021).

3.3.2.2. Resistencia de las estructuras

Las características de los elementos estructurales respecto a la resistencia de sus materiales son los referentes al concreto y al acero de refuerzo, estos se han establecido de acuerdo a la normatividad para que puedan cumplir con los requerimientos al aplicarles las cargas durante el análisis sísmico.

Las principales características de resistencia y demás propiedades físicas de los materiales para la edificación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Características de los materiales de las estructuras.

	COLUMNAS	PLACAS	VIGAS	LOSAS	ZAPATAS
Resistencia a la compresión del concreto ($f'c$)	210 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto (E_c)	218819.79 kfg/cm ²	218819.79 kfg/cm ²	218819.79 kfg/cm ²	218819.79 kfg/cm ²	218819.79 kfg/cm ²
Peso unitario del concreto (PU)	2400 kgf/m ³	2400 kgf/m ³	2400 kgf/m ³	2400 kgf/m ³	2400 kgf/m ³
Módulo de Poisson del concreto (ν)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Esfuerzo de fluencia del acero (f_y)	4200 kgf/cm ²	4200 kgf/cm ²	4200 kgf/cm ²	4200 kgf/cm ²	4200 kgf/cm ²
Módulo de elasticidad del acero (E_s)	2100000 kgf/cm ²	2100000 kgf/cm ²	2100000 kgf/cm ²	2100000 kgf/cm ²	2100000 kgf/cm ²
Recubrimiento de elementos estructurales	0.04 m	0.02 m	0.04 m	0.02 m	0.07 m

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

3.3.2.3. Características para el metrado de cargas

Este metrado se realiza en conformidad con las propiedades de los materiales y las cargas establecidas en la Norma E.020 del RNE, las que son asignadas a los elementos estructurales según corresponde.

Asimismo, en la estimación del peso de cada piso de la edificación se considera lo estipulado en la Norma E.030 del RNE, donde se indica que por ser una edificación común (categoría C), se toma el Peso Propio, el 100% de la Carga Muerta, el 25% de la Carga Viva de entrepiso y de techo.

La Carga Muerta y la Sobrecarga o Carga Viva de entrepiso y de techo para ser asignadas en el modelo estructural son determinadas por la Norma E.020 y se muestran a continuación:

Tabla 8. Cargas para asignar a las estructuras.

Cargas asignadas		
Cargas Muertas	Acabados	100 kgf/m ²
	Tabiquería	150 kgf/m ²
Cargas Vivas	Entrepiso	200 kgf/m ²
	Techo	100 kgf/m ²

Fuente: Norma E.020 – RNE (2006).

3.3.3. ANÁLISIS SÍSMICO DEL EDIFICIO

El análisis sísmico de una edificación es la parte del análisis estructural que se encarga de determinar la respuesta a las solicitaciones cuando esta es sometida a las cargas sísmicas.

Tal como se describe en la Norma E.030, artículo 29, sección 29.4. se debe encontrar la cortante mínima (comparación porcentual entre la cortante basal estática y dinámica, con subsiguiente escalamiento de ser necesario), para ello se realiza primero el análisis sísmico estático y posteriormente el dinámico modal espectral, considerando el criterio de combinación cuadrática completa (CQC). Los parámetros sísmicos para estos procesos de análisis son establecidos de acuerdo a dicha normativa.

3.3.3.1. Análisis sísmico estático

Según la Norma E.030 del RNE, este análisis es aplicable a las estructuras de la zona 1 y para las que se clasifican como regulares (artículo 19) de no más de 30 m de altura. En este caso nos encontramos en la zona sísmica 3 lo cual hace necesario aplicar un análisis dinámico, pero al mismo tiempo necesitamos encontrar una

cortante basal mínima de diseño y esta la obtenemos comparando ambos métodos, es decir, la cortante dinámica no puede menor que el 80% de la estática en estructuras regulares y tampoco puede ser menor al 90% en estructuras irregulares. Asimismo, con los resultados del análisis dinámico se realiza el diseño final del acero de refuerzo, utilizando las combinaciones de carga según la Norma E.060, este análisis debe hacerse con un espectro de pseudoaceleraciones que fue escalado (de ser el caso) para cumplir con la cortante basal mínima.

3.3.3.1.1. Fuerza cortante basal estática

La cortante en la base del edificio se calcula mediante el método que proporciona la Norma E.030, para que posteriormente se reparta en cada piso. El cálculo de esta fuerza se realiza para cada dirección mediante la siguiente fórmula:

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

Donde: *V*: Fuerza cortante basal estática.

Z: Factor de zona.

U: Factor de uso de la edificación.

C: Factor de amplificación sísmica.

S: Factor de amplificación del suelo.

R: Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica.

P: Peso de la edificación.

Se debe tener en cuenta que se cumpla: $\frac{C}{R} \geq 0.11$

3.3.3.1.2. Selección de los parámetros para el análisis sísmico

A. Factor de Zona (Z)

Para establecer el factor de zona nos guiamos de la zonificación determinada en la norma, la cual se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, la atenuación con la distancia epicentral, la información geotectónica y las características de los movimientos sísmicos.

Según la Norma E.030 – 2018 del RNE nuestro territorio nacional se divide en 4 zonas y específicamente el distrito de Cajamarca está comprendido en la zona 3, correspondiendo un factor de zona **Z=0.35**.

Figura 8. Zonificación sísmica.



Fuente: Norma E.030 – RNE (2018).

B. Factor de uso (U)

La Norma E.030 – 2018 del Reglamento Nacional de Edificaciones en su capítulo III, artículo 15, tabla N°5 clasifica cada estructura según su categoría.

En esta investigación la edificación está destinada para vivienda, por lo tanto, se encuentra comprendida dentro de las edificaciones comunes, perteneciendo a la Categoría C. Debido a esto, el factor de uso que se le otorga es: **U=1.0**.

C. Factor de amplificación sísmica (C)

Este coeficiente es interpretado como el factor que amplifica la aceleración estructural respecto de la aceleración del suelo y se define de acuerdo a las características de sitio, dependiendo del periodo T que varía dentro de T_P (periodo corto del suelo) y T_L (periodo largo del suelo), la Norma peruana

sismorresistente E.030 – 2018 del RNE establece los siguientes intervalos para los valores de C:

$$T < T_P \rightarrow C = 2.5 \dots\dots\dots (8)$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P * T_L}{T^2} \right) \dots\dots\dots (10)$$

D. Factor de amplificación del suelo (S)

El factor de amplificación del suelo “S” es uno de los parámetros de sitio, junto con el periodo que indica el fin de plataforma del espectro de aceleraciones “TP” y periodo que limita el comportamiento elástico de la estructura “TL”. Para hallar estos parámetros se utiliza las siguientes tablas:

Tabla 9. Factor de amplificación del suelo “S”.

Factor de amplificación del suelo				
ZONA \ SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E.030 – RNE (2018).

Tabla 10. Periodos “TP” y “TL”.

Periodos TP y TL				
	Perfil del suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
TL (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma E.030 – RNE (2018).

La ubicación elegida del edificio es el barrio Mollepampa, este posee un suelo blando, cuya capacidad portante es de aproximadamente 1 kgf/cm^2 , según los estudios de suelos realizados para el Plan de Desarrollo Urbano de Cajamarca (PDU 2016 – 2026), tal como consta en su numeral 4: Análisis y caracterización de los aspectos ambientales, sección 4.4: Geología, subsección 4.4.4: Resistencia del suelo, contenido en dicho plan, por lo tanto se tiene un perfil de suelo tipo S3, de acuerdo a la tabla 9 y al estar ubicado en la zona 3, el factor de amplificación del suelo es de **S=1.20**.

Del mismo modo, al tener un perfil suelo tipo S3 y mediante la tabla 3.9 obtenemos los periodos T_P y T_L , los cuales son: **$T_P=1.0$** y **$T_L=1.6$** .

E. Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica (R)

La tabla N°7, del artículo 18, capítulo III de la Norma E.030 – 2018 del RNE muestra el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica, el cual depende de los materiales utilizados y de los distintos sistemas estructurales sismorresistentes para cada dirección de análisis.

En el presente estudio, el edificio tiene planteado un sistema estructural que cuenta con pórticos de concreto armado y placas (muros de concreto armado), es decir, un sistema dual, para ambas direcciones X e Y. La estructura además es regular tanto en planta como en elevación, por lo tanto, se le considera un factor de irregularidad de 1.0.

De acuerdo a la tabla antes mencionada de la Norma, el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica en la dirección X es **$R_x=7$** y en la dirección Y es **$R_y=7$** .

3.3.3.1.3. Estimación del peso de la edificación (P)

El peso de la edificación se calcula adicionando a las cargas muertas totales un porcentaje de la carga viva. Este porcentaje se determina de acuerdo a la categoría de la edificación que establece la Norma E.030, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Porcentajes de carga viva según la categoría.

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

Fuente: Norma E.030 – RNE (2018).

3.3.3.1.4. Distribución en altura de la fuerza sísmica

La fuerza sísmica aplicada en forma horizontal y distribuida verticalmente en cada piso que corresponde a cada dirección de estudio respectivamente es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$F_i = \alpha_i \cdot V \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k} \quad \dots\dots\dots (12)$$

Donde: *F_i*: Fuerza sísmica en altura.

α_i: Coeficiente de la fuerza sísmica.

V: Fuerza cortante basal estática.

P_i: Peso de cada nivel del edificio.

h_i: Altura de cada nivel del edificio.

k: Exponente dependiente del periodo fundamental.

n: Número de niveles del edificio.

P_j: Peso acumulado.

h_j: Altura acumulada.

- Para $T \leq 0.5$ s: $k = 1.0$
- Para $T > 0.5$ s: $k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$

3.3.3.1.5. Periodo fundamental de vibración de la estructura

Es el tiempo estimado que tarda la estructura en realizar una oscilación, este es el de mayor duración por lo que genera mayores desplazamientos laterales en la edificación. El periodo fundamental de vibración se calcula con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \dots\dots\dots (13)$$

Donde: *T*: Periodo fundamental de vibración.

h_n: Altura total del edificio.

C_T: Coeficiente dependiente del tipo de estructura.

La Norma E.030 – 2018 establece valores para el coeficiente C_T, los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 12. Valores de C_T según el sistema estructural.

Coeficiente C _T	
Valor	Tipo de sistema estructural
35	Para edificios con estructuras que sean únicamente: a. Pórticos de concreto armado sin muros. b. Pórticos dúctiles de acero, sin arriostramiento.
45	Para edificios con estructuras que sean únicamente: a. Pórticos de concreto armado con muros en ascensores. b. Pórticos de acero arriostrados.
60	Para edificios de albañilería y edificios de concreto armado duales, de muros estructurales y de ductilidad limitada.

Fuente: Norma E.030 – RNE (2018).

3.3.3.2. Análisis sísmico dinámico

El análisis aplicado para este caso es el dinámico modal espectral y se caracteriza por ser una técnica de la dinámica de estructuras en la que se estiman las propiedades como los modos naturales de vibración y las frecuencias. Para generar la fuerza sísmica en este análisis se utiliza el espectro de pseudoaceleraciones, cuyos parámetros sísmicos deben estar de acuerdo a la normatividad sismorresistente establecida y actualizada.

3.3.3.2.1. El espectro de pseudoaceleraciones

Dada la zona de ubicación (zona 3) se aplica el análisis dinámico, con el fin de realizar el diseño de los elementos estructurales, pero como se mencionó en el ítem 3.3.3.1. primeramente se debe contar con una cortante basal mínima de diseño proveniente de la comparación entre la cortante basal estática y dinámica, ahora bien, es en el análisis dinámico donde se utiliza el espectro, este genera la fuerza sísmica, para lo cual se requieren los parámetros determinados en la Norma E.030 – 2018:

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

Donde: S_a : *Aceleración espectral.*

Z : *Factor de zona.*

U : *Factor de uso de la edificación.*

C : *Factor de amplificación sísmica.*

S : *Factor de amplificación del suelo.*

R : *Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica.*

g : *Aceleración de la gravedad.*

3.3.3.2.2. Modos de vibración

Los modos de vibración del edificio dependen de su rigidez, así como de su distribución de masas. Cada forma de vibrar se asocia a un modo y este a un periodo de vibración propio. De acuerdo a la norma de diseño sismorresistente E.030 los modos de vibrar de las edificaciones se calculan utilizando un modelo adecuado que represente la distribución de rigideces y masas antedichas. Es necesario utilizar como mínimo los tres primeros modos de vibración predominantes en cada dirección de análisis, con el fin de lograr que la suma de las masas efectivas llegue por lo menos al 90% de la masa total de la edificación, asimismo, se recomienda usar tres grados de libertad por piso, es decir, uno por cada grado de libertad, usando diafragmas rígidos que tienen tres grados de libertad por piso (2 traslaciones y una rotación).

3.3.3.2.3. Fuerza cortante mínima de diseño

La fuerza cortante se determina para cada dirección de análisis, generalmente dicha fuerza en la base del edificio obtenida mediante el análisis dinámico es menor que la obtenida con el método estático, es por eso que la Norma E.030 del RNE

establece que la cortante basal dinámica no puede ser menor que el 80% de la cortante basal estática en estructuras regulares, mientras que este porcentaje no podrá ser menor que el 90% en estructuras irregulares. En el caso de que no se logre llegar a estos porcentajes se procede a escalar el espectro de pseudoaceleraciones.

3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.4.1.1. Población

La presente investigación se enfoca hacia los edificios de concreto armado con sistema estructural sismorresistente del tipo dual en ambas direcciones, ubicados en la región de Cajamarca.

3.4.1.2. Muestra

La técnica de muestreo que se utiliza es no probabilística, debido a esto se considera como muestra un edificio de concreto armado de 5 niveles, con sistema estructural dual en ambas direcciones, destinado para viviendas, ubicado en el barrio de Mollepampa, ciudad de Cajamarca.

3.4.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

- En este estudio de acuerdo a su propósito se ha establecido una investigación que es del tipo Aplicada.
- Posee un nivel Descriptivo y posteriormente explicativo, además de documental, con un alcance cuantitativo.
- El método y diseño de la investigación es No Experimental, debido a que las variables no se manipulan.
- Teniendo en cuenta el periodo de su realización, es Transversal.

3.4.3. TIPO DE ANÁLISIS

En esta investigación se realiza un análisis con alcances descriptivos, explicativos y cuantitativos; por lo tanto, la información que se recolecta es respecto a las bases teóricas, estudios anteriores, normas actualizadas del ámbito nacional e internacional

en cuanto a edificaciones y BIM, entre otros. Luego se analiza y se realiza una síntesis conceptual, para que posteriormente se aplique lo que se recabó de una forma adecuada, siempre teniendo en consideración la hipótesis que se ha planteado, posteriormente se efectúa un análisis final de los resultados que se obtuvieron para poder contrastar la hipótesis antedicha.

3.4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas empleadas fueron las siguientes:

- Análisis documental: por ser una investigación cuyo método de investigación se centra en la recopilación de datos extraídos de fuentes documentales como libros, normas, textos ya sean en físico o electrónicos.
- Modelamiento: se realizó el modelamiento geométrico inicialmente en el software Revit el cual da la posibilidad de extraer el modelo analítico para que mediante la interoperabilidad se analice en el software Robot.

Los instrumentos fueron los siguientes:

- Software Revit.
- Software Robot Structural Analysis.

Asimismo, se empleó la observación directa ya que gracias a los modelos tridimensionales de la metodología BIM es posible detectar las transposiciones de los elementos estructurales, lo cual si no se corrige conlleva a errores.

3.4.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento se ha realizado de forma computarizada mediante el uso y la interoperabilidad de los programas Revit y Robot Structural, cumpliendo el requisito de que ambos son de la misma versión para permitir dicha interoperabilidad. El modelamiento arquitectónico del edificio fue hecho en el programa Revit, posteriormente este se vinculó con la parte de Revit estructural con el propósito de modelar los elementos estructurales y poder generar el modelo analítico, luego se pasó el modelo a Robot Structural Analysis en donde se incorporaron las cargas y se efectuó el análisis sísmico del edificio. Luego se procedió al diseño de los elementos estructurales y para su detallamiento se regresó nuevamente a Revit con el fin de lograr planos de calidad. Adicionalmente se utilizó Word, Excel, entre otros.

3.4.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

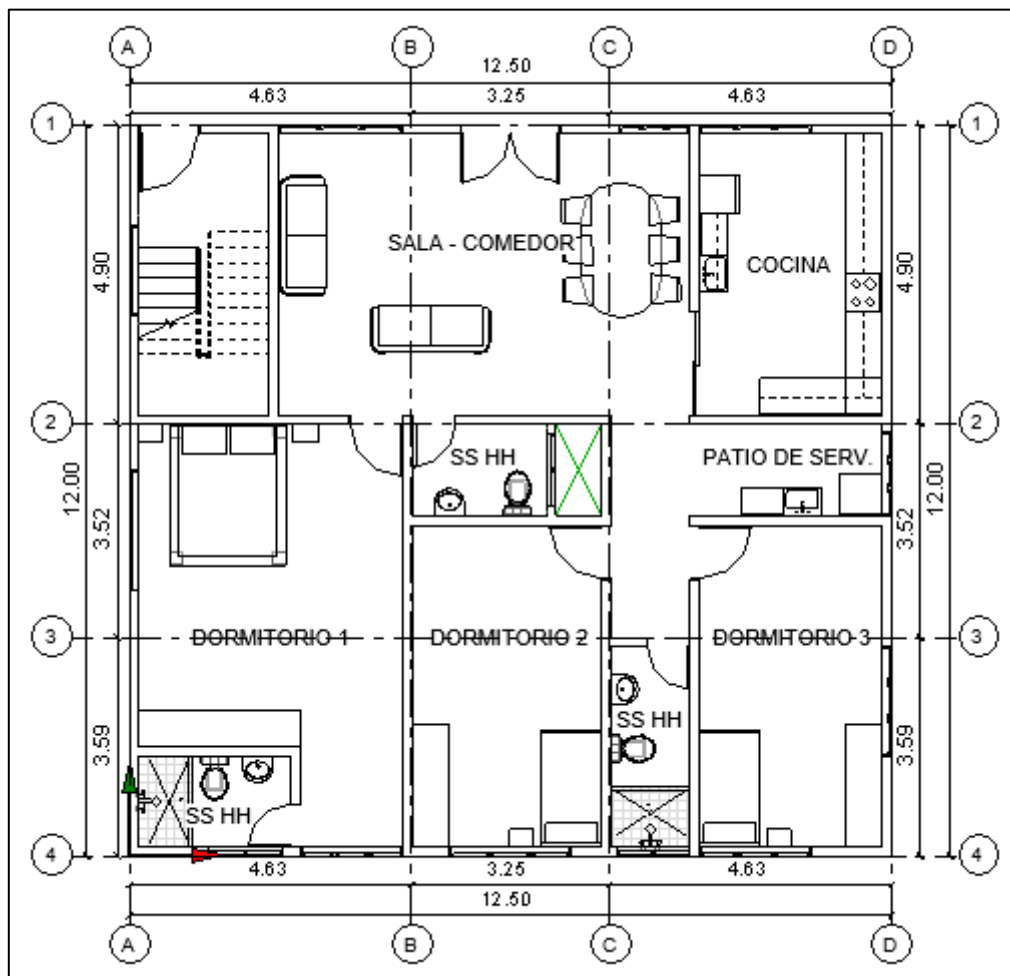
3.4.6.1. Evaluación estructural, interoperabilidad, análisis sísmico y diseño

3.4.6.1.1. Cálculos manuales preliminares

Inicialmente se hizo la estructuración, predimensionamiento y el metrado de cargas para conocer el peso de la edificación con el cual se halló manualmente la cortante basal estática, todo esto con el fin de compararlo con los cálculos hechos mediante el programa Robot Structural, para corroborar dichas estimaciones.

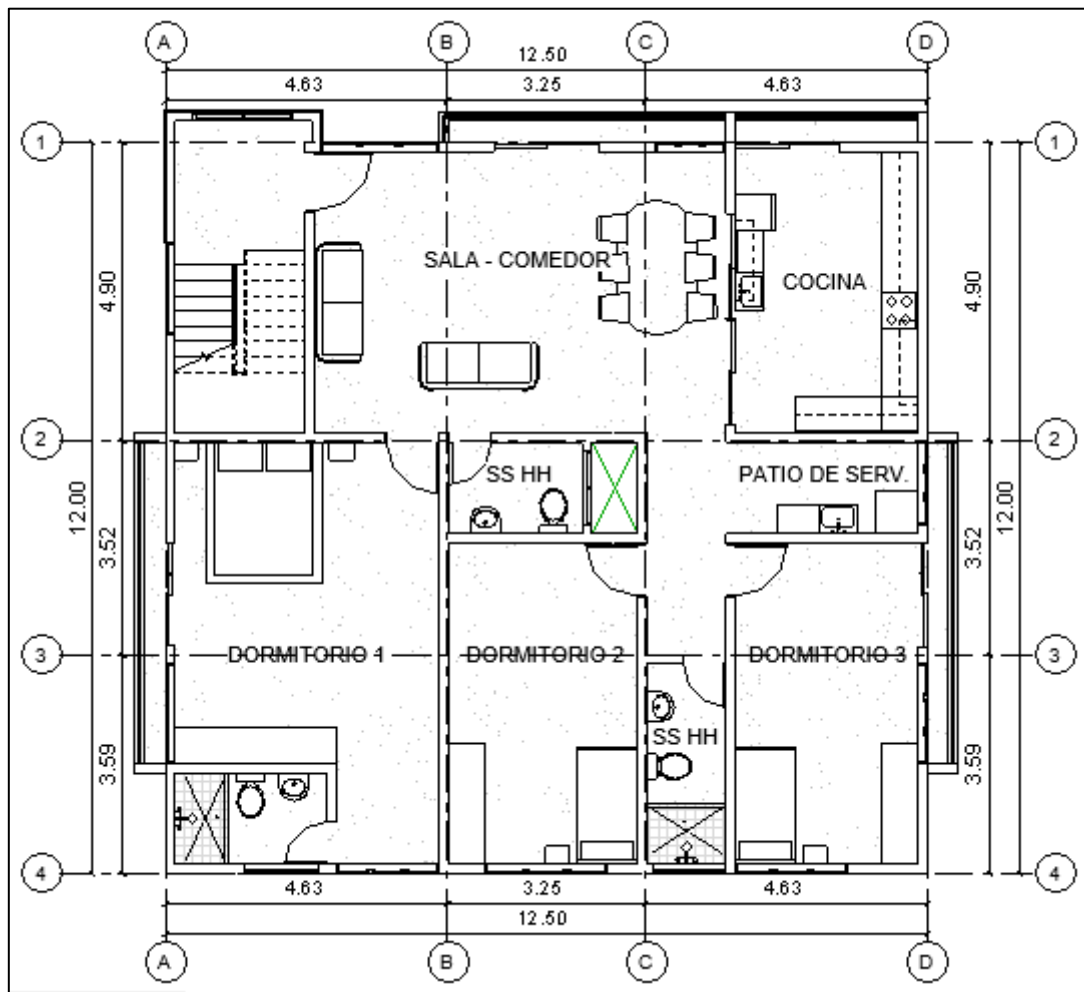
Los planos de distribución a partir de los cuales se hizo la estructuración, predimensionamiento y metrado de cargas se muestran a continuación:

Figura 9. Distribución arquitectónica del primer piso.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

Figura 10. Distribución arquitectónica típica de pisos superiores.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

A. Estructuración del sistema de la edificación

Se realizó en base a la distribución arquitectónica del primer piso y los pisos superiores típicos, el sistema estructural planteado es dual, es decir cuenta con pórticos de concreto armado y placas (muros de corte), distribuidos de tal forma que no ocasione modificaciones a la arquitectura proyectada, posteriormente mediante el análisis estructural se determinaron las dimensiones finales con los cuales se diseñó cada elemento de la edificación.

B. Cálculo del predimensionamiento

El predimensionamiento de los elementos estructurales del edificio fue realizado en base a las fórmulas establecidas en el ítem 3.3.2.1.2. de la presente investigación.

B.1. Predimensionamiento de columnas

De acuerdo a las áreas tributarias que se establecieron en la estructuración del modelo geométrico realizado en Revit, utilizando las fórmulas (1) y (2) del ítem antedicho y teniendo presente que la edificación pertenece a la categoría C, se obtuvieron las dimensiones preliminares de las columnas.

Tabla 13. Cálculo del peso de servicio.

Peso de servicio para cada columna				
Ejes	P	Atrib	N° Pisos	Pservicio
Eje B-1	1000 kg/m ²	9.27 m ²	5	46350 kg
Eje C-1	1000 kg/m ²	10.08 m ²	5	50400 kg
Eje A-2	1000 kg/m ²	9.11 m ²	5	45550 kg
Eje D-2	1000 kg/m ²	9.11 m ²	5	45550 kg
Eje A-3	1000 kg/m ²	8.02 m ²	5	40100 kg
Eje D-3	1000 kg/m ²	8.02 m ²	5	40100 kg
Eje B-4	1000 kg/m ²	6.18 m ²	5	30900 kg
Eje C-4	1000 kg/m ²	6.18 m ²	5	30900 kg
Eje B-2	1000 kg/m ²	16.16 m ²	5	80800 kg
Eje C-2	1000 kg/m ²	16.16 m ²	5	80800 kg
Eje B-3	1000 kg/m ²	13.62 m ²	5	68100 kg
Eje C-3	1000 kg/m ²	13.62 m ²	5	68100 kg

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 14. Cálculo del área de la sección transversal de las columnas.

Área de sección transversal de las columnas					
Ejes	Tipo	Pservicio	n	f'c	Ac
Eje B-1	Excéntrica	46350 kg	0.35	210 kg/cm ²	630.61 cm ²
Eje C-1	Excéntrica	50400 kg	0.35	210 kg/cm ²	685.71 cm ²
Eje A-2	Excéntrica	45550 kg	0.35	210 kg/cm ²	619.73 cm ²
Eje D-2	Excéntrica	45550 kg	0.35	210 kg/cm ²	619.73 cm ²
Eje A-3	Excéntrica	40100 kg	0.35	210 kg/cm ²	545.58 cm ²
Eje D-3	Excéntrica	40100 kg	0.35	210 kg/cm ²	545.58 cm ²
Eje B-4	Excéntrica	30900 kg	0.35	210 kg/cm ²	420.41 cm ²
Eje C-4	Excéntrica	30900 kg	0.35	210 kg/cm ²	420.41 cm ²
Eje B-2	Céntrica	80800 kg	0.45	210 kg/cm ²	855.03 cm ²
Eje C-2	Céntrica	80800 kg	0.45	210 kg/cm ²	855.03 cm ²
Eje B-3	Céntrica	68100 kg	0.45	210 kg/cm ²	720.63 cm ²
Eje C-3	Céntrica	68100 kg	0.45	210 kg/cm ²	720.63 cm ²

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Luego de calcular el peso de servicio y el área transversal de cada columna se tienen las siguientes secciones:

Tabla 15. Medidas del predimensionamiento de columnas.

Dimensiones de las secciones de las columnas				
Columna	Ejes	Tipo	Ac	Sección
C1	Eje B-1	Excéntrica	630.61 cm ²	30 cm x 25 cm
C1	Eje C-1	Excéntrica	685.71 cm ²	30 cm x 25 cm
C2	Eje A-2	Excéntrica	619.73 cm ²	25 cm x 25 cm
C2	Eje D-2	Excéntrica	619.73 cm ²	25 cm x 25 cm
C2	Eje A-3	Excéntrica	545.58 cm ²	25 cm x 25 cm
C2	Eje D-3	Excéntrica	545.58 cm ²	25 cm x 25 cm
C2	Eje B-4	Excéntrica	420.41 cm ²	25 cm x 25 cm
C2	Eje C-4	Excéntrica	420.41 cm ²	25 cm x 25 cm
C3	Eje B-2	Céntrica	855.03 cm ²	30 cm x 30 cm
C3	Eje C-2	Céntrica	855.03 cm ²	30 cm x 30 cm
C3	Eje B-3	Céntrica	720.63 cm ²	30 cm x 30 cm
C3	Eje C-3	Céntrica	720.63 cm ²	30 cm x 30 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

B.2. Predimensionamiento de vigas

En el predimensionamiento de las vigas principales y secundarias se ha considerado su luz libre L entre caras de los apoyos, mediante las fórmulas (3), (4) y (5) se encuentran los peraltes y la base, considerando un ancho mínimo de 25 cm, según la norma. Cabe mencionar que en este predimensionamiento se trabajó con la luz crítica para uniformizar peraltes, asimismo, se tuvieron en cuenta las consideraciones de la zona sísmica, en nuestro caso la sismicidad es alta.

Tabla 16. Cálculo del peralte y base de las vigas principales.

Peralte y base de vigas principales					
Ejes	L crítica	L/10	Peralte (h)	h/2	Base (b)
Eje B-B	4.50 m	45.00 cm	45 cm	22.50 cm	25 cm
Eje C-C	4.50 m	45.00 cm	45 cm	22.50 cm	25 cm
Eje D-D	4.50 m	45.00 cm	45 cm	22.50 cm	25 cm
Eje 2-2	4.50 m	45.00 cm	45 cm	22.50 cm	25 cm
Eje 3-3	4.50 m	45.00 cm	45 cm	22.50 cm	25 cm
Eje 4-4	4.50 m	45.00 cm	45 cm	22.50 cm	25 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 17. Cálculo del peralte y base de las vigas secundarias.

Peralte y base de vigas secundarias					
Ejes	L crítica	L/13	Peralte (h)	h/2	Base (b)
Eje A-A	4.50 m	34.62 cm	35 cm	17.50 cm	25 cm
Eje 1-1	4.50 m	34.62 cm	35 cm	17.50 cm	25 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Las dimensiones anteriores se calcularon además según la dirección del armado de las losas aligeradas. Cabe resaltar que adicionalmente se colocaron vigas de borde al costado de la escalera y del vacío para iluminación del baño, considerándoles un peralte de 35 cm con el propósito de no perder rigidez en sus respectivas direcciones.

Tabla 18. Medidas del predimensionamiento de vigas.

Dimensiones de las secciones de las vigas			
Viga	Ejes	Condición	Sección
VP1	Eje B-B	Principal	25 cm x 45 cm
VP1	Eje C-C	Principal	25 cm x 45 cm
VP1	Eje D-D	Principal	25 cm x 45 cm
VP1	Eje 2-2	Principal	25 cm x 45 cm
VP1	Eje 3-3	Principal	25 cm x 45 cm
VP1	Eje 4-4	Principal	25 cm x 45 cm
VS1	Eje A-A	Secundaria	25 cm x 35 cm
VS1	Eje 1-1	Secundaria	25 cm x 35 cm
VP2	-	De borde	25 cm x 35 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

B.3. Predimensionamiento de losa aligerada en una dirección

Según los criterios establecidos en el ítem 3.3.2.1.2. y de acuerdo a la fórmula (6) se realizó el predimensionado de la losa aligerada en una dirección, para cada paño, considerando la luz libre entre ejes de los apoyos. Debido a las dimensiones de las menores luces libres se han fijado las respectivas direcciones de armado de las losas, los paños entre los ejes 1 y 2 se armaron en sentido de X (horizontal), mientras que los paños restantes comprendidos entre los ejes 2 y 4 fueron armados en sentido de Y (vertical). Se debe tener en cuenta que el peralte mínimo de las losas aligeradas es 17 cm (tabla 19).

Tabla 19. Cálculo del peralte de las losas aligeradas.

Peralte para cada paño de losas aligeradas			
Paños entre ejes	L menor	Lm/25	Peralte (h)
Entre 1-2 y A-B	2.20 m	8.80 cm	17 cm
Entre 1-2 y B-C	3.25 m	13.00 cm	17 cm
Entre 1-2 y C-D	4.50 m	18.00 cm	20 cm
Entre 2-3 y A-B	3.52 m	14.08 cm	17 cm
Entre 2-3 y B-C	3.25 m	13.00 cm	17 cm
Entre 2-3 y C-D	3.52 m	14.08 cm	17 cm
Entre 3-4 y A-B	3.46 m	13.84 cm	17 cm
Entre 3-4 y B-C	3.25 m	13.00 cm	17 cm
Entre 3-4 y C-D	3.46 m	13.84 cm	17 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Cabe mencionar que es el predimensionado de una losa aligerada en una dirección, por lo tanto, como se mencionó anteriormente cuando se calculan diferentes peraltes de los paños se los tiene que uniformizar, de acuerdo al mayor calculado, teniendo lo siguiente:

Tabla 20. Medidas del predimensionamiento de losa aligerada.

Dimensión del peralte de losa aligerada	
Paños entre ejes	Peralte de losa aligerada
Todos los paños	20 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

B.4. Predimensionamiento de placas

Dadas las consideraciones mencionadas por el ingeniero Blanco (1998), se han predimensionado las placas con un espesor de 15 cm, al mismo tiempo se han considerado tres tipos de placas, por su forma geométrica en planta y tratando de no alterar el diseño arquitectónico.

Resaltando, además, que estas son medidas preliminares las cuales están sujetas a cambios de acuerdo a lo requerido por las solicitudes sísmicas al realizar el análisis.

Tabla 21. Medidas del predimensionamiento de placas.

Dimensiones de las placas				
Placa	Longitud en X	Longitud en Y	Cantidad	Espesor
PL1	0.00 m	1.65 m	1	15 cm
PL2	0.65 m	0.00 m	2	15 cm
PL3	1.30 m	1.65 m	3	15 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

C. Cálculo del metrado de cargas

Antes del metrado de cargas, con las medidas del predimensionamiento se realizó un análisis preliminar de la estructura en el programa Robot Structural, esto con el fin de tener un diseño óptimo que cumpla con los requerimientos de la Norma E.030 del RNE.

Este análisis preliminar de la estructura arrojó que las medidas de las columnas y placas eran insuficientes, por lo cual se incrementaron las secciones de las columnas y se modificaron la cantidad y longitudes de las placas, teniendo las dimensiones y cantidades finales como se muestran:

Tabla 22. Dimensiones finales de las columnas.

Dimensiones finales de las columnas			
Columna	Tipo	Cantidad	Sección
C1	Excéntrica	4	35 cm x 30 cm
C2	Excéntrica	4	30 cm x 35 cm
C3	Céntrica	4	40 cm x 40 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 23. Dimensiones finales de las placas.

Dimensiones finales de placas				
Placa	Longitud X	Longitud Y	Cantidad	Espesor
PL1	0.00 m	1.60 m	1	15 cm
PL2	1.90 m	1.60 m	3	15 cm

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Teniendo finalmente el diseño estructural adecuado se procedió al metrado, según la Norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, como se muestra en la tabla 8 del ítem 3.3.2.3. de la presente investigación.

C.1. Cálculo del volumen y/o área de cada elemento estructural

- **Volumen de las columnas**

Inicialmente se calcula el volumen de cada columna de la edificación, de acuerdo a las dimensiones establecidas en el predimensionamiento anterior.

Tabla 24. Volumen de las columnas, según cada tipo.

Volumen de cada tipo de columnas				
Columna	Sección	Área de sección	Altura	Volumen
C1	35 cm x 30 cm	0.1050 m ²	16.80 m	1.76 m ³
C2	30 cm x 35 cm	0.1050 m ²	16.80 m	1.76 m ³
C3	40 cm x 40 cm	0.1600 m ²	15.80 m	2.53 m ³

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

La longitud de las columnas se consideró desde el límite superior de la zapata hasta el límite superior del muro perimétrico de la azotea (para las columnas C1 y C2), mientras que para las columnas tipo C3 ya no se consideró esta última altura de muro ya que se encuentran en la parte interior.

- **Volumen de las vigas**

De igual forma, teniendo en cuenta las dimensiones preliminares de las vigas se calcula el volumen de cada una.

Tabla 25. Volumen de las vigas, según cada tipo y eje.

Volumen de cada tipo de vigas					
Viga	Ejes	Sección	Área de sección	Longitud	Volumen
VP1	Ejes B, C y D	25 cm x 45 cm	0.1125 m ²	12.50 m	1.41 m ³
VP1	Ejes 2 y 3	25 cm x 45 cm	0.1125 m ²	13.50 m	1.52 m ³
VP1	Eje 4	25 cm x 45 cm	0.1125 m ²	12.50 m	1.41 m ³
VS1	Eje A	25 cm x 35 cm	0.0875 m ²	12.50 m	1.09 m ³
VS1	Eje 1	25 cm x 35 cm	0.0875 m ²	12.50 m	1.09 m ³
VP2	Entre A y B	25 cm x 35 cm	0.0875 m ²	5.52 m	0.48 m ³
VP2	Entre 2 y 3	25 cm x 35 cm	0.0875 m ²	3.50 m	0.31 m ³

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

- **Área de la losa aligerada**

En el caso de la losa aligerada se calculó el área de cada paño y el área total, ya que la Norma E.020 del RNE nos brinda un valor de 300 kgf/m² para losas aligeradas de 20 cm de espesor, con el cual se realiza el metrado de cargas.

Tabla 26. Área correspondiente a la losa aligerada.

Área de losa aligerada		
Paños entre ejes	Área	Área total
Entre 1-2 y A-B	9.83 m ²	120.53 m ²
Entre 1-2 y B-C	15.05 m ²	
Entre 1-2 y C-D	21.33 m ²	
Entre 2-3 y A-B	15.51 m ²	
Entre 2-3 y B-C	8.00 m ²	
Entre 2-3 y C-D	13.88 m ²	
Entre 3-4 y A-B	13.65 m ²	
Entre 3-4 y B-C	9.63 m ²	
Entre 3-4 y C-D	13.65 m ²	

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Se ha considerado ladrillo hueco para techo de 30 x 30 x 15 cm, con un ancho de vigueta de 10 cm, teniendo así 8.33 ladrillos por m² de losa aligerada en una dirección.

- **Volumen de las placas**

Para las placas se encuentra el volumen, al igual que los casos de columnas y vigas hallados anteriormente, con lo cual se va a determinar el peso de cada elemento estructural utilizando el peso unitario del concreto armado que es 2400 kgf/m³.

Tabla 27. Volumen de cada tipo de placas.

Volumen de cada tipo de placas						
Placa	Long. en X	Long. en Y	Long. total	Espesor	Altura	Volumen
PL1	0.00 m	1.60 m	1.60 m	0.15 m	16.80 m	4.03 m ³
PL2	1.90 m	1.60 m	3.50 m	0.15 m	16.80 m	8.82 m ³

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

C.2. Peso de transferencia de cada elemento estructural

El peso que transmite cada elemento de la edificación es calculado en base a las propiedades de los materiales, establecidas en la Norma E.020, la cual también asigna valores para las sobrecargas.

- **Carga muerta**

La carga muerta está representada por el peso propio de cada elemento, los acabados y la tabiquería; los dos últimos son asignados a la respectiva estructura para el análisis.

Peso Propio de cada elemento:

Se realiza en base al peso unitario del concreto de 2400 kgf/m³ y el peso de 300 kgf/m² para losas aligeradas de 20 cm.

Tabla 28. Peso propio de columnas.

Peso propio de las columnas				
Columna	Cantidad	Volumen	PU Conc. Arm.	Peso propio
C1	4	1.76 m ³	2400 kgf/m ³	16934.40 kgf
C2	4	1.76 m ³	2400 kgf/m ³	16934.40 kgf
C3	4	2.53 m ³	2400 kgf/m ³	24268.80 kgf
Peso propio total de columnas =				58137.60 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 29. Peso propio de vigas.

Peso propio de las vigas					
Viga	Ejes	Cantidad	Volumen	PU Conc. Arm.	Peso propio
VP1	Ejes B, C y D	3	1.41 m ³	2400 kgf/m ³	10125.00 kgf
VP1	Ejes 2 y 3	2	1.52 m ³	2400 kgf/m ³	7290.00 kgf
VP1	Eje 4	1	1.41 m ³	2400 kgf/m ³	3375.00 kgf
VS1	Eje A	1	1.09 m ³	2400 kgf/m ³	2625.00 kgf
VS1	Eje 1	1	1.09 m ³	2400 kgf/m ³	2625.00 kgf
VP2	Entre A y B	1	0.48 m ³	2400 kgf/m ³	1159.20 kgf
VP2	Entre 2 y 3	1	0.31 m ³	2400 kgf/m ³	735.00 kgf
Peso propio de vigas por piso =					27934.20 kgf
Peso propio total de vigas =					139671.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 30. Peso propio de losas aligeradas.

Peso propio de las losas aligeradas		
Área de todos los paños	Peso por m ² de losa	Peso propio
120.53 m ²	300 kgf/m ²	36159.00 kgf
Peso propio de losa aligerada por piso =		36159.00 kgf
Peso propio total de losas aligeradas =		180795.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 31. Peso propio de placas.

Peso propio de las placas				
Placa	Cantidad	Volumen	PU Conc. Arm.	Peso propio
PL1	1	4.03 m ³	2400 kgf/m ³	9676.80 kgf
PL2	3	8.82 m ³	2400 kgf/m ³	63504.00 kgf
Peso propio total de placas =				73180.80 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Peso por acabados:

Se realiza la asignación de estas cargas a los elementos horizontales como losas y vigas donde corresponda, los valores de estas cargas se encuentran en la tabla 8.

Tabla 32. Peso por acabados en vigas.

Peso por acabados asignado a vigas que corresponde					
Viga	Ejes	Cantidad	Área superior	Peso por m ²	Peso de acabados
VP1	Ejes B y C	2	1.12 m ²	100 kgf/m ²	224.00 kgf
VP1	Eje 3	1	2.85 m ²	100 kgf/m ²	285.00 kgf
Peso por acabados en vigas por piso =					509.00 kgf
Peso total por acabados en vigas =					2545.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 33. Peso por acabados en losas.

Peso por acabados asignado a losas aligeradas		
Área de losa aligerada	Peso por m ²	Peso de acabados
120.53 m ²	100 kgf/m ²	12053.00 kgf
Peso por acabados en losa por piso =		12053.00 kgf
Peso total por acabados en losas =		60265.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Peso de tabiquería:

Como en el caso de las cargas anteriores, estas también se asignan a los elementos horizontales como losas y vigas donde corresponde.

Tabla 34. Peso de tabiquería en vigas.

Peso de tabiquería asignado a vigas que corresponde					
Viga	Ejes	Cantidad	Área superior	Peso por m ²	Peso de tabiquería
VP1	Ejes B y C	2	1.60 m ²	150 kg/m ²	480.00 kgf
VP1	Eje D	1	2.88 m ²	150 kg/m ²	432.00 kgf
VP1	Ejes 2 y 4	2	2.85 m ²	150 kg/m ²	855.00 kgf
VS1	Eje A	1	2.88 m ²	150 kg/m ²	432.00 kgf
VS1	Eje 1	1	2.85 m ²	150 kg/m ²	427.50 kgf
VP2	Entre A y B	1	1.32 m ²	150 kg/m ²	198.00 kgf
VP2	Entre 2 y 3	1	0.85 m ²	150 kg/m ²	127.50 kgf
Peso de tabiquería en vigas por piso (sin techo) =					2952.00 kgf
Peso total de tabiquería en vigas =					11808.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 35. Peso de tabiquería en losas aligeradas.

Peso de tabiquería asignado a losas aligeradas		
Área de losa aligerada	Peso por m ²	Peso de tabiquería
120.53 m ²	150 kgf/m ²	18079.50 kgf
Peso de tabiquería en losa por piso (sin techo) =		18079.50 kgf
Peso total de tabiquería en losas =		72318.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Carga muerta total:

Se presenta un resumen de las cargas muertas totales:

Tabla 36. Cargas muertas totales de la edificación.

CARGAS MUERTAS TOTALES					
Carga	Elemento estructural				Total
	Columnas	Vigas	Losas	Placas	
Peso propio	58137.60 kgf	139671.00 kgf	180795.00 kgf	73180.80 kgf	451784.40 kgf
Acabados	-	2545.00 kgf	60265.00 kgf	-	62810.00 kgf
Tabiquería	-	11808.00 kgf	72318.00 kgf	-	84126.00 kgf
Carga muerta total de la edificación =					598720.40 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

- **Carga viva**

Es la sobrecarga que se asigna a los elementos horizontales como losas y vigas en los pisos típicos y en el techo, según la Norma E.020 del RNE.

Sobrecarga en entrepiso:

Tabla 37. Sobrecarga asignada a vigas de entrepiso.

Sobrecarga asignada a las vigas que le corresponde en entrepiso					
Viga	Ejes	Cantidad	Área superior	Peso por m ²	Sobrecarga
VP1	Ejes B y C	2	1.12 m ²	200 kgf/m ²	448.00 kgf
VP1	Eje 3	1	2.85 m ²	200 kgf/m ²	570.00 kgf
Sobrecarga en vigas de entrepiso =					1018.00 kgf
Sobrecarga total en vigas de entrepiso =					4072.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 38. Sobrecarga asignada a losas de entrepiso.

Sobrecarga asignada a losas aligeradas de entrepiso		
Área de losa aligerada	Peso por m ²	Sobrecarga
120.53 m ²	200 kgf/m ²	24106.00 kgf
Sobrecarga en losa de entrepiso =		24106.00 kgf
Sobrecarga total en losas de entrepiso =		96424.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Sobrecarga en techo:

Tabla 39. Sobrecarga asignada a vigas de techo.

Sobrecarga asignada a las vigas que le corresponde en techo					
Viga	Ejes	Cantidad	Área superior	Peso por m ²	Sobrecarga
VP1	Ejes B y C	2	2.84 m ²	100 kgf/m ²	568.00 kgf
VP1	Ejes 2 y 3	2	3.03 m ²	100 kgf/m ²	606.00 kgf
VS1	Eje 1	1	2.31 m ²	100 kgf/m ²	231.00 kgf
VS1	Ejes 2 y 3	2	0.82 m ²	100 kgf/m ²	164.00 kgf
Sobrecarga total en vigas de techo =					1569.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 40. Sobrecarga asignada a losas de techo.

Sobrecarga asignada a losa aligerada de techo		
Área de losa aligerada	Peso por m ²	Sobrecarga
120.53 m ²	100 kgf/m ²	12053.00 kgf
Sobrecarga total en losa de techo =		12053.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Carga viva total:

Se presenta un resumen de las cargas vivas totales:

Tabla 41. Cargas vivas totales de la edificación.

CARGAS VIVAS TOTALES					
Carga	Elemento estructural				Total
	Columnas	Vigas	Losas	Placas	
S/C entrepiso	-	4072.00 kgf	96424.00 kgf	-	100496.00 kgf
S/C techo	-	1569.00 kgf	12053.00 kgf	-	13622.00 kgf
Carga viva total de la edificación =					114118.00 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

- **Resumen de las cargas**

A continuación, se presentan las cargas o pesos que afectan a la edificación:

Tabla 42. Resumen de las cargas de la estructura.

ELEMENTO	PESO
Peso propio de las columnas	58137.60 kgf
Peso propio de las vigas	139671.00 kgf
Peso propio de las losas	180795.00 kgf
Peso propio de las placas	73180.80 kgf
Peso por acabados	62810.00 kgf
Peso de tabiquería	84126.00 kgf
Peso por carga viva	114118.00 kgf
Peso total de la estructura	712838.40 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

D. Cálculo del peso sísmico

De conformidad con la norma sismorresistente E.030 – 2018 del RNE, a las cargas antes calculadas se les tiene que aplicar un factor de participación para poder obtener el peso sísmico y con este la cortante basal, dichos factores para viviendas son el 100% de las cargas muertas y en 25% de las cargas vivas totales.

Tabla 43. Peso sísmico para cada nivel de la edificación.

Peso sísmico por niveles				
Niveles	Carga muerta	Carga viva	P servicio	P sísmico
Nivel 1	130900.30 kgf	25124.00 kgf	156024.30 kgf	137181.30 kgf
Nivel 2	120619.90 kgf	25124.00 kgf	145743.90 kgf	126900.90 kgf
Nivel 3	120619.90 kgf	25124.00 kgf	145743.90 kgf	126900.90 kgf
Nivel 4	120619.90 kgf	25124.00 kgf	145743.90 kgf	126900.90 kgf
Nivel 5	105960.40 kgf	13622.00 kgf	119582.40 kgf	109365.90 kgf
Totales =			712838.40 kgf	627249.90 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

E. Cálculo de la cortante basal estática

El cálculo de esta fuerza se realiza para cada dirección de la estructura, en base a las fórmulas y parámetros establecidos en la norma E.030. Anteriormente se mencionó esto en el apartado 3.3.3.1.1. del presente estudio, utilizando la fórmula (7). Asimismo, los parámetros sísmicos ya fueron determinados en el apartado 3.3.3.1.2. cómo se detalla a continuación:

- Factor de zona: $Z = 0.35$
- Factor de uso de la edificación: $U = 1.0$
- Factor de amplificación del suelo: $S = 1.20$
- Coeficiente de reducción sísmica: $R_x = 7$ y $R_y = 7$

La estructura es regular en ambas direcciones.

- Factor de amplificación sísmica:

Para el cálculo de este factor se debe conocer el periodo fundamental de vibración, hallado con la fórmula (13) y luego comparar con los intervalos establecidos en las expresiones (8), (9) y (10).

Teniendo la altura total del edificio h_n y el coeficiente C_T calculamos el periodo:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{14.80}{60} = 0.2467 \text{ s}$$

Se tienen además $T_P=1.0$ y $T_L=1.6$, observándose que $T < T_P$, esto se ajusta a la expresión (8):

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

Tabla 44. Parámetros sísmicos para la cortante basal estática.

Parámetro	Valor	
Factor de zona (Z)	0.35	
Factor de uso de la edificación (U)	1.00	
Factor de amplificación sísmica (C)	2.50	
Factor de amplificación del suelo (S)	1.20	
Coefficiente de reducción sísmica (R)	Rx = 7	Ry = 7

Fuente: Norma E.030 (2018).

Posteriormente se reemplazan estos parámetros en la fórmula (7) para encontrar la cortante basal estática, para cada dirección:

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

- Cortante basal en dirección X:

$$V_x = \frac{Z.U.C.S}{R_x} . P$$

$$V_x = \frac{0.35 * 1.00 * 2.50 * 1.20}{7} * 627249.90$$

$$V_x = 94087.49 \text{ kgf}$$

- Cortante basal en dirección Y:

$$V_y = \frac{Z.U.C.S}{R_y} . P$$

$$V_y = \frac{0.35 * 1.00 * 2.50 * 1.20}{7} * 627249.90$$

$$V_y = 94087.49 \text{ kgf}$$

F. Cálculo y distribución de las fuerzas sísmicas en altura

De acuerdo a lo estipulado en el apartado 3.3.3.1.4. se aplica la fuerza sísmica horizontal en cada nivel de la estructura, tomando en cuenta las fórmulas (11) y (12).

Debido a que $T < 0.5$ s, se considera $k=1$.

Tabla 45. Distribución de la fuerza sísmica en altura, dirección X.

Fuerza sísmica en cada nivel de la estructura, dirección X						
Nivel	Pi	h	hi	Pi.(hi) ^k	α_i	Fi
5	109365.90 kgf	2.90 m	14.80 m	1618615.32 kgf/m	0.295157	27770.55 kgf
4	126900.90 kgf	2.90 m	11.90 m	1510120.71 kgf/m	0.275373	25909.11 kgf
3	126900.90 kgf	2.90 m	9.00 m	1142108.10 kgf/m	0.208265	19595.12 kgf
2	126900.90 kgf	2.90 m	6.10 m	774095.49 kgf/m	0.141157	13281.14 kgf
1	137181.30 kgf	3.20 m	3.20 m	438980.16 kgf/m	0.080049	7531.57 kgf
Total =						94087.49 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

Tabla 46. Distribución de la fuerza sísmica en altura, dirección Y.

Fuerza sísmica en cada nivel de la estructura, dirección Y						
Nivel	Pi	h	hi	Pi. (hi) ^k	α_i	Fi
5	109365.90 kgf	2.90 m	14.80 m	1618615.32 kgf/m	0.295157	27770.55 kgf
4	126900.90 kgf	2.90 m	11.90 m	1510120.71 kgf/m	0.275373	25909.11 kgf
3	126900.90 kgf	2.90 m	9.00 m	1142108.10 kgf/m	0.208265	19595.12 kgf
2	126900.90 kgf	2.90 m	6.10 m	774095.49 kgf/m	0.141157	13281.14 kgf
1	137181.30 kgf	3.20 m	3.20 m	438980.16 kgf/m	0.080049	7531.57 kgf
Total =						94087.49 kgf

Fuente: Elaborado en base a software Excel.

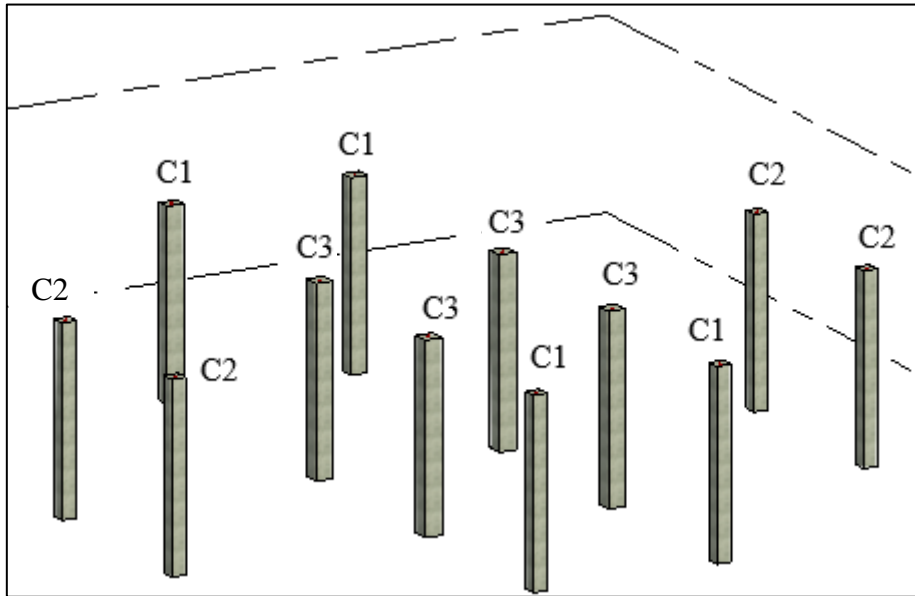
3.4.6.1.2. Modelamiento estructural en Revit

Al tener la arquitectura ya modelada en el programa Revit se procede a vincularlo con la zona de estructuras de la presente investigación, mediante la conexión con un nuevo proyecto estructural en donde se realiza el modelado de los elementos estructurales como las columnas, vigas, losas y placas. Es de este proceso de donde se obtiene el modelo analítico que nos sirve para la interoperabilidad con Robot Structural.

A. Modelamiento de columnas

El modelado de columnas se realizó primeramente desde el nivel 1 hasta el nivel 2, luego se las fue copiando y ajustando la altura en los niveles típicos.

Figura 11. Modelado de columnas.

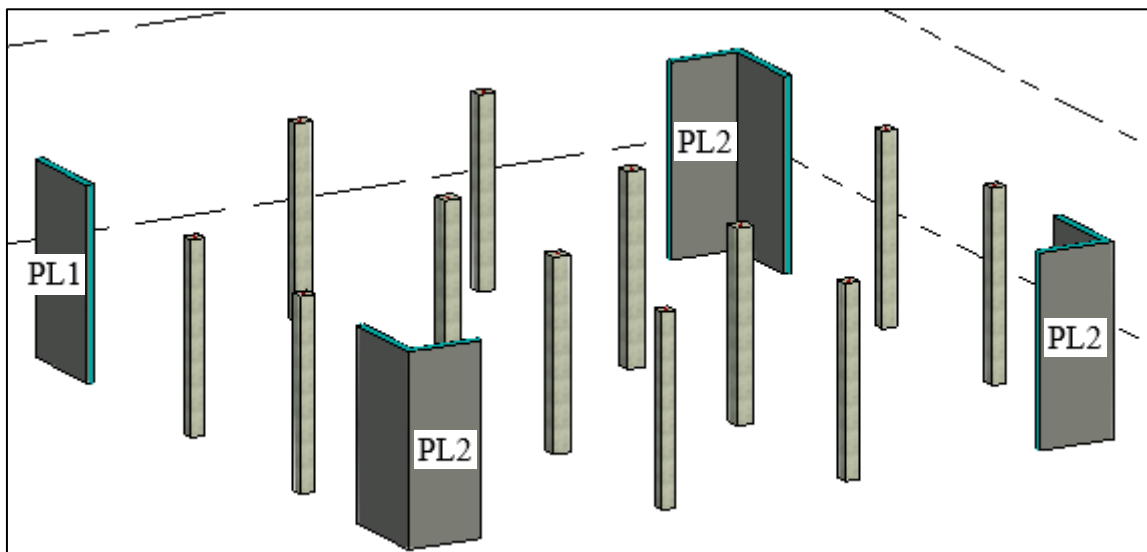


Fuente: Elaborado en base a software Revit.

B. Modelado de placas

Estas se encuentran como muros estructurales cargados previamente en Revit y se modelan de acuerdo a la geometría del predimensionamiento.

Figura 12. Modelado de placas.

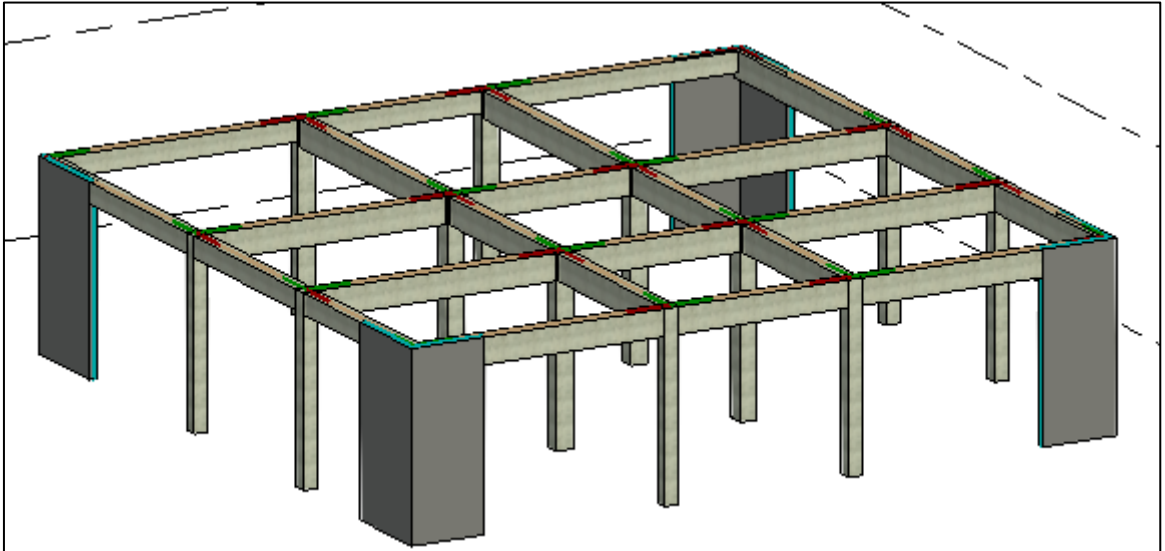


Fuente: Elaborado en base a software Revit.

C. Modelamiento de vigas

Modelar las vigas justo desde el centro de las columnas y también se debe seguir la dirección empezando en el origen interno de Revit (La nomenclatura de las vigas se encuentra en los planos).

Figura 13. Modelado de vigas.

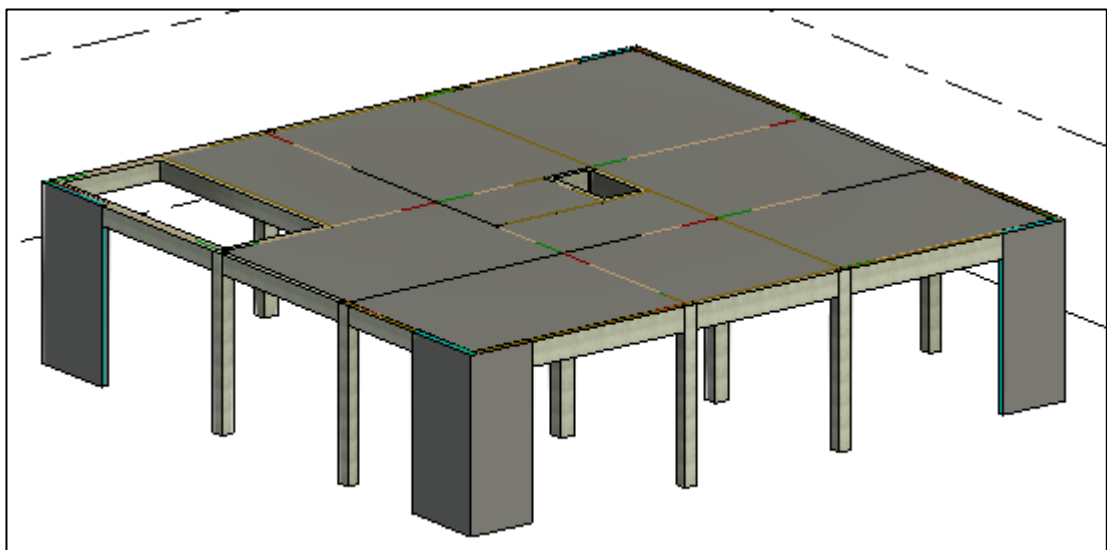


Fuente: Elaborado en base a software Revit.

D. Modelamiento de losas aligeradas

Las losas se modelan desde cada intersección entre viga y columna, asimismo se realiza mediante cada paño.

Figura 14. Modelado de losas.



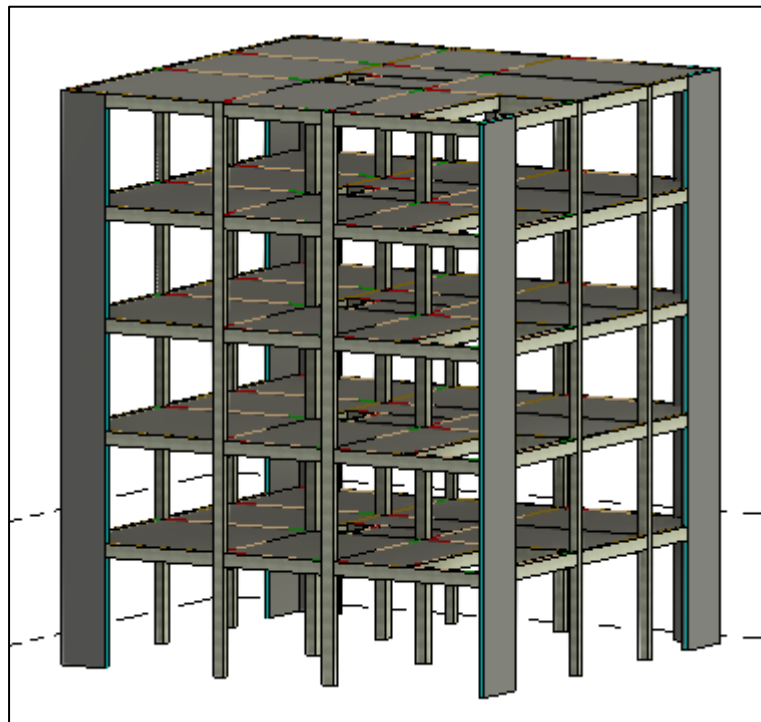
Fuente: Elaborado en base a software Revit.

E. Modelo geométrico y analítico de Revit

De acuerdo al modelamiento de los elementos estructurales, según los pasos anteriores, se fue formando el modelo geométrico de la estructura del edificio, inicialmente del primer piso y luego de los pisos típicos superiores, siempre respetando las conexiones de centro a centro de elementos y que coincida su parte inicial con el origen interno de las coordenadas en el programa Revit, si se cumplen estos requisitos no se tendrán posteriormente fallas en la interoperabilidad con Robot.

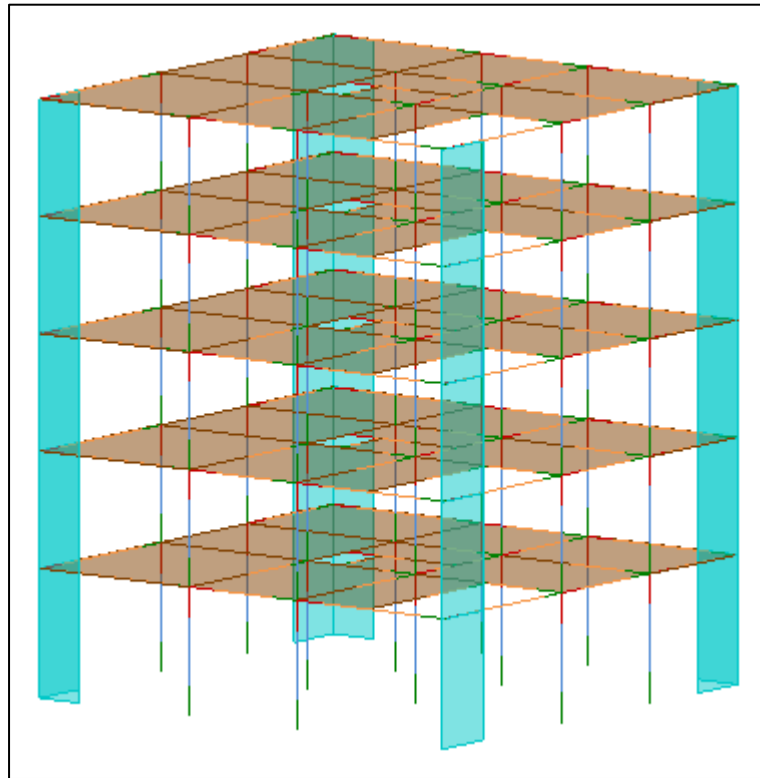
Al momento de realizar el modelo geométrico antes mencionado, el programa va conjuntamente formando el modelo analítico de toda la estructura, en el cual se hace el análisis estructural y diseño del acero de refuerzo.

Figura 15. Modelo geométrico de toda la edificación.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

Figura 16. Modelo analítico de la edificación.



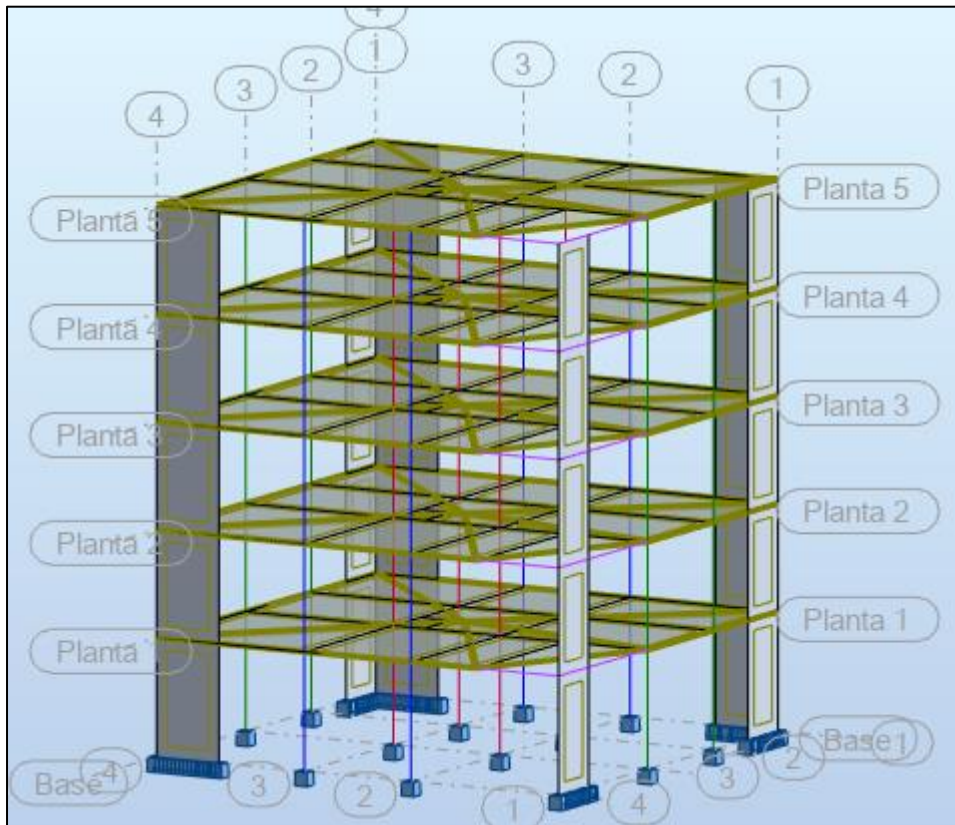
Fuente: Elaborado en base a software Revit.

3.4.6.1.3. Interoperabilidad entre Revit y Robot Structural Analysis

Mediante la interoperabilidad se intercambia la información del programa Revit al programa Robot Structural. Lo cual se realiza directamente ya que ambos cuentan con una conexión directa que viene por defecto del fabricante Autodesk.

Para que esta operación sea hecha de manera eficaz es necesario que los dos programas sean de la misma versión y estén ejecutándose simultáneamente. Al ejecutar la interoperabilidad es necesario configurar a Robot Structural en lo referente a los materiales utilizados, la condición de los apoyos, secciones de losas, cargas asignadas, etc.

Figura 17. Modelo de la edificación exportado a Robot Structural.

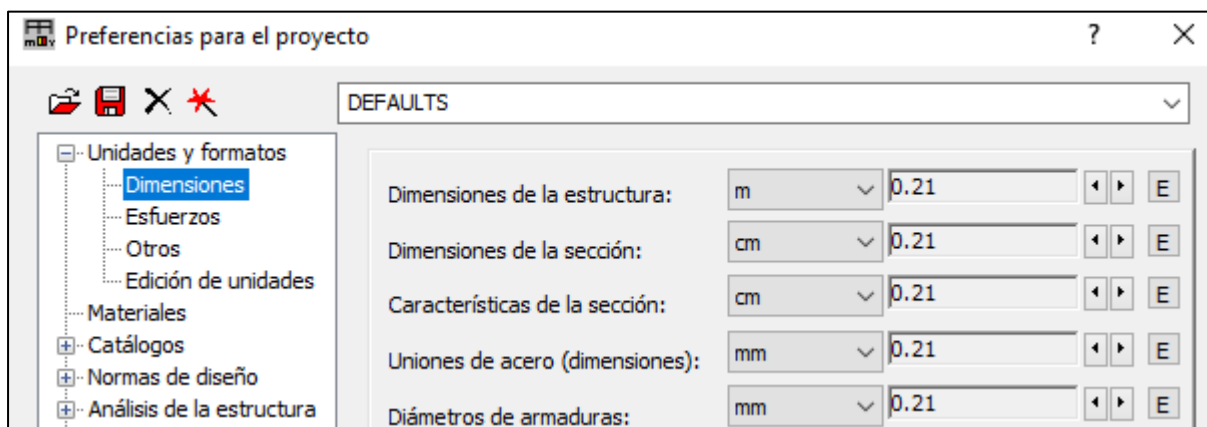


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

3.4.6.1.4. Configuraciones preliminares en Robot Structural

Lo más importante de esta parte es configurar las preferencias del proyecto, en donde se encuentran las unidades de medida, materiales, normas de diseño, mallados, parámetros de trabajo, entre otras relevantes para el estudio.

Figura 18. Configuración de las preferencias del proyecto.

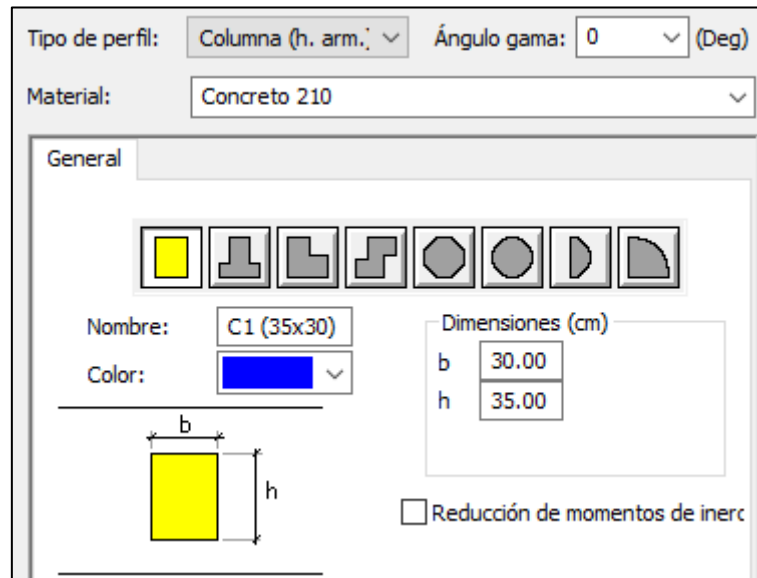


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

3.4.6.1.5. Características de los elementos estructurales exportados

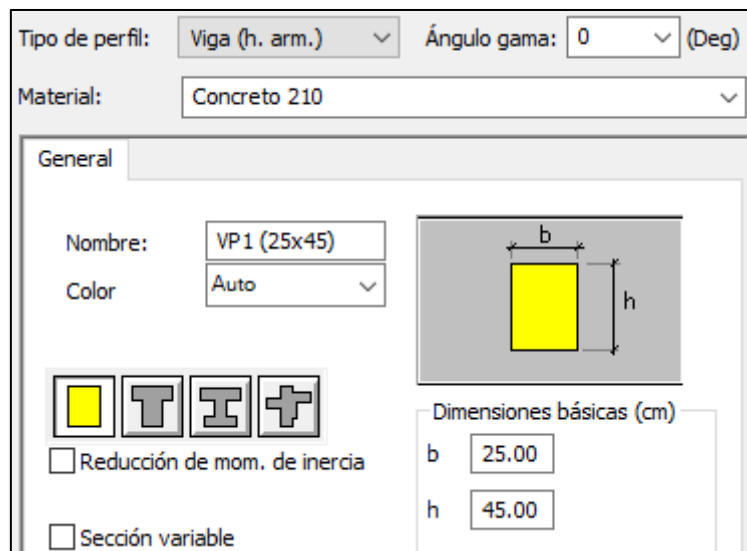
Las características de los elementos del edificio traídos desde Revit son las mismas que las de origen como se los modeló:

Figura 19. Características de columna en Robot.



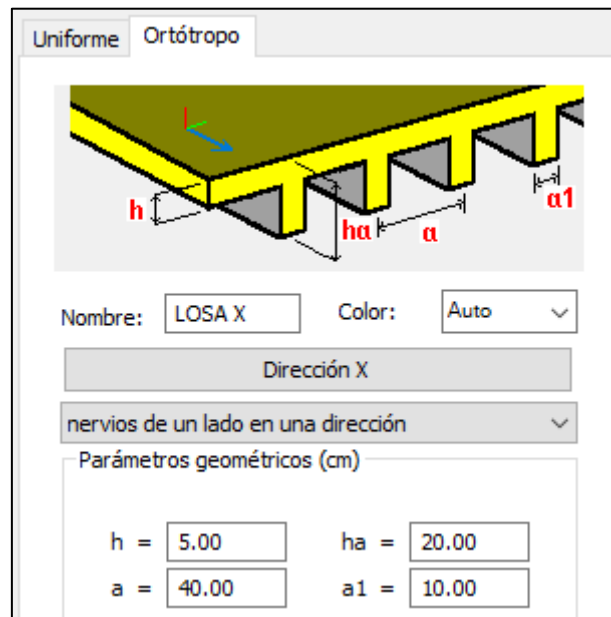
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 20. Características de viga en Robot.



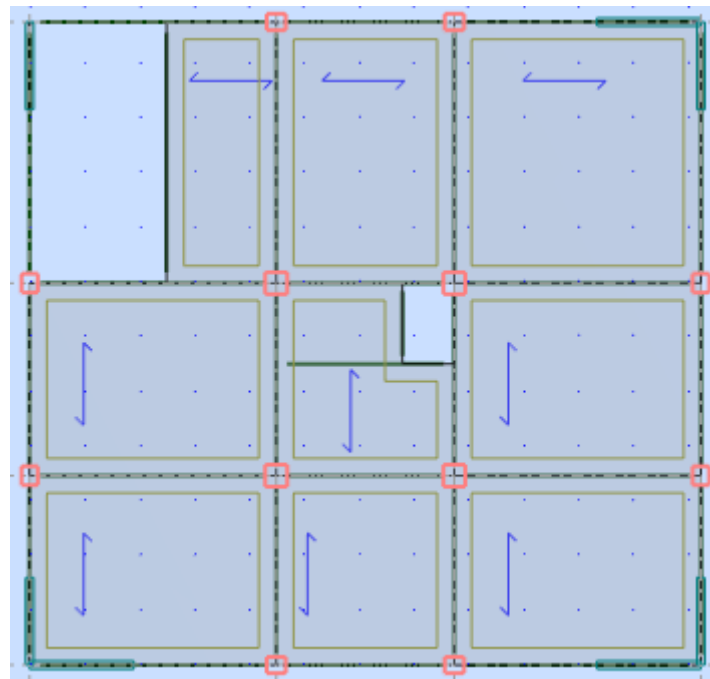
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 21. Características de losa aligerada en Robot.



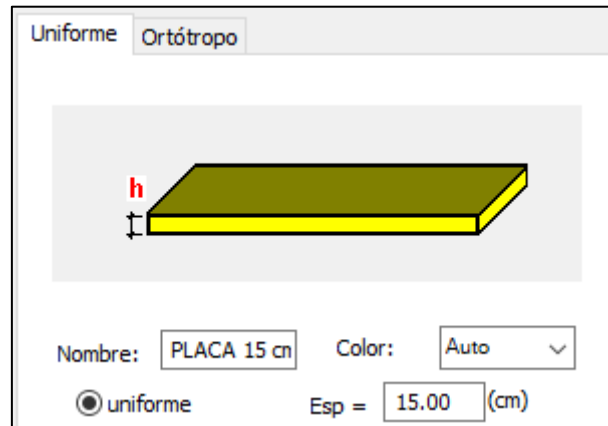
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 22. Dirección de armado de losas aligeradas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 23. Características de placa en Robot.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

3.4.6.1.6. Asignación de las cargas a las estructuras

Las cargas a las que está sometida la estructura se las tiene que asignar en Robot, ya que el modelo proveniente de Revit carece de estas cargas, se asignó de la manera siguiente:

- Cargas en columnas, vigas y placas: Se les asignó la carga muerta proveniente del peso propio, se le indicó al programa realizar el cálculo asignado y no de forma automática.

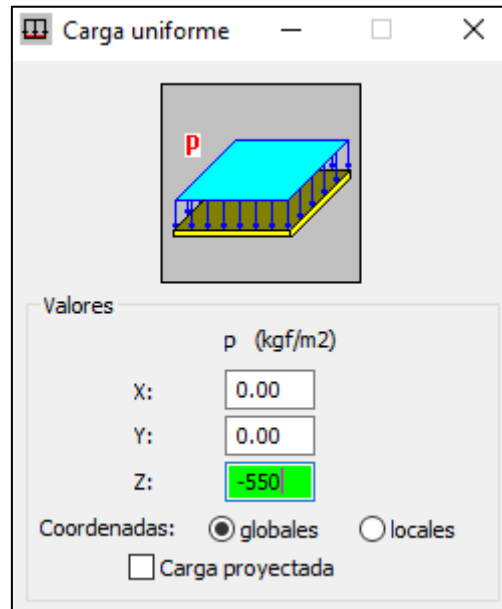
Figura 24. Asignación del peso propio a vigas, columnas y placas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

- Losas aligeradas: En este caso se le asignó las cargas muertas referentes al peso propio (300 kgf/cm^2 , según Norma E.020), las cargas de acabados y las cargas de tabiquería en las losas de los niveles donde corresponde.

Figura 25. Asignación de cargas muertas a las losas.



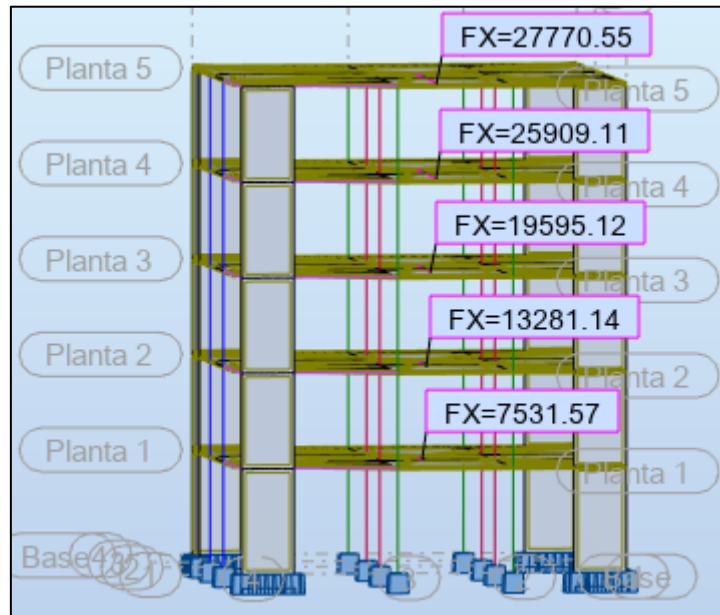
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Asimismo, fueron asignadas las cargas vivas a las losas de entrepiso y la del techo, de acuerdo a la tabla 3.7. del presente estudio, cuyos datos provienen de la Norma E.020 del RNE.

3.4.6.1.7. Análisis sísmico estático en Robot Structural Analysis

Para realizar el análisis sísmico estático de la estructura se le incorpora las cargas laterales distribuidas en cada nivel de la edificación y para la dirección X y la dirección Y, estas fuerzas han sido calculadas manualmente, dependen del peso sísmico y se le asignan al modelo como se muestra a continuación:

Figura 26. Cargas sísmicas asignadas en la dirección X.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Cabe mencionar que las fuerzas sísmicas tanto en la dirección X como en la dirección Y, fueron creadas como casos de cargas, adicionales a las cargas asignadas anteriormente. Para conocer el periodo fundamental de vibración y verificar la masa de la estructura que calculó Robot se creó también un caso de carga modal.

Figura 27. Casos de carga de la edificación.

Descripción del caso

Número: Etiqueta:

Tipo:

Nombre:

Lista de casos definidos:

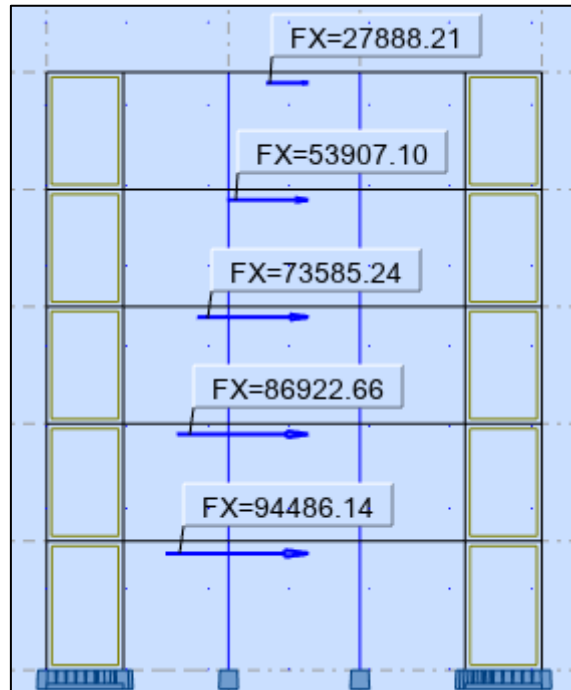
Número	Nombre del caso	Naturaleza	Ti
1	PP	Peso propio	Es
2	CM	Peso propio	Es
3	CV	Categoría A	Es
4	CV TECHO	Categoría A	Es
→ 5	SISMO X	sísmica	Es
6	SISMO Y	sísmica	Es
7	Modal		M

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

A. Cortante basal estática calculada con Robot Structural

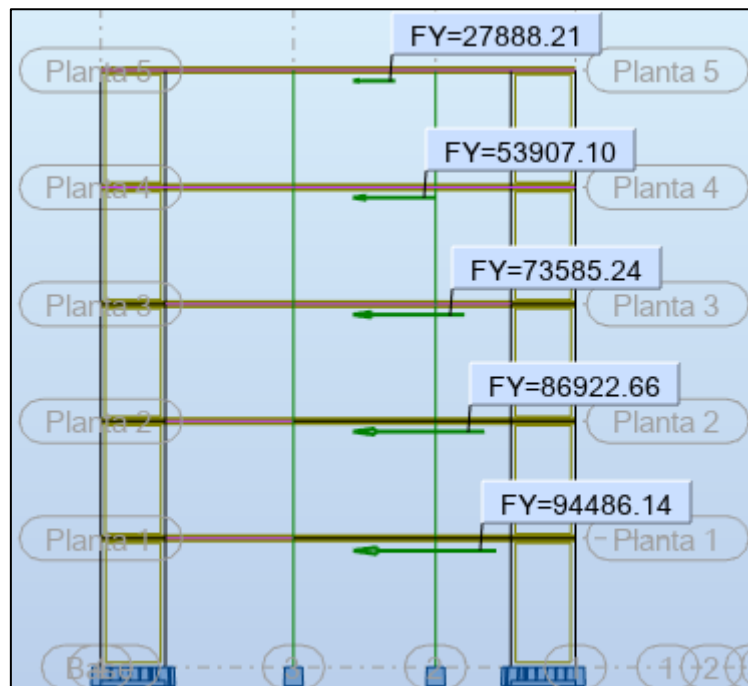
Este programa calcula la cortante basal a partir de los datos ingresados.

Figura 28. Cortante basal estática, dirección X.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 29. Cortante basal estática, dirección Y.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

B. Análisis modal de la estructura

De este análisis es de donde se obtiene el periodo fundamental de vibración, así como la masa que utiliza Robot para realizar los cálculos.

Tabla 47. Análisis modal, resultado del análisis estático.

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)	Total masas UZ (kg)
7/ 1	1.929422	0.518290	50.363306	21.205010	0.000061	50.363306	21.205010	0.000061	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 2	2.118972	0.471927	69.494669	76.064334	0.000065	19.131363	54.859324	0.000004	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 3	3.434560	0.291158	75.156705	76.087360	0.003415	5.662036	0.023026	0.003350	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 4	7.044729	0.141950	82.818833	82.988011	0.005035	7.662127	6.900651	0.001619	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 5	7.968565	0.125493	90.474689	91.604004	0.013862	7.655857	8.615994	0.008827	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 6	12.086612	0.082736	90.476842	91.607325	30.369245	0.002153	0.003321	30.355383	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 7	12.796007	0.078149	90.491648	91.609619	30.405243	0.014806	0.002294	0.035998	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 8	13.498235	0.074084	91.719765	91.646764	30.432033	1.228117	0.037145	0.026790	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 9	14.147805	0.070682	91.728512	91.660997	32.691475	0.008747	0.014233	2.259442	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 10	14.279747	0.070029	93.243841	93.680734	38.519847	1.515329	2.019737	5.828373	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 11	14.391797	0.069484	93.468152	93.923722	43.591485	0.224310	0.242988	5.071637	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 12	14.414526	0.069374	93.929614	94.359521	56.127892	0.461463	0.435799	12.536408	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 13	14.542192	0.068765	93.938282	94.361777	56.158286	0.008668	0.002257	0.030394	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 14	14.656849	0.068227	93.939905	94.380971	56.254326	0.001623	0.019194	0.096039	631208.94	631208.94	631208.94
7/ 15	14.699468	0.068030	93.940499	94.393235	57.686212	0.000594	0.012264	1.431887	631208.94	631208.94	631208.94

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Como se muestra en la tabla anterior, el periodo fundamental de vibración se encuentra en el modo 1 y es de 0.5183 segundos, asimismo el peso sísmico calculado por Robot es de 631208.94 kgf,

C. Comprobación de los datos calculados con Robot Structural

Para comprobar los cálculos del programa se comparan los pesos sísmicos con los cuales se ha trabajado. En el cálculo de Robot se tiene un peso sísmico de 631208.94 kgf, mientras que el calculado manualmente es de 627249.90 kgf. Indicando que la variación entre el cálculo del programa Robot Structural y el cálculo manual solamente es de 0.63%.

También tenemos como resultados obtenidos de este análisis que, la cortante basal estática en dirección X calculada con Robot es de 94486.14 kgf, mientras que con el cálculo manual fue de 94087.49 kfg. En la dirección Y, la cortante basal que calculó Robot es de 94486.14 kgf y con el cálculo manual fue de 94087.49 kgf.

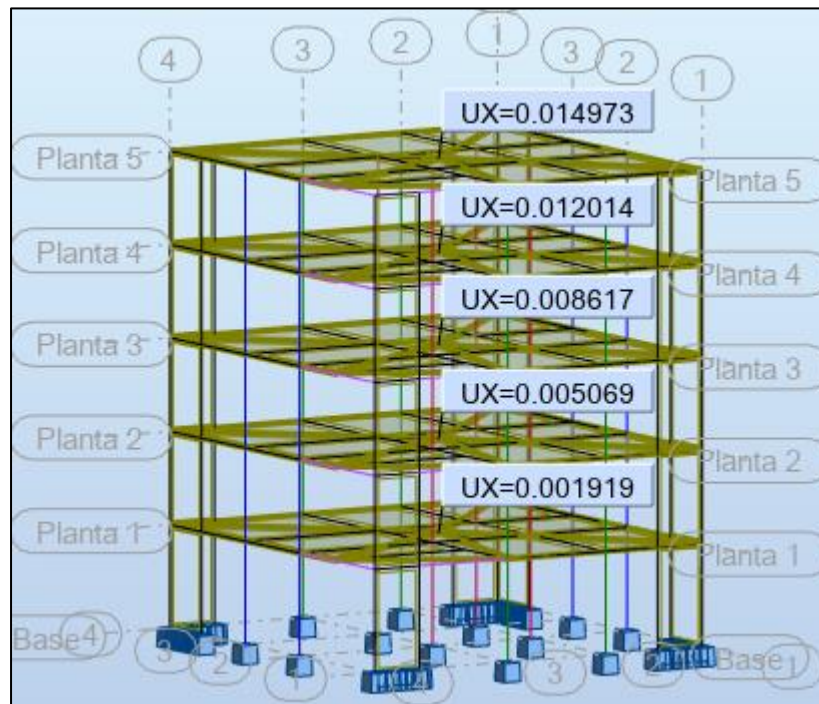
Como se observa, la variación es mínima, lo cual indica que los datos proporcionados por el programa Robot Structural son bastante confiables.

D. Control de derivas por análisis estático

Este control se efectúa con las derivas inelásticas, para esto lo multiplicamos por el factor de reducción sísmica afectado por un coeficiente de acuerdo a la regularidad de la edificación, indicado en la Norma E. 030. Como se trata de una estructura de concreto armado, las derivas inelásticas deben ser ≤ 0.007 , en todos los niveles.

✓ Derivas en la dirección X:

Figura 30. Desplazamientos en la dirección X, análisis estático.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

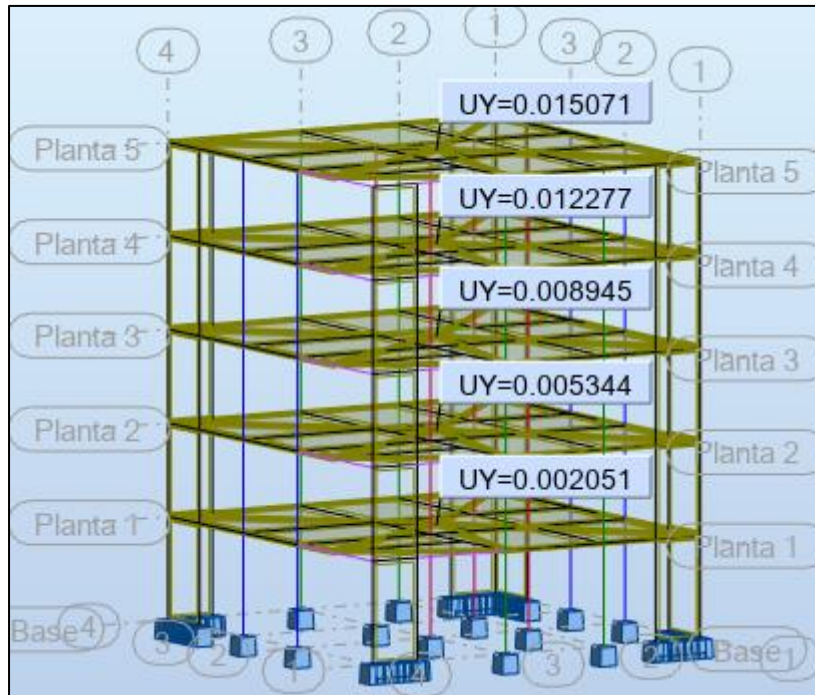
Tabla 48. Control de derivas en la dirección X, análisis estático.

Nivel	Desplazam. Ux (m)	Despl. relativo (m)	Altura entrep. h (m)	Drel/h	(Drel/h)x0.75 R	Norma
Nivel 5	0.014973	0.002959	2.9	0.001020	0.005357	≤ 0.007
Nivel 4	0.012014	0.003397	2.9	0.001171	0.006150	≤ 0.007
Nivel 3	0.008617	0.003548	2.9	0.001223	0.006423	≤ 0.007
Nivel 2	0.005069	0.003150	2.9	0.001086	0.005703	≤ 0.007
Nivel 1	0.001919	0.001919	3.2	0.000600	0.003148	≤ 0.007

Fuente: Elaborado en base a software software Microsoft Excel.

✓ Derivas en la dirección Y:

Figura 31. Desplazamientos en la dirección Y, análisis estático.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Tabla 49. Control de derivas en la dirección Y, análisis estático.

Nivel	Desplazam. Uy (m)	Despl. relativo (m)	Altura entrep. h (m)	Drel/h	(Drel/h)x0.75 R	Norma
Nivel 5	0.015071	0.002794	2.9	0.000963	0.005058	≤ 0.007
Nivel 4	0.012277	0.003332	2.9	0.001149	0.006032	≤ 0.007
Nivel 3	0.008945	0.003601	2.9	0.001242	0.006519	≤ 0.007
Nivel 2	0.005344	0.003293	2.9	0.001136	0.005961	≤ 0.007
Nivel 1	0.002051	0.002051	3.2	0.000641	0.003365	≤ 0.007

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

3.4.6.1.8. Análisis sísmico dinámico en Robot Structural Analysis

El tipo de análisis dinámico realizado fue el modal espectral, utilizando el criterio de combinación cuadrática completa (CQC). En primer lugar, se determinó el espectro de pseudoaceleraciones (fórmula 14) usando los parámetros que se hallaron en el apartado 3.3.3.1.2. dicho espectro es ingresado al programa Robot multiplicado ya por el valor de la gravedad, para ambas direcciones de estudio.

A. Espectro de pseudoaceleraciones

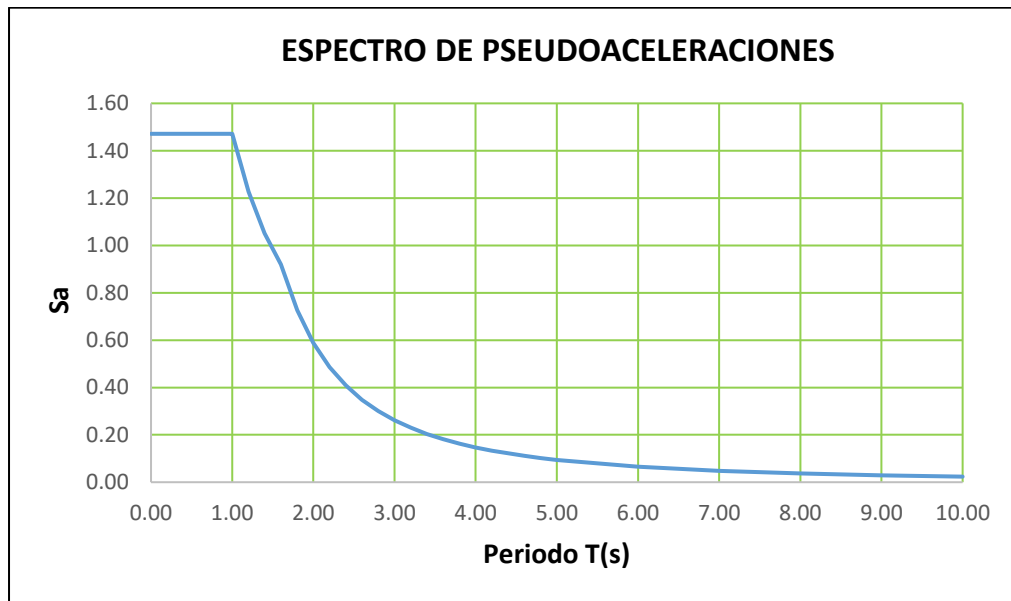
Como en ambas direcciones el edificio presenta regularidad e igual sistema estructural, entonces el espectro de pseudoaceleraciones es el mismo y se muestra a continuación:

Tabla 50. Espectro de pseudoaceleraciones para el análisis dinámico.

	T(s)	C	Sa
T < Tp	0.00	2.50	1.47
	0.20	2.50	1.47
	0.40	2.50	1.47
	0.60	2.50	1.47
	0.80	2.50	1.47
Tp ≤ T ≤ TI	1.00	2.50	1.47
	1.20	2.08	1.23
	1.40	1.79	1.05
	1.60	1.56	0.92
	1.80	1.23	0.73
	2.00	1.00	0.59
	2.20	0.83	0.49
	2.40	0.69	0.41
	2.60	0.59	0.35
	2.80	0.51	0.30
T > TI	3.00	0.44	0.26
	3.20	0.39	0.23
	3.40	0.35	0.20
	3.60	0.31	0.18
	3.80	0.28	0.16
	4.00	0.25	0.15
	4.20	0.23	0.13
	4.40	0.21	0.12
	4.60	0.19	0.11
	4.80	0.17	0.10
	5.00	0.16	0.09
	6.00	0.11	0.07
	7.00	0.08	0.05
8.00	0.06	0.04	
9.00	0.05	0.03	
10.00	0.04	0.02	

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Figura 32. Gráfico del espectro de pseudoaceleraciones.

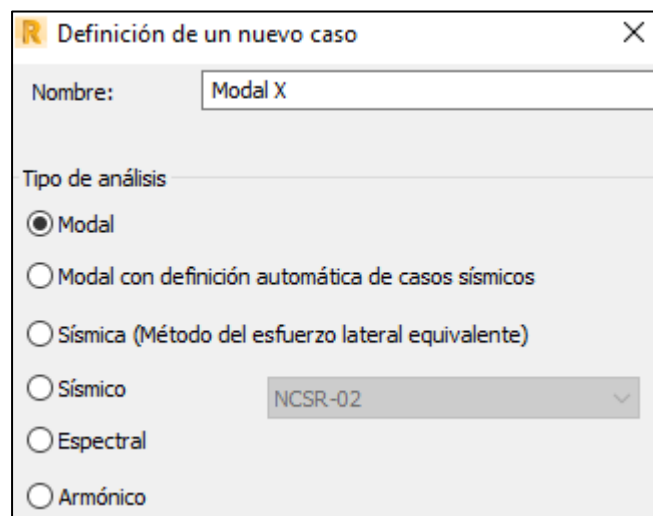


Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

B. Configuraciones para el análisis dinámico

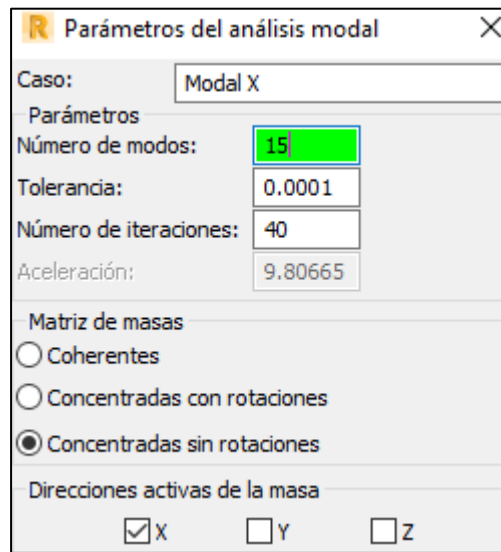
Se debe realizar previamente ciertas configuraciones para realizar el análisis dinámico en Robot Structural, como la creación de los casos modales en ambas direcciones X e Y, el ingreso del espectro de pseudoaceleraciones, la conversión de las cargas a masas según la Norma E.030, la cual indica un coeficiente de 1.00 para las cargas muertas y 0.25 para las cargas vivas.

Figura 33. Creación de los casos modales.



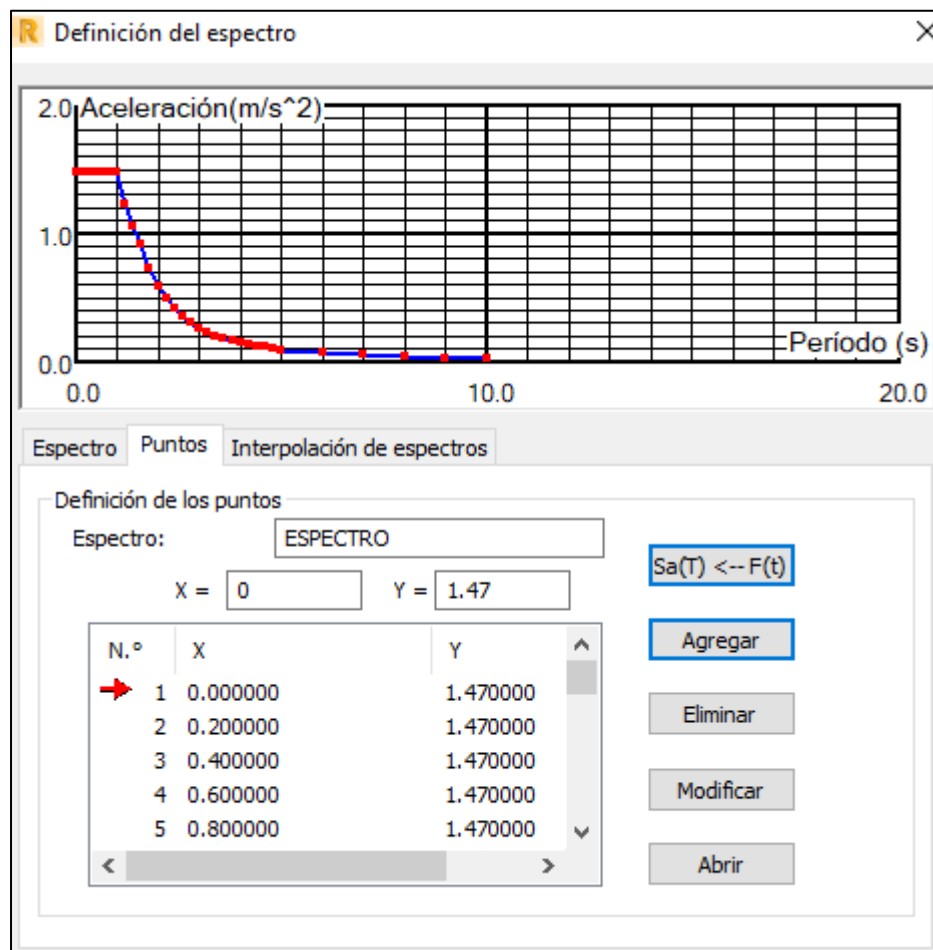
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 34. Número de modos de vibración.



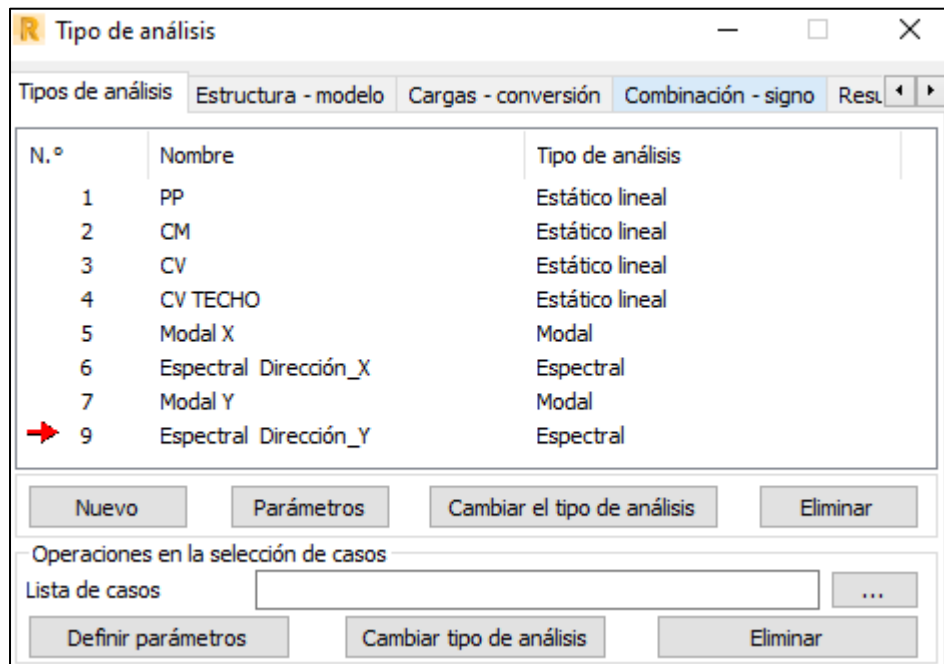
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 35. Ingreso del espectro de pseudoaceleraciones.



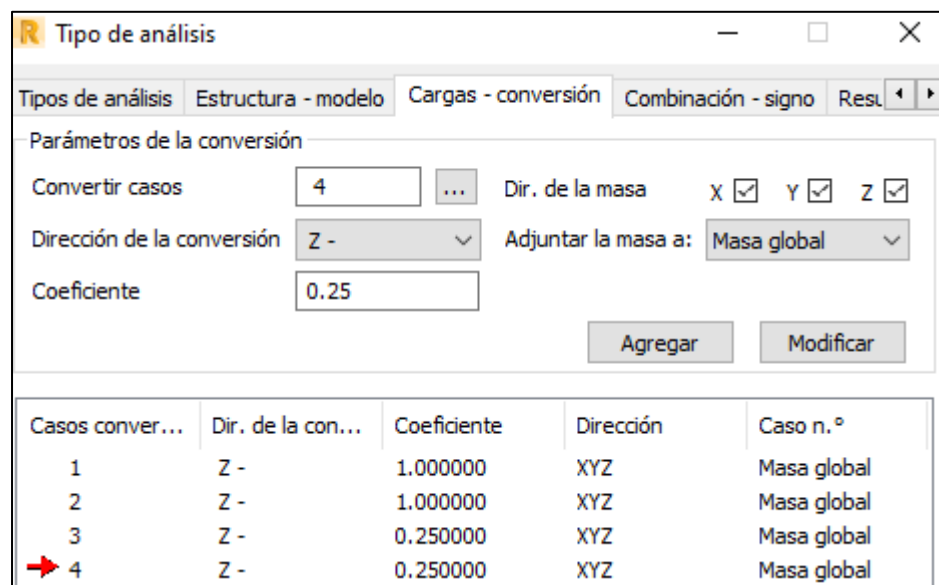
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 36. Casos de cargas para el análisis dinámico.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 37. Conversión de cargas a masas.



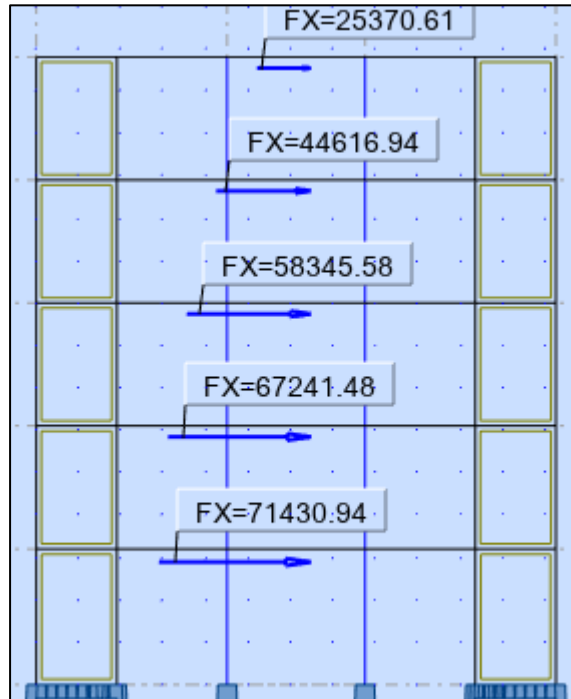
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

C. Cortante basal dinámica calculada con Robot Structural

El cálculo de la cortante basal dinámica se realiza con el fin de tener un diseño óptimo al compararlo con la cortante basal estática y ver si es necesario escalarlo para cumplir con los requerimientos de la Norma E.030

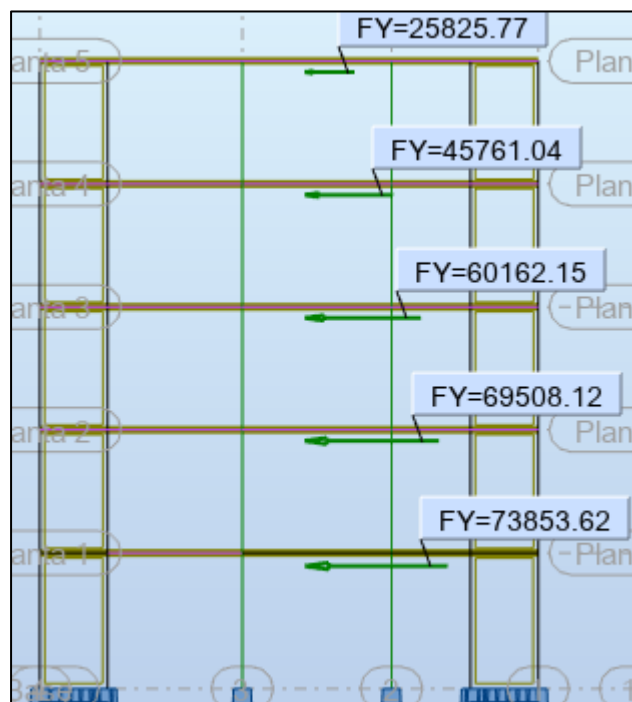
del RNE. Como se trata de una estructura regular la cortante basal dinámica debe llegar mínimamente al 80% de la cortante basal estática.

Figura 38. Cortante basal dinámica, dirección X.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 39. Cortante basal dinámica, dirección Y.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Conociendo las cortantes basales estática y dinámica se procede a la comparación de acuerdo al porcentaje exigido por la norma:

Tabla 51. Cortante mínima de diseño.

Cortante mínima de diseño		
	Dir. X	Dir. Y
Vestática	94486.14 kgf	94486.14 kgf
80% Vest.	75588.91 kgf	75588.91 kgf
Vdinámica	71430.94 kgf	73853.62 kgf
Factor escala	1.058	1.023

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

D. Análisis modal espectral

El análisis dinámico modal espectral nos brinda el periodo fundamental de vibración dinámico, tanto en la dirección X como en la dirección Y, así también el porcentaje de las masas participativas.

Tabla 52. Análisis modal en dirección X, resultado del análisis dinámico.

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)
5/ 1	2.009184	0.497715	73.416502	0.0	0.0	73.416502	0.0	0.0	631208.94
5/ 2	4.788708	0.208825	75.377608	0.0	0.0	1.961107	0.0	0.0	631208.94
5/ 3	7.570023	0.132100	91.302754	0.0	0.0	15.925146	0.0	0.0	631208.94
5/ 4	15.418057	0.064859	96.380294	0.0	0.0	5.077540	0.0	0.0	631208.94
5/ 5	17.901717	0.055861	96.716407	0.0	0.0	0.336112	0.0	0.0	631208.94
5/ 6	19.078959	0.052414	96.992052	0.0	0.0	0.275646	0.0	0.0	631208.94
5/ 7	20.429858	0.048948	96.992090	0.0	0.0	0.000037	0.0	0.0	631208.94
5/ 8	21.585435	0.046328	97.367228	0.0	0.0	0.375139	0.0	0.0	631208.94
5/ 9	22.872783	0.043720	98.611860	0.0	0.0	1.244632	0.0	0.0	631208.94
5/ 10	25.094210	0.039850	98.622541	0.0	0.0	0.010681	0.0	0.0	631208.94
5/ 11	26.882409	0.037199	98.948286	0.0	0.0	0.325745	0.0	0.0	631208.94
5/ 12	28.954587	0.034537	98.957139	0.0	0.0	0.008853	0.0	0.0	631208.94
5/ 13	32.711363	0.030570	98.975482	0.0	0.0	0.018343	0.0	0.0	631208.94
5/ 14	35.956702	0.027811	99.083176	0.0	0.0	0.107694	0.0	0.0	631208.94
5/ 15	37.836942	0.026429	99.101622	0.0	0.0	0.018446	0.0	0.0	631208.94

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Como se observa en la tabla anterior, el periodo fundamental de vibración dinámico en la dirección X es de 0.4977 segundos, llegando a un 99.10% de masa participativa, cumpliendo así con lo requerido por la Norma.

Tabla 53. Análisis modal en dirección Y, resultado del análisis dinámico.

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)
7I 1	2.062461	0.484858	0.0	76.210055	0.0	0.0	76.210055	0.0	0.0	631208.94
7I 2	4.538607	0.220332	0.0	76.262358	0.0	0.0	0.052303	0.0	0.0	631208.94
7I 3	7.518851	0.132999	0.0	91.681897	0.0	0.0	15.419539	0.0	0.0	631208.94
7I 4	15.148264	0.066014	0.0	96.917191	0.0	0.0	5.235294	0.0	0.0	631208.94
7I 5	17.962158	0.055673	0.0	96.937562	0.0	0.0	0.020371	0.0	0.0	631208.94
7I 6	21.942316	0.045574	0.0	98.665359	0.0	0.0	1.727797	0.0	0.0	631208.94
7I 7	26.323879	0.037988	0.0	99.020242	0.0	0.0	0.354883	0.0	0.0	631208.94
7I 8	34.768555	0.028762	0.0	99.023109	0.0	0.0	0.002867	0.0	0.0	631208.94
7I 9	42.128432	0.023737	0.0	99.037233	0.0	0.0	0.014124	0.0	0.0	631208.94
7I 10	43.612063	0.022929	0.0	99.064667	0.0	0.0	0.027433	0.0	0.0	631208.94
7I 11	44.483109	0.022480	0.0	99.066388	0.0	0.0	0.001722	0.0	0.0	631208.94
7I 12	45.298315	0.022075	0.0	99.098725	0.0	0.0	0.032337	0.0	0.0	631208.94
7I 13	46.819177	0.021359	0.0	99.099401	0.0	0.0	0.000675	0.0	0.0	631208.94
7I 14	47.251985	0.021163	0.0	99.115174	0.0	0.0	0.015773	0.0	0.0	631208.94
7I 15	49.575390	0.020171	0.0	99.139809	0.0	0.0	0.024635	0.0	0.0	631208.94

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

En la dirección Y, el periodo fundamental de vibración dinámico calculado con Robot es de 0.4849 segundos, llegando a un 99.14% de masa participativa, cumpliendo de igual forma con lo requerido por la Norma.

Posteriormente, teniendo los valores calculados del periodo fundamental de vibración, tanto estático como dinámico para ambas direcciones, se procede a realizar la comparación, observándose solamente una mínima variación.

Tabla 54. Periodo fundamental de vibración.

Periodo fundamental de vibración		
	Dir. X	Dir. Y
T estático	0.5183 s	0.5183 s
T dinámico	0.4977 s	0.4849 s

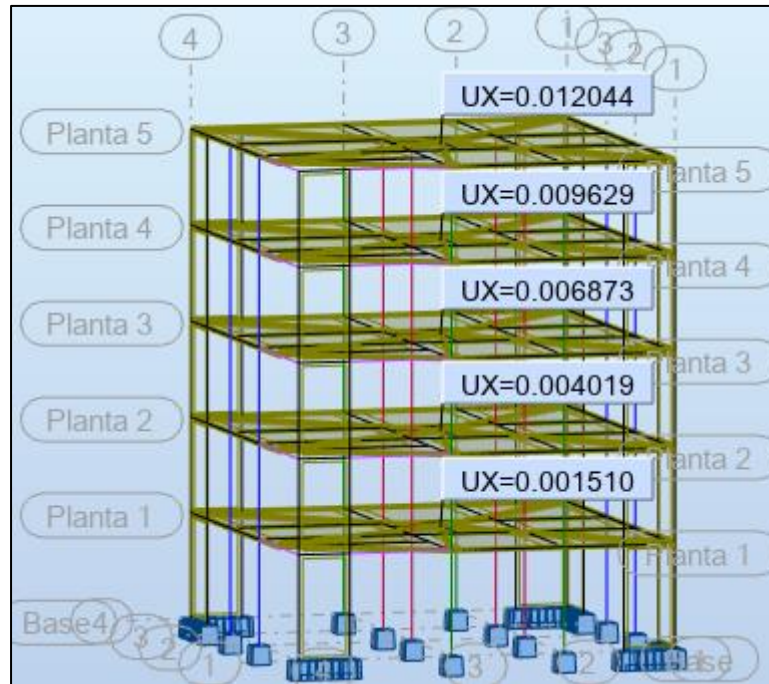
Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

E. Control de derivas por análisis dinámico

Así como se realizó el control de las derivas del análisis estático, en este análisis dinámico también se debe comprobar que cumplan con el ≤ 0.007 , establecido en la Norma.

✓ Derivas en la dirección X:

Figura 40. Desplazamientos en la dirección X, análisis dinámico.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Tabla 55. Control de derivas en la dirección X, análisis dinámico.

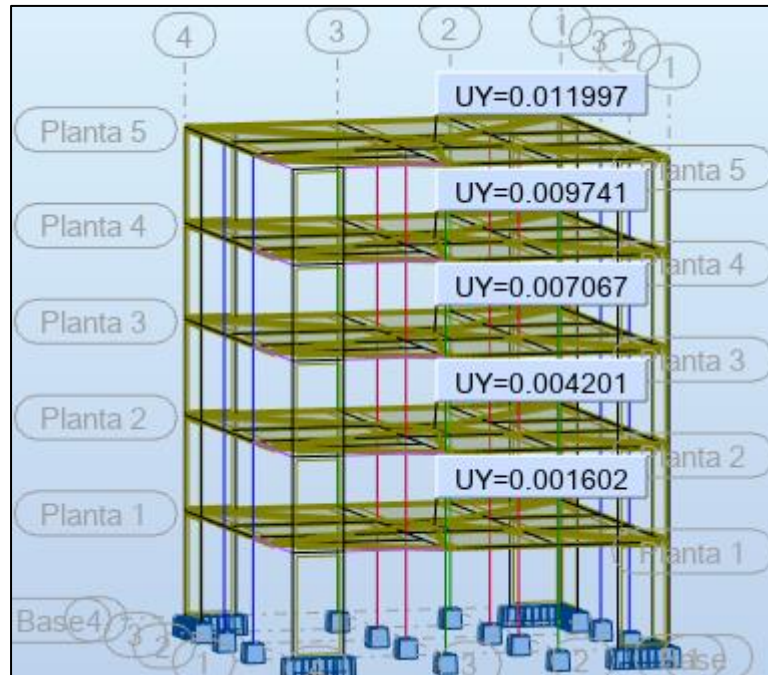
Nivel	Desplazam. Ux (m)	Despl. relativo (m)	Altura entrep. h (m)	Drel/h	(Drel/h) x0.75 R	Norma
Nivel 5	0.012044	0.002415	2.9	0.000833	0.004372	≤ 0.007
Nivel 4	0.009629	0.002756	2.9	0.000950	0.004989	≤ 0.007
Nivel 3	0.006873	0.002854	2.9	0.000984	0.005167	≤ 0.007
Nivel 2	0.004019	0.002509	2.9	0.000865	0.004542	≤ 0.007
Nivel 1	0.001510	0.001510	3.2	0.000472	0.002477	≤ 0.007

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Todas las derivas, en cada nivel de la edificación cumplen las verificaciones con lo requerido por la Norma E.030 – 2018, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

✓ Derivas en la dirección Y:

Figura 41. Desplazamientos en la dirección Y, análisis dinámico.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Tabla 56. Control de derivas en la dirección Y, análisis dinámico.

Nivel	Desplazam. Uy (m)	Despl. relativo (m)	Altura entrep. h (m)	Drel/h	(Drel/h)x0.75 R	Norma
Nivel 5	0.011997	0.002256	2.9	0.000778	0.004084	≤ 0.007
Nivel 4	0.009741	0.002674	2.9	0.000922	0.004841	≤ 0.007
Nivel 3	0.007067	0.002866	2.9	0.000988	0.005188	≤ 0.007
Nivel 2	0.004201	0.002599	2.9	0.000896	0.004705	≤ 0.007
Nivel 1	0.001602	0.001602	3.2	0.000501	0.002628	≤ 0.007

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

F. Comprobación del porcentaje de cortante basal en placas y pórticos

Tabla 57. Porcentaje de cortante basal en placas y en pórticos.

	Cortante basal en placas y pórticos			
	Dir. X	Dir. Y	% en X	% en Y
Cortante basal (V)	71430.94 kgf	73853.62 kgf	100%	100%
V en placas (<70%)	48435.71 kgf	50999.46 kgf	67.81%	69.05%
V en pórticos (≥ 30%)	22995.23 kgf	22854.16 kgf	32.19%	30.95%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

El diseño cumple con la Norma, respecto al porcentaje en sistema dual.

3.4.6.1.9. Diseño de los elementos de concreto armado con Robot Structural

Teniendo el diseño óptimo de la estructura, mediante los análisis sísmicos realizados anteriormente, se procedió a diseñar el acero de refuerzo de la edificación, para esta etapa el programa Robot Structural utiliza el apartado que se denomina Refuerzo Proporcionado de Elementos RC, tal como se muestra a continuación

A. Diseño de columnas

La columna tomada como ejemplo de diseño del presente estudio fue la columna céntrica C3 de 40 x 40 cm, que se encuentra en la intersección del eje B y el eje 3, en el primer nivel.

Figura 42. Columna C3, seleccionada para su diseño.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Para el diseño del acero de refuerzo de las columnas fueron creadas las combinaciones de cargas de acuerdo a la Norma de concreto armado E.060:

Figura 43. Combinaciones de cargas para el diseño de columnas.

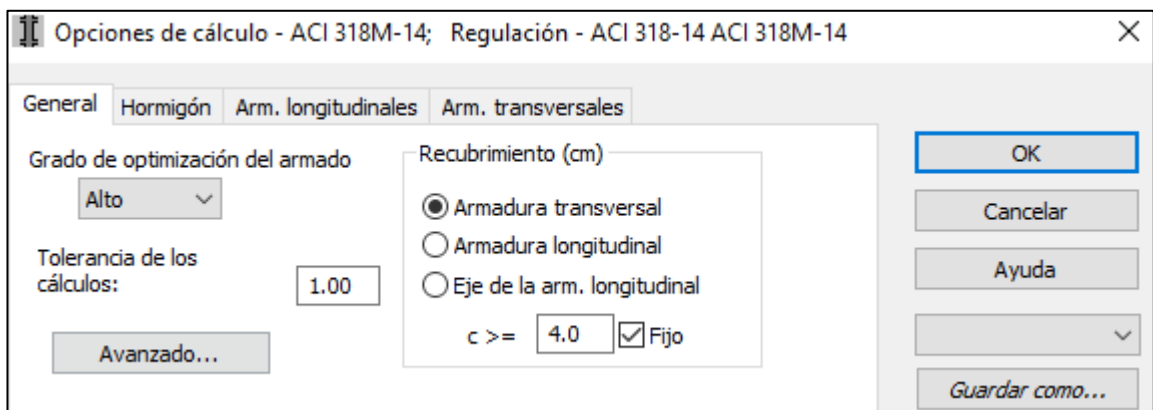
<input checked="" type="checkbox"/>	N.º	Tipo	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/>	10	ELU	1.4CM+1.7CV
<input checked="" type="checkbox"/>	11	ELU	1.25(CM+CV)+CSX
<input checked="" type="checkbox"/>	12	ELU	1.25(CM+CV)-CSX
<input checked="" type="checkbox"/>	13	ELU	1.25(CM+CV)+CSY
<input checked="" type="checkbox"/>	14	ELU	1.25(CM+CV)-CSY
<input checked="" type="checkbox"/>	15	ELU	0.9CM+CSX
<input type="checkbox"/>	16	ELU	0.9CM+CSY

Combinaciones manuales

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Posteriormente en la herramienta denominada Opciones de Cálculo del programa Robot, se procedió a incorporar los datos relacionados al recubrimiento, tipo de concreto, diámetro del acero longitudinal y transversal a utilizar:

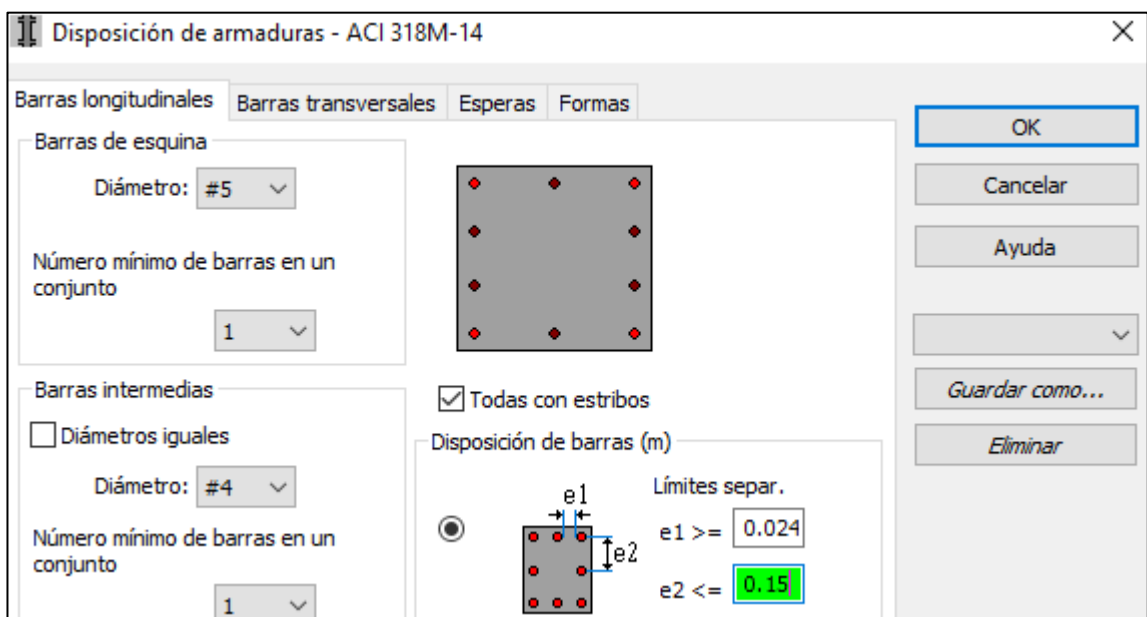
Figura 44. Herramienta de opciones de cálculo de Robot Structural.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Luego se propuso la disposición de las armaduras, donde se indicó la manera cómo queremos que se distribuya el acero longitudinal y transversal, así como las formas geométricas:

Figura 45. Herramienta para disposición de armaduras de Robot Structural.

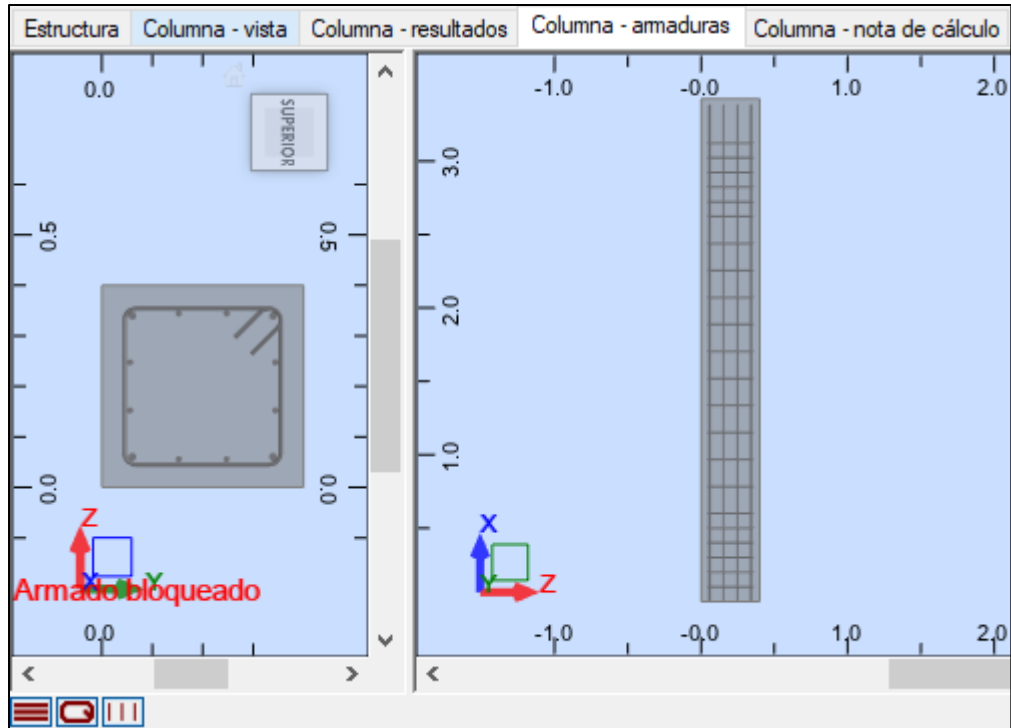


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Presentación de resultados del diseño de columna

Teniendo todos los parámetros y características definidas se procedió al cálculo del acero de refuerzo. El programa Robot Structural tiene la capacidad de generar modelos de la armadura como se muestra en los siguientes resultados:

Figura 46. Armadura de la columna diseñada.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Finalmente tenemos el acero calculado que propone Robot Structural, expresando el número de varillas según su ubicación y su respectiva longitud, cabe mencionar que el diámetro #3 es la varilla de 3/8", el #4 es la varilla de 1/2" y el #5 es de 5/8".

Tabla 58. Características del acero de refuerzo en la columna.

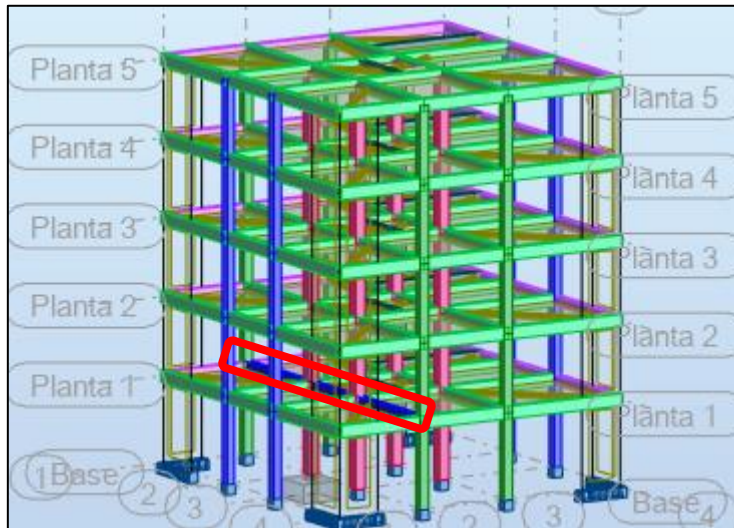
	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Número	(m)
1	1	principal	Grade 60	#4	8	L1 = 3.39
2	2	principal	Grade 60	#5	4	L1 = 3.39
3	3	transversal	Grade 60	#3	22	B = 0.32
*						

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

B. Diseño de vigas

La viga que se tomó como ejemplo de diseño fue la viga VP1 (25 x 45), que se encuentra en el eje 3-3 del primer piso, repitiéndose esta en los demás pisos típicos superiores.

Figura 47. Viga VP1, seleccionada para su diseño.

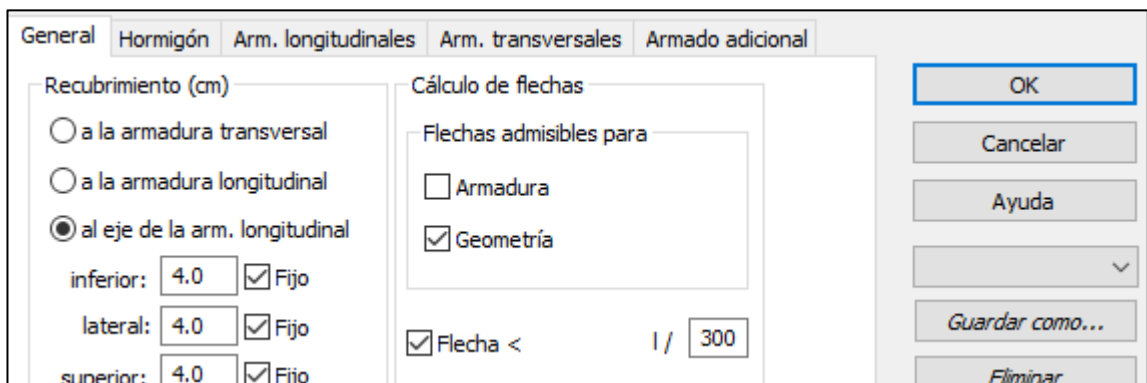


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Al igual que para las columnas, en este caso de las vigas, también se utilizaron las combinaciones establecidas en la Norma E.060, de acuerdo a las cuales el programa asume la envolvente de diseño.

En la herramienta Opciones de Cálculo del programa Robot, se procedió a incorporar los datos como en el caso anterior:

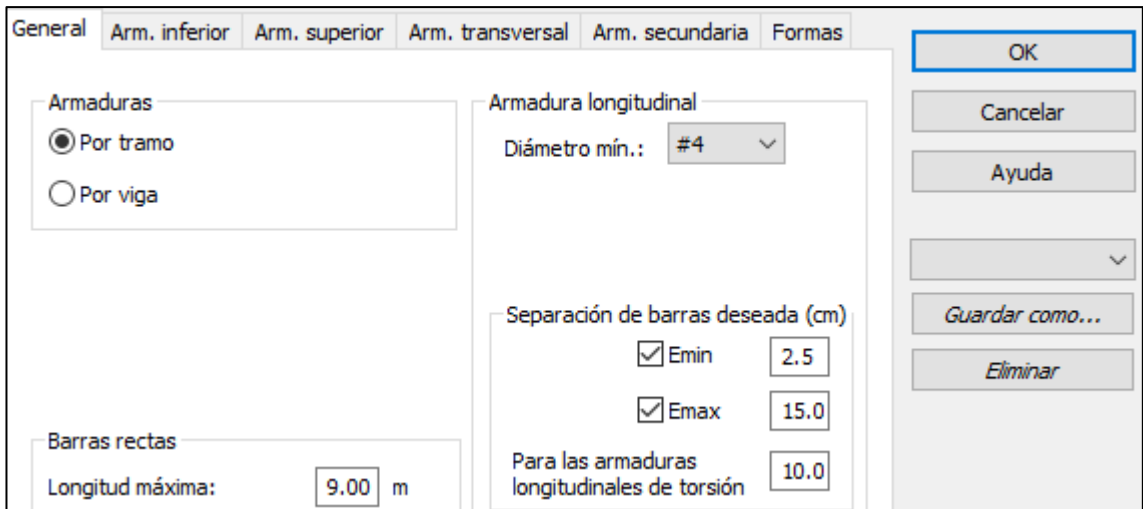
Figura 48. Opciones de cálculo para las vigas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

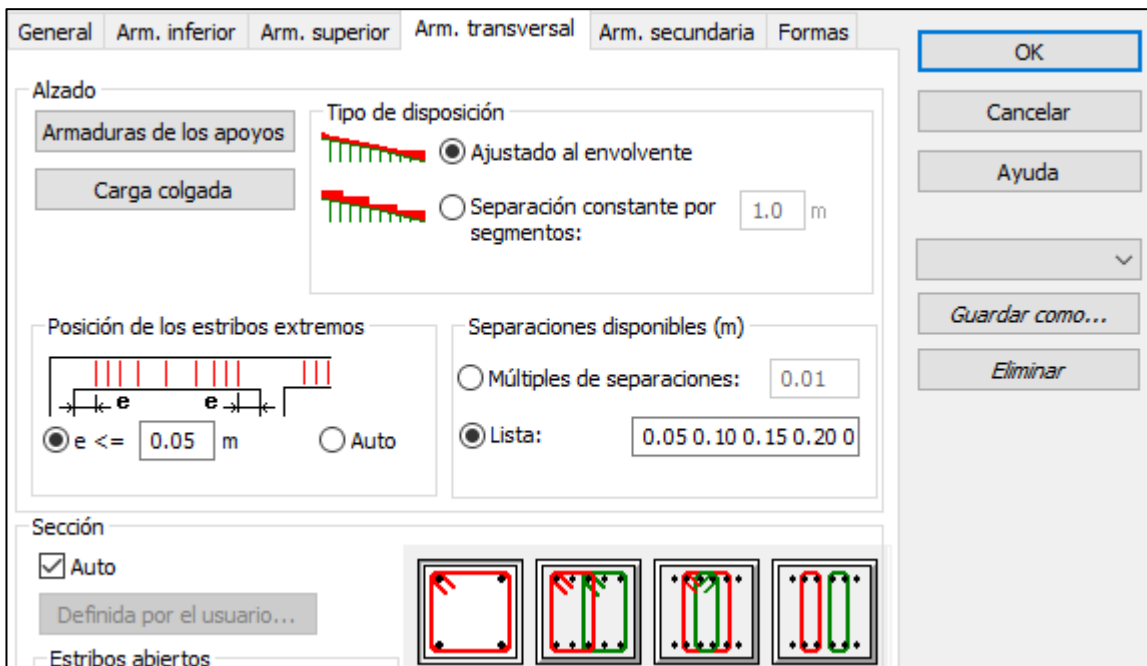
Se propuso la disposición de las armaduras longitudinales y transversales:

Figura 49. Disposición de armaduras para las vigas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Figura 50. Disposición de los estribos para las vigas.

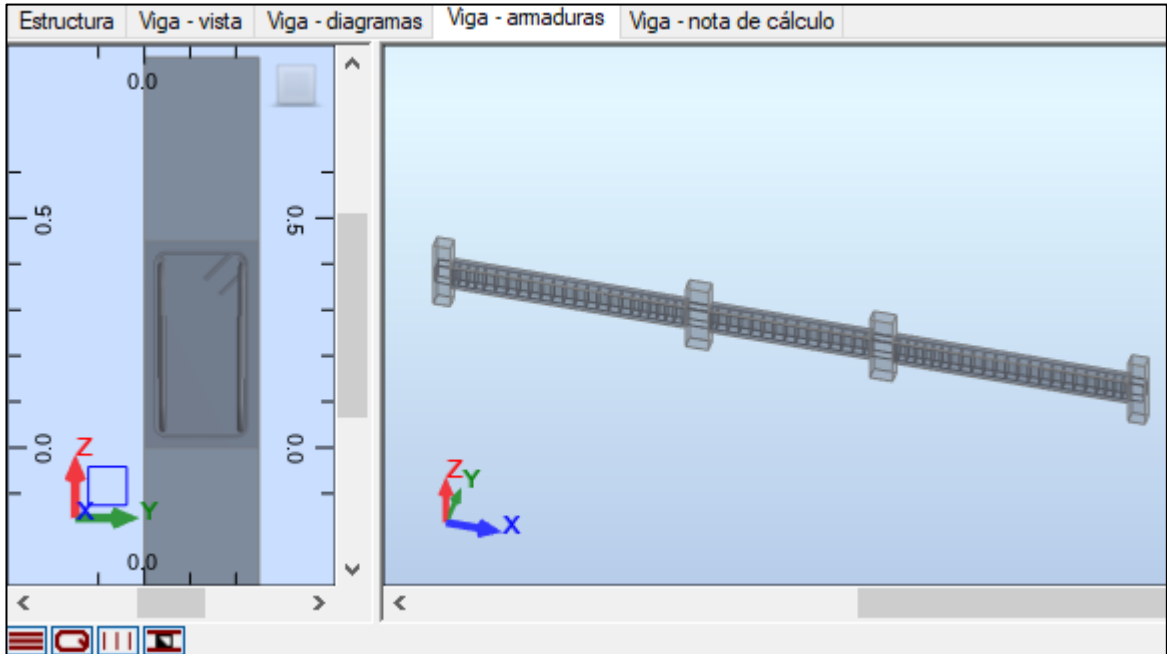


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Presentación de resultados del diseño de viga

Los cálculos del acero de refuerzo para la viga, realizados mediante el programa Robot Structural se muestran a continuación:

Figura 51. Armadura de la viga diseñada.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

El siguiente cuadro muestra los resultados finales del diseño, indicando que el diámetro #3 es la varilla de 3/8", el #4 es la varilla de 1/2" y el #5 es de 5/8":

Tabla 59. Características del acero de refuerzo en la viga.

	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Número	(m)
1	1	principal superior	Grade 60	#5	4	B = 1.78
2	2	transversal principal	Grade 60	#3	48	B = 0.21
3	3	principal superior	Grade 60	#4	4	B = 1.80
4	4	principal inferior	Grade 60	#5	4	B = 4.73
5	6	principal inferior	Grade 60	#4	2	B = 3.93
6	8	principal superior	Grade 60	#4	4	B = 3.58
7	9	transversal principal	Grade 60	#3	18	B = 0.21
*						

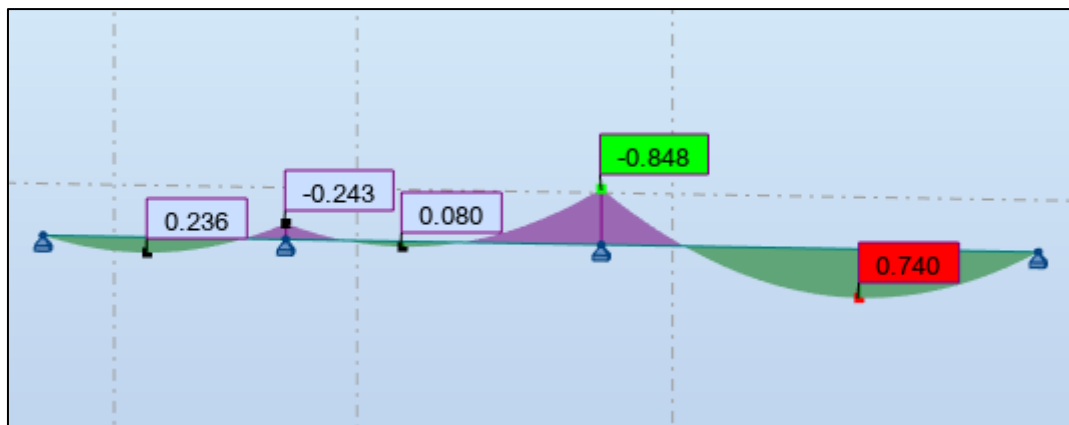
Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

C. Diseño de losas aligeradas

El diseño estructural de las losas aligeradas se realizó para los niveles típicos de la edificación. Teniendo en cuenta que se hace como si fuera una viga T, con una altura de 20 cm, ancho de 40 cm y alma de 10 cm.

Para estos elementos el programa Robot Structural no considera el peso por m² de losa aligerada, razón por la cual el diseño de las losas se realizó de forma aparte, en el cual se modelaron las viguetas, se le asignaron las cargas muertas y las cargas vivas; para obtener finalmente los momentos de diseño según las combinaciones establecidas en la Norma E.060. Para el ejemplo se tomaron los paños que se encuentran entre los ejes 1-1 y 2-2.

Figura 52. Momentos de la losa aligerada.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Presentación de resultados del diseño de losa aligerada

Los momentos se han calculado con el programa Robot Structural, teniéndolos ya definidos se procedió al cálculo de las áreas de acero de refuerzo que van en las viguetas de las losas aligeradas, arrojando los siguientes resultados, el acero #4 es la varilla de 1/2" y el #5 es de 5/8":

Tabla 60. Características del acero de refuerzo positivo en losa aligerada.

Momento (+)	bw (+)	As (+)	As mín (+)	As (+) asignado	Diámetro (mm)	Número
0.740 Tonf-m	0.40 m	1.34 cm ²	0.82 cm ²	1.34 cm ²	#4	2
0.080 Tonf-m	0.40 m	0.04 cm ²	0.82 cm ²	0.82 cm ²	#4	1
0.236 Tonf-m	0.40 m	0.73 cm ²	0.82 cm ²	0.82 cm ²	#4	1

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Tabla 61. Características del acero de refuerzo negativo en losa aligerada.

Momento (-)	bw (-)	As (-)	As mín (-)	As (-) asignado	Diámetro (mm)	Número
0.848 Tonf-m	0.10 m	1.62 cm ²	0.41 cm ²	1.62 cm ²	#5	1
0.243 Tonf-m	0.10 m	0.72 cm ²	0.41 cm ²	0.72 cm ²	#4	1

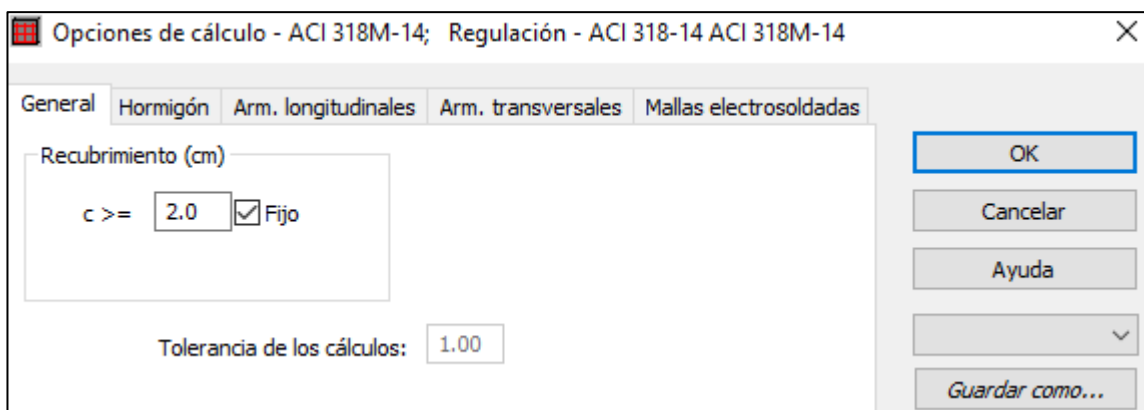
Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

D. Diseño de placas

El diseño de las placas se tuvo en cuenta los dispuesto por la norma peruana E.060 de diseño de estructuras de concreto armado de acuerdo a estos parámetros se asignaron al programa los datos con los cuales se diseñó el acero de estos muros de corte o placas.

En opciones de cálculo, tal como para las columnas y vigas que se calculó anteriormente, se ingresó el recubrimiento, el tipo de concreto, y los diámetros a utilizar del acero para placas.

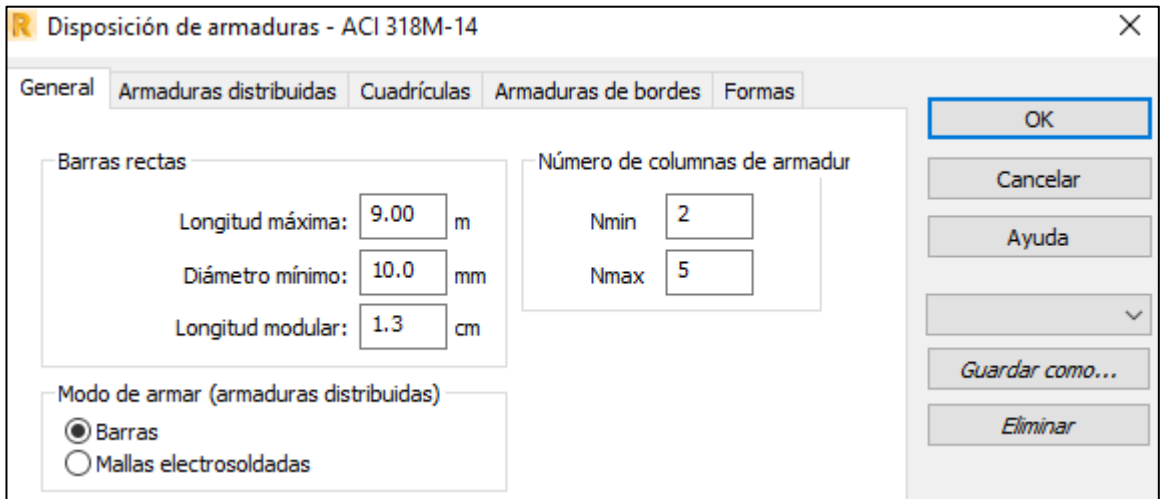
Figura 53. Opciones de cálculo para las placas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Posteriormente se dispuso las armaduras de acuerdo al tamaño de varillas disponibles en el mercado (9 m), se eligió el modo de armar la placa (mediante barras), la distribución de armaduras horizontales y verticales, la separación entre las barras de anclaje, así como la división horizontal y vertical de los paneles, asimismo se eligió la armadura para los bordes o las llamadas cabezas de placa (tanto su armadura longitudinal como la transversal).

Figura 54. Disposición de armaduras para las placas.

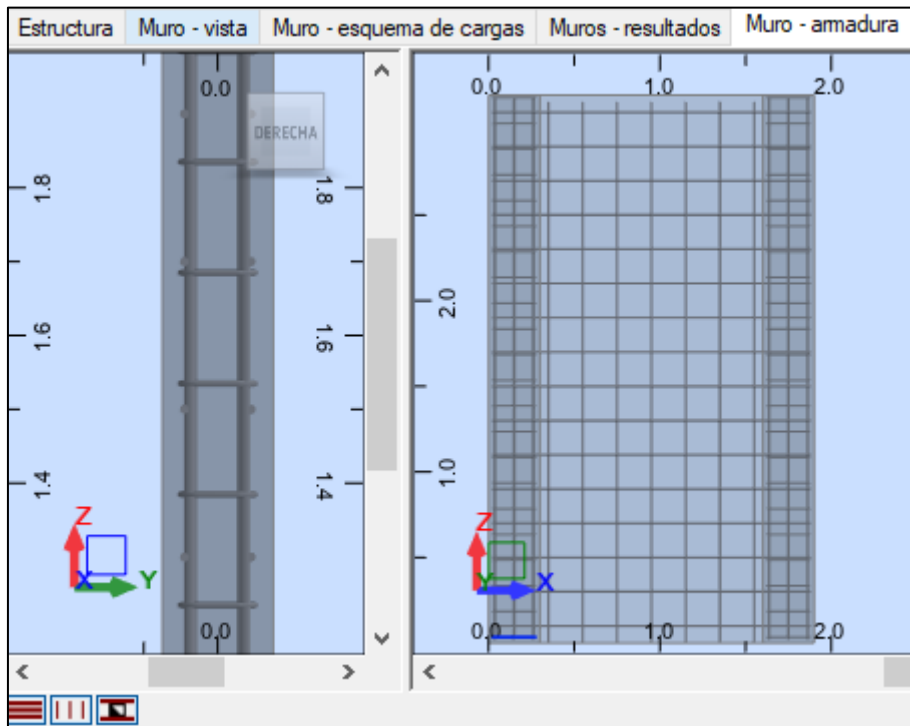


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Presentación de resultados del diseño de placa

Luego del ingreso de datos y parámetros requerido, Robot realizó el diseño de la armadura de las placas, teniendo los siguientes resultados:

Figura 55. Armadura de la placa diseñada.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Asimismo, se tiene el tipo, diámetro, cantidad y longitud de cada acero:

Tabla 62. Características del acero de refuerzo en la placa.

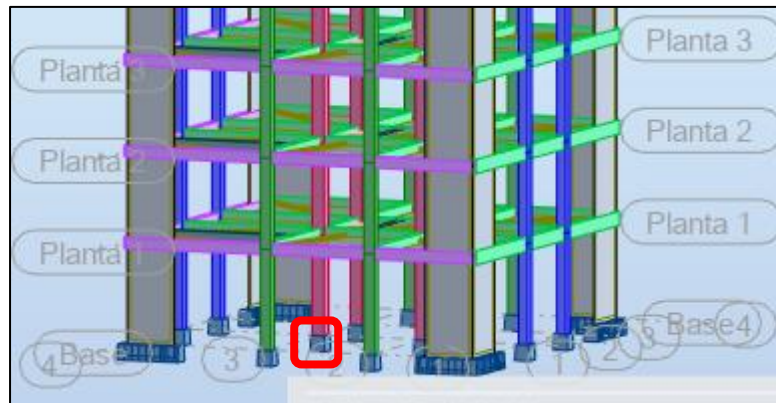
	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Número	(m)
1	1	En el borde, longitudinal	Grade 60	#5	12	L1 = 3.16
2	2	En el borde, transversal	Grade 60	#3	44	B = 0.11
3	3	Horizontal principal	Grade 60	#4	32	L1 = 1.86
4	4	Verticales principales	Grade 60	#4	14	L1 = 3.16
*						

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

E. Diseño de zapatas

La zapata elegida para ejemplo de diseño fue la que le corresponde a la columna céntrica C3 y se ubica en la intersección del eje B y el eje 3.

Figura 56. Zapata, seleccionada para su diseño.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Las combinaciones de carga para el diseño de la zapata son las amplificadas propuestas por la Norma E.060 (1.4CM+1.7CV) y de servicio.

Figura 57. Combinación de cargas para el diseño de zapatas.

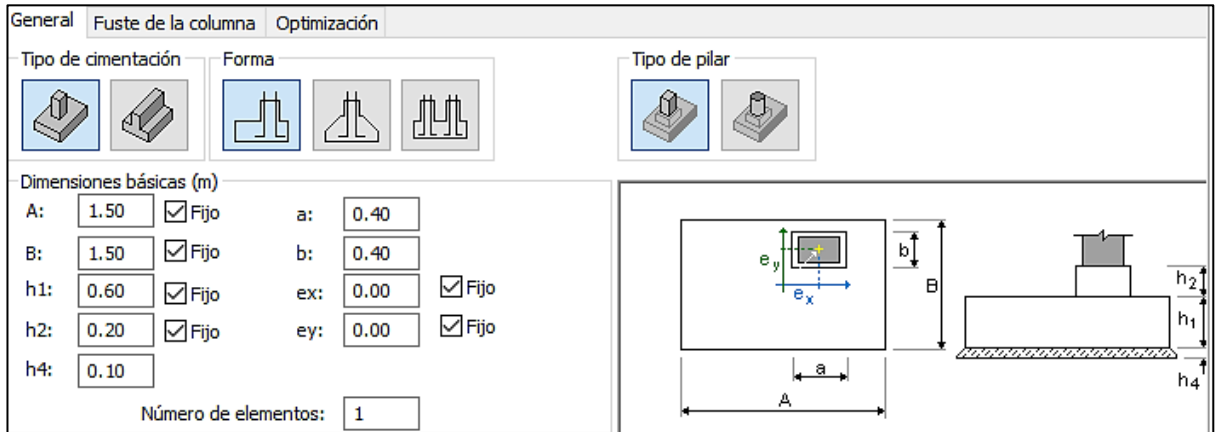
<input checked="" type="checkbox"/>	N.º	Tipo	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/>	10	ELU	1.4CM+1.7CV
<input type="checkbox"/>	11	ELU	1.25(CM+CV)+CSX
<input type="checkbox"/>	12	ELU	1.25(CM+CV)-CSX
<input type="checkbox"/>	13	ELU	1.25(CM+CV)+CSY
<input type="checkbox"/>	14	ELU	1.25(CM+CV)-CSY
<input type="checkbox"/>	15	ELU	0.9CM+CSX
<input type="checkbox"/>	16	ELU	0.9CM+CSY

Combinaciones manuales /

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Luego se ingresó la definición de las dimensiones geométricas de la zapata, es decir el largo, ancho y espesor.

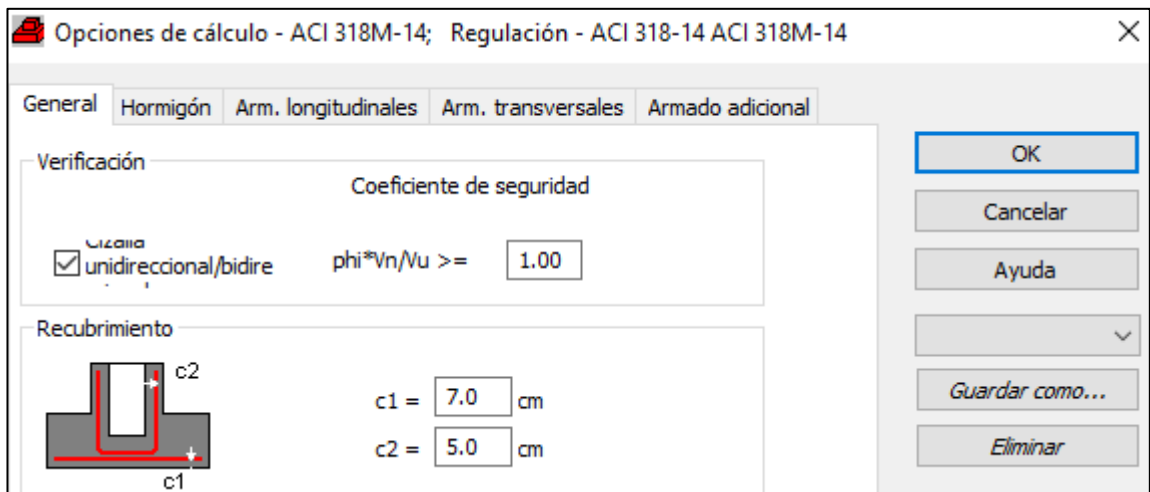
Figura 58. Definición de las dimensiones geométricas básicas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

En opciones de cálculo, tal como para los elementos anteriores se procedió a ingresar los parámetros necesarios.

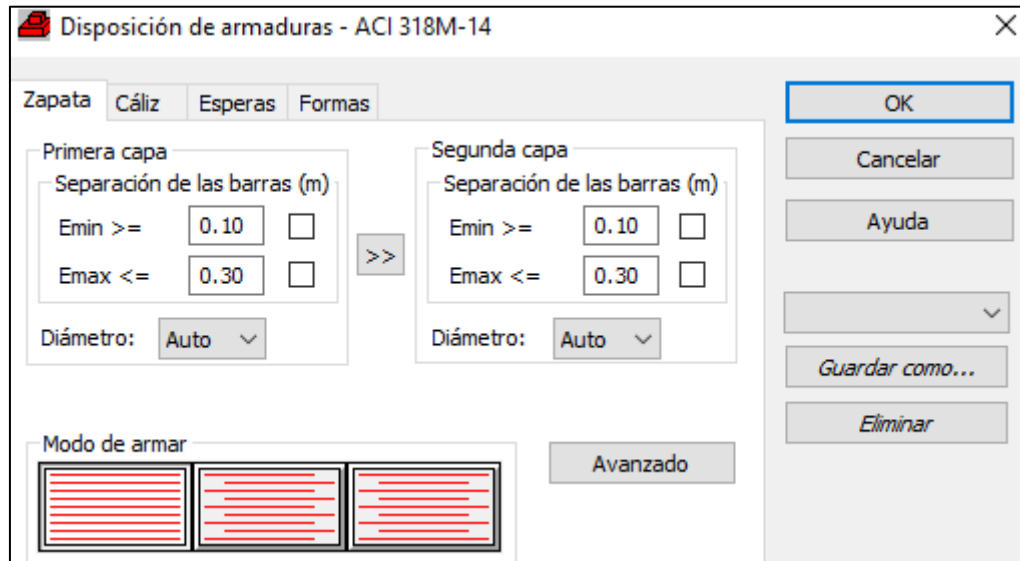
Figura 59. Opciones de cálculo para las zapatas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Finalmente, se dispuso la forma como tienen que ir las armaduras en la parrilla de armado de zapatas, para ambas direcciones.

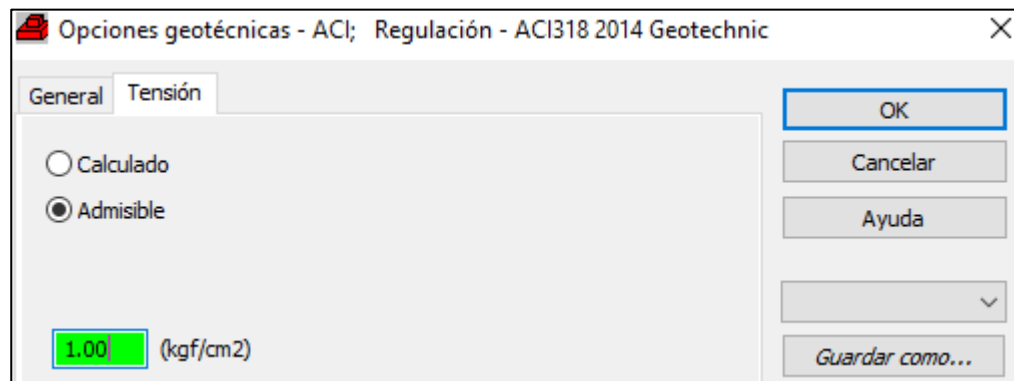
Figura 60. Disposición de armaduras para las zapatas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

En las opciones geotécnicas se ingresó la capacidad portante del terreno donde se ha proyectado el edificio, como se había mencionado anteriormente este cuenta con una capacidad portante de 1.00 kgf/cm².

Figura 61. Opciones geotécnicas.

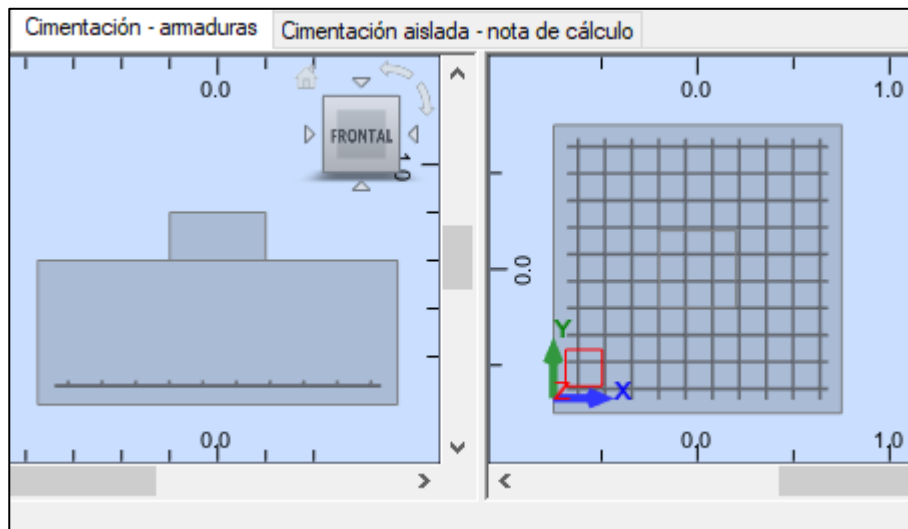


Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Presentación de resultados del diseño de zapata

Luego con todas las características y parámetros ingresados para la zapata se procede al cálculo y obtención de resultados mediante el programa Robot Structural, los cuales se muestran a continuación:

Figura 62. Armadura de la zapata diseñada.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

Se muestran los resultados finales del diseño de la zapata, indicando siempre que el diámetro #5 corresponde a la varilla de 5/8”.

Tabla 63. Características del acero de refuerzo en la zapata.

	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Número	(m)
1	1	<valores diferentes>	Grade 60	#5	20	L1 = 1.36
*						

Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural Analysis.

3.4.6.1.10. Interoperabilidad entre Robot Structural Analysis y Revit

Con el propósito de continuar con la interoperabilidad entre estos dos programas, en esta etapa se traslada los elementos diseñados estructuralmente de Robot Structural a Revit, mediante este último se logra una mejor visualización de los aceros de refuerzo, así como un detallamiento más preciso y claro.

Debido a que la entrega final de los planos de todo proyecto es de mucha relevancia para su correcta ejecución se debe realizar un adecuado detalle de cada estructura mediante el programa especializado Revit. Para el traspaso de los resultados desde el programa estructural al de modelado se lo puede hacer por partes o todo el proyecto en conjunto, mediante la integración directa con el proyecto estructural de Revit.

3.4.6.2. Detección de fallas durante la interoperabilidad

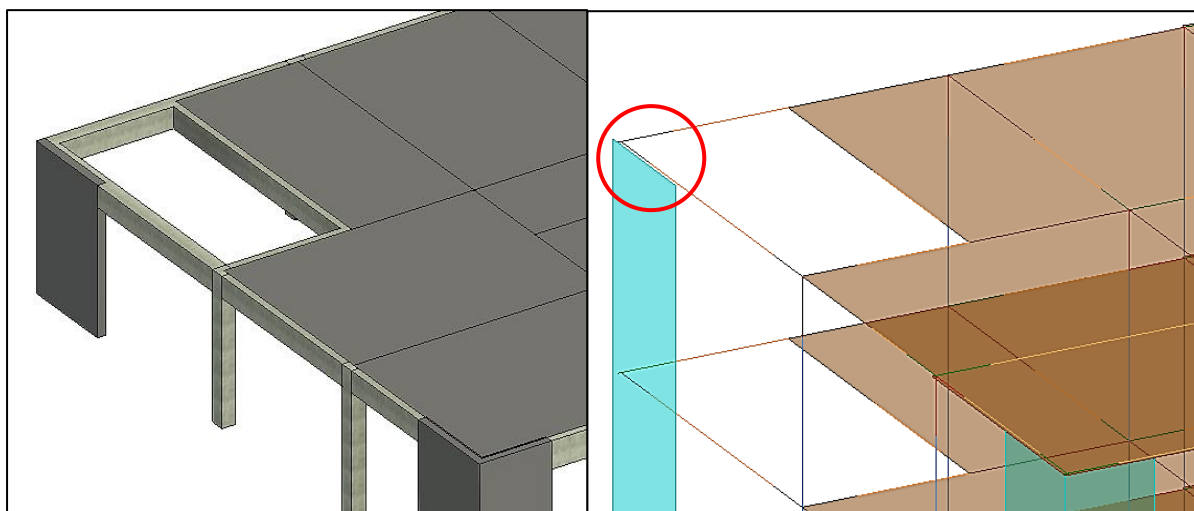
Los errores que se detectaron están basados principalmente en los desfases que sufren los elementos estructurales con respecto a su geometría o su posición inicial en el modelo arquitectónico.

3.4.6.2.1. Fallas en el modelo analítico de Revit

El modelo analítico, es el que prepara Revit para la exportación al software Robot y está basado en la unión de los ejes de todos los elementos estructurales.

Cuando exportamos el modelo arquitectónico al modelo estructural en el mismo programa Revit, aparentemente no existen desfases, pero al observar detenidamente el modelo analítico se detecta que algunos de los elementos se han deformado, como se muestra a continuación:

Figura 63. Modelos arquitectónico y analítico en Revit.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

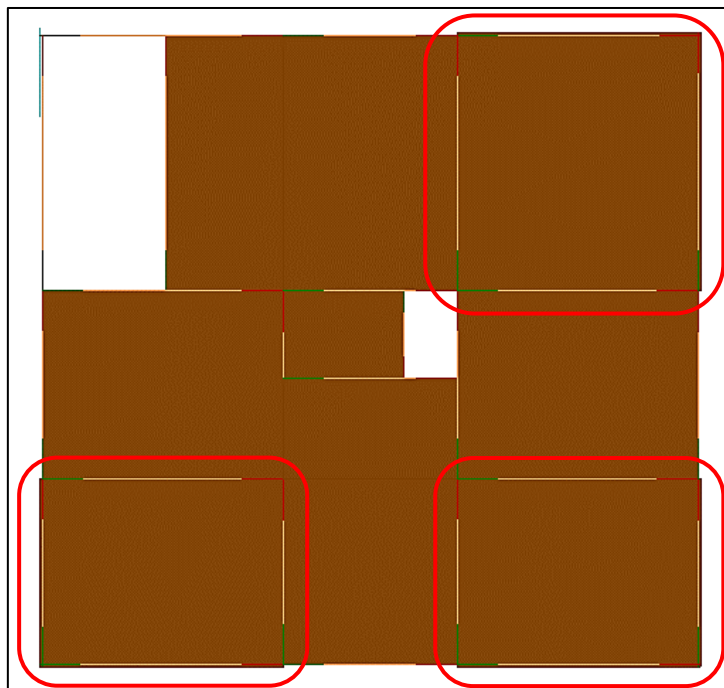
Como se observa en la figura, la posición de la placa en la esquina se empieza a desfasar en el modelo analítico, lo cual origina un alargamiento en la viga analítica

perpendicular y un desfase en toda la longitud de dicha placa con respecto a la viga paralela de su costado, este fenómeno ocurre con todas las placas en el modelo analítico, acarreando desfases en los demás elementos horizontales.

Desfases de losas en el modelo analítico

Como se mencionó en el párrafo anterior, las placas analíticas sufren un desfase tanto en su ubicación como en su geometría, esto ocasiona que las losas adyacentes también se deformen:

Figura 64. Desfase de losas analíticas.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

Tabla 64. Desfase de las losas en el modelo analítico.

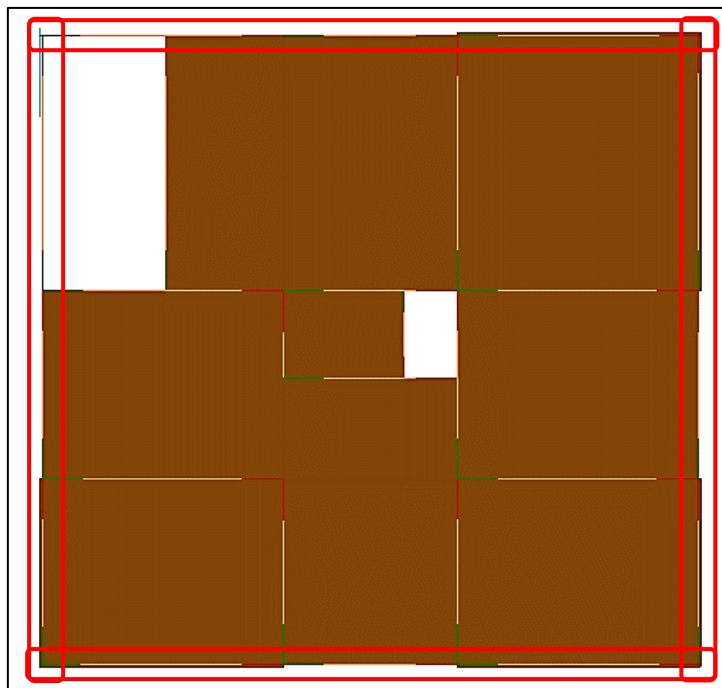
DEFASE DE LOSAS EN EL MODELO ANALÍTICO DE REVIT			
NIVELES	LOSAS POR NIVEL		% DE LOSAS DEFASADAS
	CANTIDAD	DEFASADAS	
5 pisos	10	3	30.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Desfases de vigas en el modelo analítico

Las vigas analíticas se desfasan en su geometría, en las uniones con las placas, es decir, se genera un alargamiento hasta llegar a la posición de las placas desfasadas.

Figura 65. Desfase de vigas analíticas.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

Tabla 65. Desfase de las vigas en el modelo analítico.

DEFASE DE VIGAS EN EL MODELO ANALÍTICO DE REVIT			
NIVELES	VIGAS POR NIVEL		% DE VIGAS DEFASADAS
	CANTIDAD	DEFASADAS	
5 pisos	11	4	36.36%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Desfases de columnas en el modelo analítico

Las columnas son los únicos elementos de la estructura que no sufren ningún desfase, ni en su geometría y ni en su posición.

Tabla 66. Desfase de las columnas en el modelo analítico.

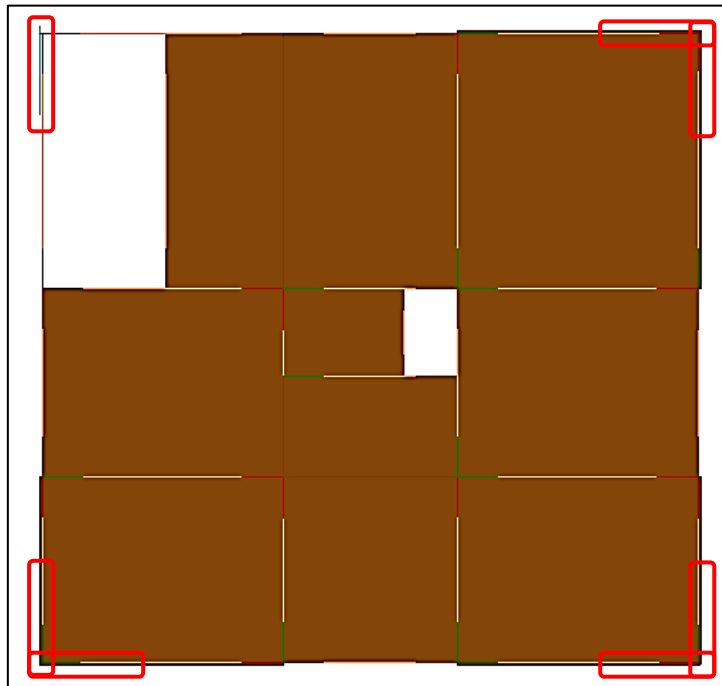
DEFASE DE COLUMNAS EN MODELO ANALÍTICO DE REVIT			
NIVELES	COLUMNAS POR NIVEL		% DE COLUMNAS DESFASADAS
	CANTIDAD	DESFASADAS	
5 pisos	12	0	0.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Desfases de placas en el modelo analítico

Las placas son los elementos que más se desfasan, tanto en su posición como en su geometría, generando un modelo analítico relativamente deformado respecto al original que se propuso en la arquitectura.

Figura 66. Desfase de placas analíticas.



Fuente: Elaborado en base a software Revit.

Tabla 67. Desfase de las placas en el modelo analítico.

DEFASE DE PLACAS EN EL MODELO ANALÍTICO DE REVIT			
NIVELES	PLACAS POR NIVEL		% DE PLACAS DESFASADAS
	CANTIDAD	DESFASADAS	
5 pisos	7	7	100.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

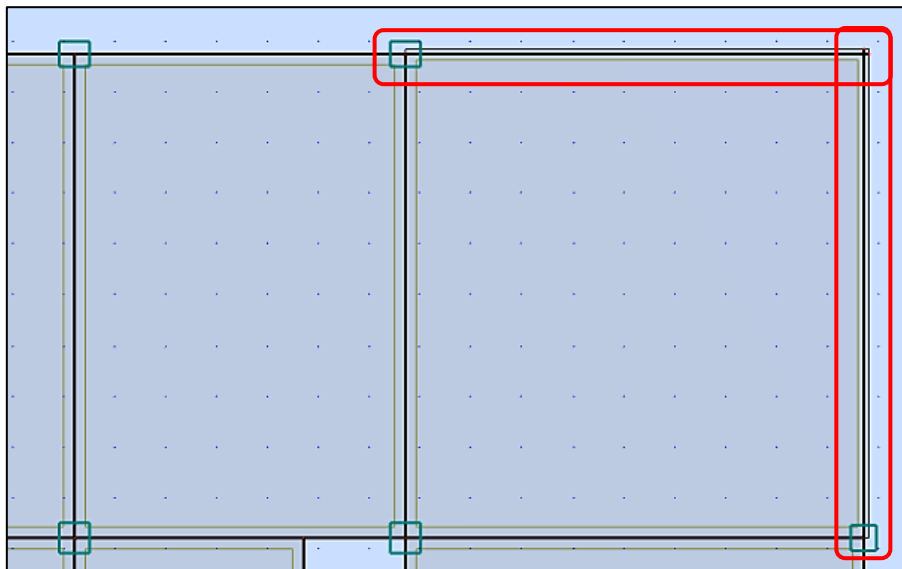
3.4.6.2.2. Fallas en el modelo exportado en Robot Structural

Una vez obtenido el modelo analítico de Revit este se exporta a Robot, en el cual se observó que los elementos estructurales que ya han sufrido deformaciones en Revit analítico llegan de igual forma a Robot.

Desfases de losas en el modelo exportado en Robot

El desfase de las losas es más notable en el modelo de Robot ya que este programa BIM ofrece una gran nitidez del modelado 3D, en el cual es mucho más fácil identificar estas fallas.

Figura 67. Desfase de losas exportadas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural.

Tabla 68. Desfase de las losas exportadas.

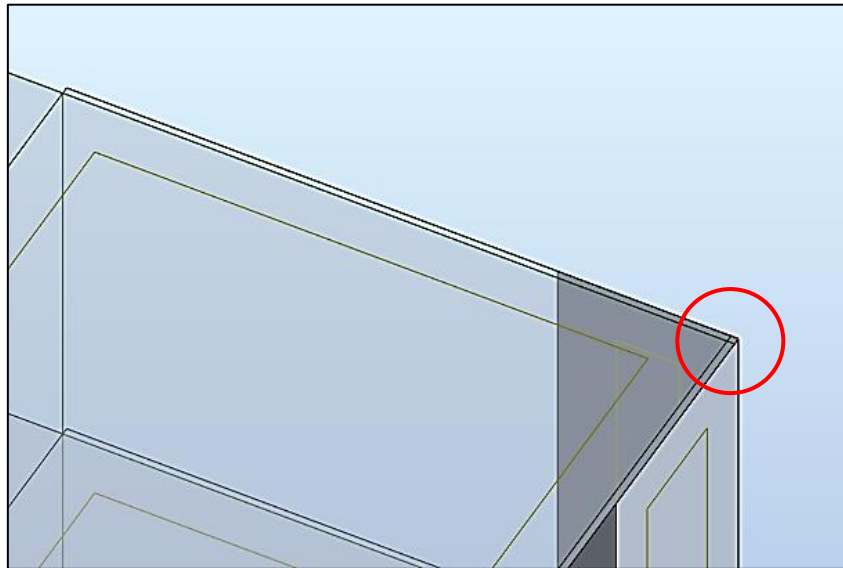
DEFASE DE LOSAS EN EL MODELO EXPORTADO EN ROBOT			
NIVELES	LOSAS POR NIVEL		% DE LOSAS DEFASADAS
	CANTIDAD	DEFASADAS	
5 pisos	10	3	30.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Desfases de vigas en el modelo exportado en Robot

Las vigas tratan de acoplarse a la ubicación de las placas, lo cual genera un desfase en su posición.

Figura 68. Desfase de vigas exportadas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural.

Tabla 69. Desfase de las vigas exportadas.

DEFASE DE VIGAS EN EL MODELO EXPORTADO EN ROBOT			
NIVELES	VIGAS POR NIVEL		% DE VIGAS DEFASADAS
	CANTIDAD	DEFASADAS	
5 pisos	11	4	36.36%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Desfases de columnas en el modelo exportado en Robot

Al observar minuciosamente todo el modelado que nos aporta la metodología BIM, se determina que las columnas no tienen deformaciones ni desfases.

Tabla 70. Desfase de las columnas exportadas.

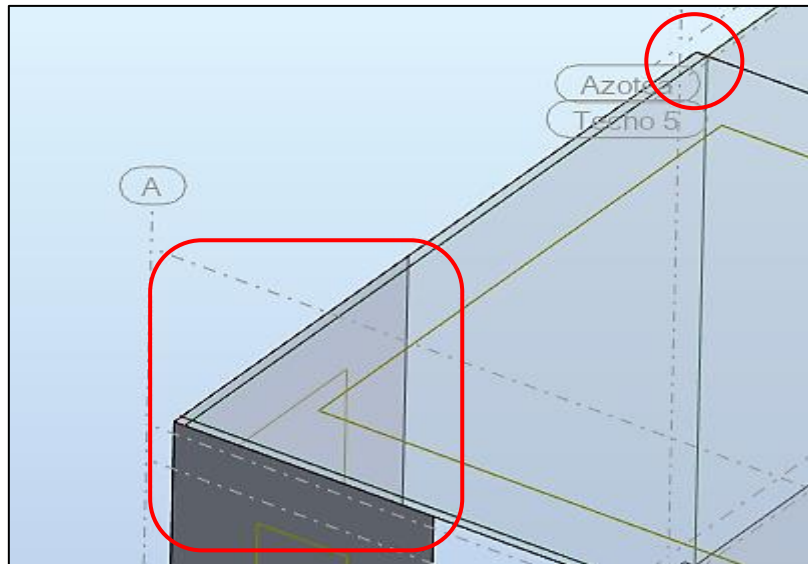
DEFASE DE COLUMNAS MODELO EXPORTADO EN ROBOT			
NIVELES	COLUMNAS POR NIVEL		% DE COLUMNAS DEFASADAS
	CANTIDAD	DEFASADAS	
5 pisos	12	0	0.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

Desfases de placas en el modelo exportado en Robot

Las placas, tal como se mencionó anteriormente son los elementos estructurales más desfasados y en Robot se nota con más claridad como estas deforman a los demás elementos.

Figura 69. Desfase de placas exportadas.



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural.

Tabla 71. Desfase de las placas exportadas.

NIVELES	PLACAS POR NIVEL		% DE PLACAS DESFASADAS
	CANTIDAD	DESFASADAS	
5 pisos	7	7	100.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

3.4.6.2.3. Elementos que más sufren desfases durante la interoperabilidad

Durante el proceso de interacción entre los softwares Revit y Robot se observó que los elementos se desfasan en su posición, pero unos en mayor medida que otros.

En términos porcentuales, los elementos que más se han desfasado son las placas, como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 72. Porcentaje de elementos desfasados por cada nivel.

PORCENTAJE DE ELEMENTOS DESFASADOS DURANTE EL PROCESO DE INTEROPERABILIDAD			
ELEMENTO ESTRUCTURAL	CANTIDAD POR NIVEL	DESFASADOS	% DESFASADOS
LOSAS	10	3	30.00%
VIGAS	11	4	36.36%
COLUMNAS	12	0	0.00%
PLACAS	7	7	100.00%

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

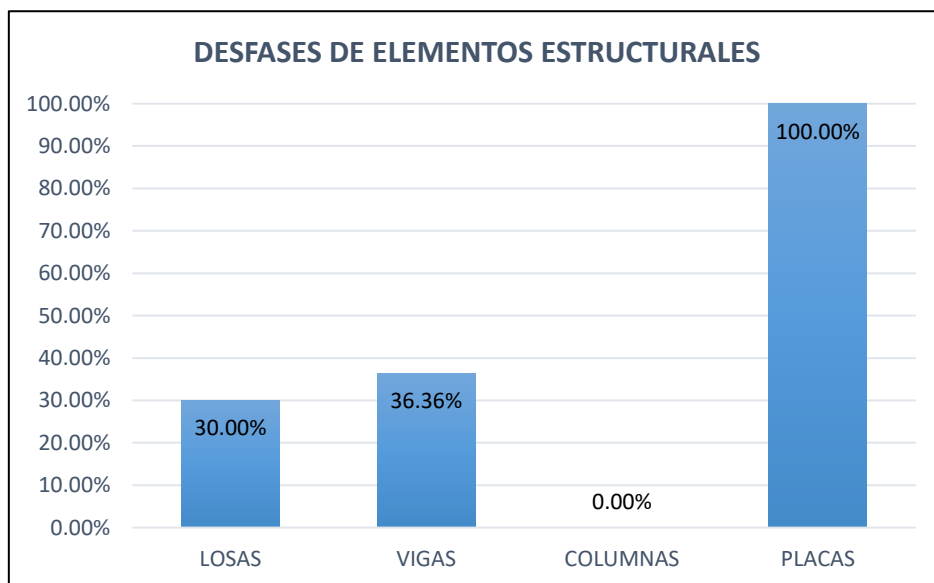
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. DETECCIÓN DE FALLAS APLICANDO LA METODOLOGÍA BIM

En esta investigación se aplicó la metodología BIM detectando transposiciones o desfases que ocurren en los elementos estructurales durante el proceso de interoperabilidad, en la etapa de análisis y diseño estructural de un edificio multifamiliar de 5 pisos con sistema estructural dual, ubicado en la ciudad de Cajamarca. Donde se observó que la mayor parte de dichas transposiciones ocurren en el modelo analítico a exportar que nos proporciona el software Revit, los cuales son traspasados al programa Robot en el que se realiza el análisis y diseño estructural, como en los Ítems anteriores se venía mostrando mediante tablas y figuras, se hace necesario el uso de modelos tridimensionales que nos proporciona el mismo BIM con los acercamientos más precisos y nítidos, esto permite arreglar los desfases ocurridos antes de seguir el proceso.

Los elementos que más se sufren desfases en su posición son las placas, tal como se muestra en el anexo 04, este fenómeno afecta también a los elementos unidos a ellas, como las losas y vigas, a continuación, se presenta un gráfico de los porcentajes de todos los elementos que tuvieron alguna transposición:

Figura 70. Desfases de todos los elementos durante la interoperabilidad.

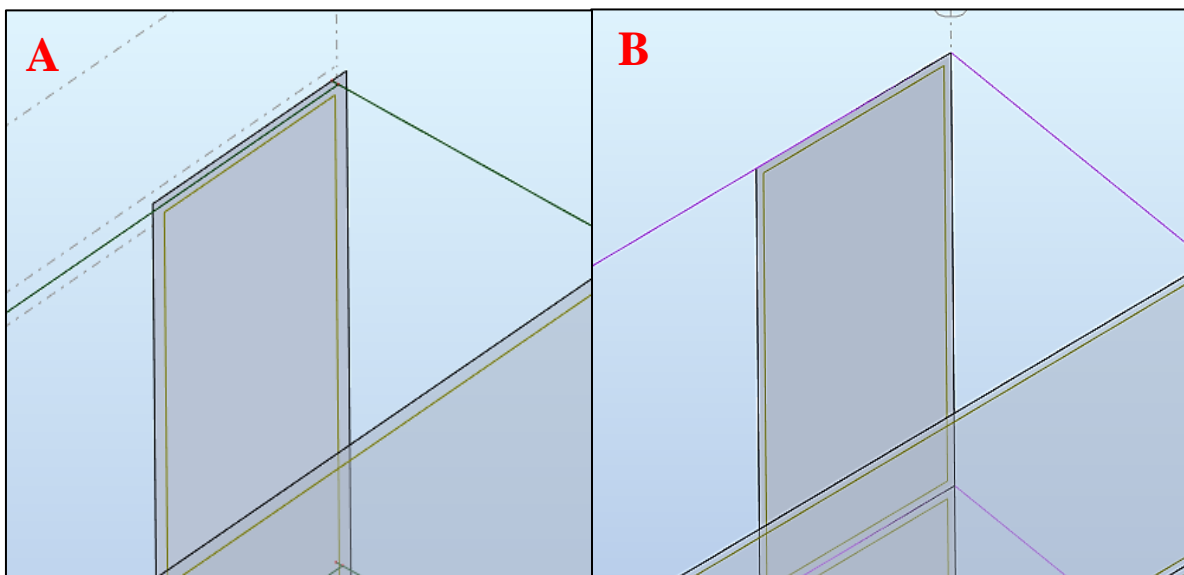


Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

La figura 70 muestra los porcentajes de elementos desfasados, en el cual se aprecia que las columnas son los elementos que no tienen ninguna transposición, a diferencia de las losas que llegan a un 30% de elementos con desfase, las vigas obtienen un 36.36%, mientras que las placas están desfasadas en su totalidad. Si esto no se corrige a tiempo se puede llegar a obtener resultados inadecuados, ya que para hacer un buen diseño se necesita que los elementos se encuentren tal y como se los ha propuesto, es decir, sin ninguna falla ni en su geometría y desfasados de su posición original.

Como se viene mencionando, para mejorar el modelo se tiene que corregir estas fallas de desfases en los elementos estructurales, esto se logra gracias a la nitidez y acercamiento en los modelos tridimensionales que proporcionan los mismos programas BIM, tal es el caso de Robot Structural (para el análisis y diseño estructural) en el cual antes de dicho análisis se debe colocar en su lugar original a todos los elementos desfasados, es decir, corregir los desfases manualmente, como se muestra a continuación:

Figura 71. Placa desfasada (A) y placa corregida (B).



Fuente: Elaborado en base a software Robot Structural.

De la misma forma se tiene que corregir manualmente todos los demás elementos desfasados, antes de realizar el análisis en Robot.

4.2. ADOPCIÓN DE PLATAFORMAS BIM

Existen diversos programas utilizados como plataformas BIM, tal es el caso de Revit, mediante el cual se generan los modelos arquitectónicos, de sistemas y estructurales, en nuestro caso lo más importante fue la creación de modelos paramétricos de los elementos estructurales que componen el edificio. Entre los principales beneficios que tiene el uso de este software es que al modelar dichos elementos ya se tiene en cuenta la función que cumplen cada uno dentro de la estructura global, lo cual es de mucha relevancia al momento de llevar este modelo al programa que realiza los análisis estructurales.

El otro programa BIM elegido fue Robot Structural por la adecuada interoperabilidad, este tiene una gran capacidad de análisis y aborda áreas mucho más avanzadas que los otros en el mercado de su tipo. El intercambio dinámico de información conjuntamente con Revit permitió un desarrollo eficiente de la metodología BIM aplicada a la ingeniería estructural en la presente investigación.

El modelado geométrico permitió al mismo tiempo la creación del modelo analítico, con el cual se trabaja estructuralmente, para esto fue necesario modelar teniendo ciertas consideraciones, como por ejemplo, las uniones entre vigas y columnas deben ser de eje a eje para que los nudos puedan coincidir adecuadamente, asimismo, la dirección de creación de las vigas debe ser desde el centro de origen en dirección positiva de los ejes globales X e Y, pero como se comprobó, aun así ocurren desfases, lo cuales se deben de corregir a tiempo.

4.3. COORDINACIÓN ENTRE ESPECIALIDADES

Una de las características más relevantes de la metodología BIM es la coordinación entre especialidades de arquitectura y estructuras, al mismo tiempo mediante los modelados 3D que son de alta precisión nos ayudó a detectar fallas de desfases o desfases durante el proceso de interoperabilidad antes del análisis y diseño estructural, además cuando se realizó la corrección manual de dichas fallas en el modelo exportado en Robot, estos se actualizaron en el modelo estructural en Revit.

4.4. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Luego de realizar la corrección de las fallas de la interoperabilidad se hizo el diseño de los elementos de concreto armado mediante el mismo programa Robot Structural que tiene sus propias herramientas de cálculo, este software BIM tiene la capacidad de otorgar incluso el resultado de los refuerzos con vistas en 3D, pero en esta investigación se trasladaron los resultados para un mejor detallado a Revit.

4.4.1. Diseño de columna

La columna diseñada para mostrar a detalle su proceso fue la columna céntrica C3 (40 x 40), ubicada en la intersección de los ejes B-3, del primer nivel. El área de acero fue proporcionada por Robot y se encuentra adecuadamente entre el mínimo y máximo exigido por la normatividad.

Tabla 73. Acero requerido para la columna.

Armadura requerida en columna		
Tipo de armadura	Cantidad	Diámetro
Acero longitudinal 1	8	1/2"
Acero longitudinal 2	4	5/8"
Estribos	22	3/8"

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

4.4.2. Diseño de viga

La viga que se diseñó mediante Robot fue la viga principal VP1 (25 x 45), que se encuentra en el eje 3-3 del primer piso, el acero calculado se encuentra entre los límites del mínimo y máximo, haciendo que sea adecuado dicho diseño.

Tabla 74. Acero requerido para la viga.

Armadura requerida en viga		
Tipo de armadura	Cantidad	Diámetro
Acero negativo 1	4	5/8"
Acero negativo 2	4	1/2"
Acero negativo 3	4	1/2"
Acero positivo 1	4	5/8"
Acero positivo 2	2	1/2"
Estribos 1	48	3/8"
Estribos 2	18	3/8"

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

4.4.3. Diseño de losa aligerada

La franja de diseño de la losa aligerada se encuentra entre los ejes 1-1 y 2-2, para obtener los momentos de diseño se utilizó Robot Structural y posteriormente se diseñó mediante una hoja de cálculo, obteniéndose adecuadamente los aceros.

Tabla 75. Acero requerido para la losa aligerada.

Armadura requerida en losa aligerada		
Tipo de armadura	Cantidad	Diámetro
Acero positivo 1	2	1/2"
Acero positivo 2	1	1/2"
Acero positivo 3	1	1/2"
Acero negativo 1	1	5/8"
Acero negativo 2	1	1/2"

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

4.4.4. Diseño de placa

La placa que se diseñó fue una del eje X, de 1.90 m de longitud por ser la de mayor dimensión y fue diseñada totalmente mediante el programa Robot, en base a la Norma de concreto armado, tal como los elementos anteriores. Los aceros calculados corresponden al diseño por corte ya que estas estructuras son exclusivas para absorber dicho esfuerzo en la dirección asignada. Las cantidades de acero encontradas mediante el programa satisfacen el requerimiento de la normatividad.

Tabla 76. Acero requerido para la placa.

Armadura requerida en placa		
Tipo de armadura	Cantidad	Diámetro
Acero longitudinal en borde	12	5/8"
Acero transversal en borde	44	3/8"
Acero horizontal	32	1/2"
Acero vertical	14	1/2"

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

4.4.5. Diseño de zapata

La zapata tomada para el diseño es una céntrica, correspondiente a la columna C3, ubicada en la intersección de los ejes B-3, tomando en cuenta la capacidad portante del terreno donde se ha planteado el proyecto, Robot realizó el diseño de acuerdo con todos los parámetros asignados.

Tabla 77. Acero requerido para la zapata.

Armadura requerida en zapata		
Tipo de armadura	Cantidad	Diámetro
Acero principal	20	5/8"

Fuente: Elaborado en base a software Microsoft Excel.

4.5. DISCUSIÓN

- Si bien la interoperabilidad entre softwares BIM es parte de esta metodología pero se ha demostrado que ocurren fallas expresadas en desfases o transposiciones de los elementos en su ubicación, pero es mediante esta misma metodología y gracias a sus modelamientos tridimensionales de alta precisión que las fallas son detectables y corregibles a tiempo antes de continuar con el proceso de análisis y diseño estructural, lo cual comprueba la influencia positiva de la metodología BIM, ya que las fallas son propios de los Softwares en particular.
- Al ser las placas los elementos que más tienen desfases conllevan a la deformación de los demás elementos unidos a ellas, como son las losas y vigas, por tratar de acoplar sus ejes. Dicho desfase de las placas se debe a que son elementos que su eje se encuentra fuera de los ejes en el sistema global de la estructura en el modelo analítico, a diferencia de las vigas que si coinciden con estos ejes.
- Cabe mencionar que el objetivo de la metodología BIM está orientado hacia el mejoramiento continuo del proyecto en conjunto, basado en una adecuada comunicación y colaboración. Esto ocasiona un ambiente de mayor transparencia entre las personas involucradas, quienes van a crear modelos con la información correcta, conllevando a diseños y análisis más precisos.
- Mediante BIM se pueden visualizar los problemas que surgen y corregirlos de manera correcta en un tiempo prudente, para no incurrir en demoras antes de que el proyecto llegue a sus fases finales o construcción, ya que mientras más temprano se detecten los problemas menores costos demandará su solución, pero a la vez es necesario tener presente que la implementación de esta

metodología y su correcto uso obliga a los usuarios a especializarse en sus respectivas áreas para poder utilizar de manera eficiente las plataformas que ofrece y se pueda tener una sólida base teórica con la que se corroboren cada parte de los cálculos cuando estos sean necesarios.

- Del presente estudio, se obtienen valoraciones positivas respecto a la implementación del BIM mediante la interoperabilidad entre Revit y Robot Structural Analysis, como los mencionados a continuación: disminución de las fallas de interacción entre softwares, identificación precisa de interferencias, mayor eficiencia en el proceso de análisis, diseños estructurales más confiables, reducción del tiempo de todo el proceso, incremento de la calidad en el detallamiento de planos.

Los investigadores anteriores, como se menciona en los antecedentes teóricos, resaltan la versatilidad y compatibilidad que poseen las plataformas BIM en los trabajos de análisis y diseño estructural. Se genera un ahorro de tiempo en todo el proceso, esto coincide con lo obtenido en esta investigación, ya que se hallaron fallas de la interoperabilidad y se corrigieron rápidamente gracias a la facilidad de maniobra de los modelos 3D exportados de uno a otro software.

4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para esta investigación fue: “La aplicación de la metodología BIM influye positivamente, mejorando la calidad de la información, al permitirnos identificar a tiempo los desfases en las estructuras que ocurren durante la interoperabilidad entre softwares para el análisis de edificaciones, optimizando el diseño estructural”. Teniendo en cuenta los parámetros y características del estudio que se llevó a cabo, la hipótesis planteada se contrasta con la realidad que se observó de acuerdo a la implementación de dicha metodología.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La interoperabilidad es una parte de la metodología BIM, esta última controla que todo se realice de forma correcta, por lo tanto ejerce una influencia positiva durante este proceso, ya que nos permite detectar desfases en las estructuras y corregirlos a tiempo, gracias al uso de los modelos tridimensionales de alta nitidez, mediante el software Robot se corrigieron los desfases del modelo analítico exportado desde Revit y por la interacción existente, en este también se va corrigiendo todo simultáneamente.
- Se detectaron fallas de la interoperabilidad, en el modelo analítico del software Revit a exportar, el cual presenta desfases en la posición de los elementos estructurales. Hallándose que de las columnas no se desfasó ninguna, las vigas se desfasan un 36.36% del total, las losas 30% y las placas se desfasan todas. Esto se debe a que el eje analítico de las placas no coincide con los ejes del sistema global de la estructura, ocasionando una deformación de esta que arrastra a los elementos adyacentes.
- Se detectaron fallas del modelo exportado a Robot, las cuales son las mismas del modelo analítico que se exportó de Revit, en este caso el modelo tridimensional de Robot sirvió para corregir manualmente los desfases que han sufrido los elementos estructurales, ya que es necesario tener un modelo bien estructurado para proseguir con el análisis y posterior diseño estructural.
- El elemento de la edificación que más desfases presenta son las placas, si bien en el modelo arquitectónico de Revit se muestran coincidentes todas las secciones y bordes, pero en el modelo analítico no coinciden los ejes, este desfase produce que los elementos del costado traten de unir sus ejes lo cual ocasiona desfases también en vigas y losas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Con el fin de evitar corregir desfases manualmente en el modelo final de la estructura, se recomienda que las placas se modelen posteriormente cuando ya se exportó el modelo a Robot, ya que son estas estructuras las que acarrean las fallas de deformación de las mismas y de los elementos adyacentes.
- Se recomienda que, con el fin de identificar similitudes y diferencias, se haga este mismo procedimiento, pero para un edificio con sistema estructural de albañilería confinada.
- Asimismo, es recomendable aplicar esta investigación en edificios estructurados sólo con pórticos de concreto armado, ya que al no existir placas los desfases se reducen drásticamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araya, F. 2019. Estado del arte del uso de BIM para la resolución de demandas en proyectos de construcción. Artículo de investigación. Valparaíso, CL, Revista Ingeniería de Construcción, vol 34. p 299-306.
- Autodesk. 2013. Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional. Paper. Editions Building Design Suite Premium y Ultimate, Autodesk. USA. 27 p.
- Bentué Bueno, J. 2017. Modelización y cálculo de un edificio de hormigón con programas del entorno BIM. Trabajo de fin de master. Zaragoza, ES, Universidad de Zaragoza. 473 p.
- BIMnD. 2021. BIMnD España. Recuperado el 06 de marzo de 2022, de BIMnD España: <https://www.bimnd.es/lod-la-metodologia-bim>.
- Carigliano, S. 2015. Qué es el análisis estructural. Recuperado el 07 de julio de 2024, de Skyciv: <https://skyciv.com/es/education/what-is-structural-analysis>
- Cerón, IA; Liévano Ramos, DA. 2017. Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto. Trabajo de grado. Bogotá, CO, Universidad Católica de Colombia. 67 p.
- Carlos Cueva, SF. 2021. Proceso de diseño estructural con la metodología BIM en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano ubicado en el distrito de Ate Vitarte – Provincia y departamento de Lima. Tesis. Lima, PE, Universidad de San Martín de Porres. 223 p.
- Coloma Picó, E. 2008. Introducción a la tecnología BIM. Trabajo de investigación. Catalunya, ES, Universidad Politécnica de Catalunya. 40 p.
- Construir, 2024. Función de las estructuras. Recuperado el 07 de julio de 2024, de E-Construir: <https://e-construir.com/estructuras/funciones.html>
- Cusirimay Centeno, EB. 2022. Implementación de la metodología BIM en el proyecto de infraestructura pública: instalación del Centro Rural de Formación en Alternancia Agoiganaera Maganero de la Comunidad de Shima, Distrito de Echarate, La Convención – Cusco. Tesis. Cusco, PE, Universidad Continental. 172 p.
- Cype. 2024. Concreto armado, tipos y sus diferentes usos. Recuperado el 07 de julio de 2024, de Cype Perú: <https://www.cype.pe/blog/concreto-armado>

- Díaz, A; Dugaro, M. 2022. Problemas de interoperabilidad entre software de modelado y software de cálculo y posibles soluciones. Trabajo de investigación. Montevideo, UR, Universidad de la República Uruguay. 29 p.
- Díaz, G; Herrera, RF; Muñoz La Rivera, FC; Atencio, E. 2021. Applications of generative design in structural engineering. Artículo de investigación. Valparaíso, CL, Revista Ingeniería de Construcción. 18 p.
- Fustamante Huamán, M. 2014. Implementación del sistema integrado BIM-LEAN-GREEN (BLG) en la fase de diseño de proyectos de construcción. Tesis. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 175 p.
- López Oliver, Y. 2015. Manual Imprescindible Revit 2015. Madrid, ES, Ediciones Anaya Multimedia. 480 p.
- Madrid, JA. 2014. Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. Artículo de investigación. Atanga, Madrid, ES, Revista Building Smart JAM, Art 40-55. 18 p.
- Marín, N; Correa, L; Marín, R. 2021. Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una Revisión. Artículo de investigación. Lima, PE, Revista Pakamuros, vol 9. p 29-42.
- MDT Arquitectura, 2023. Problemas de interoperabilidad. Recuperado el 07 de julio de 2024, de MDT Arquitectura: <https://mdtarquitectura.com/errores-mas-comunes-bim>
- Ministerio de Economía y Finanzas, 2021. Guía Nacional BIM. Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM. Lima, PE, MEF. 252 P.
- Miranda Echaiz, MA; Muñoz Medina, JC. 2015. Tecnología BIM y la optimización de la productividad en obras retail. Tesis. Lima, PE, Universidad Ricardo Palma. 129 p.
- Muñoz García, GA. 2020. Interoperabilidad en el entorno BIM. Trabajo de investigación. Medellín, CO, Universidad Nacional de Colombia. 332 p.
- Oliden Rivera, DA. y Pinzón Guerrero, R. 2021. Tipología estructural. Recuperado el 07 de julio de 2024, de Slidechare: <https://es.slideshare.net/slideshow/tipologia-estructural/250523135>
- Ottazzi Pasino, G. 2014. Apuntes del curso Análisis Estructural I. Octava edición. Lima, PE, Pontificia Universidad Católica del Perú, 439 p.
- Pérez González, LA. 2019. Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil. Trabajo de fin de master. Madrid, ES, Universidad Politécnica Madrid. 145 p.

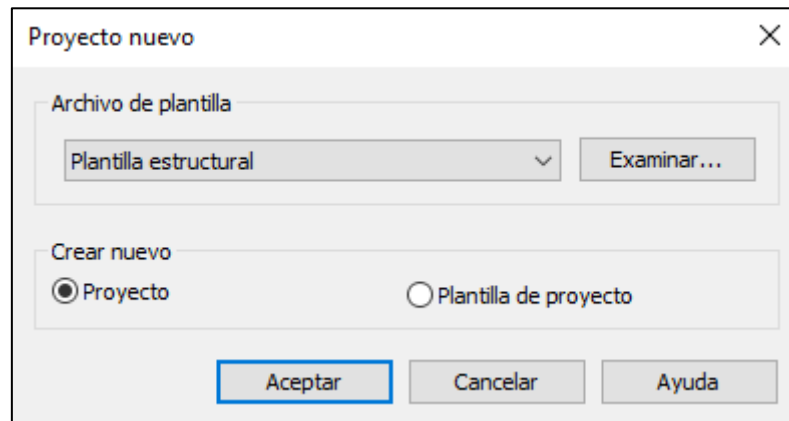
- Ramírez Flores, T.J. 2018. Influencia del agrietamiento en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado con sistema dual. Tesis. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 98 p.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.020-2006). 8 p.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.030-2018). 77 p.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.050-2018). 47 p.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.060-2009). 205 p.
- Rustler, W. 2019. Los beneficios del BIM en el análisis estructural. Trabajo técnico de investigación. Dlubal Software de análisis y dimensionamiento de estructuras, Leipzig, DE. p 1-7.
- Velarde Cruz, FJ; Bojórquez Mora, J; Bojórquez Mora, E. 2022. Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual. Artículo de investigación. Sinaloa, MX, Universidad Autónoma de Sinaloa. p 1-14.
- Villa Quiroz, JJ. 2017. Implementación de tecnologías BIM-Revit en los procesos de diseño de proyectos en la empresa Consultora JC Ingenieros S.R.L. Tesis. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 150 p.
- Villarroel Bejarano, CE. 2016. Análisis y Diseño de Estructuras con Autodesk Robot Structural Analysis. 2016. Manual de uso del programa. Santa Cruz, BO, SENAPI. 596 p.

ANEXOS

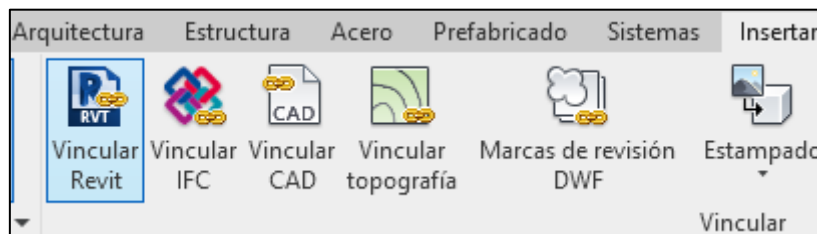
ANEXO 01.

PROCEDIMIENTO DE VINCULACIÓN DE REVIT ARQUITECTURA A REVIT ESTRUCTURAS.

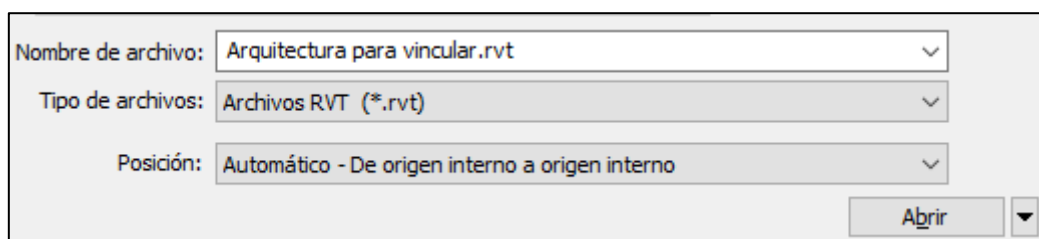
- Inicialmente se modeló en Revit la arquitectura en su totalidad tanto en planta, elevaciones y 3D; a partir del cual se vinculó este modelo con un nuevo proyecto estructural del mismo programa:



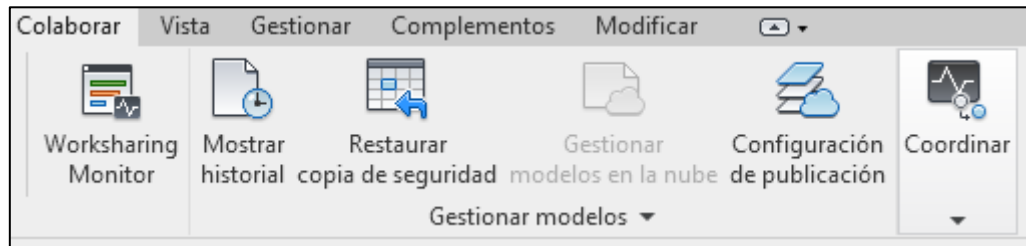
- Seguidamente se procedió a vincular estas dos especialidades, utilizando la ficha Insertar y herramienta Vincular Revit:



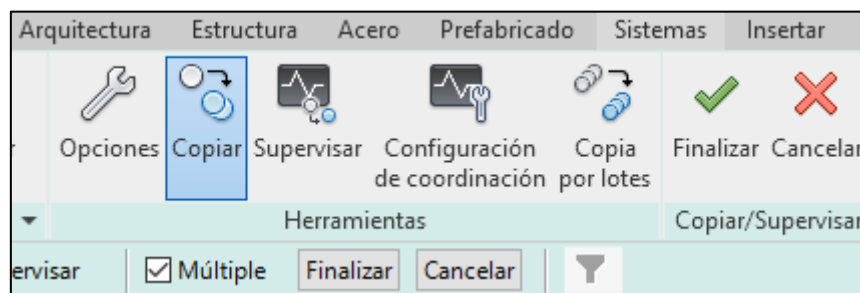
- En la cual se elige el archivo de arquitectura para vincular y algo muy importante a tener en cuenta es elegir la posición de origen interno a origen interno:



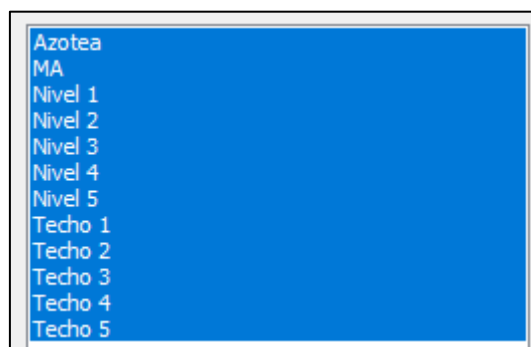
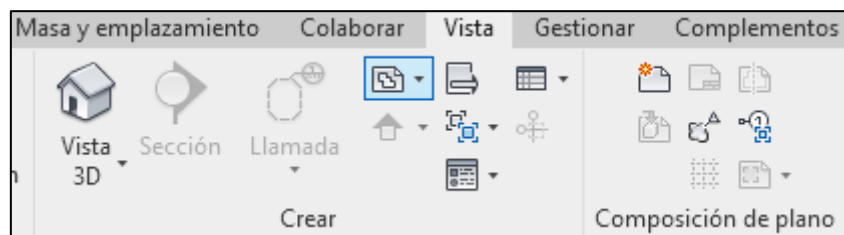
- Durante el modelamiento arquitectónico se crearon los niveles de la edificación, los cuales vamos a copiar en el proyecto de estructuras, para esto en la vista de alzado Norte y mediante la ficha Colaborar, herramienta Coordinar, en Copiar/Supervisar, luego Seleccionar Vínculo, en el cual se elige primero el modelo:



- Elegimos el modelo, hacemos una copia múltiple (para copiar todos los niveles) y finalizamos el proceso:



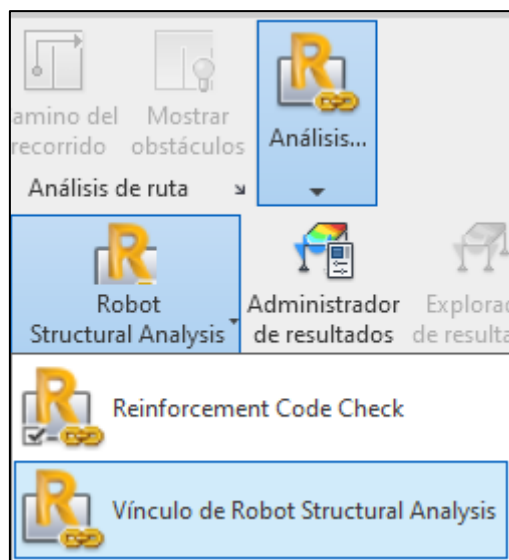
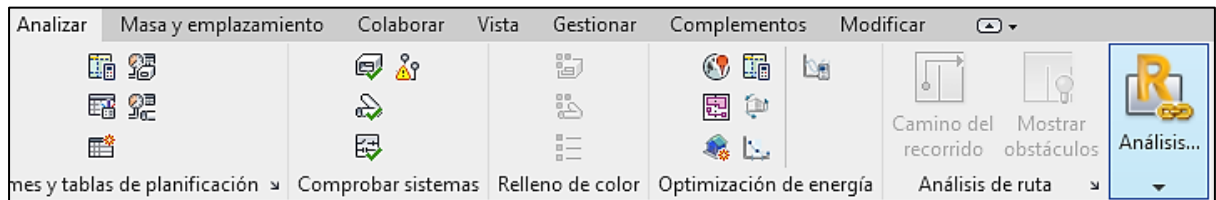
- Para que los niveles copiados se muestren como vistas en el navegador de proyectos usamos la ficha Vistas, herramienta Plano de Planta, en la que elegimos todos los niveles copiados:



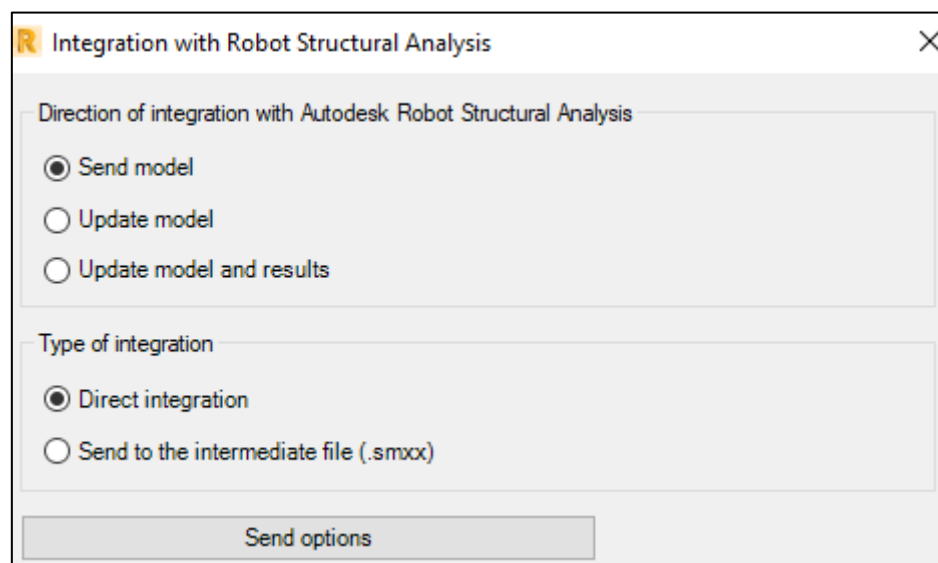
ANEXO 02.

PROCEDIMIENTO PARA LA INTEROPERABILIDAD ENTRE REVIT Y ROBOT STRUCTURAL.

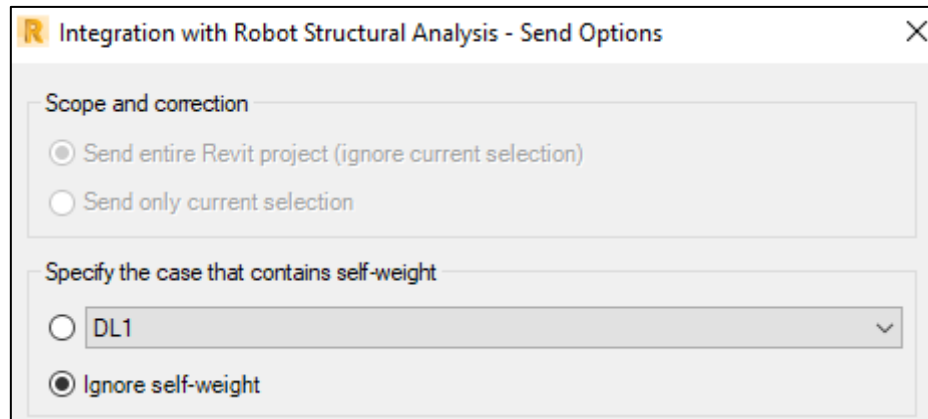
- Estando en el programa Revit nos dirigimos a la ficha Analizar, herramienta Análisis Estructural:



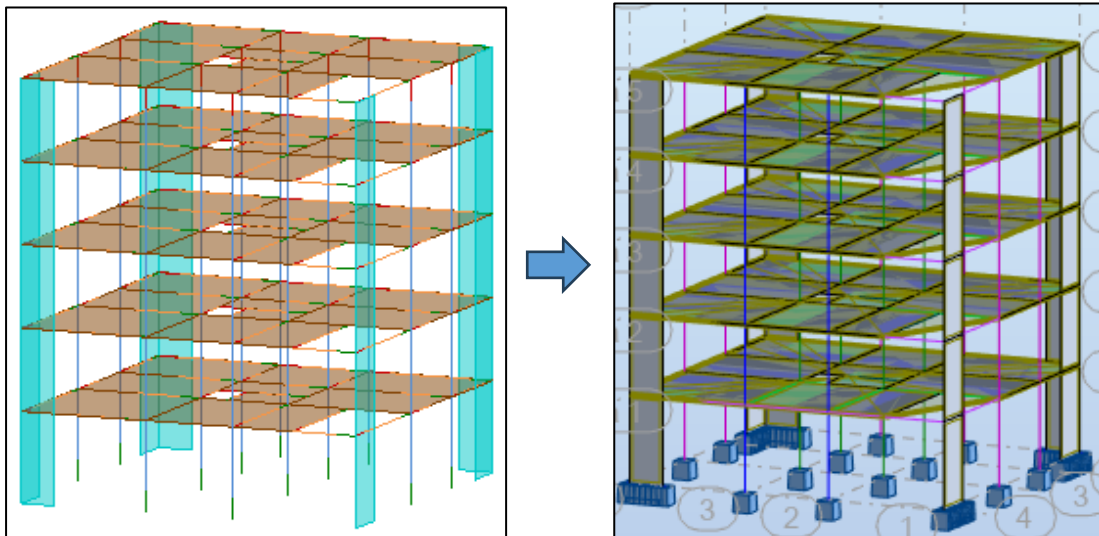
- Posteriormente en esta herramienta elegimos Vínculo de Robot Structural Analysis, en donde el tipo de integración es directa:



- En las opciones de envío se ignora el peso propio ya que todos los cálculos los realiza el programa Robot Structural:



- Luego de este proceso se indica Aceptar y comienza el intercambio de información entre los programas de llevando el modelo analítico desde Revit a Robot Structural:

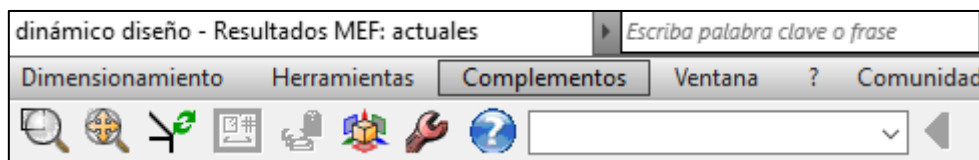


ANEXO 03.

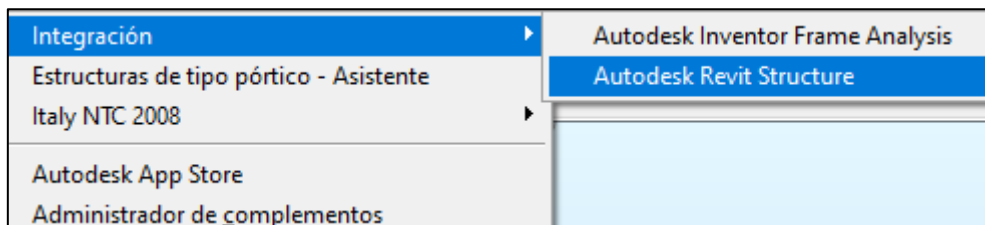
PROCEDIMIENTO PARA LA INTEROPERABILIDAD ENTRE ROBOT STRUCTURAL Y REVIT.

Estando en el programa Robot Structural Analysis, después de realizados todos los análisis y diseños estructurales de la edificación, se procede al traslado de los resultados hacia el programa Revit para su detallamiento y dibujo de planos. Se puede enviar toda la estructura por completo o por partes, es decir cada elemento diseñado.

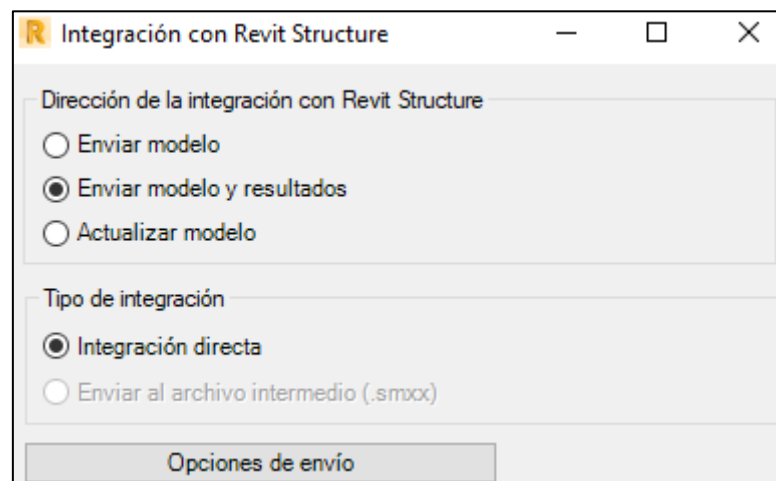
- Primeramente, ingresamos a la ficha Complementos de Robot Structural, en esta opción elegimos la herramienta Integración:



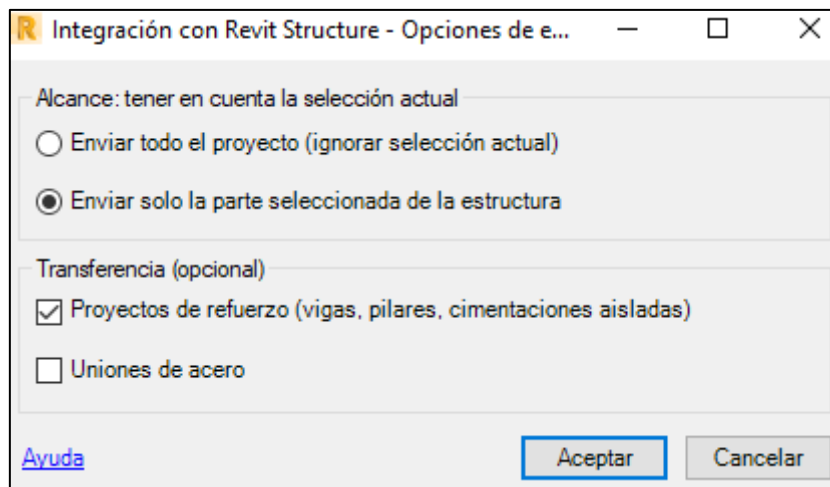
- Estando aquí escogemos Autodesk Revit Structure, ya que el detalle del acero de refuerzo se realiza en esta especialidad de Revit:



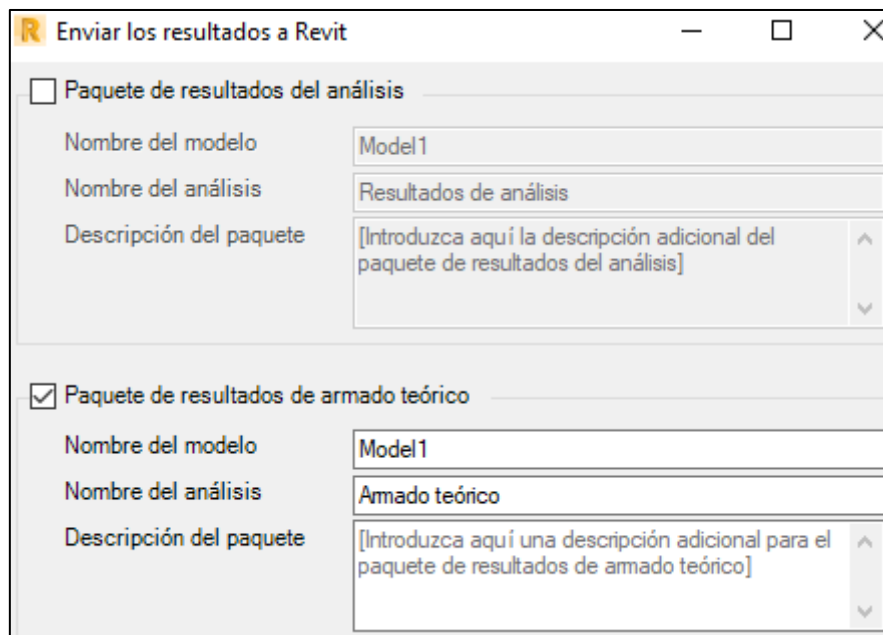
- Luego elegimos Enviar modelo y resultados, con el tipo de integración Directa:



- Por comodidad del trabajo y para hacer menos pesada la información trasladada, se elige enviar por partes la información, es decir, se envía cada elemento diseñado por separado, seleccionándolo individualmente:

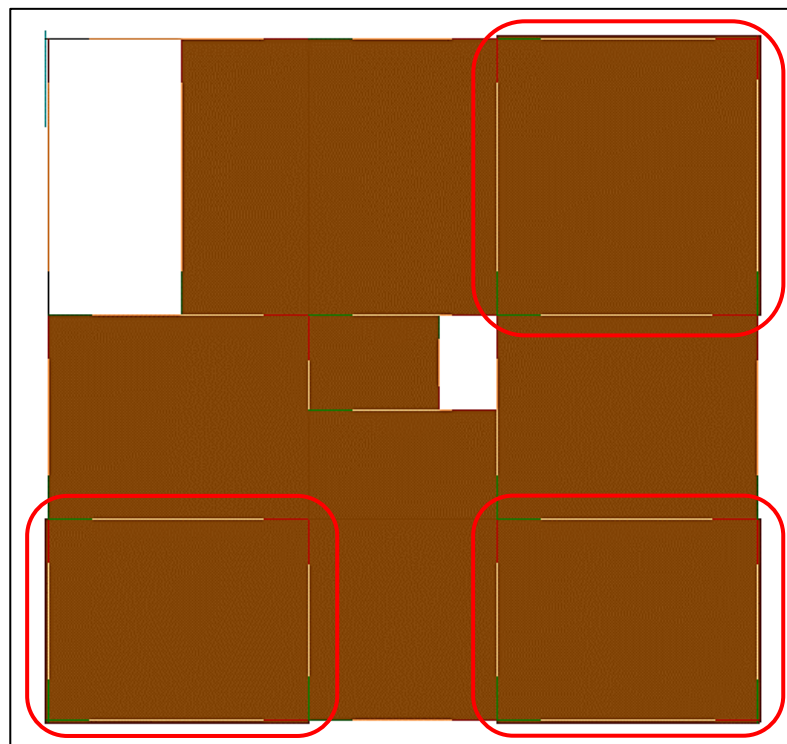
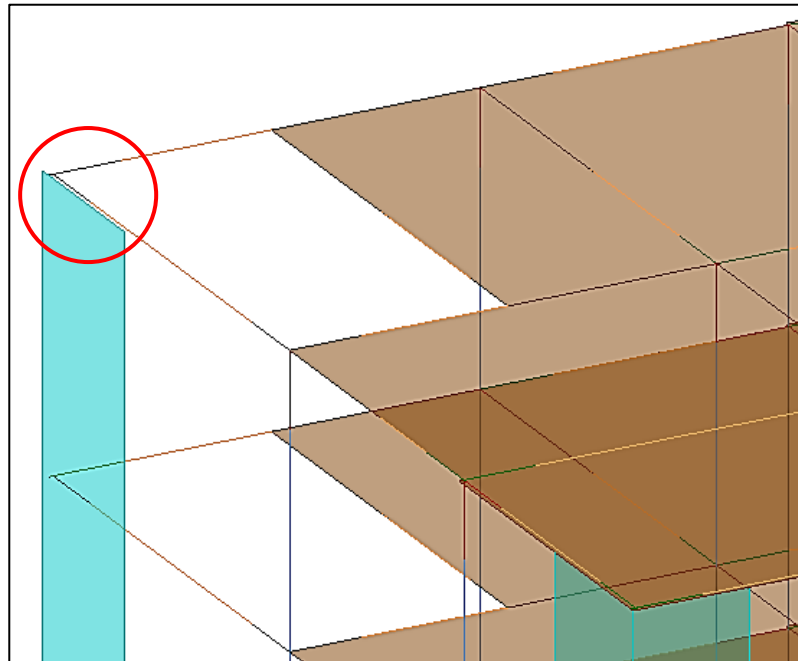


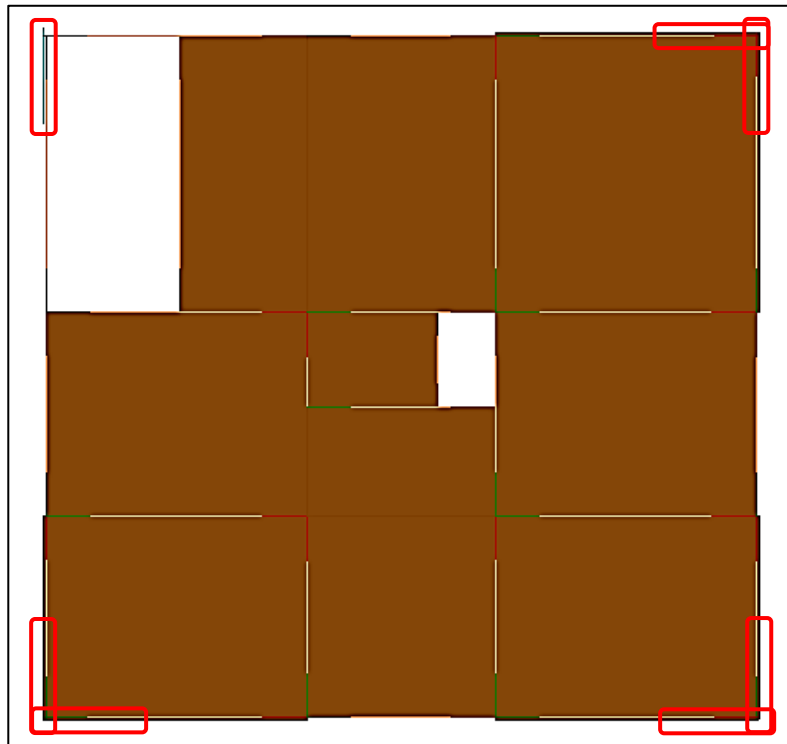
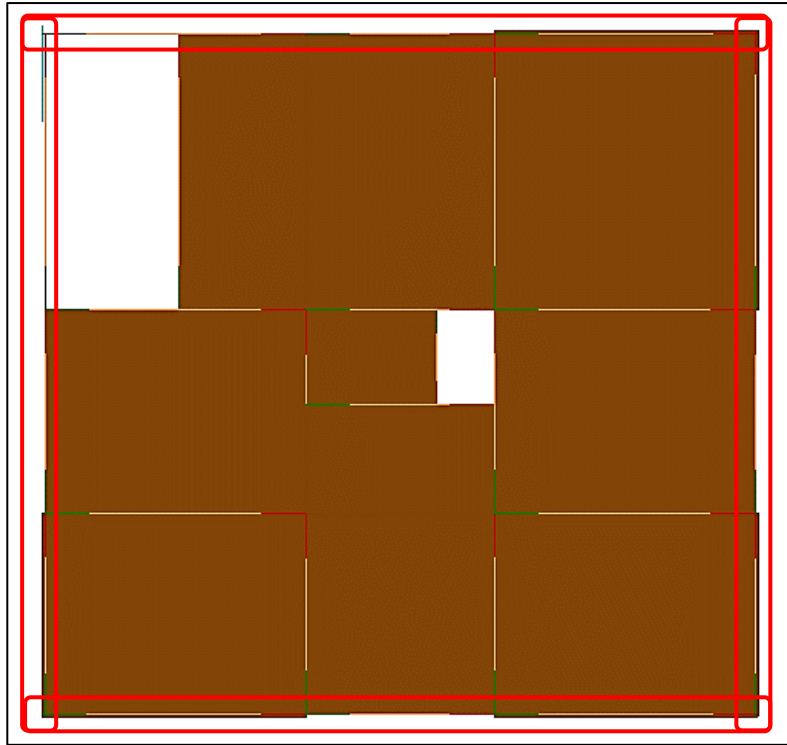
- Posteriormente elegimos solamente el traslado de las armaduras de refuerzo, ya que en base a ello se realiza el detalle y elaboración de los planos:

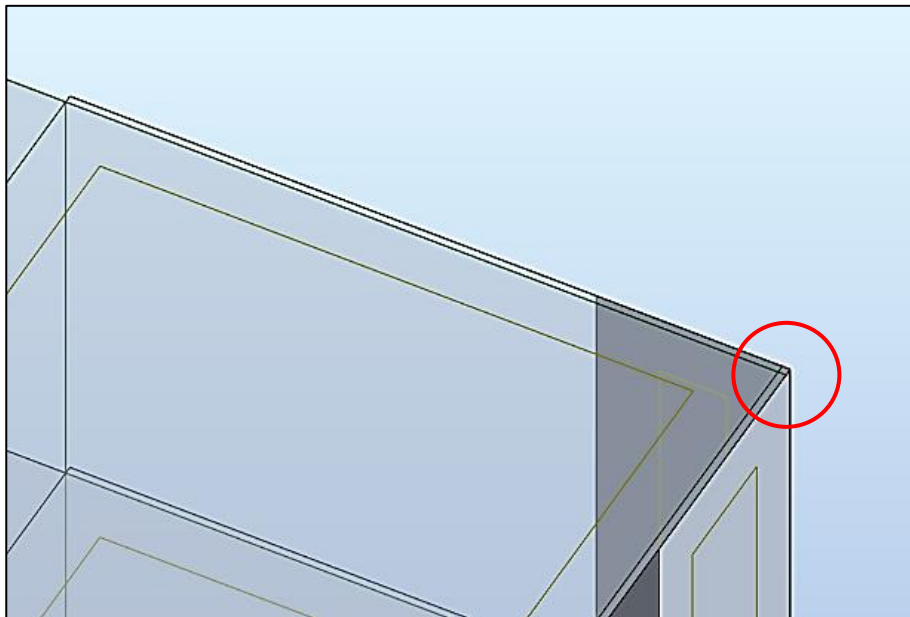
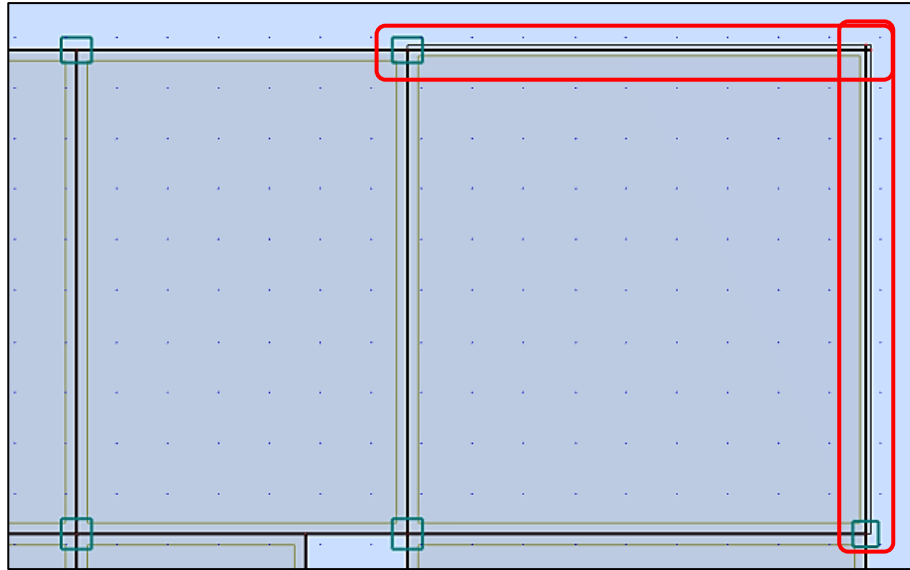


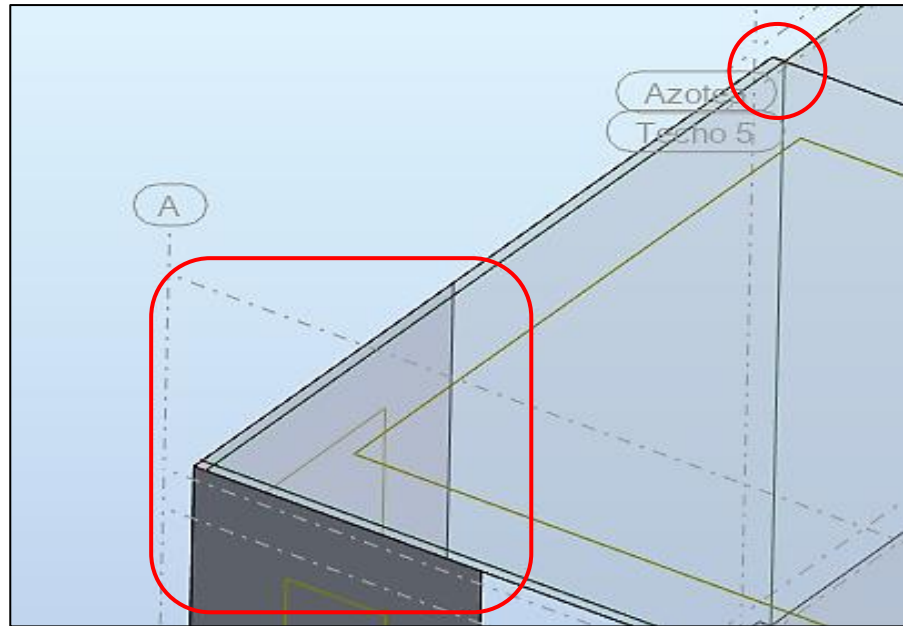
ANEXO 04.

**DEFASES QUE SUFREN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DURANTE LA INTEROPERABILIDAD.**









ANEXO 05.

PLANOS ESTRUCTURALES DE LA EDIFICACIÓN.

Se presentan los planos estructurales del edificio de 5 pisos con sistema estructural dual, los cuales han sido elaborados mediante la metodología BIM:

Plano E-1: CIMENTACIONES.

Plano E-2: CIMENTACIONES.

Plano E-3: 3D CIMENTACIONES.

Plano E-4: COLUMNAS Y PLACAS.

Plano E-5: COLUMNAS Y PLACAS.

Plano E-6: 3D COLUMNAS Y PLACAS.

Plano E-7: LOSA Y VIGAS.

Plano E-8: LOSA Y VIGAS.