



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**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**

**PRESENTADA POR
CARLOS CUEVA SEGUNDO FERNANDO**

**ASESOR
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

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

LIMA – PERÚ

2021



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**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

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

CARLOS CUEVA SEGUNDO FERNANDO

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedicó esta tesis en primer lugar a Dios, quien me dio la inspiración necesaria para poder culminarla. A mi querido padre, que, aunque ya no esté en este mundo terrenal, estoy seguro de que él siempre creyó en que lo lograría, además de su apoyo incondicional y comprensión durante mi etapa universitaria. A mi querida madre por sus múltiples oraciones, por su amor y comprensión, y que gracias a Dios pudo acompañarme durante la culminación de una etapa más de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la universidad por sus enseñanzas y consejos durante la carrera profesional y durante la realización de esta tesis, a los profesores externos en el aprendizaje de nuevos conocimientos y tecnologías, a mis compañeros de clases que estuvieron en las tantas mañanas, tardes, noches y amanecidas de horas de trabajo y estudio a lo largo de nuestra formación. A mis amigos que siempre creyeron en mí y nunca dudaron en que lo podría lograr. Finalmente, a mis padres por la oportunidad y confianza que depositaron en mí, para poder culminar la carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Definición del problema	3
1.2.1. Formulación del problema	3
1.2.2. Problema general	4
1.2.3. Problemas específicos	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Impacto potencial	5
1.4.1. Impacto teórico	5
1.4.2. Impacto práctico	5
1.4.3. Viabilidad de la investigación	6
1.4.4. Alcances y limitaciones	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. Internacionales	8
2.1.2. Nacionales	10
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Metodología bim	12
2.2.2. Proceso de diseño estructural	53
2.2.3. Definición de términos básicos.	104

	Página
2.3. Hipótesis.	105
2.3.1. Hipótesis general	105
2.3.2. Hipótesis específicas	105
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1. Diseño metodológico	106
3.1.1. Enfoque de la investigación	106
3.1.2. Tipo de la investigación	106
3.1.3. Nivel de investigación	106
3.1.4. Diseño de investigación	107
3.2. Población y muestra	107
3.2.1. Población	107
3.2.2. Muestra	110
3.3. Instrumentación	111
3.3.1. Instrumentos de recolección de datos	111
3.3.2. Instrumentos de procesamiento de datos	112
3.4. Procedimiento	113
3.4.1. Estructuración y predimensionamiento	113
3.4.2. Generación de modelo analítico	113
3.4.3. Análisis estructural	114
3.4.4. Análisis estructural de cimentación	114
3.4.5. Importación de los modelos analíticos	114
3.4.6. Diseño de los elementos estructurales	115
3.4.7. Creación del modelo bim	115
3.4.8. Generación de documentación	115
CAPÍTULO IV. DESARROLLO	
4.1. Descripción del proyecto	116

	Página
4.2. Análisis del plano arquitectónico	117
4.3. Identificación de objetivos y usos bim	118
4.4. Diseño del proceso de implementación bim	119
4.5. Estructuración	121
4.6. Predimensionamiento	123
4.6.1. Losa aligerada en una dirección	123
4.6.2. Losas macizas	123
4.6.3. Vigas	123
4.6.4. Columnas	123
4.6.5. Muros estructurales	125
4.6.6. Tanque elevado	126
4.6.7. Escalera	127
4.7. Generación del modelo analítico	128
4.7.1. Metrado de cargas	129
4.8. Análisis estructural	132
4.8.1. Análisis estático	132
4.8.2. Irregularidades	133
4.8.3. Análisis dinámico	137
4.9. Análisis estructural de cimentación	138
4.9.1. Predimensionamiento	138
4.9.2. Creación del modelo analítico de cimentación	139
4.9.3. Verificación de presiones admisibles del suelo	140
4.10. Importación de los modelos analíticos	143
4.11. Diseño de los elementos estructurales	144
4.11.1. Losa aligerada en una dirección	144
4.11.2. Losa maciza	146

	Página
4.11.3. Vigas	147
4.11.4. Columnas	151
4.11.5. Muros estructurales	153
4.11.6. Cimentación	155
4.11.7. Muros de sótano	158
4.11.8. Escalera	161
4.12. Creación del modelo bim	163
4.13. Documentación	164
CAPÍTULO V. RESULTADOS	
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	
6.1. Contrastación de hipótesis.	174
6.1.1. Hipótesis específica 1:	174
6.1.2. Hipótesis específica 2:	175
6.1.3. Hipótesis específicas 3 :	175
6.1.4. Hipótesis específicas 4:	176
6.2. Contrastación con los antecedentes	177
6.2.1. Contrastación con antecedente internacional	177
6.2.2. Contrastación con antecedente nacional	177
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
ANEXOS	
FUENTES DE INFORMACIÓN	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Principales problemas en un proyecto de construcción.	2
Figura 2. Diagrama Causa – Efecto	3
Figura 3. Los cuatro niveles jerárquicos dentro de la base de datos BDS. .	12
Figura 4. Curva de esfuerzo del proceso constructivo	15
Figura 5. Etapas de un proyecto con procesos BIM.....	17
Figura 6. Diferencias entre autocad y revit.....	19
Figura 7. Símbolo de viga una T invertida.....	22
Figura 8. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 200.....	23
Figura 9. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 300.....	23
Figura 10. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 350.....	24
Figura 11. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 400.....	25
Figura 12. Molde para vigas estructurales prefabricadas en T invertida	26
Figura 13. Modelo de madurez BIM de Bew-Richards.....	27
Figura 14. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 0.....	28
Figura 15. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 1.....	29
Figura 16. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 2.....	30
Figura 17. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 3.....	31
Figura 18. Proceso de planificación de la ejecución de proyectos BIM.....	35
Figura 19. Usos de BIM de un proyecto en orden cronológico.....	37
Figura 20. Usos de BIM de un proyecto en orden cronológico inverso	38
Figura 21. Notación para un proceso en el mapa general	44
Figura 22. Parte del mapa general para la implementación de BIM.....	45
Figura 23. Mapa general para la implementación BIM.....	45
Figura 24. Ejemplo de puerta de enlace de verificación de objetos	46
Figura 25. Mapa de proceso detallado o nivel 2 para el uso BIM.....	47
Figura 26. Ejemplo de cómo fluye la información.....	48
Figura 27. Predimensionamiento losa aligerada en una dirección	54
Figura 28. Predimensionamiento de losa maciza en una dirección	55
Figura 29. Predimensionamiento de losa maciza en dos direcciones.....	56
Figura 30. Predimensionamiento de vigas peraltadas	56
Figura 31. Predimensionamiento de columnas	57

	Página
Figura 32. Predimensionamiento de muros estructurales	59
Figura 33. Predimensionamiento de cimentación	60
Figura 34. Predimensionamiento de escalera	61
Figura 35. Distribución de las fuerzas sísmicas	64
Figura 36. Espectro inelástico de pseudo – aceleraciones	65
Figura 37. Estructura con columnas mas largas en el primer piso.....	66
Figura 38. Estructura con muros estructurales discontinuos.....	66
Figura 39. Estructura con peso desigual en sus pisos	67
Figura 40. Estructura con diferentes longitudes horizontales en sus pisos .	68
Figura 41. Estructura con desplazamiento de eje vertical	68
Figura 42. Estructura con elemento discontinuo.	69
Figura 43. Estructura sufriendo efectos de torsión.....	69
Figura 44. Estructura con esquinas entrantes.....	70
Figura 45. Estructura con un área de vacío	71
Figura 46. Estructura con dos áreas de vacío.....	71
Figura 47. Estructura con eje inclinado	72
Figura 48. Estructura con eje inclinado resistente a fuerzas cortantes	72
Figura 49. Desplazamientos máximos relativos	73
Figura 50. Separación entre estructuras 1	74
Figura 51. Separación entre estructuras 2	74
Figura 52. Esfuerzo de tracción	77
Figura 53. Esfuerzo de compresión o axial	77
Figura 54. Esfuerzo de flexión.....	77
Figura 55. Esfuerzo de torsión	78
Figura 56. Esfuerzo de cortante	78
Figura 57. Ejemplo de alternancias de CV	79
Figura 58. Diseño de losa aligerada en una dirección 1	80
Figura 59. Diseño de losa aligerada en una dirección 2	80
Figura 60. Diseño de losa maciza	82
Figura 61. Diseño de viga	83
Figura 62. Distribución de estribos en vigas	84
Figura 63. Refuerzo adicional de suspensión	84

	Página
Figura 64. Diseño de columna	85
Figura 65. Falla balanceada en columnas	86
Figura 66. Falla frágil en columnas	87
Figura 67. Falla dúctil en columnas.....	87
Figura 68. Diagrama de iteración de columnas.....	88
Figura 69. Estribos en columnas.....	89
Figura 70. Verificación de columna fuerte - viga débil.....	90
Figura 71. Diagrama de iteración sin factor Φ	91
Figura 72. Diseño de muros estructurales	92
Figura 73. Verificación por punzonamiento	94
Figura 74. Verificación por corte	95
Figura 75. Diseño por flexión en cimentaciones	96
Figura 76. Empuje lateral en reposo de tierra	97
Figura 77. Fuerzas distribuidas en escalera	98
Figura 78. Reacciones y momentos de escalera – Caso 1	98
Figura 79. Reacciones y momentos de escalera - Caso 2.....	98
Figura 80. Altura y peralte promedio en escalera.....	99
Figura 81. Longitud de desarrollo de ganchos	102
Figura 82. Longitud de gancho estándar.....	102
Figura 83. Interoperabilidad con BIM	103
Figura 84. Departamento en edificio (%) por distrito	108
Figura 85. Mapa general del proceso de implementación BIM	120
Figura 86. Mapa detallado del uso BIM: Análisis estructural.....	120
Figura 87. Estructuración del 1° Nivel.....	122
Figura 88. Estructuración de Nivel típico.....	122
Figura 89. Áreas tributarias.....	124
Figura 90. Vista en elevación del tanque elevado.....	127
Figura 91. Vista en planta del tanque elevado	127
Figura 92. Creación del modelo analítico de la edificación	128
Figura 93. Distribución de tabiquería en el 1er nivel	129
Figura 94. Distribución de tabiquería del 2do al 6to nivel.....	130
Figura 95. Microzonificación sísmica en Lima y Callao	132

Figura 96. Vista en planta de la edificación.....	136
Figura 97. Espectro dinámico de pseudo aceleración.....	137
Figura 98. Verificación de derivas del análisis dinámico	137
Figura 99. Pesos de servicio	138
Figura 100. Creación del modelo analítico de cimentación.....	139
Figura 101. Verificación de presiones - Servicio 1	140
Figura 102. Verificación de presiones - Servicio 2	141
Figura 103. Verificación de presiones - Servicio 3	141
Figura 104. Verificación de presiones - Servicio 4	142
Figura 105. Verificación de presiones - Servicio 5	142
Figura 106. Proceso de importación	143
Figura 107. Modelo analítico importado	143
Figura 108. Momento en losa aligerada	144
Figura 109. Momentos de losa maciza	146
Figura 110. Cortantes en losa maciza.....	146
Figura 111. Momentos en vigas	147
Figura 112. Comparación de μ vs ΦM_n	148
Figura 113. Fuerzas cortantes en vigas	149
Figura 114. Comparación entre V_u vs ΦV_n	150
Figura 115. Sección armada de columna 30x60cm	151
Figura 116. Diagrama de iteración de columna en el eje X.....	151
Figura 117. Diagrama de iteración de columna en el eje Y.....	152
Figura 118. Sección armada de placa 30x270cm	153
Figura 119. Diagrama de iteración de placa en el eje X.....	153
Figura 120. Diagrama de iteración en el eje Y	154
Figura 121. Medidas de cimentación	155
Figura 122. Verificación por punzonamiento	156
Figura 123. Verificación por corte	157
Figura 124. Diagrama de fuerzas en muro de sótano	158
Figura 125. Fuerzas distribuidas en muro de sótano	159
Figura 126. Momento en muro de sótano	159
Figura 127. Fuerzas cortantes en muro de sótano.....	160

	Página
Figura 128. Fuerzas distribuidas calculadas en escalera.....	161
Figura 129. Reacciones y momentos calculados - caso 1	161
Figura 130. Reacciones y momentos calculados - caso 2	161
Figura 131. Altura y peralte promedios calculados en escalera.....	162
Figura 132. Creación del modelo físico de la edificación	163
Figura 133. Proceso de documentación.....	164
Figura 134. Modelo analítico	169
Figura 135. Cargas distribuidas superficialmente	170
Figura 136. Cargas distribuidas linealmente	170
Figura 137. Modelo de concreto armado	171
Figura 138. Modelo de acero estructural.....	171
Figura 139. LOD 400 en nudo 2B	172
Figura 140. LOD 400 en nudo 3A	173
Figura 141. LOD 400 en nudo 3B	173

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Ejemplos de objetivos de un proyecto BIM.....	36
Tabla 2. Objetivos de proyecto de muestra	39
Tabla 3. Notación para mapa de procesos detallados o nivel 2	47
Tabla 4. Nivel de detalle de la información.....	49
Tabla 5. Lista de posibles partes responsables.....	49
Tabla 6. Ejemplo de hoja de trabajo de intercambio de información	50
Tabla 7. Categorías del plan de ejecución de proyectos BIM.....	51
Tabla 8. Metas del Plan BIM PERÚ.....	52
Tabla 9. Espesores de losas aligeradas en una dirección.....	54
Tabla 10. Espesores para losa maciza en una dirección	55
Tabla 11. Dimensiones usuales de vigas	57
Tabla 12. Dotación de agua fría para edificios multifamiliares	59
Tabla 13. Dotación de agua caliente para edificios multifamiliares	59
Tabla 14. Factor de zona (Z)	62
Tabla 15. Factor de uso (U).....	62
Tabla 16. Factor de amplificación sísmica (C).....	62
Tabla 17. Factor de suelo (S)	62
Tabla 18. Sistemas estructurales	63
Tabla 19. Irregularidades en altura la.....	63
Tabla 20. Irregularidades en Planta Ip.....	63
Tabla 21. Periodos T_p y T_I	64
Tabla 22. Estimación de peso (P).....	64
Tabla 23. Límites para la distorsión del entrepiso	73
Tabla 24. Combinaciones de carga	76
Tabla 25. Factores de reducción	76
Tabla 26. Combinaciones de carga con alternancia de CV.....	79
Tabla 27. Combinaciones de carga para verificación de presiones.....	93
Tabla 28. Metrado de cargas en escalera	98
Tabla 29. Longitudes de desarrollo	100
Tabla 30. Empalmes por traslape a tracción	101
Tabla 31. Longitudes de empalmes por traslape.....	101

	Página
Tabla 32. Longitudes de desarrollo de gancho estándar	102
Tabla 33. Longitudes de ganchos estándar.....	102
Tabla 34. Viviendas según tipo, por distrito	109
Tabla 35. Criterios de inclusión y exclusión.....	110
Tabla 36. áreas techadas del proyecto.....	116
Tabla 37. Estacionamientos y departamentos por nivel	116
Tabla 38. Análisis del plano arquitectónico	117
Tabla 39. Objetivos del proyecto para determinar usos BIM.	118
Tabla 40. Usos BIM potenciales en el proyecto.....	118
Tabla 41. Hoja de selección de usos BIM	119
Tabla 42. Áreas tributarias por paños.....	125
Tabla 43. Cálculo de dotación	126
Tabla 44. Metrado de cargas en losas	131
Tabla 45. Cargas distribuidas linealmente.....	131
Tabla 46. Irregularidad de rigidez en eje X.....	133
Tabla 47. Irregularidad de rigidez en eje Y	133
Tabla 48. Irregularidad de resistencia	134
Tabla 49. Irregularidad de masa o peso	134
Tabla 50. Irregularidad torsional	135
Tabla 51. Irregularidad torsional extrema	135
Tabla 52. Resumen de irregularidades.....	136
Tabla 53. Predimensionamiento de zapatas	139
Tabla 54. Diseño de acero de losa aligerada	145
Tabla 55. Diseño de acero en losa maciza.....	146
Tabla 56. Diseño de acero por flexión en vigas.....	148
Tabla 57. Diseño de acero por corte en vigas	149
Tabla 58. Resumen de diseño de vigas	150
Tabla 59. Diseño por corte en columnas	152
Tabla 60. Resumen de diseño de columnas	152
Tabla 61. Diseño por corte en placas	154
Tabla 62. Resumen de diseño de placas	154
Tabla 63. Cargas presentes en cimentación	155

	Página
Tabla 64. Diseño de acero en cimentación	157
Tabla 65. Diseño de acero en muro de sótano.....	160
Tabla 66. Metrado de cargas calculado para escalera	161
Tabla 67. Diseño de acero en escalera	162
Tabla 68. Información de intercambio	166
Tabla 69. Optimización de elementos estructurales 1	167
Tabla 70. Optimización de elementos estructurales 2	168
Tabla 71. Mejoramiento del modelado estructural.....	168
Tabla 72. Contrastación de H1	174
Tabla 73. Contrastación de H2	175
Tabla 74. Contrastación de H3	176
Tabla 75. Contrastación de H4	176
Tabla 76. Contrastación con antecedente internacional.....	177
Tabla 77. Contrastación con antecedente nacional.....	177

RESUMEN

La industria de la construcción a nivel nacional presenta serias deficiencias técnicas durante las etapas de diseño y que son más notorias en las etapas de construcción, convirtiendo así la inversión en un gasto. Ello ha determinado en la necesidad de un cambio en la manera como se viene trabajando en las etapas de diseño, que a través de la metodología BIM buscará convertir procesos individualistas en colaborativos entre los profesionales participantes del proyecto.

El objetivo es aplicar la metodología BIM en el proceso de diseño estructural 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.

En el diseño de la metodología la investigación tiene un enfoque cuantitativo no experimental transeccional porque no busca alterar las variables, así mismo es del tipo aplicada porque busca dar soluciones a los problemas de la industria de la construcción con nuevas formas de trabajo colaborativo. Tiene un nivel descriptivo porque se describirán los procesos para la implementación y es correlacional porque mediante la relación de las variables buscan ver como una influye en la otra.

Como resultados se obtuvo que el proceso de diseño estructural pasa de ser un proceso con información dispersa y no colaborativa a integrar un flujo de trabajo donde la información, producto del análisis y el diseño, están centralizados en un solo modelo BIM. De esta manera el modelo BIM se convierte en un intercambio de información entre otros profesionales, que buscarán consultar y utilizar su información para continuar con las fases más avanzadas del proyecto.

Palabra clave: BIM, plan de ejecución BIM, modelados, dimensiones, nivel de desarrollo.

ABSTRACT

The construction industry at the national level presents serious technical deficiencies during the design stages and that are more noticeable in the construction stages, thus turning the investment into an expense. This has determined the need for a change in the way in which the design stages have been working, which through the BIM methodology will seek to convert individualistic processes into collaborative ones between the professionals participating in the project.

The objective is to apply the BIM methodology in the structural design process in the planning stage of a project in a multi-family building with six levels and a semi-basement, located in the district of Ate Vitarte - province and department of Lima.

In the design of the methodology, the research has a non-experimental transectional quantitative approach because it does not seek to alter the variables, likewise it is of the applied type because it seeks to provide solutions to the problems of the construction industry with new forms of collaborative work. It has a descriptive level because the processes for the implementation will be described, and it is correlational because through the relationship of the variables they seek to see how one influences the other.

As results, it was obtained that the structural design process goes from being a process with dispersed and non-collaborative information to integrating a workflow where the information, product of the analysis and the design, are centralized in a single BIM model. In this way, the BIM model becomes an exchange of information between other professionals, who will seek to consult and use your information to continue with the more advanced phases of the project.

Keyword: BIM, BIM execution plan, modeling, dimensions, level of development.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción siempre ha estado acompañada de nuevos retos y desafíos que en cada proyecto se han venido superando. Sin embargo, algo que siempre ha estado presente en esta industria, son los problemas en la etapa de construcción.

La invención de la tecnología CAD ayudó significativamente al momento de desarrollar los dibujos y perspectivas necesarias para continuar con las siguientes etapas. Sin embargo, esta invención no fue suficiente para resolver los problemas durante las etapas de construcción del proyecto.

Los problemas en la construcción originados por las incompatibilidades, las interferencias entre especialidades, falta de comunicación, los errores en el diseño, entre muchos otros factores son porque no fueron detectadas a tiempo en la compatibilización de las especialidades y esto a su vez por la gran cantidad de documentación en papel de las diversas especialidades que conforman el proyecto, además de la poca o nula participación de los proyectistas en etapas de construcción.

Ante esto, se vio la necesidad de buscar nuevas formas de trabajo entre los miembros del proyecto para poder resolver muchos de estos problemas o reducirlos significativamente. Por ese motivo surgió la idea de la parametrización, que consiste en dejar de crear elementos bidimensionales a partir de líneas, a crear objetos ya establecidos tridimensionalmente, que dependiendo de las necesidades de cada proyecto se podría modificar, personalizar, corregir, mover, entre otras opciones.

Este objeto parametrizado representaría los diferentes tipos de elementos esenciales que conforma una edificación real. Y que con ayuda del hardware y software adecuados se podrían ensamblar diferentes tipos de objetos para así formar lo más parecido a una edificación virtual.

Así surgió después lo que hoy conocemos como la metodología BIM, en donde diferentes profesionales hacen uso de los objetos parametrizados para poder introducir información dentro de un modelo BIM con el fin de realizar una comunicación eficaz sobre lo que se ha diseñado y como se plantea construirlo.

La capacidad de intercambiar información entre las partes involucradas de un proyecto se ha determinado como nivel de madurez del BIM. Estos niveles se dividen en cuatros que van desde el nivel 0 hasta el nivel 3. El nivel 0 es cuando el proyecto se desarrolla enteramente en CAD. Los países más desarrollados y en donde se implementó tempranamente el BIM fueron los primeros en pasar al nivel 1 de madurez BIM, que consiste en la utilización de objetos 2D y 3D. A la fecha estos países están muy desarrollados en el nivel 2 de madurez BIM que consiste en el desarrollo de proyectos utilizando solamente modelos multidisciplinarios 3D para lograr una coordinación a través de ensamblaje de estos. Recientemente se están creando medias para lograr un nivel 3 que consiste en el desarrollo de un único modelo 3D de cual se pueden realizar los trabajos todas las partes involucradas en el proyecto acompañado de una base central de información.

Antes estos avances en el Perú se comenzó la iniciativa de la introducción de la metodología BIM en los sectores públicos y privados bajos normativas y guías. Unos de los primeros documentos que lanzó fue el denominado “Plan de implementación y hoja de ruta del plan BIM Perú”, en el cual consisten en un plan de 11 años, desde el 2020 hasta el 2030 de poder de manera progresiva su introducción. En primera instancia aplicando la metodología en proyectos piloto hasta lograr una obligatoriedad normada de BIM en el sector público. Este plan ayudará a lograr en todos estos años un nivel 2 de madurez del BIM. Puesto que hasta la fecha siempre lo proyectos han evitado la realización de modelos BIM 3D.

En este contexto se presenta la necesidad de poder implementar la metodología BIM desde las etapas tempranas de diseño para progresivamente ir dejando la utilización de elementos bidimensionales.

Uno de los procesos fundamentales que se identificó es el de diseño estructural, pues es la segunda información, después de la arquitectura, más elemental para continuar con las siguientes etapas del proyecto.

Se establecieron cuatro objetivos específicos que son determinar la influencia del plan de ejecución BIM, determinar la influencia de los modelados BIM, determinar la influencia de las dimensiones BIM y determinar la influencia del nivel de desarrollo o LOD en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

La forma como se realizó la implementación es mediante la utilización de guías internacionales de implementación BIM como el *BIM Project Execution Planning Guide v2.2*.

La importancia de la investigación es poder mantener la información centralizada, sin pérdidas de esta, durante el cambio de etapas del proyecto. Con el fin de que el proyecto pueda lograr de manera óptima, la disminución o evitación total de las interferencias, incompatibilidades, información no centralizada, etc. Para que al final se pueda obtener un proyecto de alta calidad, confiabilidad y entregado en los plazos establecidos planteados desde la etapa de diseño hasta la construcción y operación de este.

El procedimiento parte del plano arquitectónico en el cual se basará la estructuración, predimensionamiento luego la generación del modelo analítico en Etabs, análisis estático, dinámico, identificación de las irregularidades tanto en planta como altura que presenta en la edificación para luego de cumplir con la deriva máxima para el sistema estructural y proceder al análisis estructural de la cimentación, dentro del cual se realizará el predimensionamiento y generación del modelo analítico, después de cumplir con los requisitos de la norma se procederá a la importación de los modelos analíticos de Etabs a Safe a través de un archivo .EXR para que el plugin CSIxRevit instalado en el programa Revit puedan importar estos modelos.

Posteriormente se realizará los diseños de los elementos estructurales, se creará el modelo BIM 3D; que está compuesto por el modelo de concreto,

acero, y analítico. Finalmente se procederá a la creación de la documentación a partir de las vistas extraídas del modelo.

El trabajo de investigación está conformado de la siguiente manera:

En el capítulo I se realizó la descripción del problema, se definió y se formuló el problema general y específicos, también se formularon tanto los objetivos generales como los específicos y se determinó el impacto potencial de la investigación.

En el capítulo II podemos encontrar los antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, además las bases teóricas de las variables y las hipótesis generales y específicas.

En el capítulo III se desarrolla el diseño metodológico, la población y muestra, la instrumentación, y el resumen del procedimiento.

En el capítulo IV se desarrolla el procedimiento de implementación de la metodología BIM en el proceso de diseño estructural.

En el capítulo V se desarrolla la contrastación de la hipótesis reportando los resultados de la investigación.

En el capítulo VI se desarrolla la discusión de los resultados de la investigación.

Finalmente encontramos las conclusiones, recomendaciones, anexos y fuentes de información.

Se concluye que la implementación de la metodología BIM mejora y convierte el proceso de diseño tradicional e individualista a un proceso colaborativo y multidisciplinario. Logra que la información este centralizada en un solo modelo BIM. Los niveles de desarrollo son esenciales para la buena comunicación entre las partes participantes del proyecto. Los modelos tridimensionales complementan el diseño pues ayudan a visualizar potenciales optimizaciones y mejoras de los elementos.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En el inicio de cualquier proyecto de construcción es necesario el trabajo organizado de un equipo de personas, que estarán en constante comunicación, relacionadas al proyecto, pero solamente la comunicación es limitada y no basta para transmitir todos los detalles del proyecto y esto puede generar en una grave falta de comunicación, que tendrá consecuencias caóticas durante la ejecución del proyecto, es por eso que nace la documentación donde se detalla con precisión todas las características específicas del proyecto, para que estas puedan pasar de documentos detallados a construcciones reales. Por esta razón, la documentación física ha existido durante siglos, en donde la mayor parte de ese tiempo, la documentación fue realizada en papel.

Con el avance de la tecnología, la comunicación pudo ser más rápida, no solo a través del habla y dispositivos de telecomunicaciones sino también de versiones electrónicas, ya sea un correo electrónico, una página web o algún otro formato de archivo electrónico.

Del mismo modo para la documentación o planos de un proyecto que tradicionalmente implicaba usar el lápiz y papel para crear dibujos bidimensionales y poder comunicar así los detalles del proyecto, también dio un avance tecnológico, pasando del dibujo manual al dibujo electrónico que se le denominó diseño asistido por computadora o mundialmente conocido como CAD. Este gran avance ayudó mucho en la rapidez con la que se creaban los diseños y con la realización de copias de una misma documentación.

Este gran avance en la industria de la construcción destacó en una etapa temprana del proyecto que es en la idealización y elaboración del diseño, pero durante la etapa de construcción surgían algunos problemas relacionados con la compatibilización de los planos. Ya que un proyecto está conformado por diversas especialidades y por cada especialidad encontramos varios documentos de diseño generalmente resulta difícil detectar algún error;

dando lugar a que este error recién sea detectado durante la etapa de construcción, pudiendo generar retrasos en las actividades programadas y finalmente llevar a un retraso general en el plazo de entrega del proyecto. Si estos retrasos no son subsanados rápidamente conllevarán inevitablemente a pérdidas económicas puesto que la empresa encargada del proyecto tendrá que utilizar parte del presupuesto asignado al proyecto para poder sobrellevar las implicaciones del retraso pudiendo así disminuir la rentabilidad de la empresa.

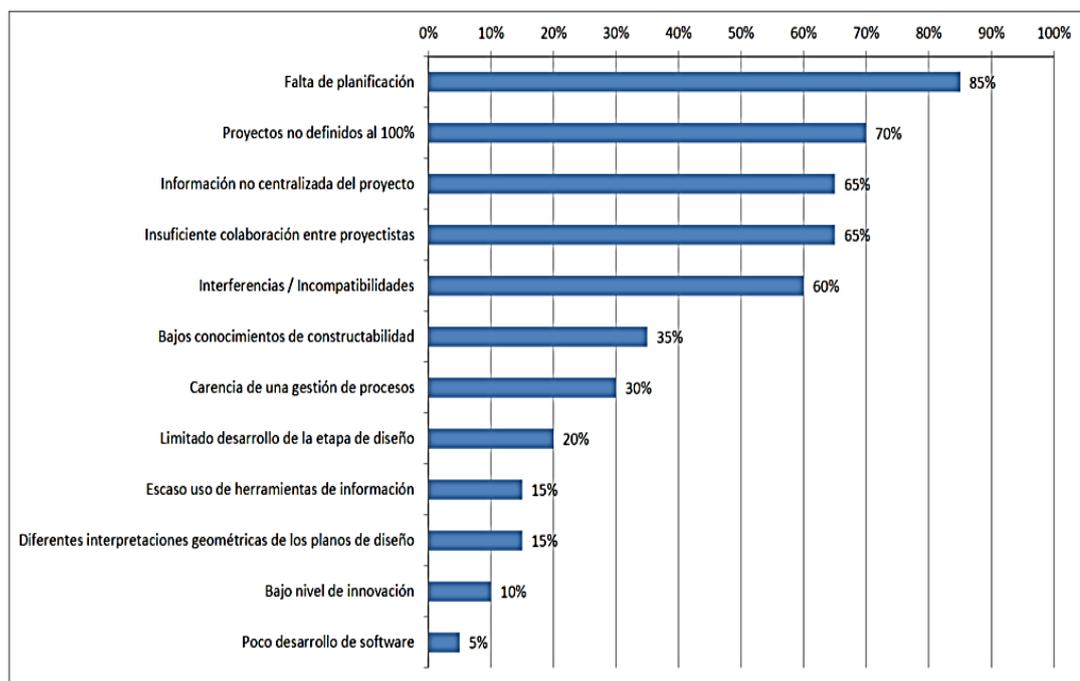


Figura 1. Principales problemas en un proyecto de construcción.
Fuente: (Eyzaguirre Vela, 2015)

Una herramienta que puede mejorar gran medida este problema es el entorno informático colaborativo denominado Modelado de Información de la Construcción o BIM. BIM proporciona un valor significativo en términos de colaboración y valor durante todo el proceso de construcción, desde la fase inicial de diseño, pasando por la estimación, programación y gestión del proyecto.

En Perú, la implementación del BIM comenzó en 2005 por iniciativa de las más importantes constructoras que requerían aumentar la productividad en sus proyectos, en el sector público no fue hasta el 28 de julio de 2019 que se aprobó el Plan Nacional de Competitividad y Productividad mediante el

Decreto Supremo N° 237-2019-EF, que establece como Medida de Política la adopción progresiva de la metodología BIM. Sin embargo, la forma en que esta metodología está siendo frecuentemente utilizada es en el modelado de información a partir de planos CAD, esto quiere decir que los diseños como estructuras e instalaciones sanitarias han sido realizados y detallados primeramente en CAD y posteriormente modelados en 3D, pudiendo de esta manera encontrar interferencias entre las diversas especialidades del proyecto.

La metodología BIM propuesta en este trabajo es ir directamente desde el diseño al modelado 3D, reflejando en el modelo 3D los mismos detalles que se podrían encontrar en un plano CAD, pero con objetos inteligentes que tiene información detallada sobre si mismos, dejando de lado CAD, para evitar un doble trabajo. Logrando la integración del proceso de diseño estructural al flujo de trabajo de la metodología BIM.

1.2. Definición del problema

Para la definición del problema se realizó una encuesta a especialistas en el tema, donde se detectaron las causas en el diagrama de causa – efecto.

1.2.1. Formulación del problema

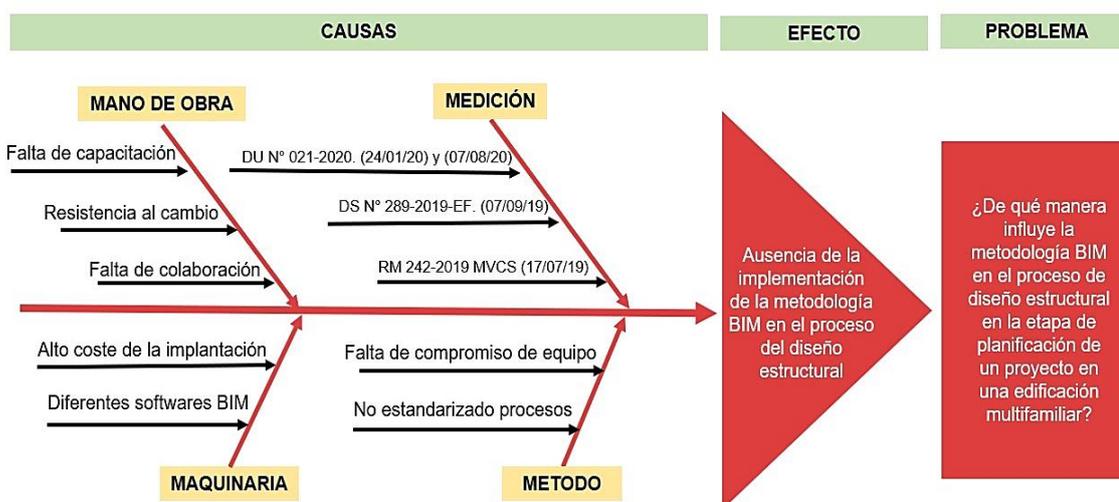


Figura 2. Diagrama Causa – Efecto
Fuente: Elaboración propia

1.2.2. Problema general

¿De qué manera influye la metodología BIM en el proceso de diseño estructural 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?

1.2.3. Problemas específicos

¿De qué manera influye el plan de ejecución BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?

¿De qué manera influyen los modelados BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?

¿De qué manera influyen las dimensiones BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?

¿De qué manera influye el nivel de desarrollo o LOD en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la metodología BIM en el proceso de diseño estructural 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.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la influencia del plan de ejecución BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

Determinar la influencia de los modelados BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

Determinar la influencia de las dimensiones BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

Determinar la influencia del nivel de desarrollo o LOD en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

1.4. Impacto potencial

1.4.1. Impacto teórico

La investigación propuesta busca, mediante las teorías y conceptos de la metodología BIM encontrar soluciones a los imprevistos (limitado desarrollo en la etapa de diseño, interferencias, incompatibilidades, información no centralizada, etc.) que afectan un proyecto, anticipándolos desde la etapa de diseño estructural. Lo anterior permitirá contrastar diferentes conceptos de la metodología BIM en una realidad como la etapa de construcción.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo, se acude al empleo de softwares de análisis y diseño estructural (Etabs y Safe) y de cálculo (Excel y Mathcad) y el modelamiento y manejo de la información (Revit) como instrumentos para poder implementar la metodología BIM en el proceso de diseño de estructural, a través de una secuencia de pasos plasmados en un mapa de procesos pertenecientes a uno de los usos del BIM.

1.4.2. Impacto práctico

El proceso de diseño estructural implementando la metodología BIM tiene como beneficiario principal la población que hará uso de la infraestructura, pudiendo otorgar mejores infraestructuras de alta calidad y confiabilidad, en el plazo establecido. También se tiene como beneficiarios a los profesionales encargados del diseño pues implementar esta metodología significa un mayor ahorro de tiempo y un trabajo más productivo a comparación de la metodología tradicional.

De acuerdo con los objetivos de la investigación, sus resultados permitirán integrar el proceso de diseño estructural al ciclo de un proyecto con metodología BIM pudiendo encontrar soluciones a problemas de interferencias, incompatibilidades, información no centralizada, limitado desarrollo en la etapa de diseño, insuficiente colaboración entre proyectistas, falta de planificación, entre otros.

1.4.3. Viabilidad de la investigación

1.4.3.1. Recursos Humanos

Se contará con un ingeniero asesor encargado de resolver las dudas que surgirán durante el desarrollo del trabajo y también proporcionando consejos de acuerdo con su experiencia y juicio crítico como profesional.

1.4.3.2. Recursos técnicos

Primeramente, se tuvo las capacitaciones necesarias sobre metodología BIM y su implementación en la etapa de diseño de un proyecto.

Además, se consiguió el plano arquitectónico de una edificación multifamiliar; en formato CAD; con permiso del profesional responsable, para iniciar la estructuración, análisis y diseño estructural.

1.4.3.3. Recursos económicos

La presente investigación se elaborará con recursos propios.

1.4.3.4. Tiempo de realización

La presente investigación se plantea desarrollarla dentro del tiempo estimado propuesto, pues ya se cuenta con los conocimientos técnicos y recursos humanos que nos acompañaran en todo el desarrollo de la investigación.

1.4.4. Alcances y limitaciones

1.4.4.1. Alcances

Para el desarrollo de la tesis tiene como representante una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano con 300 m² de área de lote normativo. Teniendo en el semisótano 13 estacionamientos, en el primer piso 4 estacionamientos y tres departamentos, desde el segundo piso hasta el sexto piso 4 departamentos por cada piso.

Se inició a partir del plano arquitectónico la estructuración, predimensionamiento, análisis estructural en el software Etabs, diseño estructural; con ayuda de Excel y Mathcad; y posteriormente su vinculación con el programa Revit a través del plugin CSIXRevit, para posteriormente poder hacer un presupuesto de la estructura con el software Delphin Express y finalmente una programación en de obra con el software Navisworks, teniendo como base las teorías y conceptos de la metodología BIM.

Obteniendo así la integración del diseño estructural al flujo de trabajo de un proyecto basado en la metodología BIM y sus enormes ventajas si la comparamos con la metodología tradicional.

1.4.4.2. Limitaciones

La curva de aprendizaje de la metodología BIM es extensa lo que se traduce en un tiempo considerable de aprendizaje, siendo necesario conocer lo más destacado, primordial y necesario relacionado con los temas de diseño a tratar.

La gran cantidad de herramientas y funciones que puede proporcionarnos la herramienta BIM - Revit no se podrá conocer todas en su totalidad debido en algunos casos a su complejidad y en otros casos a su poca o nula relación con los temas a tratar.

Dificultad de encontrar un modelo arquitectónico diseñado enteramente en la herramienta BIM - Revit para el inicio del análisis y diseño estructural. Pudiendo encontrar solamente planos CAD de la arquitectura tanto en planta como en elevación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

(Pellinen, 2016) en su tesis de maestría denominada, cuyo objetivo fue estudiar las prácticas actuales de diseño y cómo podrían desarrollarse más mediante el uso BIM desde la etapa de diseño en proyectos de gran escala, teniendo como hipótesis que desde la perspectiva de la gestión del diseño los procesos actuales de colaboración BIM se podrán desarrollar aún más. La metodología empleada fue con un enfoque cuantitativo, con un diseño general explicativo y con un diseño específico de análisis de caso. Para recoger los datos, el autor uso entrevistas y análisis de reuniones que luego la información obtenida fue procesada por el método de análisis de áreas de datos comunes. Finalmente, los resultados obtenidos fueron que se desarrolló un modelo de proceso para producir modelos de manera compatible y avanzar en el trabajo de diseño de manera eficiente.

(Mumena Alekhtyar, 2018) en su tesis de maestría, cuyo objetivo fue definir las diferencias prácticas entre BIM y el Diseño Virtual y Construcción (VDC) y para explorar la ambigüedad e interacción entre VDC y BIM, teniendo como hipótesis que BIM y VDC son dos conceptos diferentes pero que interactúan entre sí. La metodología empleada fue con un enfoque cuantitativo, con un diseño general explicativo y con un diseño específico de análisis de caso. Para recoger los datos el autor uso revisión de literatura y entrevistas semiestructuradas. Finalmente, se obtuvo que el nivel de conocimiento de BIM por parte de profesionales en la industria Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) es bajo. El beneficio de BIM más importante es mejorar la colaboración del equipo de diseño, ya que tradicionalmente el diseño arquitectónico, análisis estructural y dirección de obra son tres pasos separados.

(Sánchez Bonilla, Rivas Varón, & Ott Serrano, 2018) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue realizar el diseño y modelación de proyectos en dos y tres dimensiones con la metodología BIM soportado en herramienta Autodesk Revit. Se aplicó una metodología del tipo no experimental descriptiva. Los autores utilizaron como instrumentos para la obtención de datos el software revit. Se concluyó que la metodología BIM mostró ser una herramienta valiosa para la gestión total de la obra tomada como base para creación del modelo, de lo contrario habrá un aumento de los tiempos de procesamiento y ajuste de datos para crear el modelo BIM.

(Trejo Carvajal, 2018) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue analizar los eventuales cambios en los procesos de Planificación y Control de alcance, tiempo, costo y calidad en proyectos de ingeniería y construcción con el uso de la metodología BIM en ellos. Se aplicó una metodología del tipo no experimental descriptiva. Para recoger los datos el autor uso revisión bibliográfica, entrevistas, encuestas, estudios de proyectos. Se concluyó que los mayores cambios y aportes que genera BIM, en la planificación y control, se relacionan al alcance y tiempo, mientras que las prácticas en costo y calidad no han sufrido mayores modificaciones.

(Kemerink, 2018) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue identificar posibles trayectorias para la incorporación del análisis estructural en el proceso BIM. Se aplicó una metodología del tipo no experimental descriptiva. Para recoger los datos el autor uso revisión bibliográfica. Finalmente, se demostró la posibilidad de extracción de datos de un modelo BIM, de manera adecuada para cualquier software de análisis estructural mostrando como se puede lograr en poco tiempo y cuál podría ser la posible trayectoria por utilizar. Esto podría ser una buena solución a la interoperabilidad actual.

2.1.2. Nacionales

(Chanca Hinostroza, 2018) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue determinar los beneficios alcanzados al relacionar el diseño estructural y la implementación de tecnología BIM-3D. Se aplicó una metodología con enfoque cuantitativo y diseño descriptivo. Para recoger los datos el autor uso las herramientas Revit. Se concluye que se obtuvo representaciones 2D y 3D más precisa y detalladas, generados en cualquier etapa de diseño que proviene del modelo 3D de la edificación, los tiempos de cuantificaciones de concreto, acero y encofrado con la metodología tradicional fueron de 28 horas y con la metodología BIM, solo fueron de 2 horas y la diferencia de horas entre estas metodologías es de 15 horas siendo menor la metodología BIM.

(Huancas Tineo & Torres Pedraza, 2020) en su tesis de grado, Cuyo objetivo fue aplicar la metodología BIM en el diseño de una habilitación urbana. Se aplicó una metodología con un enfoque cuantitativo y tecnológico con un diseño cuasiexperimental, pues con la obtención de datos numéricos se procede posteriormente al modelamiento informático utilizando herramientas BIM. Dentro de los instrumentos de recolección de datos encontramos las de observación y las de análisis documental. En las de observación se realizaron los estudios de suelos y topografía de la habilitación urbana y dentro de las de análisis documental se usaron manuales y manejos de los softwares Revit, Civil 3D, Navisworks. Los resultados obtenidos fueron que la aplicación de la metodología BIM en proyectos de inmobiliarios es factible y viable, por lo que se recomienda la creación de normativas que permitan dicha implementación a nivel nacional. Como recomendación se indica también que el costo de la implementación de la metodología BIM en la etapa de diseño, requieren de un costo inicial considerable, pero que se tiene que ver como una inversión pequeña a comparación de retrasos de obra por falta de coordinación.

(Chambilla Zamata, 2016) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue Realizar el análisis, diseño estructural e instalaciones sanitarias de un edificio de departamentos de 05 niveles y 01 semisótano utilizando Plataforma BIM. Se aplicó una metodología no experimental de diseño descriptiva. En los instrumentos se utilizaron los softwares Etabs, Revit y Navisworks. Se concluyó que el modelado 3D se puede utilizar como herramienta de análisis para evaluar y revisar criterios de diseño, además que permite evaluar aspectos constructivos que faciliten un mejor planeamiento y control de las actividades de construcción mejorando la gestión del proyecto.

(Domínguez Hurtado & Moreno Minaya, 2018) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue realizar el diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles bajo la metodología BIM. Se utilizó un diseño metodológico descriptivo – aplicado. Los autores usaron la recolección de datos con estudios de mecánica de suelos, normas técnicas, normas extranjeras, software Robot Structural y revit 2018. Se concluyó que las herramientas integradas en el programa permitieron realizar el diseño, de manera más automática.

(Condori Atencio, 2020) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue determinar el análisis y diseño estructural de un edificio de 5 pisos de concreto armado con la metodología BIM. El diseño metodológico fue descriptivo - exploratorio. Como herramientas se tubo los softwares Etabs y Revit. Se concluyó que la metodología BIM permitió un mayor control en la etapa de diseño y el modelo analítico ya desarrollado previamente en Revit se logró exportar correctamente a Etabs para continuar con el análisis y diseño estructural.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Metodología BIM

2.2.1.1. Definición de BIM

La definición del BIM según (AIA, 2013) es “el proceso utilizado para crear el modelo BIM”. Para el surgimiento de esta concepción (Eastman, y otros, 1975) mencionó que deberíamos comenzar por un sistema informático en el cual podría almacenarse y manipularse la información de un proyecto para su diseño, construcción y análisis operativo. Debido a que un edificio se considera es un conjunto de otros elementos más pequeños, el denomino al sistema, Building Description System (BDS). Para la manipulación de la información este sistema debería contemplar 4 puntos importantes, el primero es que debería facilitar la inserción grafica de elementos simples y complejos, el segundo es que estos gráficos deberían ser interactivos para editar y componer arreglos de elementos, el tercero es que el sistema debería proporcionar dibujos en perspectiva de alta calidad y por último el sistema tendría la capacidad para la clasificación las propiedades de los elementos en una base de datos.

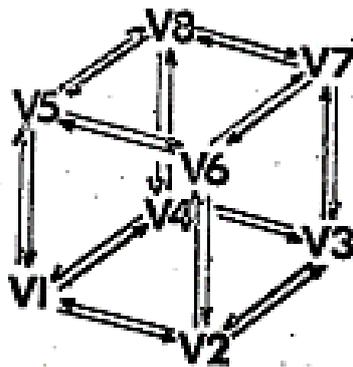


Figura 3. Los cuatro niveles jerárquicos dentro de la base de datos BDS.
Fuente: (Eastman, y otros, 1975)

Eastman describió los requerimientos; tanto hardware como el software; para poder crear un modelo informático lo más parecido a un edificio real la cual contendría información de los elementos que lo conforman como sus geometrías y lugares en el espacio y que estas estarían conectadas entre sí para poder formar el modelo virtual del edificio. Además, la base de datos proporcionaría una información única por cada elemento del edificio virtual por lo que ante cualquier cambio solo se realizará una sola vez en lugar de copiarlo en varios dibujos como se venía haciendo.

La visión de Eastman con su BDS tendía a ser conocido mayormente como Building Product Models (BPM) en EE.UU y en el continente europeo como Product Information Models (PIM). Posteriormente estas declaraciones fueron fusionadas para llegar al término que hoy conocemos como Building Information Model (BIM), un término que se mencionó por primera vez por Van Nederveen y Tolman, del departamento de Ingeniería Civil de la Delft University of Technology (Países bajos). (Martin Dorta, Gonzalezde Chaves Assef, & Roldan Mendez, 2014)

Fue la empresa Autodesk que luego de comprar a la compañía Revit Technology Corporation en el 2002 publico un reporte técnico denominado “Una nueva estrategia para la aplicación de tecnología de la Información a la Industria de la construcción: Building Information Modeling” que hizo que el término se populariza aún más a nivel mundial y posteriormente fuera utilizado y optado por otras empresas y profesionales de la industria de la construcción para referirse básicamente a los mismos conceptos propuestos que desde 1975 Eastman había planteado como solución a los problemas que aquejaban a la industria y que venían arrastrando por muchos años sin ninguna solución significativa.

En la actualidad existen varias definiciones del BIM tanto de normas internacionales, profesionales, empresas y países. En el Perú el (Ministerio de Economía y finanzas [MEF], 2020) lo define como “un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten formular, diseñar, construir, operar y mantener una infraestructura o edificación de forma colaborativa en un espacio virtual”.

2.2.1.2. Importancia del BIM

A pesar de que en el sector de la construcción la innovación ha sido más lenta que otros sectores, la adopción de la tecnología en este rubro está determinado a llegar a todos los aspectos de la construcción. La metodología BIM combina el hardware y el software por lo tanto está sujeta a las nuevas tecnologías y herramientas BIM que se vienen creando o mejorando año tras año. En ese contexto es necesario que el profesional de la construcción conozca estas tecnologías y herramientas BIM y que paralelamente lleve una capacitación sobre la metodología, esto con el fin de saber sus procesos, aplicaciones y beneficios además de saber qué rol puede tener para cada proyecto en donde se aplique la metodología BIM.

Pero simplemente utilizar un modelo digital no es suficiente, pues se deberá crear nuevos procesos de trabajo o adaptar necesariamente los que ya existen, lo que implicaría hacer un cambio de la cultura tradicional de como se viene realizando los proyectos en cada etapa de su ciclo de vida. Esto es porque no es solo utilizar la tecnología, es también trabajar con un grupo de profesionales o personas involucradas con el proyecto, para poder aplicar de manera correcta las tecnologías y ver los beneficios y buenos resultados ante los desafíos que se presentan.

La importancia de la metodología BIM es mantener un flujo constante de información antes, durante y después de la construcción para poder evitar una serie de riesgos entre ellas las incompatibilidades entre especialidades durante la etapa de construcción, que finalmente puedan generar un aumento de costos y plazos de entrega. (Eastman, y otros, 1975)

Dentro de la metodología BIM se está construyendo la edificación 2 veces, una virtual y otra de manera real, por lo tanto, la etapa de diseño será una etapa aún más importante y a la cual se deberá trasladar la mayor cantidad de esfuerzo en comparación con la etapa de construcción. Esto es porque al momento de construir digitalmente la edificación podremos encontrar la mayoría de los problemas de interferencias e incompatibilidades que se hubieran encontrado en la etapa de construcción real, pero ahora solucionándolas de manera rápida y sin grandes costos.

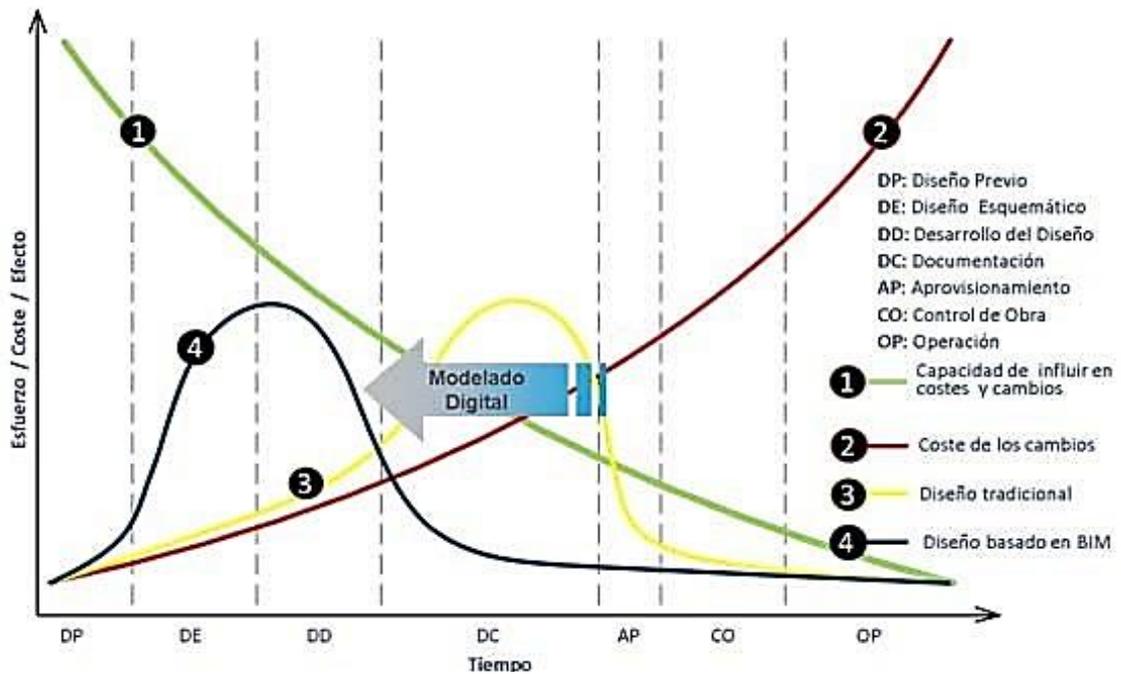


Figura 4. Curva de esfuerzo del proceso constructivo
Fuente: (Macleamy, s.f.)

En la Figura 4 podemos observar 4 curvas que representan el esfuerzo, costo y efecto que se da en el ciclo de vida de un proyecto. La curva N°1 representa la capacidad de influir en los cambios durante el proyecto y en los costos costo que implica estos. Como se observa en la imagen a mayor avance en las etapas del proyecto menor será la capacidad de poder hacer modificaciones e influir en los costos pues durante las primeras etapas del proyecto es donde se puede optimizar la estructura para que pueda ser más económico y además en las primeras etapas es donde se puede generar una buena planificación y procesos que ayudarán cumplir los plazos establecidos. Contrariamente a la curva N°1 encontrar la curva N°2 es inversamente proporcional pues está conforme avanzamos en las etapas del proyecto va aumentando. Esto quiere decir que con cada etapa avancemos el costo real de querer hacer alguna modificaciones o corrección será mayor, como ejemplo práctico está el querer hacer una modificación durante la etapa de construcción y otra durante la etapa de diseño, obviamente en el segundo caso se podría resolver en unas cuantas horas hasta minutos sin ningún costo significativo, mientras que en el primer caso puede conllevar hasta varios días, lo que se traduce en costos significativos.

También observamos la curva N°3 que representa el proceso tradicional durante las etapas del proyecto, aquí el esfuerzo está concentrado en la etapa de documentación pues en sus etapas previas no se define, coordina y valida correctamente los diseños entregados y con mucha más notoriedad cuando se presentan modificaciones de diseño.

Finalmente tenemos la curva N°4 que representa el proceso BIM en donde el mayor esfuerzo este concentrado entre las etapas de diseño esquemático y el desarrollo del diseño para finalmente entregar un diseño concluyente y totalmente definido que estará coordinado entre especialidades y validado por los profesionales.

Durante la ejecución del proyecto es en donde se podrá observar con más notoriedad los beneficios del proceso BIM, pues después de que el diseño y su implementación ya se hayan abordado en su totalidad la etapa de construcción se convertirá principalmente en una función de control de calidad y costos. Por lo tanto, la etapa de construcción con el proceso BIM será mucho más eficiente que con el proceso tradicional.

Frente a los enfoques tradicionales de diseño-licitación-construcción los proyectos son cada vez más colaborativos por lo tanto se han creado algunos métodos de entrega colaborativa como el diseño-construcción, las sociedades público-privadas (PPP) y la entrega de proyectos integrados (IPD). Los proyectos colaborativos por lo tanto estarán en la necesidad de encontrar nuevas formas para el trabajo en conjunto.

Un proyecto con el método de diseño-construcción está conformado básicamente por dos equipos que trabajan juntos, uno dedicado al diseño y el otro al proceso constructivo y que ambos tendrán una sola vía de comunicación con el dueño del proyecto. Este método se diferencia del diseño-licitación-construcción en que el dueño deberá encontrar por separado al equipo de diseño y construcción. El método de diseño-licitación-construcción es el más utilizado por el sector público en Perú y por lo tanto podemos ver de cerca sus grandes debilidades en gran número de proyectos como proyectos atrasados en la entrega final, paralizados o proyectos entregados con la calidad no esperada, entre otros.

El método de un proyecto por medio de las sociedades público-privadas es donde en el equipo exista al menos un representante del sector público y por la otra parte un representante del sector privado. De esta manera el sector público aprovecha las bondades y beneficios que ofrece el sector privado y que juntos abarcan todas las etapas de del ciclo del proyecto. Además, los riesgos y responsabilidades son compartidos y se suele utilizar para proyectos sociales como hospitales, colegios, carreteras, etc.

La entrega de proyectos integrados es un método de entrega de proyecto que está conformado por equipos de diferentes disciplinas que trabajar colaborativamente, donde se aprovecha al máximo los conocimientos de los miembros de los equipos con el fin de desarrollar los objetivos propuesto que se ven reflejado en un proyecto optimizado y eficiente en todas las etapas de su ciclo. Un proyecto de IPD se ve destacado no solo por sus objetivos compartidos sino también por la utilización de la metodología BIM en todas sus etapas. Este método es muy difundido por el Instituto Americano de arquitectos (AIA). No obstante, este método presenta sus desafíos pues no será sencillo de aplicarlo como por ejemplo al momento de compartir archivos de gran tamaño mediante correo electrónico o la necesidad de ver y abrir todo tipo de archivos sin su programa original.



Figura 5. Etapas de un proyecto con procesos BIM

Fuente: (Microgeo, s.f.)

La importancia de la metodología BIM es dar soluciones a los problemas tradicionales y generar un valor agregado en los procesos de cómo se están desarrollando los proyectos de construcción. Aunque su utilización puede abarcar todas las etapas de un proyecto de forma independiente es importante aplicarlo desde las etapas iniciales de diseño pues es aquí donde se podrán detectar errores en etapas posteriores, mejorando la planificación de la construcción, ahorrando costes y cumpliendo con los plazos establecidos y como gran parte de la información está presente en un modelo central BIM se podrá controlar con mayor facilidad la documentación.

Además, debido a que la información está clara y presente en cualquier momento ayuda a la empresa contratista a tener un mayor control de todo el proyecto, incluso se podrá hacer al cliente participe en la toma de decisiones y en las estrategias que estas conllevan para poder finalmente hacer una coordinación desde la gerencia hasta la mano obrera.

. Esta metodología no está exceptúa de desafíos pues en lo que respecta el factor tecnológico siempre se viene mejorando e innovando con el pasar de los años. En la actualidad existen gran variedad de softwares BIM, de donde podremos escoger el más conveniente al momento de trabajar y que se ajuste a nuestras necesidades y presupuestos. Con respecto al factor económico se requerida una inversión considerable debido a la adquisición de las tecnologías necesarias y las capacitaciones iniciales constantes de los miembros del equipo, que inicialmente necesitará capacitaciones constantes hasta lograr el dominio de la metodología. Y por último el factor humano, el más importante, debido a que implicara un cambio en la cultura de cómo se ha venido trabajando y a las nuevas formas de comunicación.

En conclusión, la metodología BIM trae consigo muchos beneficios a la industria de la construcción y resuelve varios problemas de la metodología tradicional, entregando proyectos de mejor calidad. Aunque sus primeras concepciones comenzaron en el siglo pasado, y ya has pasado varios años desde que comenzó este nuevo siglo se sigue avanzando en lo tecnológico y en los procesos para poder cada vez tener un mayor control de todo el ciclo de vida de un proyecto.

2.2.1.3. Diferencia entre CAD y BIM

Utilizando como referencia los softwares AutoCAD y Revit de la empresa Autodesk podemos compararlos ambos, pues estos son muy conocidos por arquitectos e ingenieros. Ambos softwares tienen el mismo propósito de ayudar a los profesionales de la construcción de la mejor manera, pero tienen formas de pensar y flujos de trabajo diferentes.

La principal diferencia es que AutoCAD es como si estuviéramos dibujando en una hoja bond con ayuda de una regla y un lápiz, dibujando líneas 2D que representan objetos reales. Mientras tanto Revit construye elementos 3D directamente, que a su vez estos elementos pueden contener información de los objetos reales.

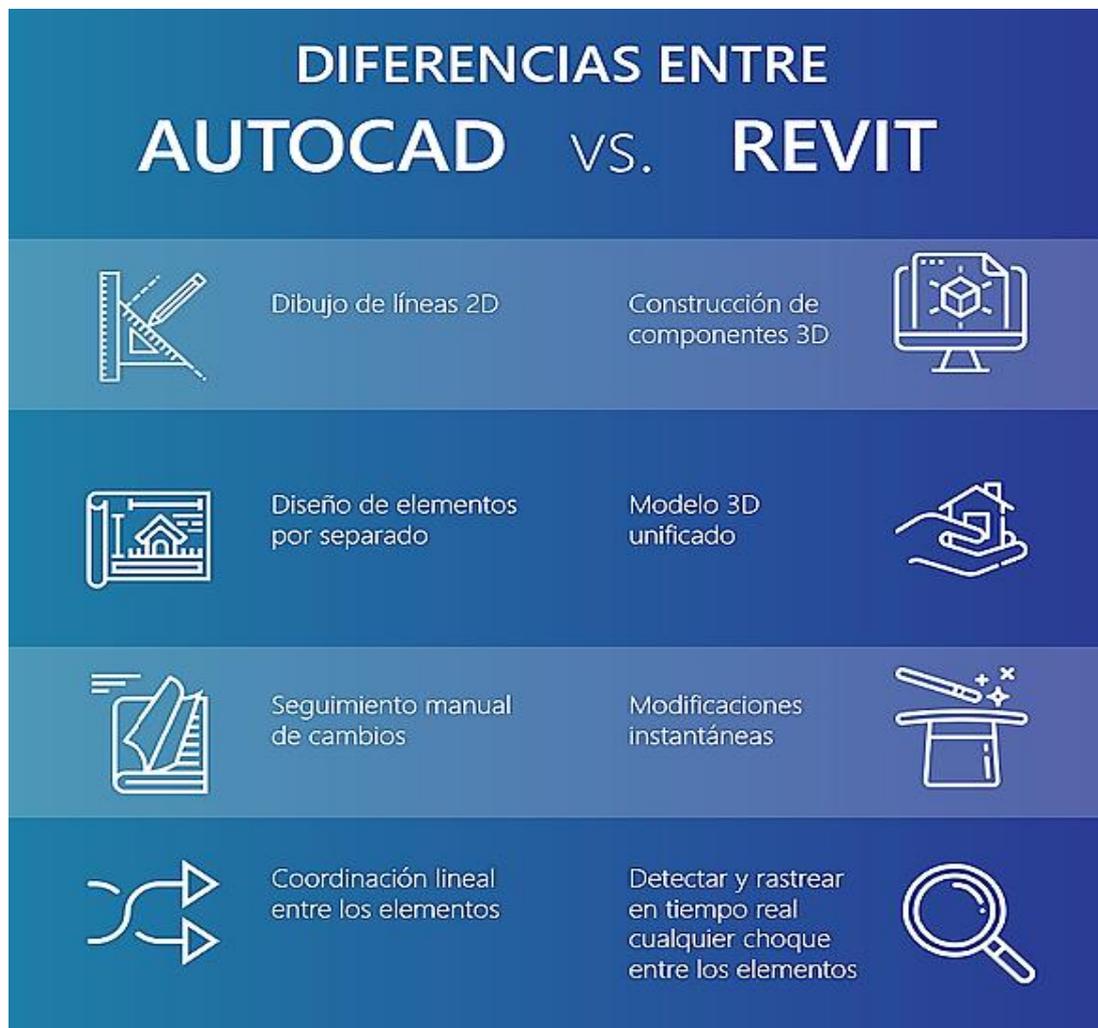


Figura 6. Diferencias entre autocad y revit
Fuente: (factoria5hub, s.f.)

Normalmente en AutoCAD solíamos dibujar cada elemento por separado, donde primeramente se realizaban en un plano para luego ir a una vista en elevación y luego con los cortes. Se podría concluir que este proceso es de alguna manera libre porque estas vistas no están vinculadas entre sí, dado que, si modificamos la vista en planta, la vista en sección no se va a modificar automáticamente. Los proyectos no están excluidos de las modificaciones y en AutoCAD esto presenta una clara desventaja pues muchas veces el cliente nos pide que hagamos modificaciones rápidamente y utilizando AutoCAD este proceso se vuelve manual y lento ya que tendremos que modificar y verificar todas las vistas, secciones y vistas 3D.

Además, siguiendo con las etapas del diseño como la coordinación entre el diseño arquitectónico y las otras especialidades del proyecto, en AutoCAD este proceso puede resultar bastante lineal e implican una constante ida y vuelta entre las partes involucradas, tomando un claro ejemplo es la coordinación entre las especialidades de arquitectura y estructuras.

Con respecto a Revit hay que tener un pensamiento generalizado del proyecto debido a que las modificaciones que se pueden realizar en una vista en planta tienen repercusiones en todas las vistas, secciones y vistas 3D, de esta manera nos ofrece una gran ventaja en la rapidez que se puedan realizar las modificaciones o errores de diseño. Otra gran ventaja de Revit es que ofrece una mejor coordinación entre todas las especialidades del proyecto pues al tener todo en un modelo de forma vinculada podemos detectar y rastrear en tiempo real cualquier fallo entre los elementos.

Las desventajas de Revit están tanto en la inversión en tecnología como también en el tiempo requerido para formación, ya que es muy importante, debido a que la complejidad de los proyectos crece y cuesta un poco llegar al nivel de fluencia que hacíamos con AutoCAD. Además, suele ser un proceso lento en las primeras etapas de implementación, pero esto se ira mejorando conforme nos adaptemos y acostumbremos a sus funcionalidades.

2.2.1.4. Nivel de desarrollo o LOD

En el desarrollo de proyectos con la metodología BIM, los elementos que conforma un modelo necesitan comunicar a los participantes del proyecto de una manera eficiente hasta qué punto se ha desarrollado el elemento en función a la definición del nivel de LOD que se ha establecido para dicho elemento. También el nivel de desarrollo permite comunicar hasta qué punto se puede utilizar un elemento del Modelo. Cuando se habla de comunicar el nivel de desarrollo, es importante diferenciarlo con el nivel de detalle. (The American Institute of Architects [AIA], 2013).

Es común ver a diseñadores extraer objetos de bibliotecas, como, por ejemplo, se puede extraer una ventana muy detallada la cual contiene información como el fabricante, tipo de material, grosor del cristal, capacidad de ventilación, etc. Pero el diseñador solo extrajo la ventana de la biblioteca para ubicar con precisión donde debería ir está dentro del modelo, pero no ha decidido sobre los detalles con los que vino desde la biblioteca. Por lo tanto, mientras su nivel de detalle es alto su nivel de desarrollo es bajo.

Aunque en el nivel de detalle puede incluir información del nivel de desarrollo de un elemento este no siempre será el caso, y la comunicación que el diseñador quiere dar a los otros miembros de equipo puede ser engañoso porque él puso el objeto por su posición, pero el objeto contiene mucha más información de lo que quiere él transmitir.

Los modelos BIM están conformados por elementos 3D que pueden contener mucha información de los objetos reales y para poder resolver este problema fue necesario la creación de los niveles LOD con el objetivo de generar una comunicación eficaz y un grado de confianza desde el diseñador hasta cualquier miembro del equipo que conforman un proyecto.

Este grado de confianza tiene como fin según (The Construction Association, 2019) disminuir los riesgos por déficit de comunicación entre las partes involucradas del proyecto cuando se fijan las expectativas para las diferentes etapas del proyecto, a través de una identificación más sencilla de lo que se espera de cada miembro del equipo y una mayor previsibilidad del nivel de esfuerzo en los entregables de cada miembro.

Dentro de los niveles LOD podemos encontrar 5 categorías bien definidas las cuales parten desde el LOD 100 hasta el LOD 500. Las definiciones iniciales lo dan The American Institute of Architects (AIA) y para más detalles estará en función de cada elemento del modelo y a donde a que sistema pertenece, como la subestructura, la superestructura, etc. Se puede adjuntar información no grafica a partir del LOD 200 en adelante.

En el LOD 100 la (AIA, 2013) lo define como “el elemento del modelo que se representa con símbolo o figura genérica pero no cumple ningún requisito de LOD 200. La información que puede entregar provendrá de otros elementos del modelo como su cantidad, costo por metro cuadrado, etc.”

Como ejemplo podemos calcular y cuantificar el acero y ladrillo que está presente en un elemento de losa aligerada con simplemente saber su profundidad y área. Es así como a pesar de que algunos elementos no se modelen, su información se podrá extraer a partir de otros elementos del modelo.

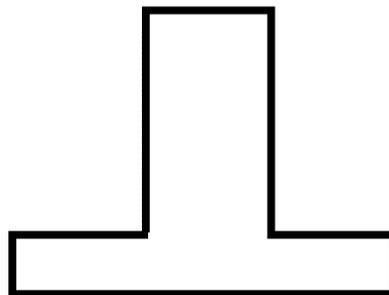


Figura 7. Símbolo de viga una T invertida.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 7 observamos una figura que tiene la forma de una T invertida, está representada en dos dimensiones y está creada a partir de simples líneas además no aporta más información por si sola. En dibujos por CAD nosotros podríamos asumir de que se trata de una Viga estructural prefabricada en T invertida como también de que se trata de otro elemento completamente diferente. Esta información que nosotros asumimos no está asociada al elemento, sino que lo podemos encontrar en otra parte de la documentación. Por lo tanto, la figura no nos proporciona al tipo de sistema al que pertenece, volumen, cantidad, etc. Y con respecto a la información no grafica tampoco nos puede proporcionar el material con el que estará hecho.

En el LOD 200 la (AIA, 2013) lo define como “El elemento que se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidades, tamaños, forma, ubicación y orientación aproximadas”.

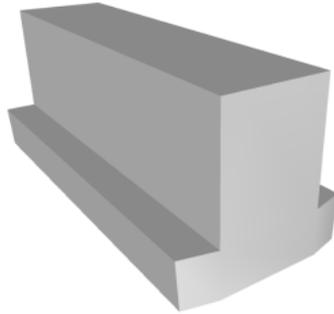


Figura 8. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 200
Fuente: (Ikerd Consulting, como se citó en BIMFORUM,2020)

De la Figura 8 podemos observar que ya cuenta con una cierta geometría además de pertenecer al sistema de la superestructura y dentro de esta pertenecer al sistema de vigas, además ya nos proporcionan valores aproximados como el volumen, cuantas vigas habrá , y su ubicación. Con respecto a información no grafica nos proporcionará el material que será de concreto armado y hasta su resistencia de 210 kg/cm².

En el LOD 300 la (AIA, 2013) lo define como “El elemento del modelo que se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación”.

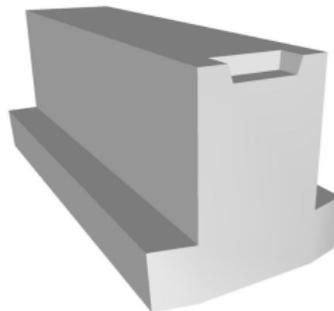


Figura 9. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 300
Fuente: (Ikerd Consulting, como se citó en BIMFORUM,2020)

En esta categoría también se cumple todo lo de la categoría LOD 200, con la diferencia de que la anterior no era precisa. En esta categoría ya se está requiriendo precisión con respecto al origen del proyecto. Esto quiere decir que las mediciones ya se pueden calcular de forma directa a partir del modelo con gran fiabilidad sin necesidad de hacer referencias a otros elementos del modelo o información no modelada como notas de medida, etc.

De la Figura 9 podemos observar que es casi idéntica a la Figura 8 pero con la diferencia de que encontramos una geometría más específica que no teníamos en LOD 200. Esto es muy importante pues al tener una geometría correcta obtendremos obviamente cantidades exactas como el volumen de concreto. Este gran detalle y diferencia puede hacer que preveamos inconvenientes en la etapa de construcción como en el factor económico.

Para el LOD 350 la (AIA, 2013) no lo menciona directamente, pero sí hace referencia a sus existencias con la siguiente definición “El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaces con otros sistemas de construcción”. Como se puede ver los requisitos son más altos que los de LOD 300, pero no tan altos como los del LOD 400.

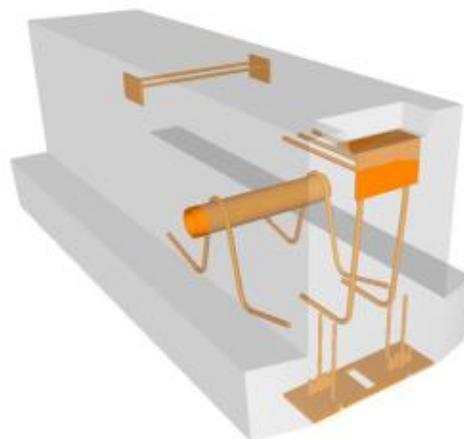


Figura 10. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 350
Fuente: (Ikerd Consulting, como se citó en BIMFORUM,2020)

En la Figura 10 además de tener una geometría específica podemos observar que tiene perfiles de postensado y ubicaciones de cordones. Esto es muy importante pues ayudará a que el elemento pueda tener una coordinación detallada con otras disciplinas que pudieran estar cercanas o adjuntas.

Por lo general las piezas adicionales que se modelaran y que lo diferenciaran del LOD 300, es el modelado de soportes y conexiones del elemento. La utilidad de estas piezas se podrá ver reflejado en la detección de interferencias, el diseño, etc.

Cumple con la categoría de LOD 300 adicionando que se modelaran las piezas necesarias para la coordinación del elemento con elementos cercanos o adjuntos. Es piezas van a consistir, por ejemplo, en soportes y conexiones.

Para el LOD 400 la (AIA, 2013) lo define como “El Elemento del Modelo se representa gráficamente dentro del Modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con detalles, fabricación, ensamblaje e información de instalación”.

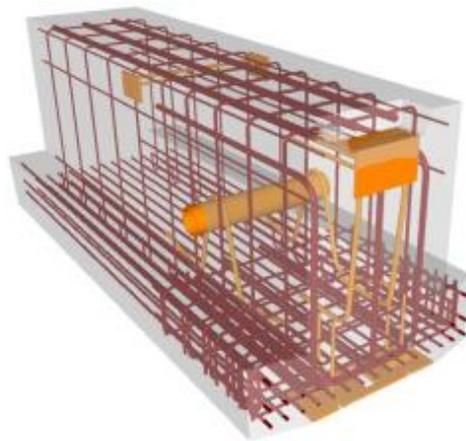


Figura 11. Viga estructural prefabricada en T invertida con LOD 400
Fuente: (Ikerd Consulting, como se citó en BIMFORUM,2020)

En la Figura 11 podemos observar a la viga estructural prefabricada que incluye además lo mencionado anteriormente, todo el refuerzo incluidos los elementos de postensado de manera detallada, también puede ser incluido los acabados.

Para el LOD 500 la (AIA, 2013) lo define como “El elemento del modelo es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación”.



Figura 12. Molde para vigas estructurales prefabricadas en T invertida
Fuente: (Moldtech, s.f.)

En esta categoría el elemento representa lo construido en campo de una forma verificada en tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación.

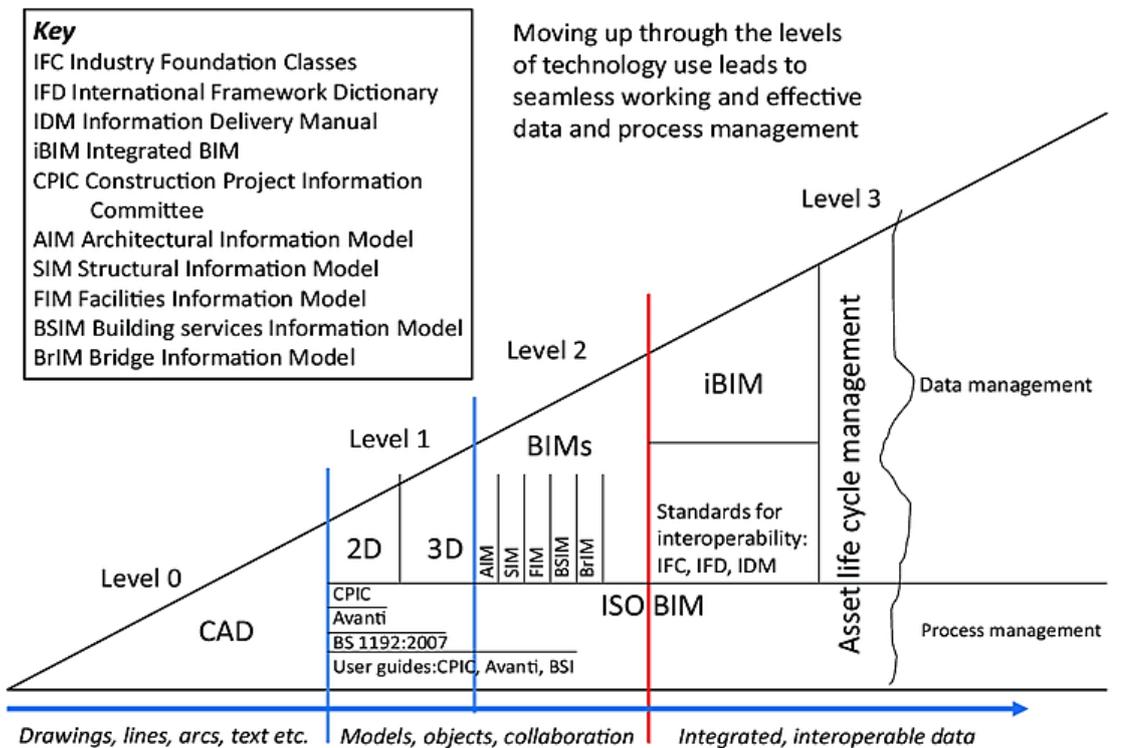
Es importante mencionar que el nivel de desarrollo está muy relacionado con las dimensiones BIM. Pues durante el proceso de diseño y construcción primero se desarrolla un concepto a partir de las ideas propuestas por el cliente, en esta etapa estaremos pasando de un LOD 100 a LOD 200 con geometría básica y nula información. Antes de construir el proyecto pasamos por la etapa de coordinación de especialidades donde llegaremos a un LOD 350. Posteriormente construiremos el edificio y necesitaremos detalles constructivos y especificaciones técnicas de esta manera podemos avanzar a un LOD 400 y finalmente después de la construcción podremos tener un modelo Asbuilt muy preciso en la cual estaríamos convirtiendo a nuestros elementos a un LOD 500.

2.2.1.5. Niveles de madurez del BIM

En el año 2011 el estado del Reino Unido en su afán de reducir los costos de infraestructura en el sector público, planteó nuevas estrategias. Estas nuevas estrategias incluían principalmente a empresas de construcción que quería participar en licitaciones con el estado. Para poder licitar y ganar contratos de obras con el estado, estas empresas deberían alcanzar un cierto nivel de madurez en el manejo de herramientas BIM e información, sus operaciones y procesos de los proyectos.

Por nivel de madurez se debe entender como “la capacidad de la cadena constructiva de operar e intercambiar información” (British Standards Institution [BSI], 2013). A mayor nivel, mayor capacidad y colaboración entre las partes involucradas.

Mayormente a estos niveles de madurez se les dividió en 4 tipos que van desde el nivel 0 hasta el nivel 3. Representa en qué posición y medida una empresa o proyecto se encuentra con respecto a la adopción de la metodología BIM.



Source: Bew and Richards, 2008

Figura 13. Modelo de madurez BIM de Bew-Richards
Fuente: (Bew & Richards, 2008)

En el nivel 0 es básicamente “el uso de herramientas CAD para crear planos y detalles constructivos usando software informático” (BSI, 2013).

En este nivel no promueve la colaboración. El intercambio de la información es a través de documentos electrónicos o en papel. Donde los detalles de los diseños están basados en líneas, curvas , texto , etc.

Este nivel se utiliza como reemplazo de la elaboración de los diseños a mano. Aquí los profesionales en su mayoría trabajan de forma independiente y solo toman información de otro profesional como referencia para su diseño. Además, no generan ningún modelo 3D por lo tanto la programación de obra o cantidades de materiales entre otras informaciones se realiza de forma externa porque la documentación no estará enlazada a un modelo BIM.

En muchos países principalmente del tercer mundo, aún se sigue estando en este nivel, pero los estados de estos países están poco a poco introduciendo la metodología BIM a sus proyectos con el fin de poder seguir avanzando en el nivel de madures del BIM .

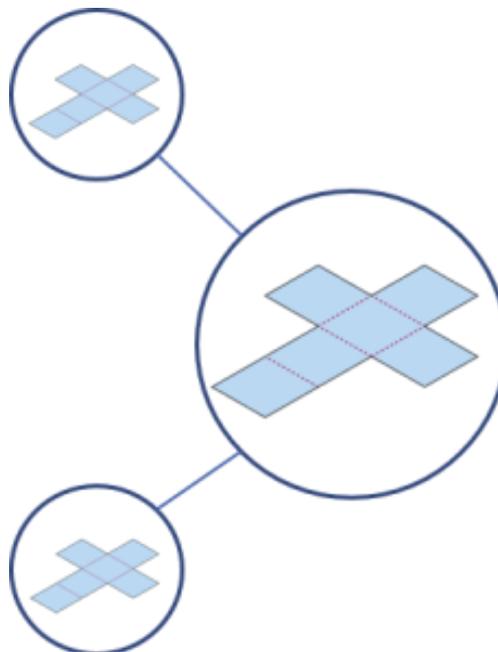


Figura 14. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 0

Fuente: (ProBIM ONG, s.f.)

Nota: La figura de los círculos pequeños representan los planos 2D que se utilizaran para formar la figura del circulo grande o un solo proyecto.

En el Nivel 1 “mejoramos de CAD y podemos generar información en 2D seguido de modelos 3D no unidos o combinados” (BSI, 2013). Existe una colaboración parcial. Los modelos 3D se utilizarán para trabajos conceptuales mientras el 2D será para realizar la documentación necesaria y posteriormente para su aprobación legal.

El intercambio de información se realiza por medios electrónicos a través de un *Common Data Environment* (CDE) o entorno de datos comunes, que es “un archivo compartido online usado para recoger, administrar e intercambiar el modelo, los gráficos y toda la documentación entre miembros del equipo del proyecto” (BSI, 2013).

A pesar de contar con un entorno de datos común los modelos realizados no son compartidos entre los miembros del equipo. Los miembros del equipo realizan de forma individual y separada sus modelos en su propia especialidad para formar un modelo general. A este nivel se le conoce como “BIM solitario” para que los modelos 3D no se comparten entre los miembros del equipo. Los participantes del CDE solo saben quién produce cada información y el rol que tienen dentro del proceso. El nivel 1 es compatible con varios documentos y guías de orientación como por ejemplo el BS 1192:2007 un estándar británico.

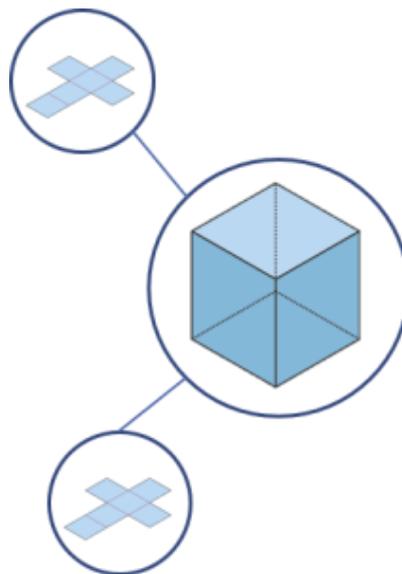


Figura 15. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 1

Fuente: (ProBIM ONG, s.f.)

Nota: La figura de los círculos pequeños representan los modelos 2D que se utilizaran para formar la figura del círculo grande o un modelo 3D.

En el Nivel 2 se define como “la colaboración basada en archivos y la gestión de la biblioteca” (BSI, 2013). Existe una colaboración completa. Aquí el intercambio de información también se da en un CDE y los procesos y flujos de trabajo que se basaban en documentos se reemplazan por modelos 3D. Se le conoce como BIM estructural (sBIM). El trabajo colaborativo se ve reflejado en que cada miembro del equipo es libre de utilizar un software 3D distinto, que contiene toda la información de diseño, y solo utilizan información de otros modelos como referencia. Estos softwares 3D deben contar con la capacidad de exportar la información en tipos de archivos comunes como el *Industry Foundation Classes* (IFC) entre otros, que es muy utilizado para intercambiar datos BIM.

De esta manera el trabajo es coordinado, que a partir de modelos 3D realizado por cada especialidad del proyecto, se podrán llegar a un solo modelo BIM unificado que mantendrán las características e información de diseño. El nivel 2 es compatible con varios documentos y guías de orientación como el PAS 1192-2 y el PAS 1192-3 para el Reino Unido.

Debido al modelo BIM unificado se podrá adicionar información sobre su programación de obra y sus presupuestos a partir de las cuantificaciones de materiales, lo que se conoce como dimensiones del BIM 4D y 5D.

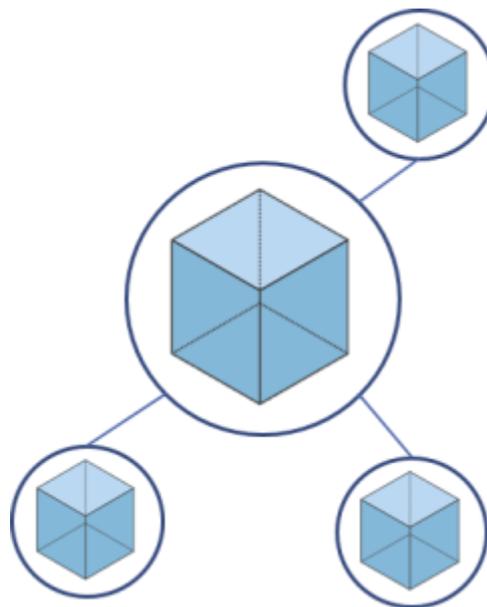


Figura 16. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 2

Fuente: (ProBIM ONG, s.f.)

Nota: La figura de los círculos pequeños representan los modelos 3D que se utilizaran para formar la figura del círculo grande o un solo modelo BIM unificado.

En el nivel 3 se prevé “un modelo de información del proyecto integrado en su toda su totalidad, organizado y desarrollado completamente en un entorno de datos común, por todos los miembros del equipo del proyecto en tiempo real” (BSI, 2013). Aunque su alcance y definición no está de todo definido; por lo tanto, puede estar ligado a nuevos cambios o mejoras.

Existe una colaboración más profunda donde su objetivo es la plena integración o también conocido como BIM integrado (iBIM). Aquí el intercambio de información y los procesos y flujos de trabajo se dan a través de un solo modelo compartido y almacenado en un solo servidor, desde el inicio del proyecto.

Los miembros de equipo podrán modificarlo o agregar datos de acuerdo con su especialidad, de esta manera se eliminaría por completo los conflictos en el intercambio de información.

Por el momento el Nivel 3 representa el tope de la madurez del BIM, en donde el protagonismo se centrará en un único modelo sobre el cual se podrá laborar y la cual será un archivo tipo IFC que servirá para conservar y compartir información en cualquier momento del ciclo de vida del proyecto. Con este archivo almacenado se podrá tener el control sobre la historia del proyecto, desde su fase inicial de diseño, pasando por su construcción hasta finalmente llegar a los costos de su mantenimiento.

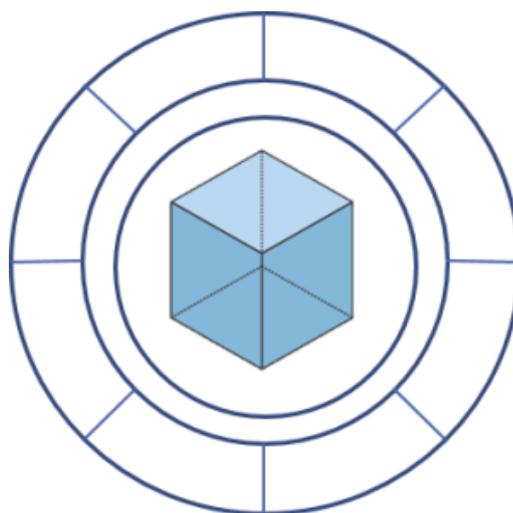


Figura 17. Representación del nivel de madurez BIM - Nivel 3

Fuente: (ProBIM ONG, s.f.)

Nota: La figura del círculo representa un único modelo sobre el cual se podrá trabajar

La estrategia que planteó Reino Unido en el año 2011 fue establecer como requisito principal el nivel 2 de madurez BIM a las constructoras que querían ser financiadas con fondos públicos, para el año 2016. Con el fin de reducir los desperdicios, las discrepancias, errores e ineficiencias generadas en la industria de la construcción.

Para el año 2015, el gobierno de Reino Unido hizo el *Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan* que aproximadamente tendría una duración de 10 años y se dividiría en 5 años de preparación y los otros 5 años de implementación a partir del 2017-2018. El Dr. Vicente Cable MP mencionó que el programa se basará en los estándares establecidos en el BIM de nivel 2 y que fue fundamental para obtener unos ahorros de £ 840M, logrados en el gasto público central del 2013/14.

Dentro de los niveles de madurez BIM encontramos modelos BIM 3D de los cuales se puede extraer tipos de información para la construcción y post-construcción. De acuerdo con el grado de información que se le puede extraer a los modelos BIM se le conoce como las dimensiones del BIM.

No se debe confundir los niveles de madurez y las dimensiones pues los niveles de madurez representan una forma de trabajo colaborativo mientras las dimensiones son datos atribuidos a los modelos BIM 3D.

Inicialmente esto solo se refería a la distinción de el 2D generados por CAD y en el 3D generados por modelos BIM, pero luego se amplió para abarcar temas de gestión en la construcción.

Se podría decir que en el nivel de madurez 1 se encuentra las dimensiones 2D (gráfica bidimensional) y hasta el 3D (gráfica tridimensional). A partir del nivel de madurez 2 o 3 ya se podrá extraer información conocidas como las dimensiones 4D (Tiempo y programación) ,5D,(Control de Costos) 6D (Sostenibilidad) y 7D (Mantenimiento).

En Perú a través de su PLAN BIM PERÚ se plantea llegar a un nivel de madurez tipo 2 dentro de 11 años comenzando en el año 2020 y terminado en el año 2030.

2.2.1.6. Dimensiones del BIM

Como se mencionó en el índice anterior las dimensiones se pueden encontrar en los niveles de madures BIM 2 o 3. Estas se dividen en 7 dimensiones o 7D. Las 1D refleja una primera idea del proyecto que el cliente tiene. El 2D es cuando esa idea es esquematizada en dibujos y detalles 2D. Ninguna de las dimensiones anteriores permite un trabajo colaborativo. El trabajo colaborativo se ve reflejado a partir de un modelo BIM 3D o tercera dimensión, que de acuerdo con los requisitos de cada proyecto y la etapa en la que se encuentra este, se agregarán cierto tipo de información al modelo, los cuales se ven reflejados en las diferentes dimensiones. Cada dimensión tiene un objetivo diferente.

La dimensión 3D es la representación tridimensional. Es el modelado detallado y parametrizado de las especialidades del proyecto de forma integral con el fin de estar listo para usarlo en las siguientes dimensiones. (Eastman, y otros, 1975)

La dimensión 4D es el análisis de duración. Se añade la dimensión de tiempo en los trabajos necesarios para la elaboración del modelo, simulando el proceso constructivo para poder diseñar un plan de ejecución.

La dimensión 5D es el análisis de costos. Se añade la dimensión de costos, con el fin de estimar el costo total del proyecto y mejorar la rentabilidad de este, mediante las optimizaciones de algunos elementos del proyecto o procesos de sectorización.

La dimensión 6D es la evaluación de sostenibilidad. Se añade la dimensión de energía, con el fin de evaluar el comportamiento energético del proyecto para optimizarlo y reducir así el consumo de energía, agua y materiales.

La dimensión 7D hace referencia al mantenimiento del proyecto. Esta dimensión se da después de la ejecución del proyecto permitiendo conocer los elementos de mantenimiento para sus inspecciones y reparaciones durante su vida útil.

2.2.1.7. Plan de ejecución BIM

Anteriormente habíamos hablado de los niveles de madurez del BIM en el cual el nivel 2 es la utilización de solamente modelados BIM 3D. Es aquí donde los miembros del equipo de trabajo deben conseguir implementar BIM satisfactoriamente mediante una adecuada planificación, dejando a un lado los procesos tradicionales que utilizaban CAD .

El plan de ejecución de proyectos BIM (BEP) es definido por la (BSI, 2013) como el “plan elaborado por los proveedores para explicar cómo se llevarán a cabo los aspectos de modelado de información de un proyecto”.

Se han creado algunas guías para poder implementar BIM de forma correcta, una de esas guías es el *Project Execution Planning Guide* que a la fecha se encuentra en la versión 2.2 y está en desarrollo la versión 3.0. Dentro de esta guía podemos encontrar los pasos a seguir para poder implementar un BEP.

Estas guías buscan ayudar a un equipo de trabajo a implementar satisfactoriamente el BIM en los proyectos, independientemente de en qué fase se encuentre, pues abarca todo el ciclo de vida de este.

Los beneficios del BIM son muchos y su buena implementación es indispensable, porque de no lograr hacerlo de manera efectiva, puede contribuir a un mayor costo del proyecto. Esto principalmente a la falta de planificación y comunicación entre los miembros del equipo, que no tienen claro que pautas seguir o como y cuando se debe intercambiar la información con los demás miembros. De esta manera los beneficios de la metodología BIM no se ven reflejados y por el contrario hacen perder el valor agregado al proyecto.

Por lo tanto, es necesario hacer una evaluación de los costos de implementación con el fin de aumentar los beneficios y reducir sus costos. Algunos factores para tener en cuenta en la evaluación son la tecnología, el software y el hardware que se tendrá que adquirir, actualizar o mejorar, además del factor humano que será necesario que esté capacitado de forma constantemente.

El BEP que desarrolla el equipo del proyecto deberá comenzar en las etapas iniciales y deberá estar siempre en constante mejoras, actualizaciones y revisiones a medida que se avance en la etapa de implementación. Los BEP podrán contener los objetivos del proyecto, el flujo de procesos a seguir, descripciones detalladas del proyecto, intercambios de información y la infraestructura propia de una empresa. Los alcances más importantes en el desarrollo de un BEP es que todos los miembros comprenderán cuáles serán los objetivos tanto individuales como colectivos, el diseño de procesos que incluyen softwares comerciales más utilizados en su entorno y la descripción clara de los procesos a seguir en la empresa a los nuevos miembros que se unen al equipo del proyecto.

<Cabe mencionar la importancia de que existan dentro de los miembros del equipo personal con experiencia en esta implementación, con una buena capacitación y comprensión sobre la implementación BIM, para poder minimizar posibles riesgos que se puedan presentar en etapas más avanzadas dentro del equipo y en el proyecto.

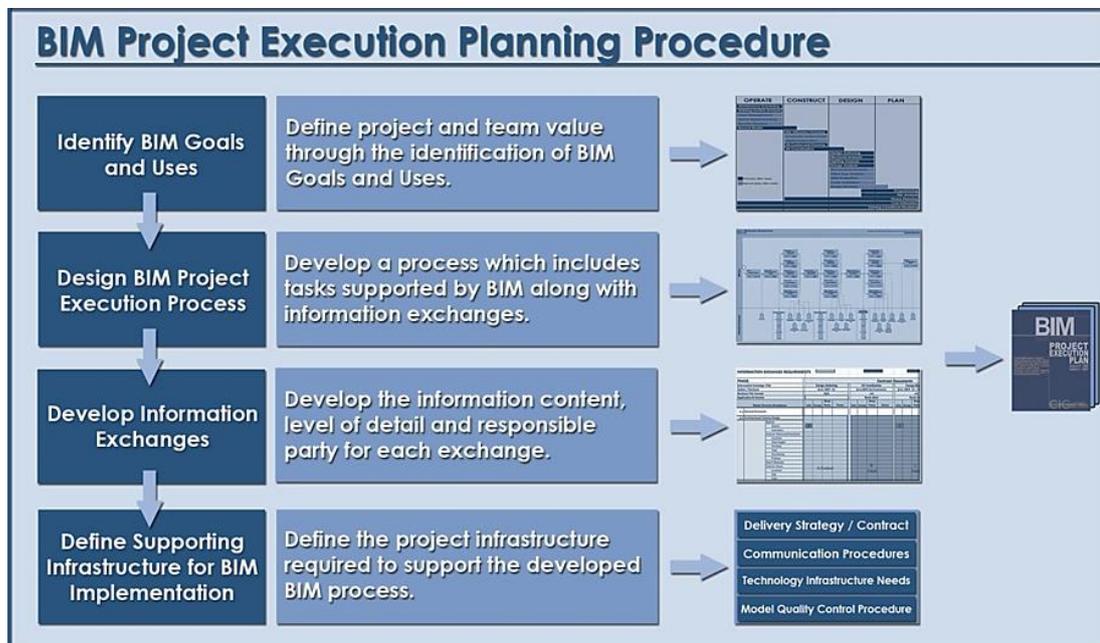


Figura 18. Proceso de planificación de la ejecución de proyectos BIM
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Para el proceso de desarrollo de los BEP la guía *Project Execution Planning Guide versión 2.2* a través de la Figura 18 nos menciona 4 pasos que debemos realizarlos secuencialmente. El primer paso es la identificación de los objetivos y usos adecuados de BIM, el segundo es el diseño de los procesos de ejecución, el tercero es la definición de entregables BIM y por último la identificación de la infraestructura como ayuda final en una correcta implementación.

Identificar objetivos y usos BIM

“El primer paso para desarrollar un BEP es identificar los usos adecuados en función a los objetivos del proyecto y del equipo.” (Messner, y otros, 2019). Para comenzar el equipo deberá plantearse objetivos del proyecto que estén relacionados con la implementación BIM con el fin de poder mejorar en las etapas de planificación, diseño, construcción y las operaciones de las instalaciones. Algunos ejemplos de objetivos generales podrían ser la reducción de costos y el tiempo de ejecución. Otros objetivos más específicos podría ser la coordinación 3D de las instalaciones, uso de software de modelado para un mejor detalle en la documentación o para la extracción de cantidades de materiales más exactas.

Tabla 1. Ejemplos de objetivos de un proyecto BIM

Priority (1-3)	Project Goal	Potential BIM Uses
1= Most Important		
1	Ensure a high quality of design and design documentation	Design Authoring, Design Reviews, 3D Coordination
1	Coordinate the transition of occupants into the building	4D Modeling
2	Increase the productivity of field installation	Design Reviews, 3D Coordination
2	Accurately track the progress of construction	4D Modeling
2	Develop an accurate record of the final building design for use in future renovation projects	Record Model, 3D Coordination
1	Achieve the sustainability targets	Engineering Analysis, LEED Evaluation
3	Effectively monitor the progress of design to ensure target for construction start is achieved	Design Reviews
3	Accurately review the cost impact of changes in a timely manner	Design Authoring, Cost Estimation

Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Como se observa en la Tabla 1 los objetivos están relacionados con los usos BIM, aunque también las características del proyecto y capacidades de los miembros del equipo influyen para la identificación de estas.

Para la definición de los usos BIM (Messner, y otros, 2019) menciona “Hay muchas tareas diferentes que pueden beneficiarse de la incorporación de BIM. Estos beneficios se comentan como Usos BIM”. También menciona hasta 25 usos BIM que están divididos de acuerdo con las fases del proyecto.

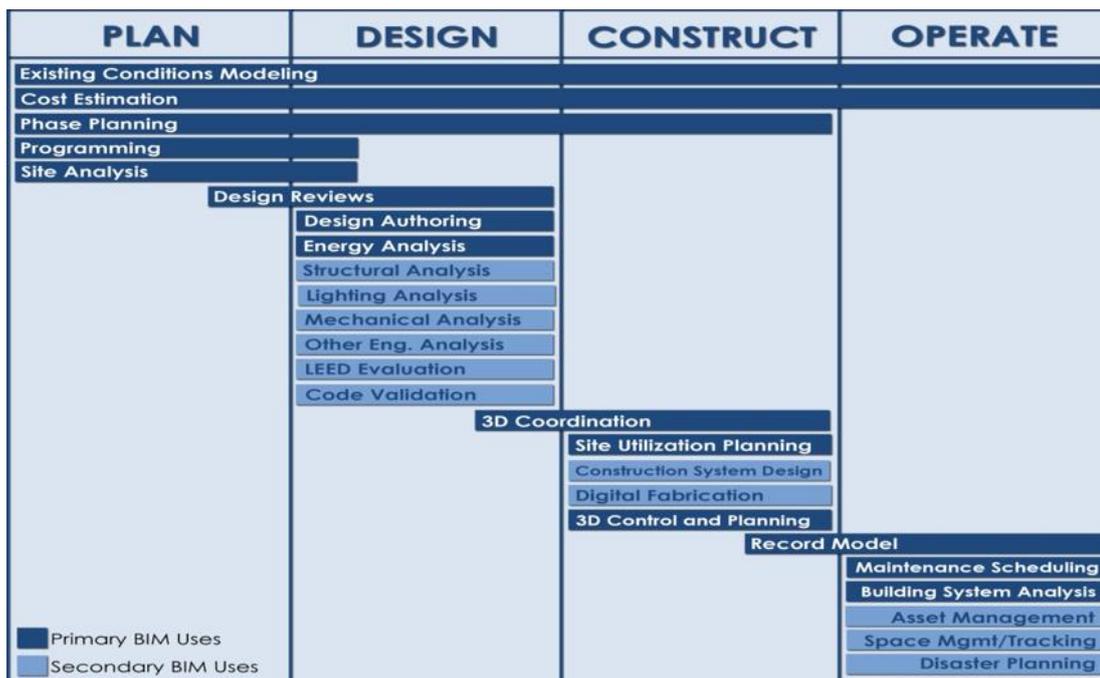


Figura 19. Usos de BIM de un proyecto en orden cronológico
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Es de vital importancia identificar los usos BIM correctos para nuestro proyecto y un método práctico que nos puede ayudar de gran manera es comenzar por los usos finales que podría o queremos que tenga nuestro proyecto, de esta manera se tendrá una comprensión más amplia sobre la información que se requerirá en esas fases últimas y haciendo un retroceso inverso (Operación, Construcción, Diseño y Planificación) poder finalmente identificar los usos BIM correctos en las fases iniciales. Esta técnica se puede ver gráficamente en la Figura 20.

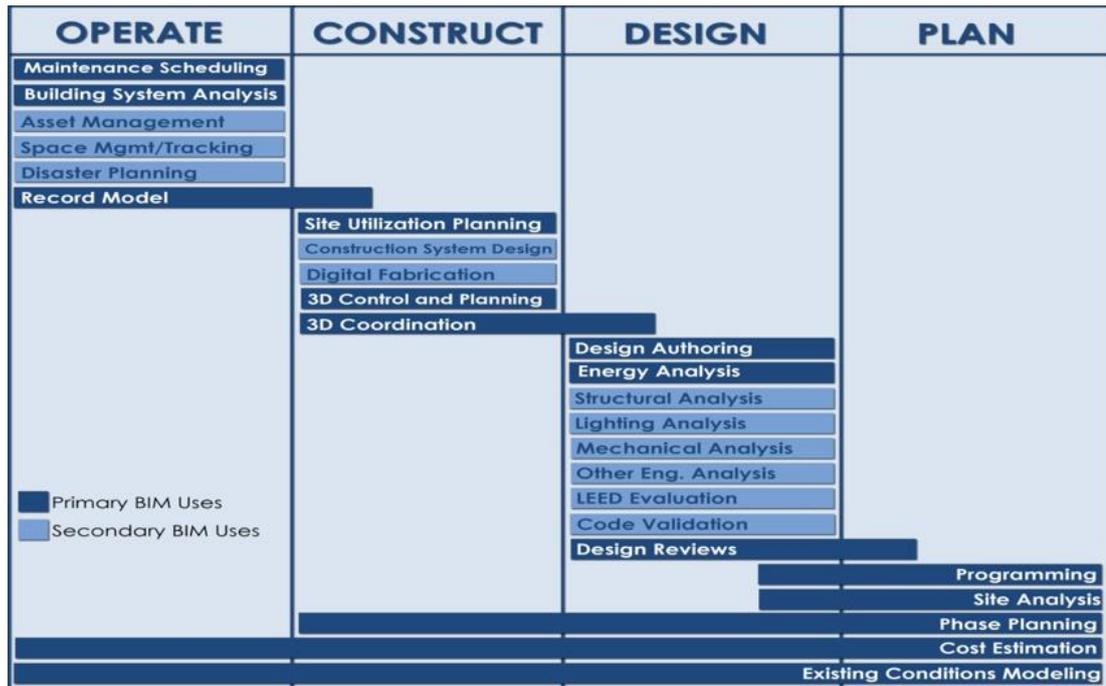


Figura 20. Usos de BIM de un proyecto en orden cronológico inverso
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Después de haber encontrado y definido los objetivos y los potenciales usos BIM debemos hacer una evaluación más profunda para cada uso BIM y determinar si es admisible su aplicación o no. Para facilitar el proceso de revisión de los usos BIM se ha elaborado una hoja de trabajo de selección BIM, que está conformada principalmente por 8 columnas. La primera columna contiene los usos potenciales del BIM, la segunda columna determinará el valor aportado al proyecto de forma general, la tercera contendrá al miembro del equipo responsable en el caso se hiciera efectivo la utilización del uso BIM, la cuarta será la evaluación personal por cada responsable del uso BIM. En la quinta columna se encontrará las capacidades con los que cuenta el equipo en relación con sus recursos, competencias y experiencias. La sexta columna contiene información de recursos adicionales que se necesitaría o competencias para la implementación que los responsables necesitarían. En la penúltima columna algunas notas sobre el valor y riesgo de la implementación y finalmente la decisión que de acuerdo con la información introducida en las columnas anteriores tomar la decisión de implementar el respectivo uso BIM o no.

Tabla 2. Objetivos de proyecto de muestra

BIM Use*	Value to Project	Responsible Party	Value to Resp Party	Capability Rating	Additional Resources / Competencies Required to Implement	Notes	Proceed with Use
	High / Med / Low		High / Med / Low	Scale 1-3 (1= Low)			YES / NO / MAYBE
				Resources Competency Experience			
Record Modeling	HIGH	Contractor	MED	2 2 2	Requires training and software		YES
		Facility Manager	HIGH	1 2 1	Requires training and software		
		Designer	MED	3 3 3			
Cost Estimation	MED	Contractor	HIGH	2 1 1			NO
4D Modeling	HIGH	Contractor	HIGH	3 2 2	Need training on latest software	High value to owner due to phasing complications	YES
					Infrastructure needs	Use for Phasing & Construction	
3D Coordination (Construction)	HIGH	Contractor	HIGH	3 3 3			YES
		Subcontractors	HIGH	1 3 3	conversion to Digital Fab required	Modeling learning curve possible	
		Designer	MED	2 3 3			
Engineering Analysis	HIGH	MEP Engineer	HIGH	2 2 2			MAYBE
		Architect	MED	2 2 2			
Design Reviews	MED	Arch	LOW	1 2 1		Reviews to be from design model	NO
						no additional detail required	
3D Coordination (Design)	HIGH	Architect	HIGH	2 2 2	Coordination software required	Contractor to facilitate Coord.	YES
		MEP Engineer	MED	2 2 1			
		Structural Enginee	HIGH	2 2 1			
Design Authoring	HIGH	Architect	HIGH	3 3 3			YES
		MEP Engineer	MED	3 3 3			
		Structural Enginee	HIGH	3 3 3			
		Civil Engineer	LOW	2 1 1	Large learning curve	Civil not required	
Programming	MED					Planning Phase Complete	NO

* Additional BIM Uses as well as information on each Use can be found at <http://www.engr.psu.edu/ae/cic/bimex/>

Fuente: (Messner, y otros, 2019).

Si la organización ya controla algunos procesos de la implementación, habrá beneficios potenciales al implementar estos usos al flujo de trabajo de otros procesos. Pero también es importante que el equipo de trabajo sea realista con sus objetivos para que estos puedan ser alcanzados con los recursos y presupuesto disponibles y en los plazos de tiempo establecidos.

Cabe mencionar que el uso BIM denominado Design Authoring o creación de diseños es el primer paso de una empresa hacia el BIM y la clave es poder almacenar directa o indirectamente información valiosa sobre el modelo BIM 3D.

El uso BIM *design authoring* o creación de diseño es la secuencia de pasos donde se utiliza herramientas 3D, para poder desarrollar un modelo BIM con criterios importantes, para que el equipo de trabajo pueda interpretar el diseño del edificio. Ah su vez este uso BIM se puede dividir en herramientas para la creación de los diseños y las herramientas de análisis. La primera mencionada servirán para poder crear desde cero los modelos de diseño de las diferentes especialidades y el segundo servirá para poder estudiar o añadir mucha más información al modelo.

La mayoría de las herramientas de análisis se utilizan para otros usos BIM de revisión y análisis de ingeniería. Algunos beneficios sobre este uso BIM son el mejoramiento de la calidad y el control de diseño, el costo y el cronograma de obra. Aumentar la colaboración entre los miembros del equipo del proyecto y las partes interesadas de este y finalmente aumentar significativamente la transparencia del diseño.

Algunos softwares para la creación de diseños que podemos encontrar en el mercado y que son los más conocidos son Revit, Allplan, Edificius, Vectorqorsk, Aecosim y ArchiCAD. Sin embargo, a nivel nacional y hasta la fecha el más conocido es el Software Revit que es uno de los que lleva más tiempo en el mercado. La forma de trabajo de este software es a través del modelado de objetos paramétricos prediseñados que contiene en sus múltiples librerías con los que viene en la instalación.

Lo más resaltante es que su modelado no se limita a una sola especialidad como otros softwares, sino que en un solo software podemos encontrar las funciones necesarias para el modelado de especialidades como arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas y sistemas de ventilación. Además, la empresa Autodesk dueña de este software tiene a su disposición otros softwares que le sirven como complemento para poder aún más enriquecer el modelo con información, estos softwares de la empresa Autodesk son por ejemplo Navisworks, Green Building Studio, Robot Structural, A360 entre otros. Cada uno de este software se puede utilizar dependiendo de la magnitud del proyecto y las necesidades que la empresa así lo requiera, aunque algunos no son muy utilizados o

conocidos a nivel nacional, en otros países que, si los utilizan, se pueden observar sus bondades y beneficios, con la esperanza de que en un futuro cercano podremos llegar a ese nivel de manejo y desarrollo de la información.

Por lo tanto, el equipo de profesional que estará a cargo de este uso BIM deberá contar con la capacidad necesaria para manipular, modificar, configurar entre otras cualidades el software BIM específico con el que se desarrollará el proyecto. También deberán contar con los conocimientos de los métodos de construcción y con experiencia en diseño.

En el desarrollo del uso BIM *Design Authoring* o creación de diseño se pueden obtener otros usos BIM de análisis de ingeniería. Así tenemos el uso BIM *structural analysis* o análisis estructural entre otros. Este uso BIM de análisis estructural utiliza el modelo de creación de diseño BIM con el cual se puede extraer su modelo analítico y finalmente determinar el comportamiento de su configuración estructural. Este análisis, vinculando el modelo BIM, puede conllevar una mayor optimización del diseño estructural para crear una estructura efectiva y construible, además de ser la base en las siguientes fases de diseño como el de las instalaciones sanitarias, para tener en cuenta los elementos estructurales como las vigas peraltadas. Además, este uso BIM mejorara la coordinación en obra al poder detectar incompatibilidades durante el diseño y evitarlas durante la construcción. Gracias a los softwares de simulación se podrá enlazar, para este análisis, con el diseño del sistema de construcción. Durante la utilización de este uso BIM se puede realizar simulaciones de rendimiento mucho más rápido para contribuir a la optimización del diseño estructural, garantizando el lado económico para la construcción y la durabilidad de la estructura en su ciclo de vida.

Por lo tanto, los beneficios que se podrán obtener de este uso BIM en su implementación y utilización son la disminución de tiempo e inversión en la formulación de modelos adicionales a los planteados en una primera instancia, cumplir con la optimización de inversión con diseños óptimos y eficientes, por la realización de varios análisis rigurosos en el menor tiempo posible. Otro beneficio es que el regreso de la inversión por la implementación de este uso BIM es más rápido, además de mejorar la calidad de los análisis.

Para la implementación de este uso BIM el equipo de profesionales a cargo deberá contar con las herramientas de creación de diseño para el análisis estructural, así encontramos por ejemplo en el mercado software como Tricalc, Tekla Structures, Robot Structural, Cypecad y hasta Etabs. A nivel nacional el más conocido y comercializado es el Etabs, aunque este software todavía falta mucho para igualar a los otros softwares BIM de estructuras, se puede utilizar para poder analizar la estructura a partir de un modelo BIM, tal como lo hacen los otros softwares, extrayendo su modelo analítico, a través de un plugin denominado CSIxRevit, el cual con cada actualización va mejorando significativamente su interpretación y conectividad con el modelo BIM y el software Etabs. El equipo de profesionales también deberá trabajar de la mano con las normas y códigos de diseño y contar con el Hardware necesario para poder trabajar con fluidez estos programas. Finalmente, por lo menos todos los miembros del equipo deberán contar con la experiencia básica en la secuencia constructiva para el modelado y análisis.

Otro uso BIM importante es *3D Coordination* o coordinación 3D y que consiste en la utiliza de software BIM de detectar los choques o conflictos, que pueden haberse suscitado durante la creación de diseño, entre las múltiples especialidades del proyecto. De esta manera poder eliminar los principales choques o conflictos durante la construcción o instalación de los componentes del proyecto. Los beneficios principales de este uso BIM es que se pueden visualizar todos los componentes del proyecto y de esta manera plantear las soluciones más apropiadas ante la detección de conflictos de manera coordinada a través de un modelo. Su implementación correcta de este uso BIM reduce favorablemente las solicitudes de información o RFI por sus siglas en inglés, se podrá reducir costos por la disminución de cambios que pueden aparecer en obra, reducir el tiempo de construcción y la generación de planos más exactos. Algunos softwares de revisión de diseño son Revit y Navisworks, que podrán indicarnos los conflictos que presenta el modelo. Aunque cabe resaltar que en el software Navisworks es mucho mejor en esta función. Entregando una mejor visualización y reporte por cada conflicto encontrando. De esta manera se podrá lograr un mejor entendimiento sobre el conflicto y dar una mejor explicación para su posterior solución.

El uso BIM de phase planning o planificación de fases es el proceso donde se utiliza software para convertir el modelo 3D en un modelo 4D, a través de la integración de un orden secuencial de los elementos que componen el modelo respetando los métodos construibles y de acuerdo con los tiempos en los que se planifique estos. Esto tiene ventajas como la planificación efectiva para respetar los tiempos y la duración total del proyecto acordado inicialmente, además de visualizar los requisitos de espacio de los que se dispone en la obra, si así el proyecto lo demande. La visualización del proceso constructivo en un modelo 4D brinda una mejor comunicación y comprensión de los objetivos principales y secundarios planteados del equipo de proyecto e inclusive del personal involucrado sobre los planes de construcción.

Los beneficios pueden abarcar tanto para una mejor comprensión del cronograma de obra mostrando la ruta crítica, como también la resolución de problemas espaciales con entornos poco espaciosos, antes del proceso de construcción, mediante la planificación de los equipos y materiales. El modelo 4D es muy bien visto por los propietarios del proyecto, por lo tanto, puede servir como medio publicitario para generar una mayor confianza y tranquilidad de que se tendrá bien planificado el proyecto. Algunos softwares que pueden realizar esta función son Navisworks y Synchro. El software más conocido es Navisworks, el cual utiliza el modelo BIM 3D para poder crear las secuencias constructivas, cabe mencionar que este uso BIM se debe realizar después del uso BIM de coordinación 3D para evitar dobles trabajos innecesarios.

El equipo de profesionales encargados de este uso BIM deberán contar con la información necesaria dentro del modelo 3D, así como conocimiento sobre programación de obra y proceso constructivo general. Además, con un dominio más notable sobre este uso BIM se podrá integrar estimaciones de costos que estén vinculados también al modelo 4D, de esta manera observa el avance de los costos conforme avanza la obra, ayudando a identificar excesos presupuestarios para luego optimizarlos o darles una mejor solución. Algunos softwares para mediciones y presupuesto son Arquímedes, Presto – Cost It, Gest.MidePlan y el software nacional Delphin Express.

Diseño del proceso de implementación BIM

Después definir cada uso del BIM, el siguiente paso será representarlo en mapas de procesos detallados para poder comprender el proceso general y el proceso detallado de cada uso BIM. Estos procesos nos proporcionaran las fases secuenciales que deberemos seguir, el intercambio de información que se compartirán entre el equipo, información de entrada que se necesitará para poder continuar con la secuencia y la información que se podrá extraer a partir de los pasos secuenciales. Existen dos niveles de mapa de procesos el general o nivel 1 y el mapa de procesos de uso BIM detallado o nivel 2.

Para la creación de mapas de procesos generales se deberá seguir los siguientes pasos.

- 1.- Colocar los usos potenciales de BIM en un mapa general de BIM.
- 2.- Organizar los usos de BIM de acuerdo con la secuencia del proyecto en el mapa general de BIM.

3.- Identificar las partes responsables de cada proceso. La forma gráfica de representar esta información será a través de las cajas de procesos, los cuales tendrán nombre del proceso, fase del proyecto y la parte responsable. Además, se deberá incluir un título de mapa detallado que apuntará al mapa detallado o mapa nivel 2.

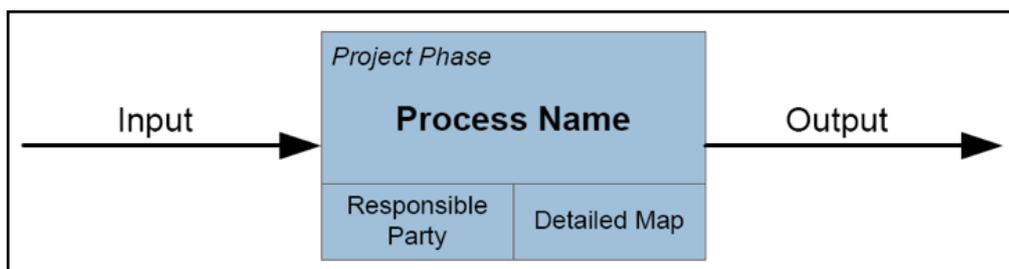


Figura 21. Notación para un proceso en el mapa general
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

4.- Determinar los intercambios de información necesarios para implementar cada uso BIM. Los intercambios que se originan en una caja de proceso son intercambios internos y los que fluyen o se originan hacia la línea de secuencia son intercambios externos.

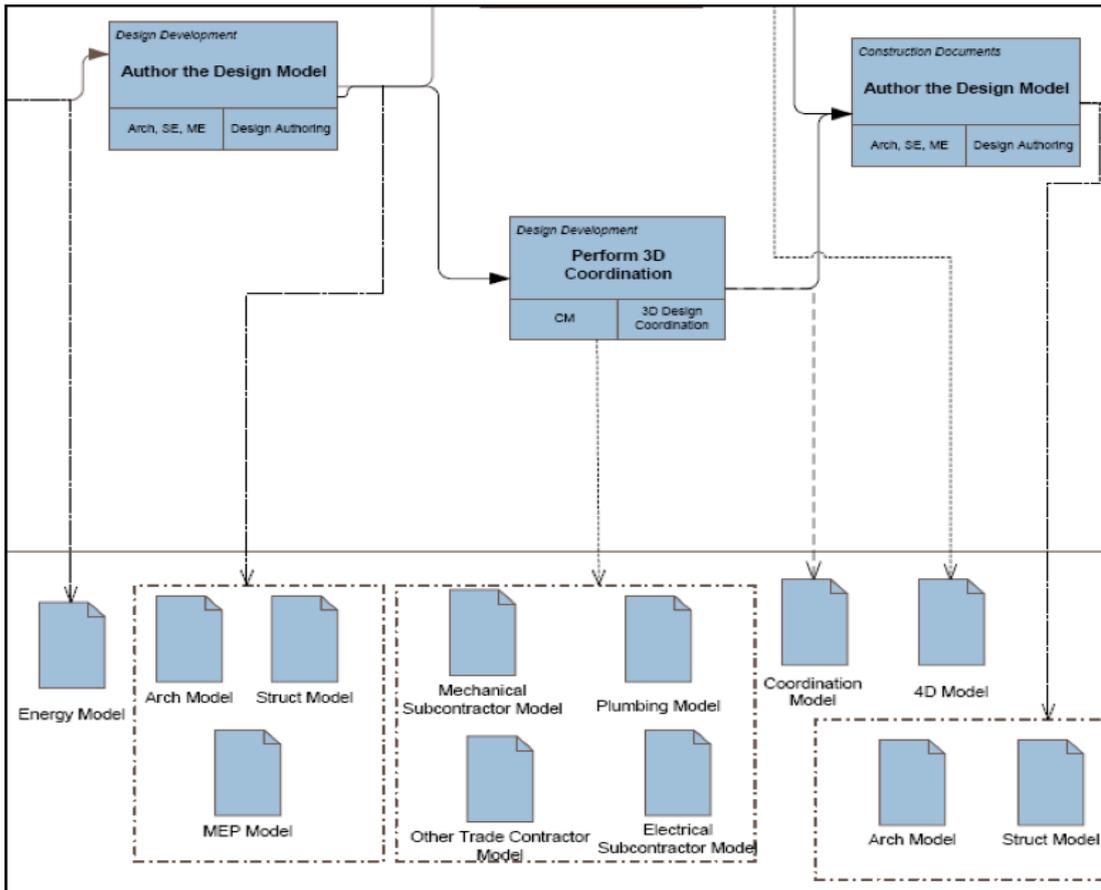


Figura 22. Parte del mapa general para la implementación de BIM
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

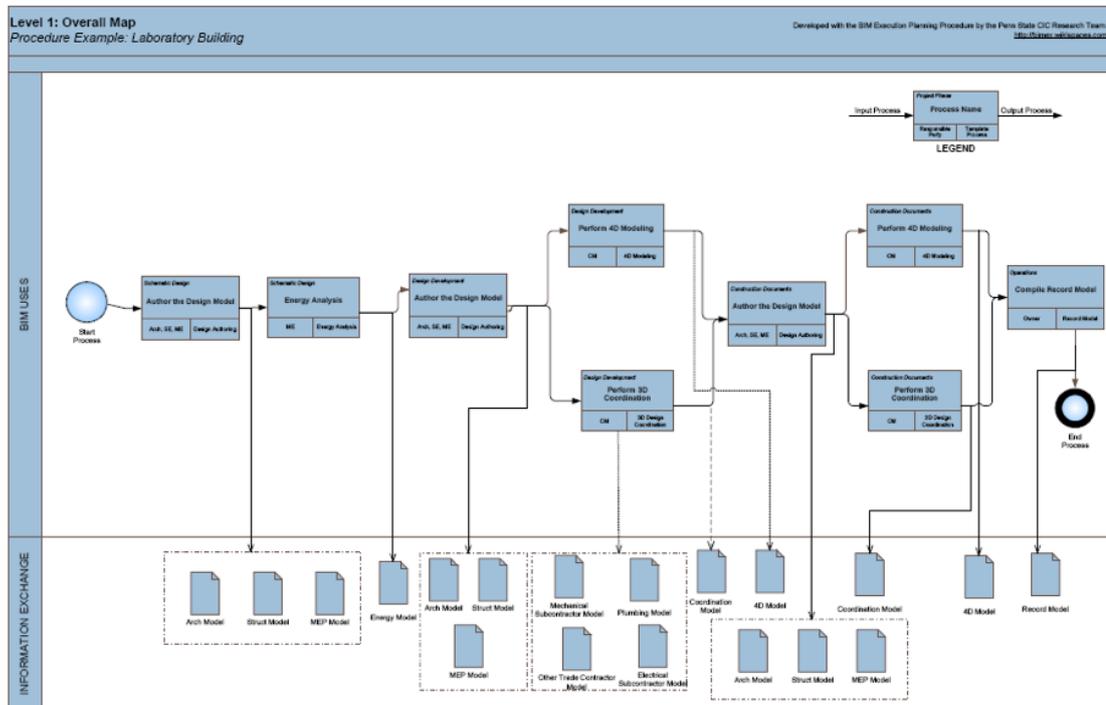


Figura 23. Mapa general para la implementación BIM
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Los mapas de procesos detallados se crearán después de definir el mapa de proceso general, y se realizará para cada uso BIM de forma detallada. De acuerdo con las necesidades particulares estos pueden ser modificados al criterio organizacional. Un mapa de procesos detallados esta caracterizado por mostrar 3 “carriles” bien diferenciados e importantes. El primero es para la colocación de la información de referencia necesarios para ejecutar los procesos, el segundo es para detallar el proceso secuencial del uso BIM y el último será para detallar el intercambio de información que son los entregables BIM y puedan servir para otros mapas de procesos detallados.

1.) Descomponer jerárquicamente el uso de BIM en un conjunto de procesos. Están representados por un símbolo de “caja rectangular” y colocados de manera secuencial.

2) Definir la dependencia entre procesos, definiendo el predecesor y el sucesor para cada proceso. Puede haber varios predecesores y/o sucesores.

3) Desarrolle el Mapa de Procesos Detallado con la información de referencia necesaria para ejecutar los procesos, los intercambios de información internos y externos definidos en el tercer carril.

4) Agregar puertas, servirá para poder verificar los objetivos que se esperan de ciertos procesos. Estas podrán modificar la ruta de proceso en función del cumplimiento de objetivos.

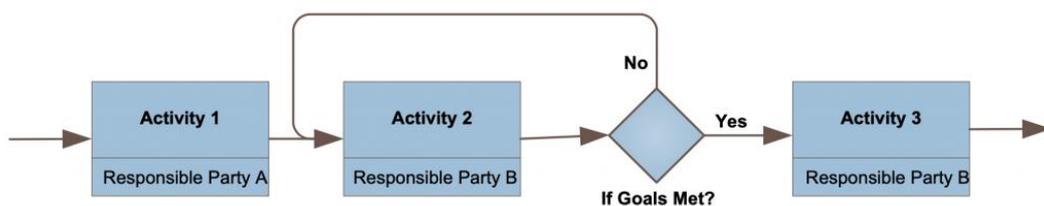


Figura 24. Ejemplo de puerta de enlace de verificación de objetos
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

5) Documentar, revisar y perfeccionar este proceso para su uso posterior en otros proyectos. Estos mapas tendrán que ser revisados y actualizados para cada proyecto y ser comparados con el proceso real.

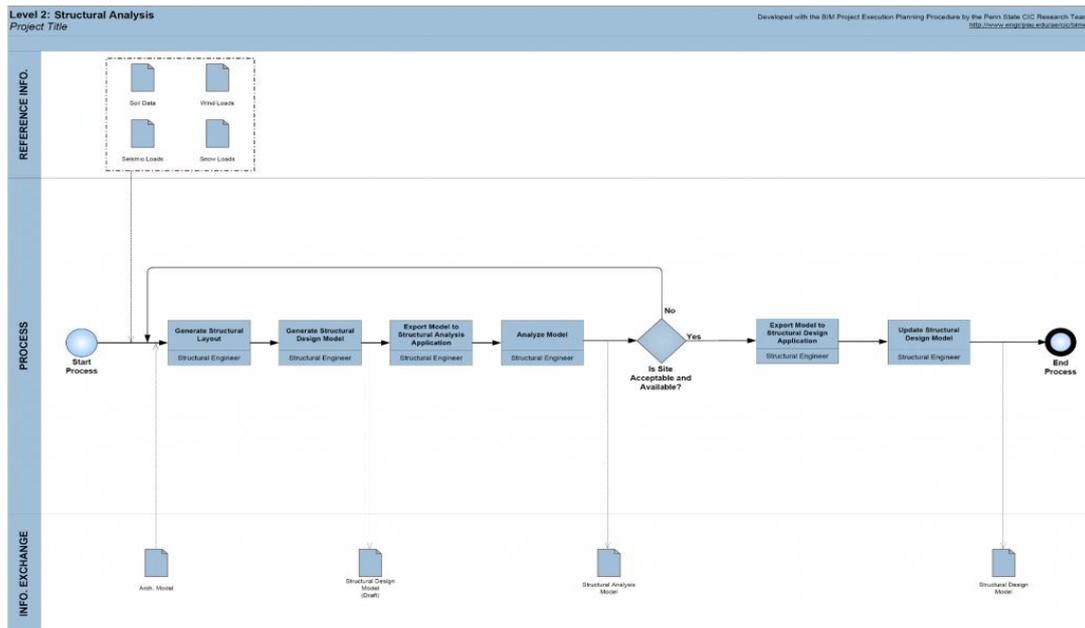


Figura 25. Mapa de proceso detallado o nivel 2 para el uso BIM
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Tabla 3. Notación para mapa de procesos detallados o nivel 2

Element	Description	Notation
Event	An Event is an occurrence in the course of a business process. Three types of Events exist, based on when they affect the flow: Start, Intermediate, and End.	
Process	A Process is represented by a rectangle and is a generic term for work or activity that entity performs.	
Gateway	A Gateway is used to control the divergence and convergence of Sequence Flow. A Gateway can also be seen as equivalent to a decision in conventional flowcharting.	
Sequence Flow	A Sequence Flow is used to show the order (predecessors and successors) that activities will be performed in a Process.	
Association	An Association is used to tie information and processes with Data Objects. An arrowhead on the Association indicates a direction of flow, when appropriate.	
Pool	A Pool acts as a graphical container for partitioning a set of activities from other Pools.	
Lane	A Lane is a sub-partition within a Pool and will extend the entire length of the Pool - either vertically or horizontally. Lanes are used to organize and categorize activities.	
Data Object	A Data Object is a mechanism to show how data is required or produced by activities. They are connected to the activities through Associations.	
Group	A group represents a category of information. This type of grouping does not affect the Sequence Flow of the activities within the group. The category name appears on the diagram as the group label. Groups can be used for documentation or analysis purposes.	

Fuente: (Messner, y otros, 2019).

Desarrollo de intercambios de información

Los intercambios de información visto anteriormente se tendrán que definir adecuadamente por el equipo después de haber comprendido que información es necesarias para luego ser entregada al resto del equipo.

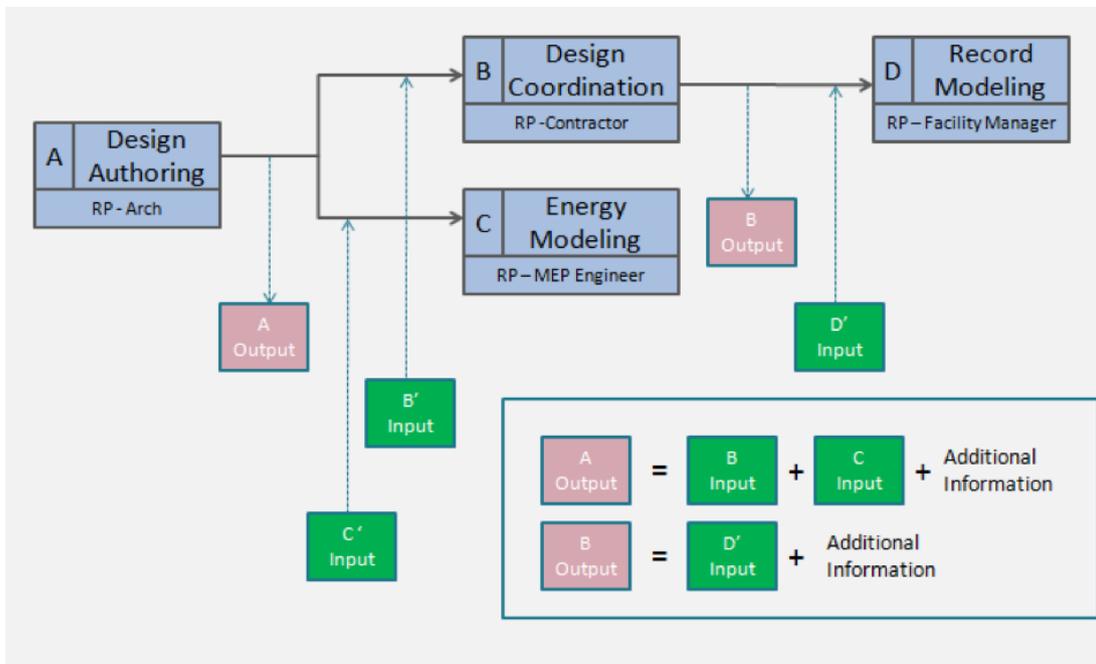


Figura 26. Ejemplo de cómo fluye la información
Fuente: (Messner, y otros, 2019)

En la Figura 26 podemos observar que los primeros usos BIM se ven afectados directamente por lo que produce el siguiente uso BIM. Estos intercambios se detallarán en los mapas de procesos de nivel 2.

Se ha diseñado una hoja de trabajo de intercambio de información (IE) para definir esta información. Pues es importante que el autor y receptor en cada transición de usos BIM comprenda su contenido.

Cabe aclarar que existen varios estándares o guías y que de acuerdo con los requisitos del proyecto se puede escoger alguno de ellos o modificar el presentado en esta sección.

El procedimiento para crear los requisitos de intercambio de información son los mostrados en la guía *Project Execution Planning Guide versión 2.2*. Los cuales consisten en 5 pasos.

1) Identificar cada intercambio de información potencial en el Mapa de Procesos de Nivel 1. El intercambio de información debe mostrarse primero pues debe ser visible para que los miembros del equipo sepan en qué momento se espera que se termine los entregables de BIM.

2) Elija una estructura de desglose de elementos del modelo. Después de definir los intercambios de información se deberá seleccionar una estructura donde se enlistará los elementos del modelo.

3) Identificar los requisitos de información para cada intercambio (salida y entrada). Para una correcta identificación se deberá documentar información como el receptor del modelo, el tipo de archivo después de que el modelo haya sido manipulado por el receptor con softwares específicos durante cada uso BIM y finalmente niveles de detalle de la información necesaria.

Tabla 4. Nivel de detalle de la información.

Information	
A	Accurate Size & Location, include materials and object parameters
B	General Size & Location, include parameter data
C	Schematic Size & Location

Fuente: (Messner, y otros, 2019)

En el caso de añadir más información para el contenido del modelo se refleja en una sección de notas.

4) Asignar las partes responsables de los modelos en el intercambio de información

Tabla 5. Lista de posibles partes responsables

Responsible Party	
ARCH	Architect
CON	Contractor
CE	Civil Engineer
FM	Facility Manager
MEP	MEP Engineer
SE	Structural Engineer
TC	Trade Contractors

Fuente: (Messner, y otros, 2019)

5) Comparar el contenido de entrada con el de salida. Después de definir los requisitos de información es necesario verificar la información de salida o la información creada con la información de entrada o la solicitada.

Tabla 6. Ejemplo de hoja de trabajo de intercambio de información

Information Exchange Title		Design Authoring			3D Coordination		
		OUTPUT			INPUT		
Time of Exchange (SD, DD, CD, Construction)					DD		
Model Receiver		N/A			C, TC		
Receiver File Format							
Application & Version							
Model Element Breakdown		Info	Resp Party	Notes	Info	Resp Party	Notes
B	SHELL						
	Superstructure						
	Floor Construction	B	A		B	A	
	Roof Construction	B	A		B	A	
	Exterior Enclosure						
	Exterior Walls	B	A		A	A	
	Exterior Windows	B	A		B	A	
	Exterior Doors	B	A				
	Roofing						
	Roof Coverings	B	A				
	Roof Openings	B	A		A	A	
C	INTERIORS						
	Interior Construction						
	Partitions	B	A		B	A	
	Interior Doors						
	Fittings	B	A		B	A	

Fuente: (Messner, y otros, 2019)

Definir la infraestructura de apoyo

El último paso para la implementación de la metodología BIM en nuestros proyectos está en definir una infraestructura de apoyo. La guía Project Execution Planning Guide versión 2.2 nos muestra hasta 14 categorías de respaldo para nuestro proceso de implementación. El contenido de cada categoría podrá ser adaptada de acuerdo con las necesidades y objetivos de cada equipo y según el proyecto. Dentro de estas categorías podemos encontrar que nuestro de plan de ejecución BIM deberá contener una descripción general

Tabla 7. Categorías del plan de ejecución de proyectos BIM

BIM Project Execution Plan	
Categories	
BIM Project Execution Plan Overview	
Project Information	
Key Project Contacts	
Project Goals / BIM Uses	
Organizational Roles / Staffing	
BIM Process Design	
BIM Information Exchanges	
BIM and Facility Data Requirements	
Collaboration Procedures	
Quality Control	
Technological Infrastructure Needs	
Model Structure	
Project Deliverables	
Delivery Strategy / Contract	

Fuente: (Messner, y otros, 2019)

En estas categorías podemos encontrar información del proyecto, contactos clave del proyecto, objetivos del proyecto BIM y usos BIM, roles organizacionales y dotación de personal, diseño de procesos BIM, intercambios de información BIM, requisito de datos de instalaciones, procedimiento de colaboración, control de calidad, infraestructura tecnológica necesaria, entre otros.

2.2.1.8. BIM en el Perú

En nuestro país a raíz de los múltiples ejemplos de problemas presentado en la industria de la construcción financiados con fondo públicos y viendo las bondades y avances de la implementación y exigencia de la implantación BIM en otros países más desarrollados. El estado peruano planeo nuevas estrategias para poder adoptar esta nueva metodología con su PLAN BIM PERÚ.

El (Ministerio de Economía y finanzas [MEF], 2020) lo define como la “medida de política que define la estrategia nacional para la implementación progresiva de la adopción y uso de BIM en los procesos de las fases del ciclo de inversión desarrollados por las entidades y empresas públicas.”

Cabe mencionar que este plan de implementación BIM es similar al que Reino Unido comenzó en el año 2011 y tuvo como fecha límite el año 2016 con un total de 6 años para alcanzar un nivel de madurez del BIM tipo 2. En Perú comenzó en el año 2020 y tendrá una fecha límite para en el año 2030, con un total de 11 años en su implementación y obligatoriedad y para alcanzar el mismo nivel de madurez.

Tabla 8. Metas del Plan BIM PERÚ

Hito 1	Hasta julio 2021	Hasta julio 2025	Hasta julio 2030
Proyecto de Decreto Supremo que regula el BIM (Sep. 2019)	Estándares y requerimientos BIM elaborados	BIM aplicado en todo el Gobierno Nacional y en tipologías seleccionadas del Gobiernos regionales.	Biblioteca BIM Perú, como repositorio digital colaborativo para uso de todo el sector público
Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú (Oct 2020).	Proyectos piloto aplicando la metodología BIM.	Marco regulatorio para la aplicación de BIM en el sector público.	Obligatoriedad normada de BIM en todo el sector público.
	Estrategia de formación de capital humano para el uso de BIM.	Biblioteca BIM Perú, como repositorio digital colaborativo para sectores priorizados por el Gobierno nacional	

Fuente: (MEF, 2020)

2.2.2. Proceso de diseño estructural

2.2.2.1. Estructuración

Para realizar una buena estructuración deberemos seguir ciertos criterios importantes, algunos de ellos según (Blanco Blasco, 1994) son los siguientes.

Simplicidad y simetría. Su comportamiento sísmico y efectos torsionales son más predecibles y en el caso de este último es menos destructivo para la estructura.

Resistencia y ductilidad. Se debe proporcionar a los elementos de la estructura una adecuada resistencia y rigidez para el transporte de cargas desde su punto de aplicación hasta el lugar final de resistencia. Para que la estructura sea más dúctil es necesario diseñarla de tal manera que las primeras fallas se produzcan en las vigas en las rotulas plásticas.

Unidad y continuidad de la estructura. Para evitar una concentración de esfuerzos se deberá mantener constante la estructura tanto en elevación como en planta sin cambios bruscos de rigidez.

Rigidez lateral. En las direcciones de análisis se le deberá proveer de una rigidez adecuada a través de elementos de concreto armado. Es ideal a la combinación de muros estructurales en pórticos para una mayor disipación de la energía proveniente del sismo.

Diafragma rígido. En lo posible evitar discontinuidades importantes de la losa rígida que puedan afectar la distribución de las fuerzas sísmicas hacia los elementos verticales de columnas y muros estructurales.

Elementos estructurales. La tabiquería puede influir negativamente en la estructura si no se toma en cuenta que puede producir el efecto de columna corta, cuando no hay una buena separación de los elementos estructurales y no estructurales o cuando la tabiquería es colocada de manera asimétrica.

Subestructura o Cimentación. La subestructura deberá hacer una adecuada transmisión de la cortante basal hacia el suelo, considerando momentos volcantes, licuefacción de suelos, giros y tipos de suelo.

2.2.2.2. Predimensionamiento

Losas Aligeradas en una dirección

Para su predimensionamiento se deberá tener en cuenta la dirección de las viguetas, por lo tanto, se tomará la luz entre apoyos mayores, de los ejes verticales como de los horizontales y luego tomar el mínimo de ellos para finalmente dividirlo entre 25. Con la luz encontrada con el criterio mencionado se podrá hacer uso de tablas.

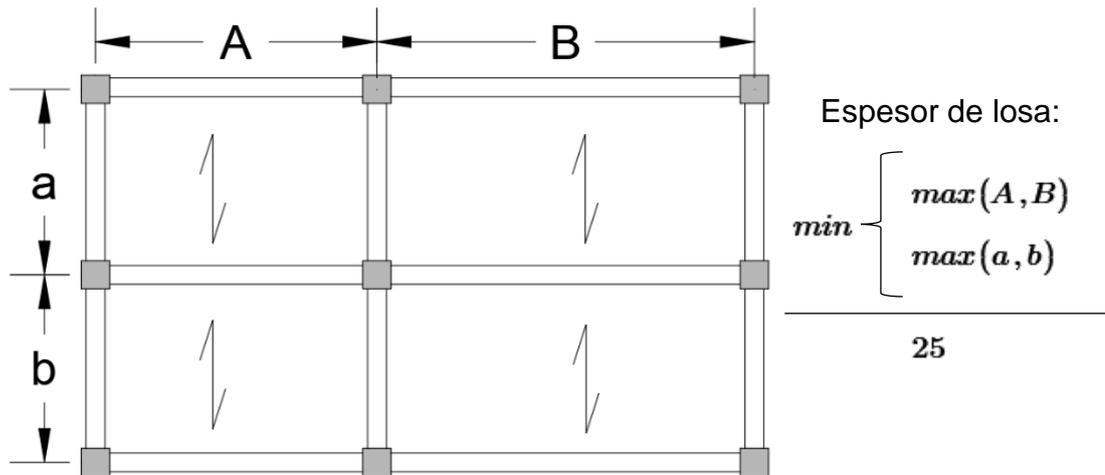


Figura 27. Predimensionamiento losa aligerada en una dirección
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Espesores de losas aligeradas en una dirección

LUZ	Peralte (cm)	Espesor de concreto (cm)	Espesor de Ladrillo (cm)
Menor a 4 m	17	5	12
4 – 5.5 m	20	5	15
5 – 6.5 m	25	5	20
6 – 7.5 m	30	5	25

Fuente: (Blanco Blasco, 1994)

Losa maciza

En una dirección.

(Blanco Blasco, 1994) menciona que “una la losa maciza se considera en una dirección si en uno de sus bordes no tiene apoyo de vigas o muros”. Además, propone espesores 5 cm menores a los espesores de la losa aligerada en una dirección con las mismas luces o también la luz entre 28.

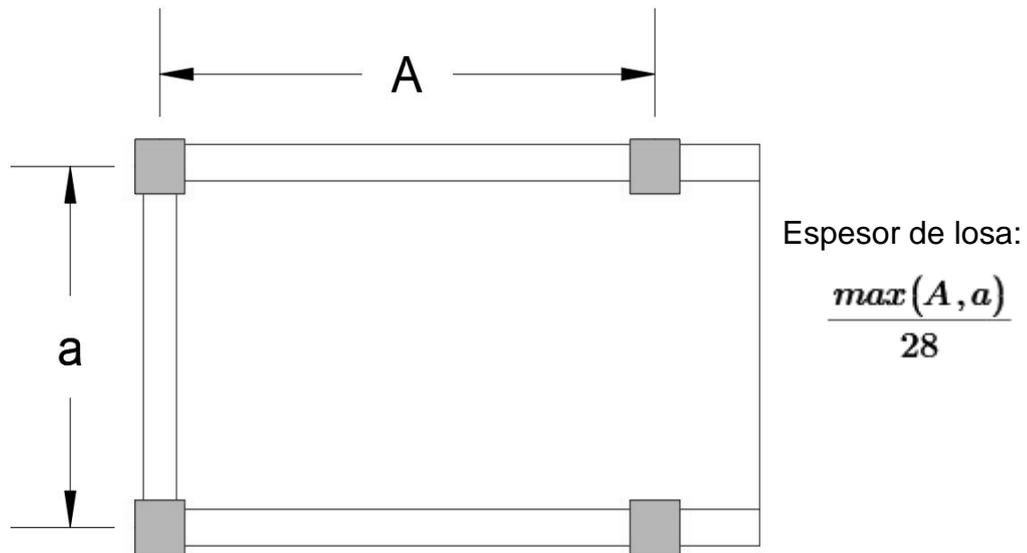


Figura 28. Predimensionamiento de losa maciza en una dirección
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Espesores para losa maciza en una dirección

LUZ	Peralte (cm)
Menor o igual 4 m	12 - 13
Menor o igual 5.5 m	15
Menor o igual 6.5 m	20
Menor o igual a 7.5	25

Fuente: (Blanco Blasco, 1994)

En dos direcciones.

(Blanco Blasco, 1994) menciona que “Una losa maciza se considera en dos direcciones cuando en todos sus bordes tiene apoyo de vigas o muros”. Para el cálculo de sus espesores se puede considerar su luz entre 40 o el perímetro del paño entre.

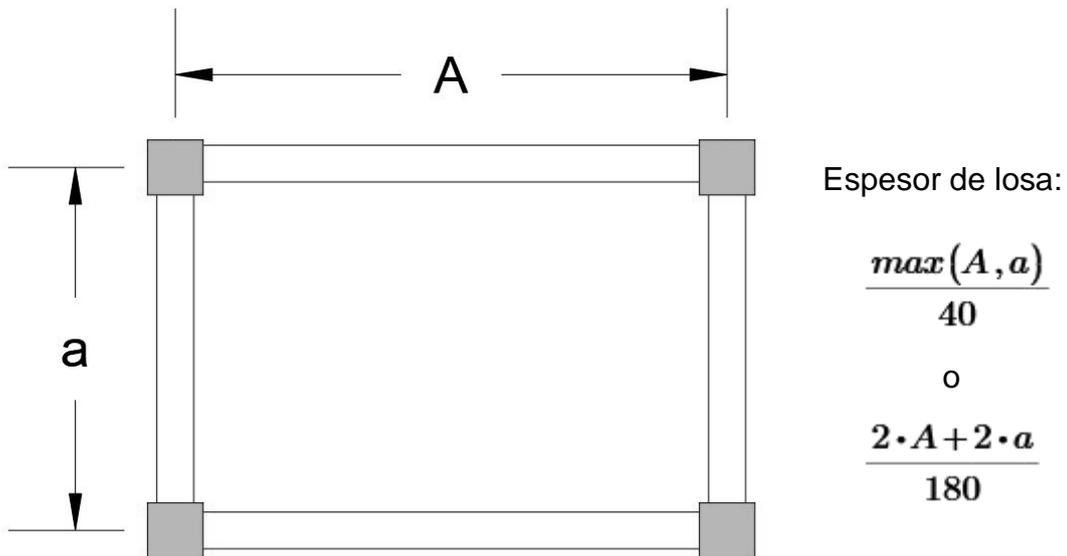


Figura 29. Predimensionamiento de losa maciza en dos direcciones.
Fuente: Elaboración propia

Vigas

Para el peralte se dividirá la luz mayor entre los ejes verticales u horizontales y luego entre 10 o 12. Para coberturas livianas se puede dividir hasta 14. Para el ancho un 30% a 50 % del peralte, pero un mínimo de 25 cm.

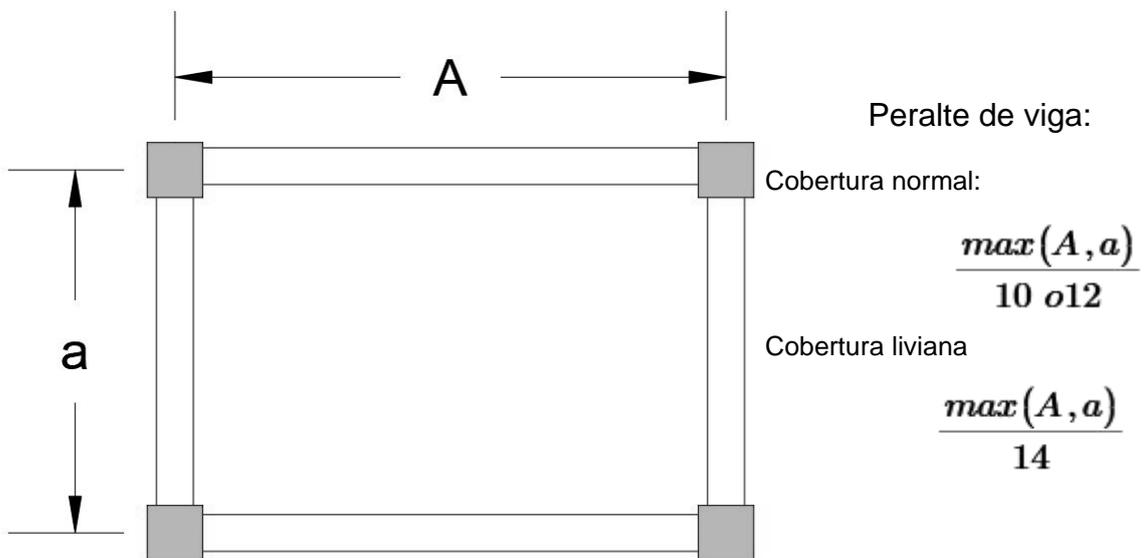


Figura 30. Predimensionamiento de vigas peraltadas
Fuente: Elaboración propia

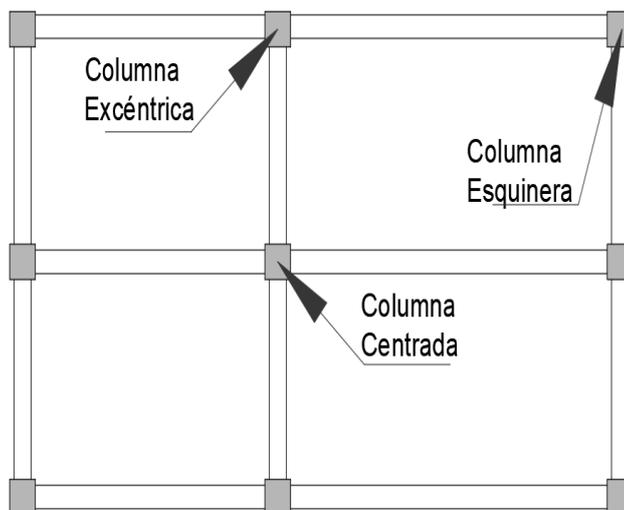
Tabla 11. Dimensiones usuales de vigas

Luz	Secciones
Menor a 5.5 m	25x50, 30x50
Menor a 6.5 m	25x60, 30x60, 40x60
Menor a 7.5 m	25x70, 30x70, 40x70, 50x70
Menor a 8.5 m	30x75, 40x75, 30x80, 40x80
Menor a 9.5 m	30x85, 30x90, 40x85, 40x90

Fuente: (Blanco Blasco, 1994)

Columnas

Se asumirá en primera instancia que las columnas estarán gobernadas por carga axial, con lo cual (Blanco Blasco, 1994) nos proporciona ciertos criterios para calcular el área de la columna.



Área de columna:

Columna centrada:

$$\frac{P_{servicio}}{0.45 \cdot f'c}$$

Columna excéntrica y esquinera:

$$\frac{P_{servicio}}{0.35 \cdot f'c}$$

Figura 31. Predimensionamiento de columnas

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

$$P_{servicio} = P \cdot A \cdot N$$

Donde:

P: Peso estimado de acuerdo con la categoría estructural

A: Área tributaria

N: Número de pisos de la edificación

f'c: Resistencia a la compresión del concreto

Muros estructurales

La principal función de los muros estructurales o placas es absorber la mayor cantidad de fuerza sísmica. La fuerza sísmica se representa por la cortante basal (V_b). Por lo tanto, podemos calcular la longitud del total (L) de muros estructurales que podrá haber por cada dirección de análisis. En base a la fórmula de cortante resistente afectado por el factor de reducción (V_n).

$$\phi V_n \geq V_b$$

Cortante basal (V_b):

$$V_b = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Donde:

- P: Peso estimado de acuerdo con la categoría estructural
- Z: Factor de zona
- U: Factor de uso
- C: Factor de amplificación sísmica
- S: Factor de suelo

Cortante resistente (ϕV_n):

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

Donde:

V_c : cortante resistente del concreto : $0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot t \cdot 0.8 L$

V_s : cortante resistente del acero : $V_s = \frac{A_v \cdot f'_y \cdot d}{s}$

Φ : Factor de reducción para cortante.

Después podremos asumir una igualdad entre el V_b y ϕV_n para poder despejar el valor de L , y así estimar la longitud de muros en el eje x y eje y.

$$L_x = L_y = \frac{V_b}{\phi V_n}$$

Finalmente se trabajará con un espesor de muro mínimo de 20 cm y cumpliendo la siguiente relación.

$$\frac{L_{muro}}{espesor} \geq 4$$

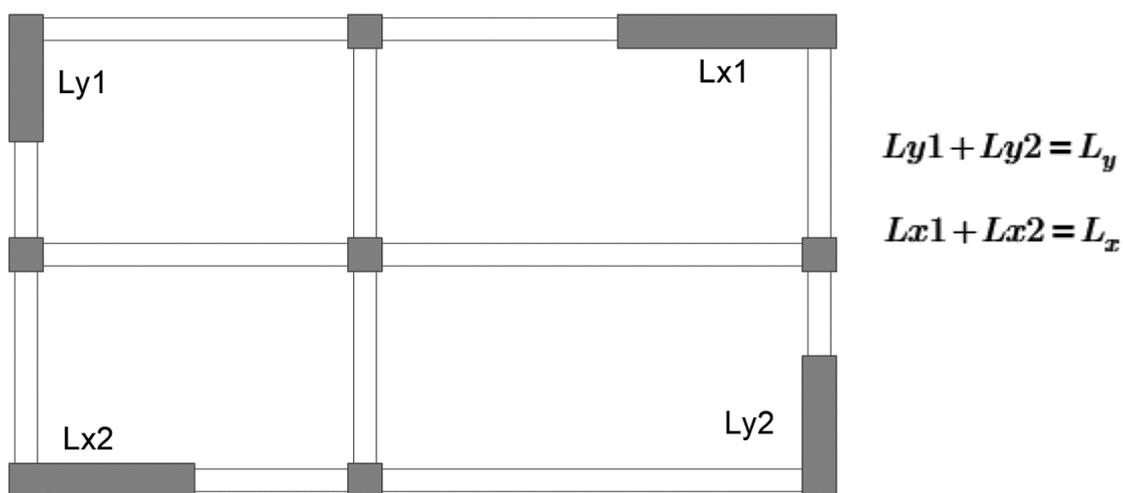


Figura 32. Predimensionamiento de muros estructurales
Fuente: Elaboración propia

Tanque elevado

Se deberá calcular primeramente la dotación total de agua fría y caliente, que estará en función al número de dormitorios por cada departamento de una edificación multifamiliar. Luego extraer el 1/3 de la dotación total y en base a la arquitectura poder establecer un área para el tanque elevado y sus dimensiones finales.

Tabla 12. Dotación de agua fría para edificios multifamiliares

Número de dormitorios departamento	Dotación por departamento, L/d
1	500
2	850
3	1200
4	1350
5	1500

Fuente: (Reglamento nacional de edificaciones [RNE], 2006)

Tabla 13. Dotación de agua caliente para edificios multifamiliares

Número de dormitorios por vivienda	Dotación diaria en litros
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450

Fuente: (RNE, 2006)

Cimentación

Para tener un área aproximada de cimentación se deberá conocer con anterioridad datos de capacidad admisible del suelo y el peso de servicio que estará soportando. Se recomienda que las dimensiones de las zapatas guarden relación directa con los lados de la columna o muro estructural.

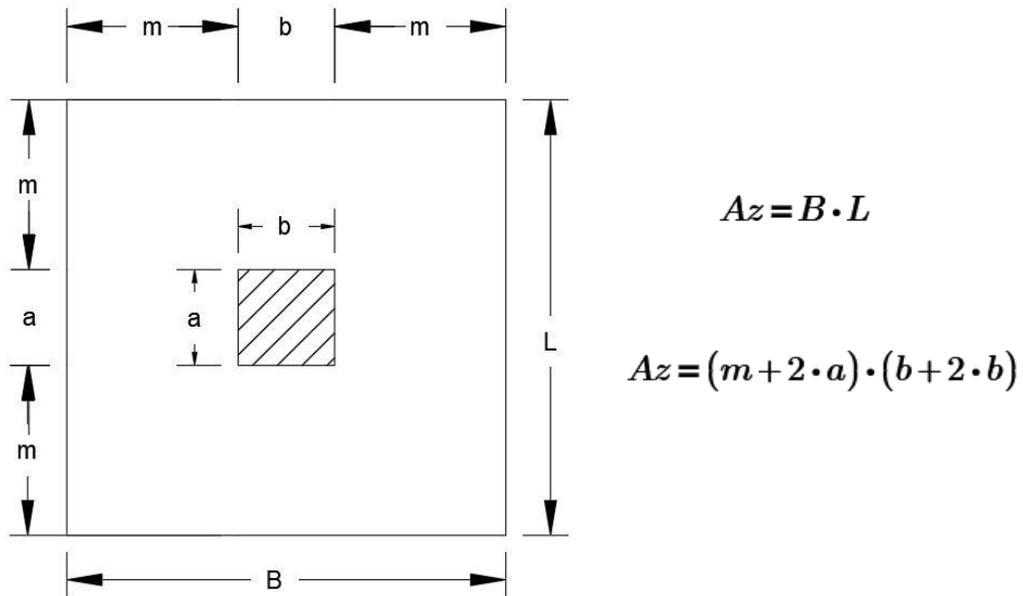


Figura 33. Predimensionamiento de cimentación

Fuente: Elaboración propia

$$Az = \frac{\Sigma P_{servicio}}{\sigma_{nt}}$$

Donde:

- a, b : Lados de columna
- B, L : Lados de zapata
- Az : Área de zapata
- $\Sigma P_{servicio}$: Peso de servicio = Carga muerta + carga viva
- σ_{nt} : Capacidad admisible del suelo

Escalera

La escalera a pre dimensionar será de tipo U.

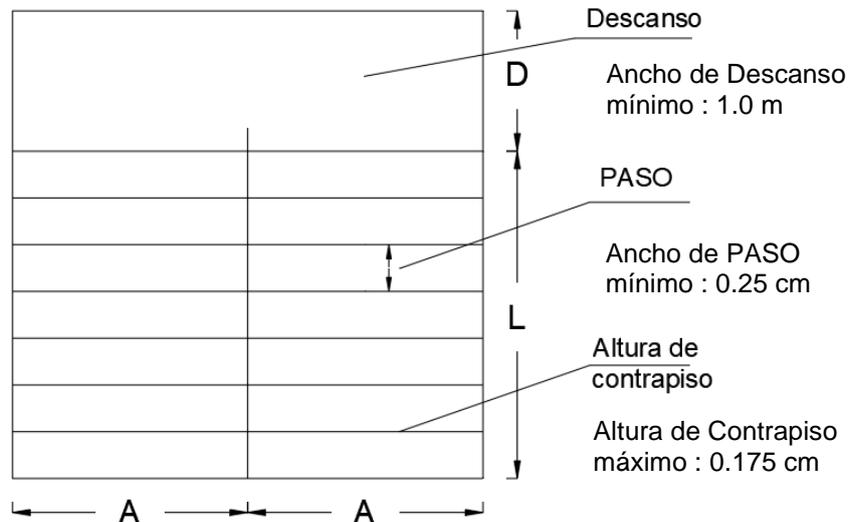


Figura 34. Predimensionamiento de escalera
Fuente: Elaboración propia

$$\text{Número de contrapaso (Nc)} : N_c = \frac{AL + el}{0.17}$$

$$\text{Número de pasos (Np)} : N_p = N_c - 1$$

$$\text{Número de pasos en el tramo L (NpL)} : N_{pL} = \frac{L}{PASO}$$

$$\text{Espesor de garganta (eg)} : eg = \frac{3.5 \cdot (L + D)}{100}$$

$$\text{Espesor de descanso (ed)} : ed = \frac{(L + D)}{25}$$

$$\text{Espesor medio de escalera (em)} : \phi = \text{arccotg} \left(\frac{ed}{PASO} \right) \quad em = \frac{eg}{\cos(\phi)}$$

$$\text{Altura media de escalera (hm)} : hm = em + \frac{hcmax}{2}$$

Donde:

- Al : Altura libre
- el : Espesor de losa
- L : Longitud del tramo de escalera
- D : Longitud de descanso
- A : Ancho de escalera
- hcmax : Altura máxima de contrapiso

2.2.2.3. Análisis estructural

Para realizar los análisis estáticos y dinámicos de acuerdo con la norma E.030 se deberá tener en cuenta los siguientes factores.

Tabla 14. Factor de zona (Z)

Zona	Factor Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: (RNE, 2018)

Tabla 15. Factor de uso (U)

Categoría de las edificaciones	Factor U
A: Edificaciones Esenciales	1.50
B: Edificaciones Importantes	1.30
C: Edificaciones Comunes	1.00
D: Edificaciones Temporales	Resistencia y rigidez a criterio del proyectista

Fuente: (RNE, 2018)

Tabla 16. Factor de amplificación sísmica (C)

Periodo	Factor C
$T < T_P$	$C = 2,5$
$T_P < T < T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$
$T > T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$

Fuente: (RNE, 2018)

Tabla 17. Factor de suelo (S)

Zona	Factor S			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: (RNE, 2018)

Tabla 18. Sistemas estructurales

Sistemas Estructurales	
Concreto armado:	Coefficiente Básico de Reducción R_0
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Fuente: (RNE, 2018)

Tabla 19. Irregularidades en altura I_a

Irregularidades Estructurales en Altura	Factor de irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75
Irregularidad de Resistencia – Piso Débil	0.75
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50
Irregularidad Extrema de Resistencia	0.50
Irregularidad de Masa o Peso	0.90
Irregularidad Geométrica Vertical	0.90
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	0.80
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	0.60

Fuente: (RNE, 2018)

Tabla 20. Irregularidades en Planta I_p

Irregularidades Estructurales en Planta	Factor de irregularidad I_p
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.60
Esquinas Entrantes	0.90
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no paralelos	0.90

Fuente: (RNE, 2018)

Con las tablas Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 se podrá calcular el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas o factor R, previa evaluación de la estructura.

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

Análisis Estático

Se deberá encontrar la cortante basal (V) y adicionalmente para encontrar el factor C, se deberá encontrar los periodos de T_p y T_L a partir de la Tabla 21.

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot P \quad \frac{C}{R} > 0.11$$

Tabla 21. Periodos T_p y T_L

	Periodos T_p y T_L			
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T_p (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (s)	3	2.5	2.0	1.6

Fuente: (RNE, 2018)

Posteriormente se realizará una distribución de fuerzas sísmicas en altura, en cualquier nivel (i) considerando el número de pisos totales (n) y la altura de cada uno de ellos (h). Esta medida también estará en función de la carga permanente (CP) y a la que se le adicionará un % de la carga viva (CV).

Tabla 22. Estimación de peso (P)

Categoría de edificación	Peso estimado (P)
A y B	CP + 50%*CV
C	CP + 25%CV
Azoteas y techos	CP + 25%CV

Fuente: (RNE, 2018)

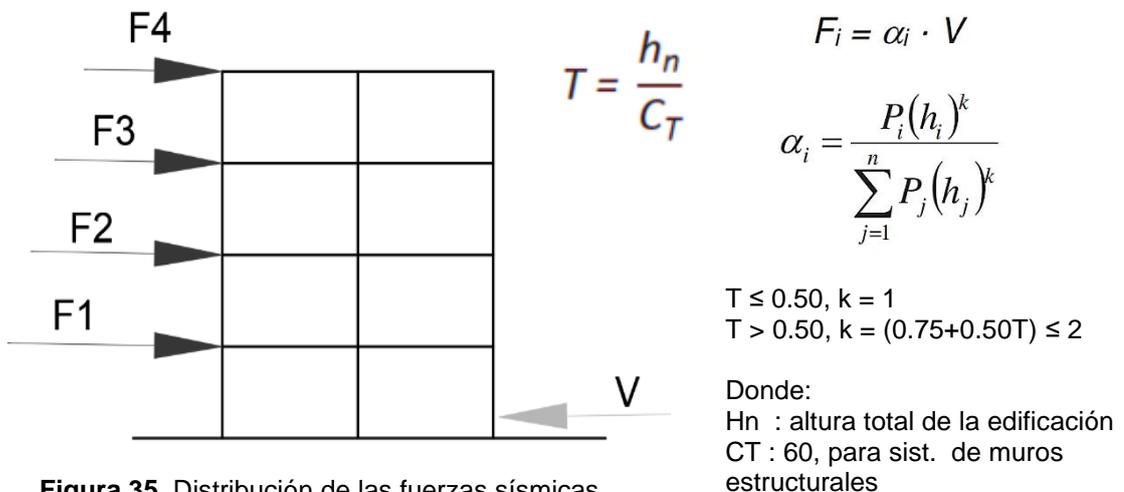


Figura 35. Distribución de las fuerzas sísmicas
Fuente: Elaboración propia

Análisis Dinámico

Después del procedimiento de análisis se considerará por lo menos los tres primeros modos de vibración de la estructura. Para cada dirección de análisis horizontal se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, donde g representa a la gravedad. Además de considerar nuevos valores de C cuando los periodos sean menores a $0.2T_p$.

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

$$T < 0,2 T_p \quad C = 1 + 7,5 \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

La fuerza cortante dinámica deberá ser como mínimo, 80% de la fuerza cortante estática cuando la estructura no tenga irregularidades y 90% cuando si las hayas. En el caso de que la fuerza cortante dinámica sea menor se deberá escalar proporcionalmente todos los resultados, excepto los desplazamientos.

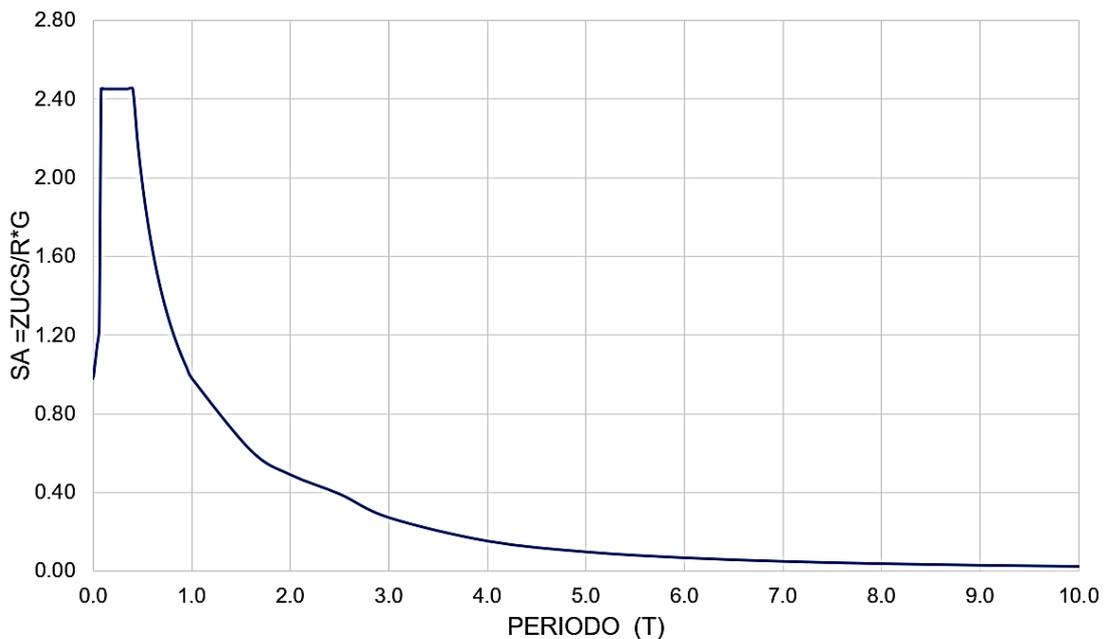


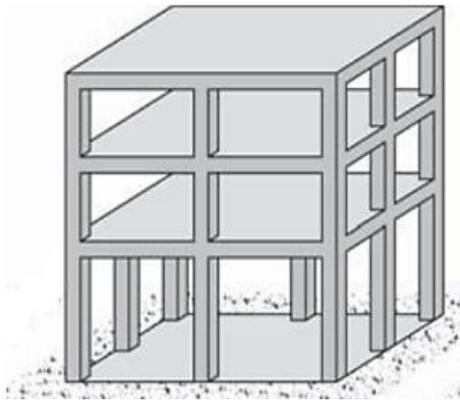
Figura 36. Espectro inelástico de pseudo – aceleraciones
Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.4. Irregularidades en altura

Para realizar las irregularidades en altura de acuerdo con la norma E.030 se deberá tener en cuenta los siguientes.

Irregularidad de rigidez – piso blando

Se presenta cuando la rigidez (K) de un piso (i) es menor al 70% del piso inmediatamente superior ($K_{(i+1)}$) o menor al 80% del promedio de los 3 pisos inmediatamente superiores.



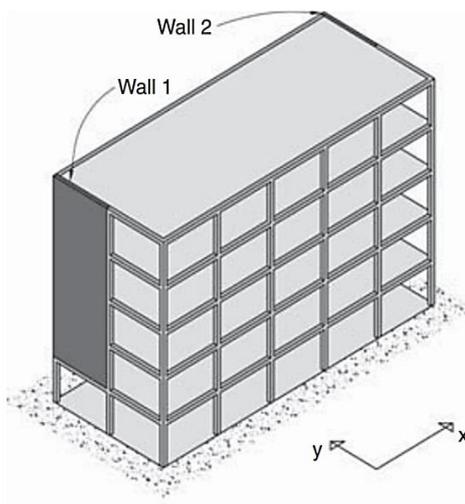
$$K_i < 0.70 * K_{(i+1)}$$

$$K_i < 0.8 * \frac{K_{(i+1)} + K_{(i+2)} + K_{(i+3)}}{3}$$

Figura 37. Estructura con columnas mas largas en el primer piso
Fuente: (Charleson, 2008)

Irregularidad de resistencia – piso débil

Se presenta cuando la resistencia de un piso es menor al 80% del piso inmediatamente superior.



$$Resistencia_i < 0.80 * Resistencia_{(i+1)}$$

Figura 38. Estructura con muros estructurales discontinuos
Fuente: (Charleson, 2008)

Irregularidad extrema de rigidez

Se presenta cuando la rigidez (K) de un piso es menor al 60% del piso inmediatamente superior ($K_{(i+1)}$) o menor al 70% del promedio de los 3 pisos inmediatamente superiores.

$$K_i < 0.60 * K_{(i+1)}$$

$$K_i < 0.7 * \frac{K_{(i+1)} + K_{(i+2)} + K_{(i+3)}}{3}$$

Irregularidad extrema de resistencia

Se presenta cuando la resistencia de un piso es menor al 65% del piso inmediatamente superior.

$$Resistencia_i < 0.65 * Resistencia_{(i+1)}$$

Irregularidad de masa o peso

Se presenta cuando el peso de cualquier piso de la estructura (Excepto azoteas o sótanos) es mayor a 1.5 veces el peso de cualquier piso adyacente.

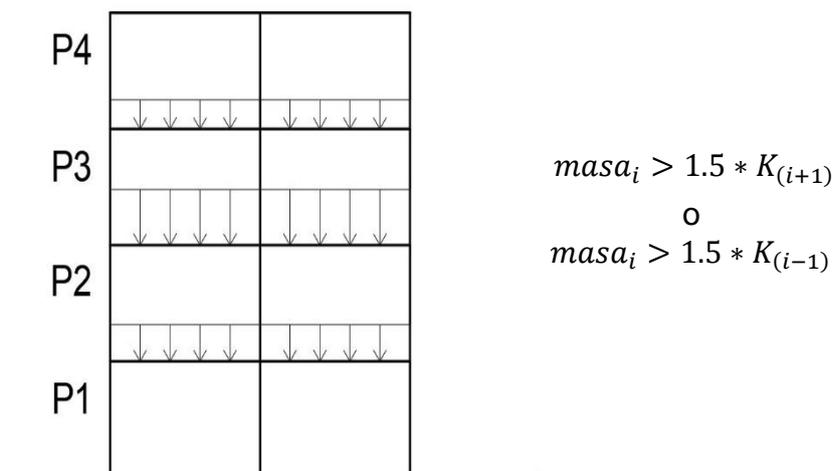


Figura 39. Estructura con peso desigual en sus pisos

Fuente: Elaboración propia

Irregularidad de geometría vertical

Se presenta cuando la longitud horizontal de cualquier piso (excepto azoteas y sótanos) es 1.3 veces la longitud de un piso colindante en cualquier dirección de análisis.

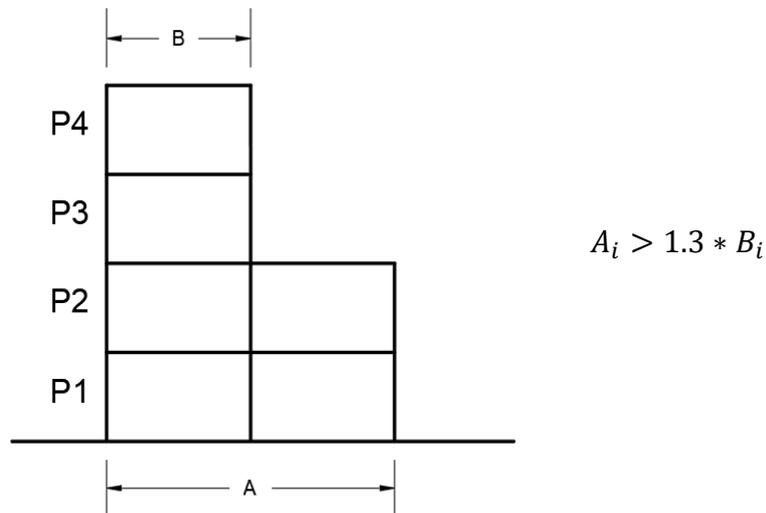


Figura 40. Estructura con diferentes longitudes horizontales en sus pisos
Fuente: Elaboración propia

Discontinuidad en los sistemas resistentes

Se presenta cuando elementos verticales sismorresistentes en cualquier nivel presentan un cambio de orientación o un desplazamiento de su eje mayor al 25% de la dimensión del elemento.

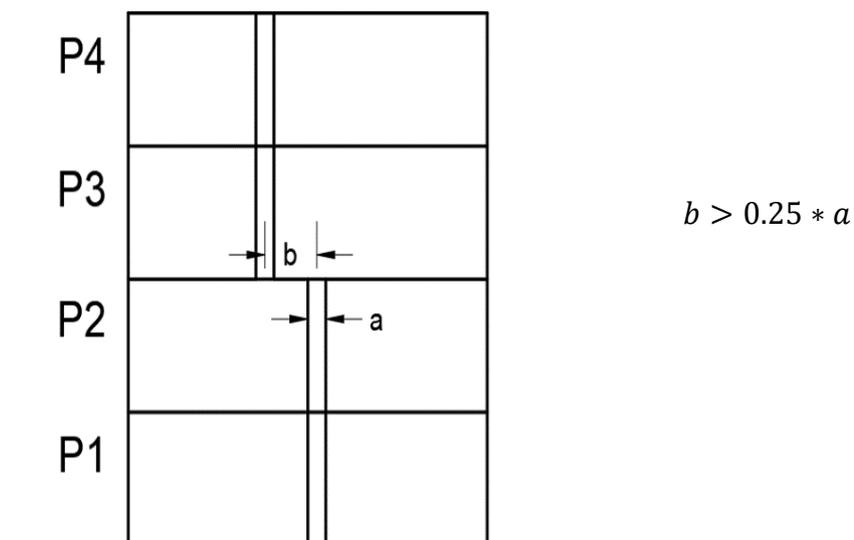


Figura 41. Estructura con desplazamiento de eje vertical
Fuente: Elaboración propia

Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes

Se presenta cuando el elemento discontinuo mencionado en la descripción anterior tiene que resistir más del 25% de la cortante total.

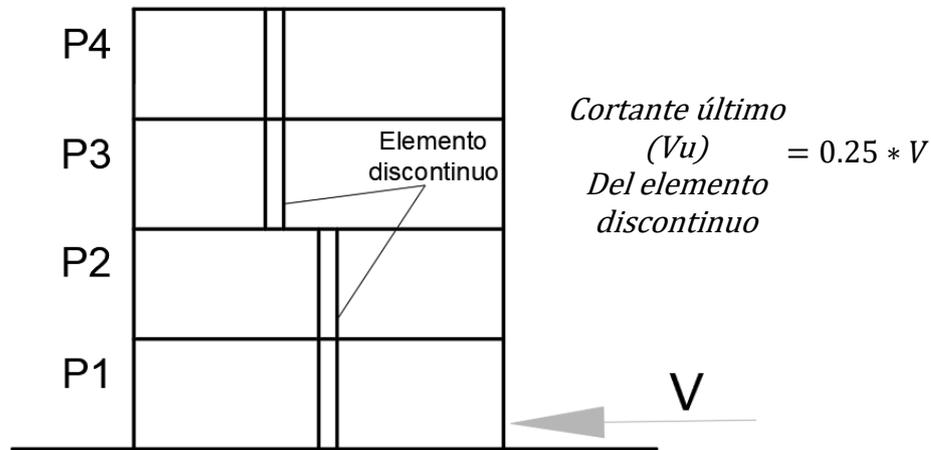


Figura 42. Estructura con elemento discontinuo.
Fuente: Elaboración propia

2.2.2.5. Irregularidades en planta

Para realizar las irregularidades en planta de acuerdo con la norma E.030 se deberá tener en cuenta los siguientes.

Irregularidad torsional

Se presenta cuando en los extremos de cualquier piso el máximo desplazamiento relativo es mayor a 1.3 veces el promedio de todos los desplazamientos relativos de para ese piso en los extremos.

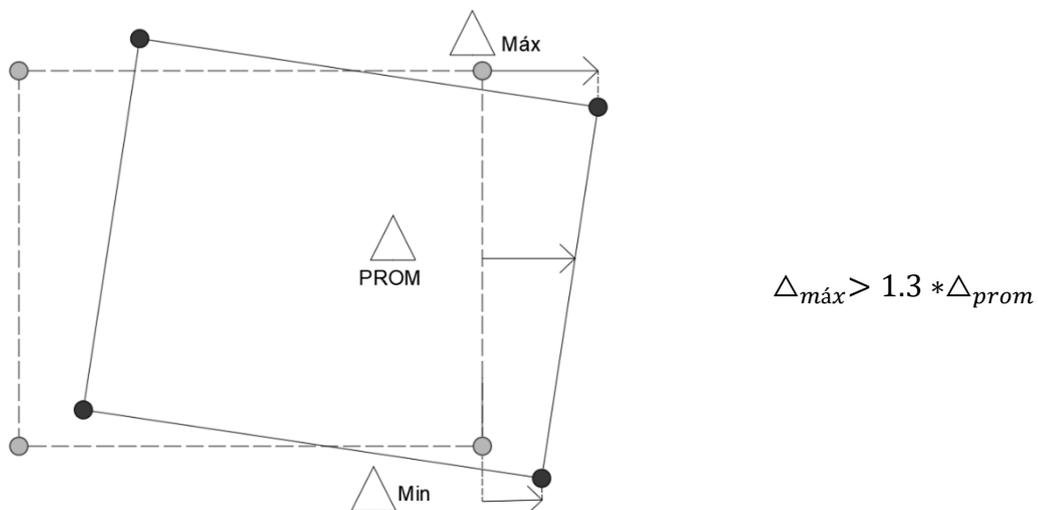


Figura 43. Estructura sufriendo efectos de torsión
Fuente: Elaboración propia

Irregularidad torsional extrema

Se presenta cuando en los extremos de cualquier piso el máximo desplazamiento relativo es mayor a 1.5 veces el promedio de todos los desplazamientos relativos de para ese piso en los extremos.

$$\Delta_{m\acute{a}x} > 1.5 * \Delta_{prom}$$

Esquinas entrantes

Se presenta cuando la longitud de la esquina entrante en cualquier direcci3n es mayor al 20% de la longitud total en esa direcci3n de la estructura.

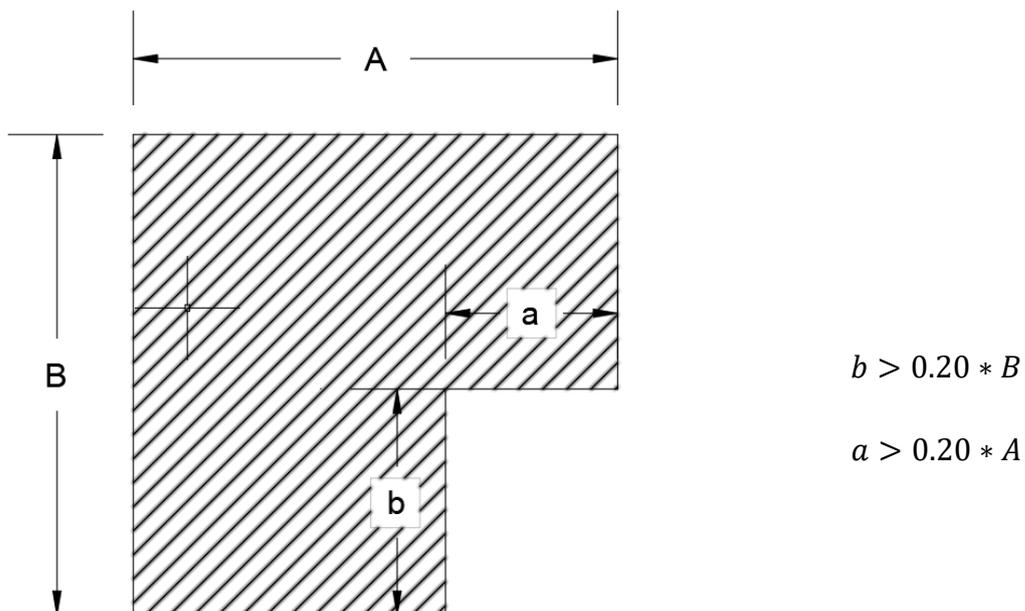
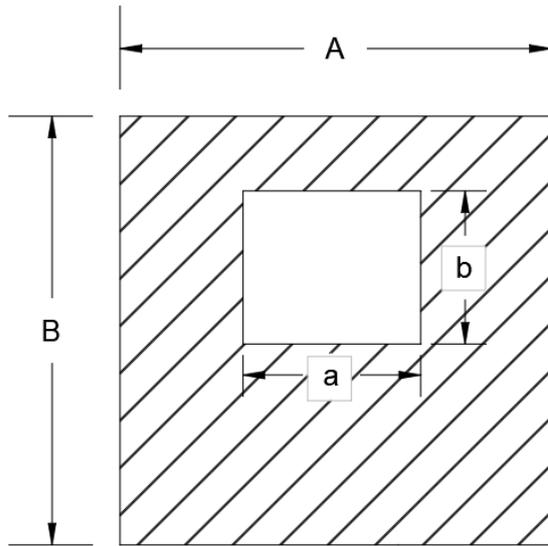


Figura 44. Estructura con esquinas entrantes
Fuente: Elaboraci3n propia

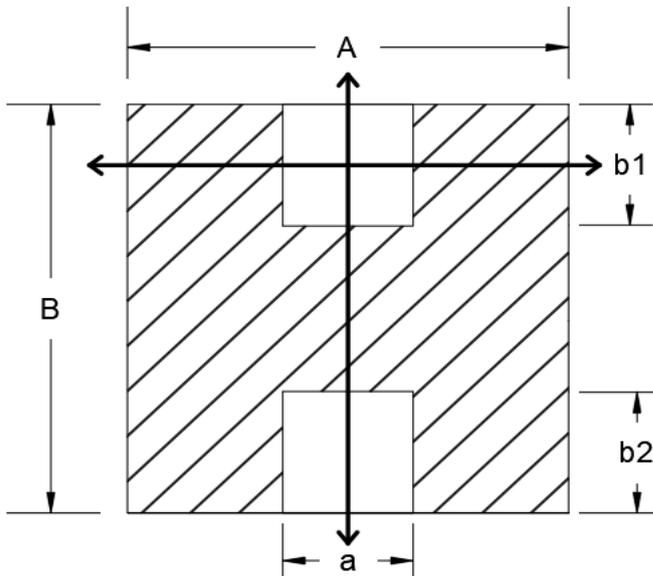
Discontinuidad del Diafragma

Se presentan cuando la estructura contiene aberturas que representan más del 50% del área total de piso. También se presentan cuando en cualquier dirección de análisis el porcentaje de sección que no aporta rigidez es mayor a un 25% de la sección total.



$$a * b > 0.50 * A * B$$

Figura 45. Estructura con un área de vacío
Fuente: Elaboración propia



$$a > 0.25 * A$$

$$b_1 + b_2 > 0.25 * B$$

Figura 46. Estructura con dos áreas de vacío
Fuente: Elaboración propia

Sistemas no paralelos

Se presenta cuando un elemento resistente a las fuerzas horizontales tiene una inclinación respecto a su eje mayor a 30° y soporta más del 10% del cortante en ese piso (V_{piso}).

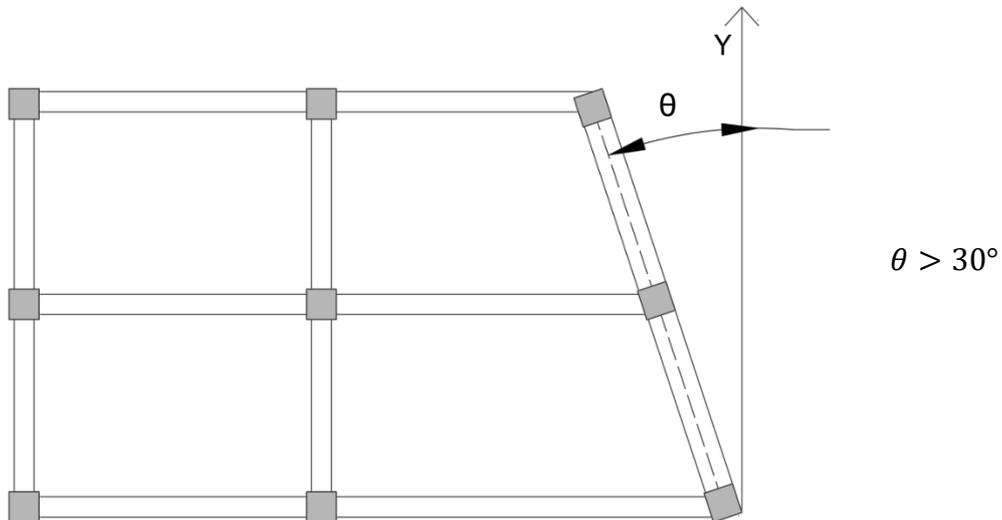


Figura 47. Estructura con eje inclinado

Fuente: Elaboración propia

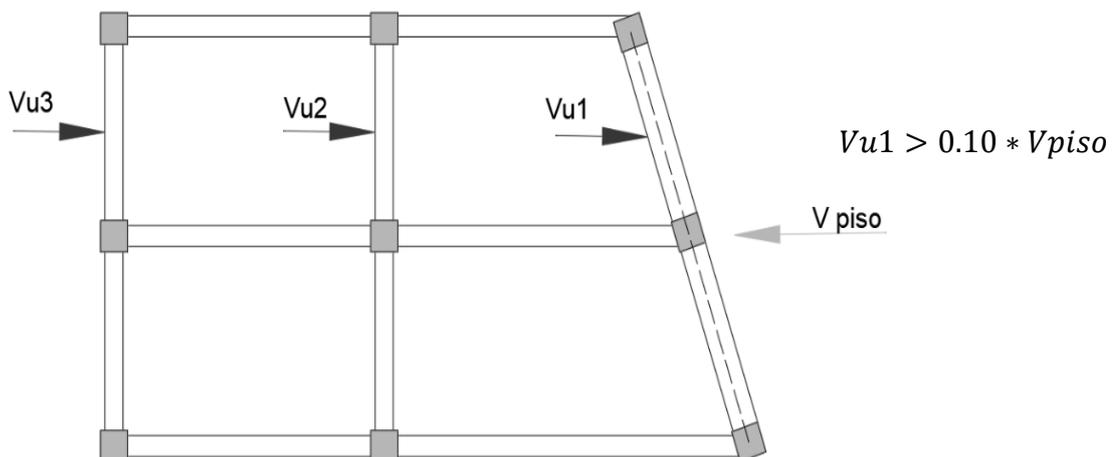


Figura 48. Estructura con eje inclinado resistente a fuerzas cortantes

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.6. Desplazamientos

Se deberá encontrar los máximos desplazamientos absolutos e inmediatamente calcular los desplazamientos relativos por cada entrepiso.

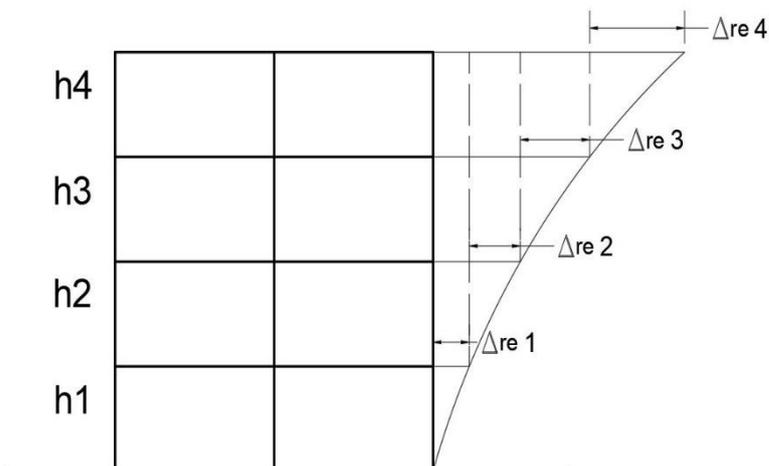


Figura 49. Desplazamientos máximos relativos
Fuente: Elaboración propia

Los máximos desplazamientos relativos encontrados serán multiplicados por el 75% u 85% del valor R dependiendo si la estructura es regular o irregular respectivamente

Estructuras regulares : $0.75 \cdot R \cdot \Delta_{re}$

Estructuras irregulares : $0.85 \cdot R \cdot \Delta_{re}$

Finalmente, los límites de distorsión o derivas de cada entrepiso; dependiendo del material predominante de la estructura; deberán ser menores a los de la Tabla 23.

Tabla 23. Límites para la distorsión del entrepiso

Material	(Δ_{re} / h_i)
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: (RNE, 2018)

2.2.2.7. Separación entre edificios

Las estructuras diseñadas deberán tener una separación mínima (S) de las estructuras vecinas o una fracción de la suma de sus desplazamientos máximos.

$$S = 0.006 * h \geq 0.03m$$

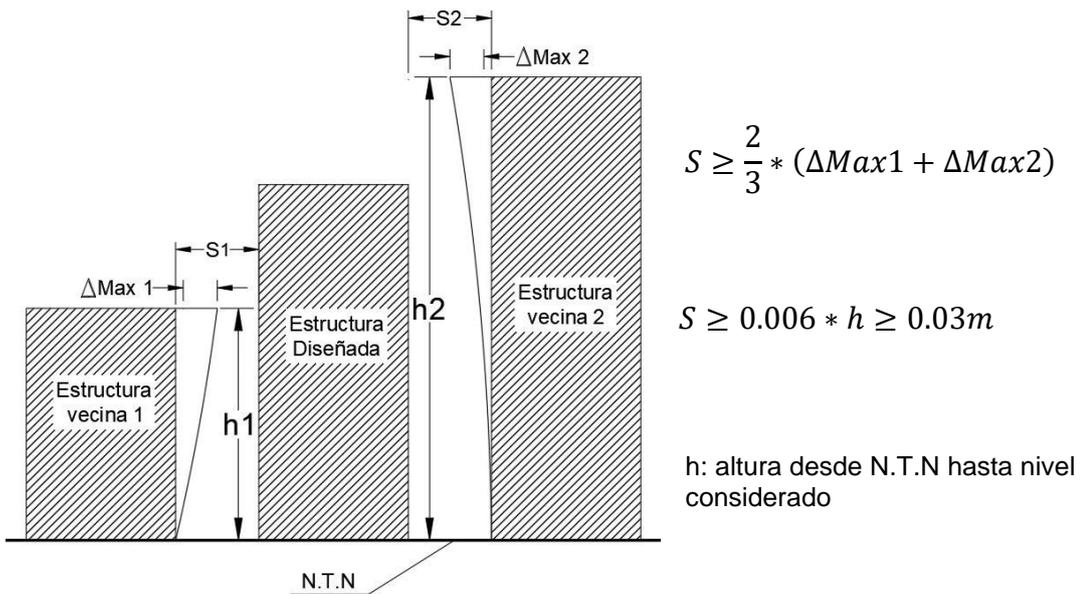


Figura 50. Separación entre estructuras 1
Fuente: Elaboración propia

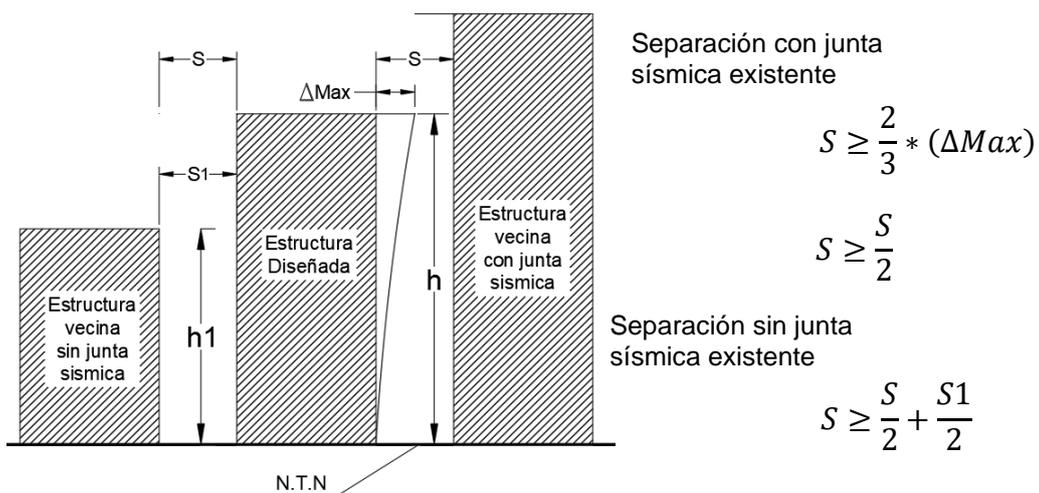


Figura 51. Separación entre estructuras 2
Fuente: Elaboración propia

2.2.2.8. Diseño de concreto armado

Después de la realización del análisis estructural se podrá obtener los esfuerzos que intervienen en cada elemento de la estructura, pudiendo diseñar el acero y el concreto necesario en base a estas fuerzas. Además, se deberá tener en cuenta la seguridad de la estructura que, ante un evento sísmico, pueda ser capaz de no fallar intempestivamente, sino que pueda proporcionar un tiempo de evacuación a las personas dentro de este. También se tendrá en cuenta el factor económico para el aprovechamiento de los recursos, logrando el cumplimiento de las normas con la menor cantidad de recursos posibles.

Existen los siguientes métodos entre otros para el diseño de los elementos de la estructura sometido a esfuerzos internos que son:

Diseño por cargas de servicio: los elementos se diseñan con el cálculo de las cargas calculadas que tendrá que soportar sin factorar.

Diseño por resistencia: los elementos se diseñan con las cargas calculadas multiplicadas por factores según la norma. Es el más utilizado y recomendado por su seguridad ante la imprevisibilidad de los sismos.

La norma E.060 también indica que los elementos estructurales deberán ser diseñados por el método de resistencia. Por lo que nos indica que deberemos proporcionar al elemento estructural una resistencia de Diseño (ΦR_n); el cual está afectado por factores de reducción dependiendo del esfuerzo al cual estará siendo sometido; mayor o por lo menos igual a la resistencia última (R_u).

En el método de resistencia la norma E.060 nos indica que deberemos realizar las siguientes combinaciones con cargas muertas (CM), cargas vivas (CV) y cargas por sismo (CS) y que en este último caso se dividirá en cargas de sismo en X (CSX) y cargas de sismo en Y (CSY) con el fin de obtener los resultados máximos de cada combinación en una combinación "ENVOLVENTE".

Tabla 24. Combinaciones de carga

Nº	Combinación
1	1.4 CM + 1.7 CV
2	1.25 CM + 1.25 CV + 1 CSX
3	1.25 CM + 1.25 CV - 1 CSX
4	1.25 CM + 1.25 CV + 1 CSY
5	1.25 CM + 1.25 CV - 1 CSY
6	0.9 CM + 1 CSX
7	0.9 CM - 1 CSX
8	0.9 CM + 1 CSY
9	0.9 CM - 1 CSY

Fuente: (RNE, 2009)

Tabla 25. Factores de reducción

Tipos de diseño	Factor de reducción (Φ)
Para flexión	$\Phi=0.9$
Para cortante	$\Phi=0.85$
Para flexo-compresión	$\Phi=0.75$ (Refuerzo zunchado) $\Phi=0.70$ (Refuerzo estribado)

Fuente: (RNE, 2009)

En todos los casos de deberá cumplir las siguientes condiciones para todos los elementos de concreto durante la elaboración de su diseño estructural.

$$\phi \cdot Mn \geq Mu \quad \phi \cdot Vn \geq Vu \quad Vn = Vc + Vs$$

Donde:

- Mu : Momento último o de diseño
- ΦMn : Momento resistente
- Vu : Cortante último o de diseño
- ΦVn : Cortante resistente
- Vc : Cortante resistente del concreto
- Vs : Cortante resistente del acero

Tipos de esfuerzos

Tracción

Es el esfuerzo interno en el cual se somete a un elemento a dos fuerzas en sentido opuesto que intentan estirar al elemento a lo largo de su línea de acción. Es el inverso al esfuerzo de compresión. (Ortiz Berrocal, 1990)



Figura 52. Esfuerzo de tracción
Fuente: (Xunta de Galicia, s.f.)

Compresión o axial

Este tipo de esfuerzo se produce por la aplicación de dos fuerzas en la misma dirección y sentidos contrarios, provocando una reducción de su longitud inicial y un agrandamiento en su parte central. (Ortiz Berrocal, 1990)



Figura 53. Esfuerzo de compresión o axial
Fuente: (Xunta de Galicia, s.f.)

Flexión

Es el esfuerzo que tienden a doblar un elemento alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Un caso típico que presenta este tipo de esfuerzo y con el cual se diseñan son las vigas. (Ortiz Berrocal, 1990)

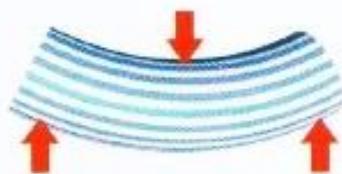


Figura 54. Esfuerzo de flexión
Fuente: (Xunta de Galicia, s.f.)

Torsión

Se presenta cuando existen fuerzas que tiendan a retorcer al elemento en sus extremos y en sentido opuesto, como si estuviéramos exprimiendo una toalla. (Ortiz Berrocal, 1990)



Figura 55. Esfuerzo de torsión
Fuente: (Xunta de Galicia, s.f.)

Cortante

Se presenta cuando el elemento está sometido a fuerzas paralelas a la sección transversal, pero de sentido opuesto. Generalmente se presentan en las vigas y columnas. (Ortiz Berrocal, 1990)

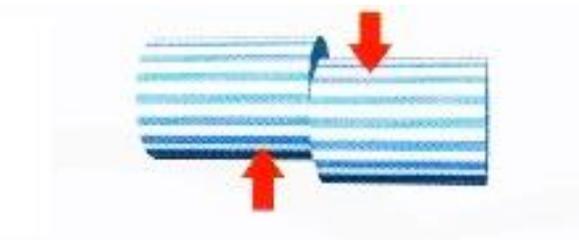


Figura 56. Esfuerzo de cortante
Fuente: (Xunta de Galicia, s.f.)

Combinaciones

Para los esfuerzos antes mencionados se puede realizar su diseño de acero de forma independiente o también de forma combinada como en el caso de columnas y muros estructurales.

Diseño de losas aligeradas en una dirección

Las losas aligeradas tienen la funcionalidad de conectar los diferentes elementos verticales de la estructura los cuales soportaran las fuerzas sísmicas además de la transmisión de las fuerzas horizontales de carga muerta (contrapiso, enlucido, tabiquería, etc.) y de carga viva (personas, mobiliario, etc.) hacia las vigas.

La carga muerta se colocará en todos los tramos de la vigueta y de igual manera la carga viva, pero este último además se colocará de manera alternada de acuerdo con el número de tramos de la vigueta con el fin de obtener los mayores momentos máximos posibles. Por lo tanto, esto generaría una cantidad de combinaciones en función del número de alternancias (n) que luego se unirán en una sola combinación de envolvente de diseño.

Tabla 26. Combinaciones de carga con alternancia de CV

Nº	COMBINACIONES
1	1.4 CM + 1.7 CV1
2	1.4 CM + 1.7 CV2
3	1.4 CM + 1.7 CV3
4	1.4 CM + 1.7 CV4
n	1.4 CM + 1.7 CVn

Fuente: (RNE, 2009)

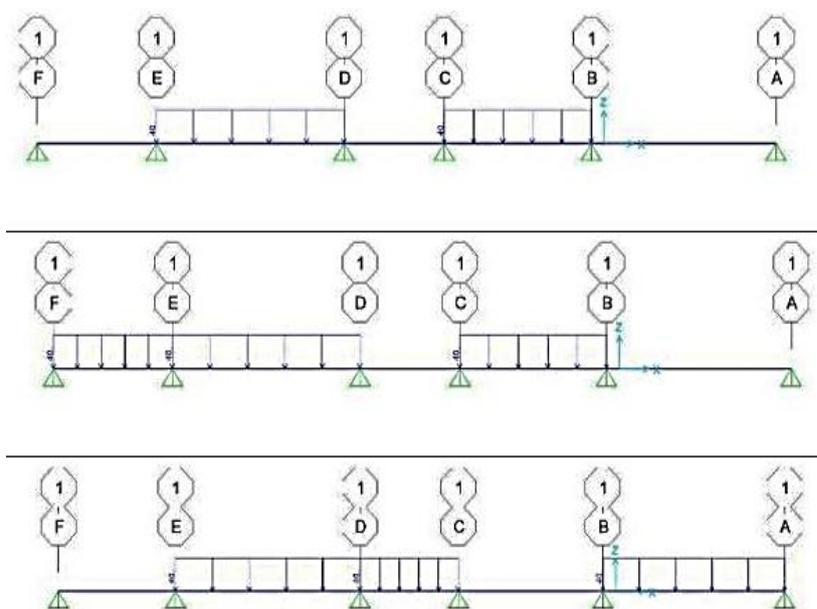
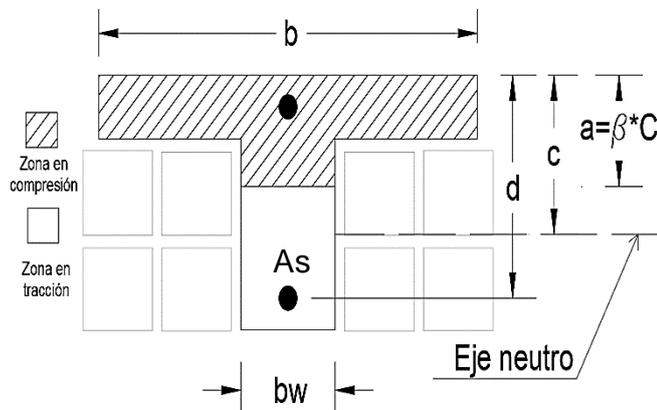


Figura 57. Ejemplo de alternancias de CV

Fuente: Elaboración propia

Diseño por flexión



Cuantía balanceada (ρ_b) :

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta \cdot \frac{f'_c}{f'_y} \cdot \frac{6000}{(600 + f'_y)}$$

Cuantía máxima (ρ_{max}) :

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

Cuantía mínima (ρ_{min}) :

Área mínima (A_{smin}) :

$$A_{smin} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d$$

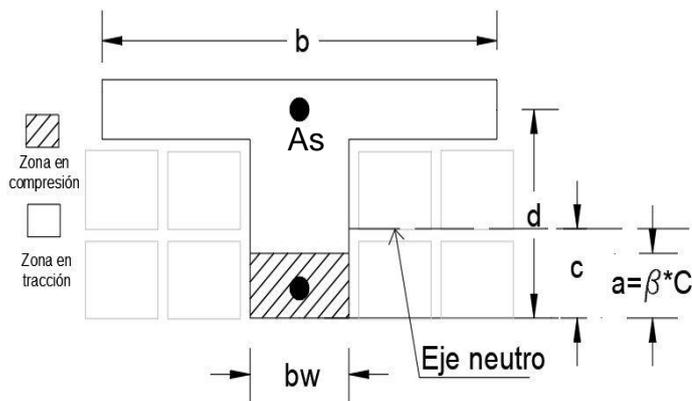
Figura 58. Diseño de losa aligerada en una dirección 1
Fuente: Elaboración propia

Cuantía mínima (ρ_{min}) : El menor de las siguientes fórmulas para momento positivo y negativo

$$\rho_{min} := \frac{1.6 \cdot \sqrt{f'_c}}{f'_y}$$

$$\rho_{min} := \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'_c}}{f'_y}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu}{0.85 \cdot f'_c \cdot \phi \cdot b}}$$



Cuantía mínima (ρ_{min}) :

$$\rho_{min} = \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'_c}}{f'_y}$$

Área mínima (A_{smin}) :

$$A_{smin} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

Figura 59. Diseño de losa aligerada en una dirección 2
Fuente: Elaboración propia

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu}{0.85 \cdot f'c \cdot \phi \cdot b_w}}$$

Luego de encontrar el valor de “a” encontraremos la cantidad de acero requerida con las siguientes formulas.

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot As \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Donde:

- b : Ancho del ala de la viga T
- b_w : Ancho del alma de la viga T
- d : Peralte efectivo
- f'c : Resistencia a la compresión del concreto
- f'y : Resistencia a la fluencia del acero
- β : 0.85, f'c < 280 f'c
- C : Máxima profundidad en compresión
- a : Profundidad del bloque equivalente en compresión
- As : Área de acero en tracción

Diseño por corte

La resistencia al corte del elemento estará dada principalmente solo por el concreto.

$$\phi \cdot Vn = \phi \cdot Vc$$

$$Vc = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

Diseño de losa maciza

Las losas macizas al igual que las losas aligeradas tienen la misma funcionalidad con la característica adicional de que aportan más rigidez y resistencia. Para su diseño se puede escoger una franja rectangular, de 1 metro de ancho, para una de sus longitudes de perpendiculares y diseñarlo como si fuera una viga.

Para la obtención de los momentos máximos se analizará igual que en losas aligeradas con la Tabla 26, si tuviera más de 1 tramo.

Diseño por flexión

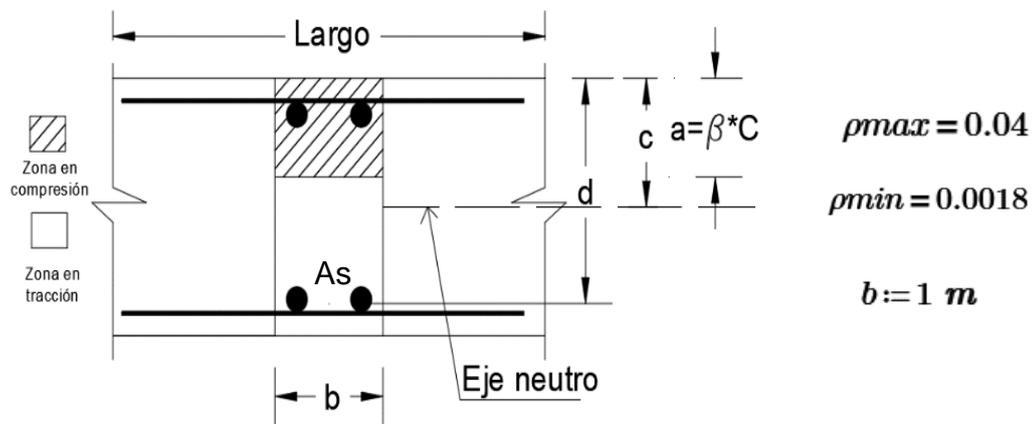


Figura 60. Diseño de losa maciza

Fuente: Elaboración propia

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu}{0.85 \cdot f'c \cdot \phi \cdot b}} \quad As = \frac{Mu}{\phi \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cdot 1 \text{ m}$$

$$Separación = \frac{As_{colocada}}{As}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot As \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Diseño por corte

La resistencia al corte del elemento estará dada principalmente solo por el concreto.

$$\phi \cdot Vn = \phi \cdot Vc$$

$$Vc = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

Diseño de vigas

Las vigas son elementos indispensables para la transmisión de las cargas entre las losas aligeradas o macizas y las columnas. Además de que gracias a ellas es posible la formación de pórticos con los elementos verticales que podrán resistir las cargas laterales y por lo tanto controlar el desplazamiento lateral.

Diseño por flexión

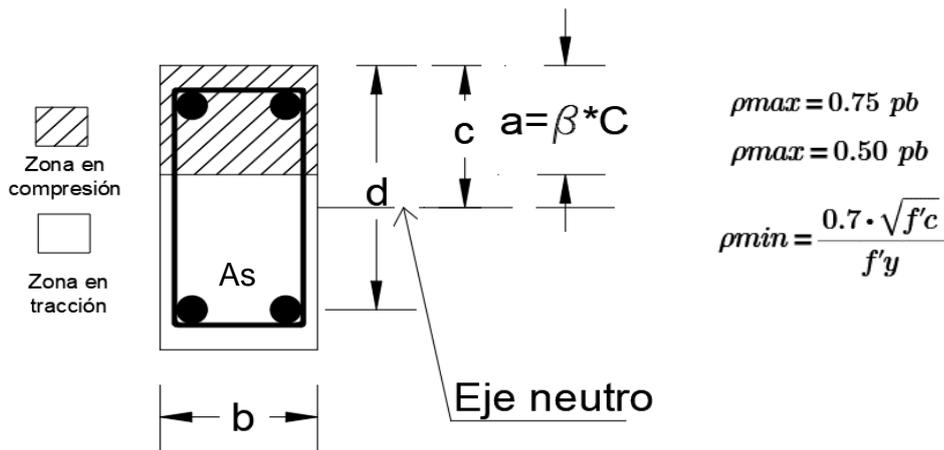


Figura 61. Diseño de viga
Fuente: Elaboración propia

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu}{0.85 \cdot f'c \cdot \phi \cdot b}}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot As \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Diseño por corte

La resistencia al corte del elemento estará dada por el concreto y el acero de los estribos.

$$\phi \cdot Vn = \phi \cdot (Vc + Vs) \quad Vc = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad Vs = \frac{Av \cdot f'y \cdot dv}{sep}$$

Donde:

- A_v : Área total de las ramas de estribos
- d_v : Diámetro de varilla del estribo
- Sep : Separación de los estribos

Estribos en vigas

La disposición de estribos para las vigas que pertenecen al sistema sismorresistentes de muros estructurales es como se muestra en la Figura 62.

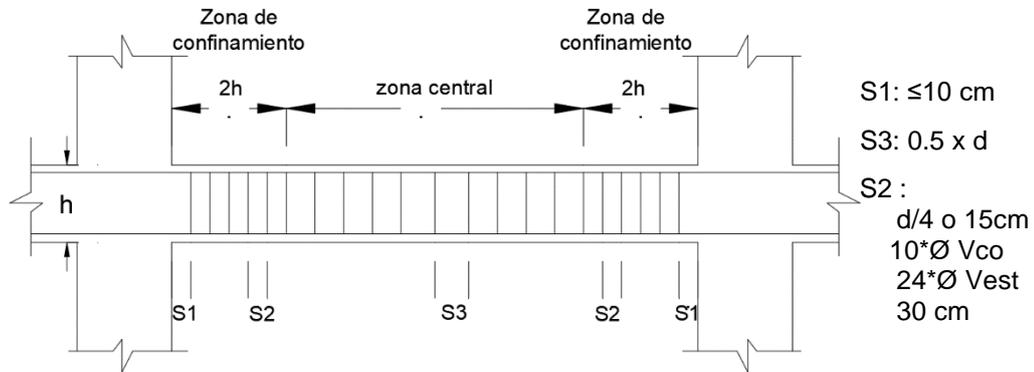


Figura 62. Distribución de estribos en vigas
Fuente: (RNE, 2009)

Donde:

Vo : Varilla longitudinal de menor diámetro
 Vest : Varilla de estribo

Estribos adicionales en vigas que reciben otras vigas

Cuando las vigas principales soportan otras vigas se deberá considerar sus efectos sobre este, por lo tanto, se deberá calcular la cantidad de área de acero (A_h) necesario, adicional al necesario por diseño de corte y torsión del elemento principal.

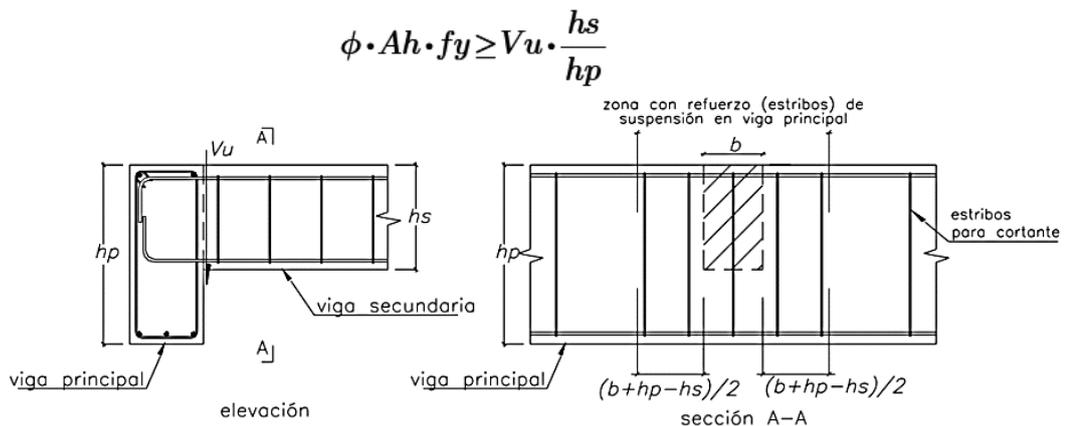


Figura 63. Refuerzo adicional de suspensión
Fuente: (RNE, 2009)

Donde:

Vu : Fuerza cortante en cara de viga secundaria
 hs, hp : Peraltes de viga secundaria y principal respectivamente

Diseño de columnas

Las columnas son elementos que cumplen las funciones de transmitir las cargas de que le seden las vigas hacia las cimentaciones y juntamente con los muros estructurales resistir las fuerzas laterales producidas por el sismo.

Diseño por flexo-compresión

Se deberá forma un diagrama de iteración en cual estará constituido por 5 puntos principales y que de acuerdo con el acero colocado en la columna se podrá incrementar o disminuir este diagrama.

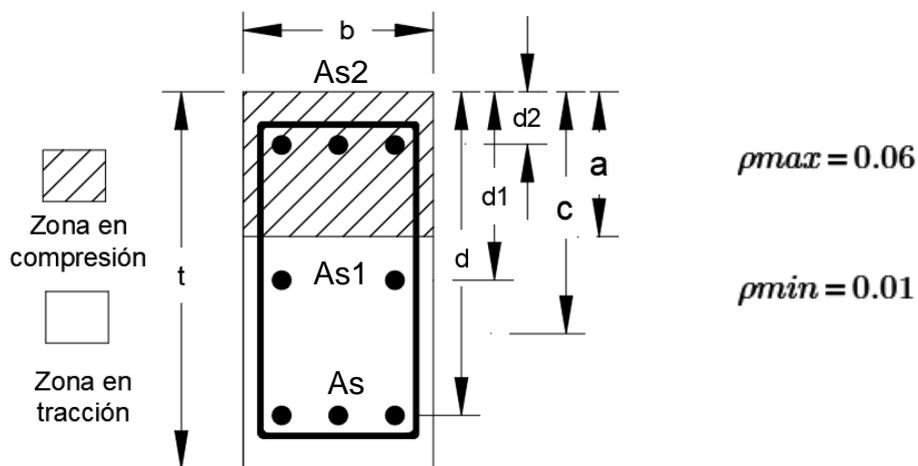


Figura 64. Diseño de columna
Fuente: Elaboración propia

Primer punto: Falla por compresión

$$P_o = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot t + (A_s + A_{s1} + A_{s2}) \cdot f'_y$$

Segundo punto: falla por tracción pura

$$T_o = (A_s + A_{s1} + A_{s2}) \cdot f'_y$$

Tercer punto: Falla balanceada

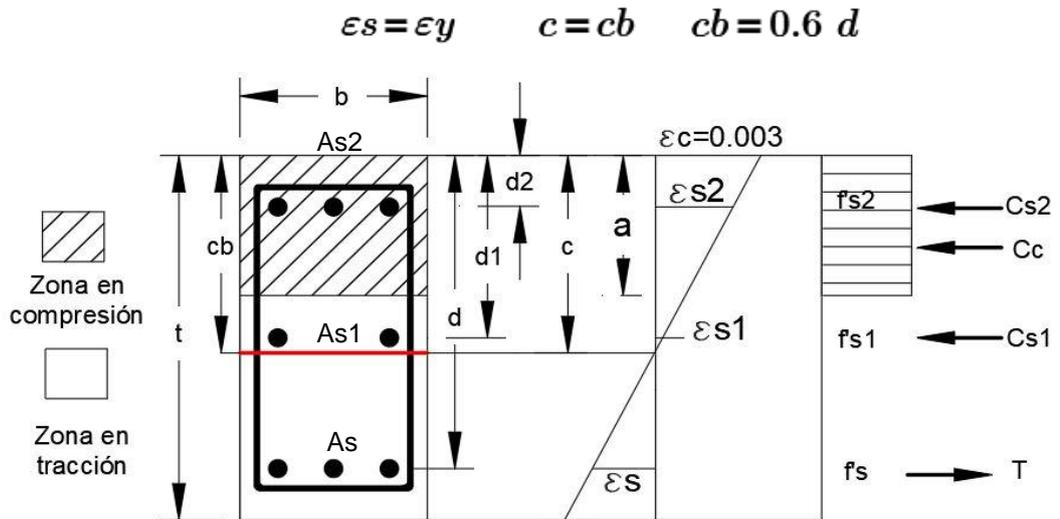


Figura 65. Falla balanceada en columnas

Fuente: Elaboración propia

$$f'_{s1} = E_s \cdot \epsilon_{s1} \quad f'_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{s2} \quad f'_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

$$C_{s1} = A_{s1} \cdot f'_{s1} \quad C_{s2} = A_{s2} \cdot f'_{s2} \quad T = A_s \cdot f'_s$$

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$P_b = C_c + C_{s1} + C_{s2} - T$$

$$M_b = C_c \cdot X_c + C_{s1} \cdot X_{s1} + C_{s2} \cdot X_{s2} + T \cdot X_s$$

Donde:

$\epsilon_s, \epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}$: Deformación unitaria del acero colocado

ϵ_y : $\frac{f_y}{E_s}$, Deformación unitaria del acero

ϵ_c : Deformación unitaria del concreto

E_s : 2×10^6 ,Módulo de elasticidad del acero

c_b : Máxima compresión balanceada

f'_s : Esfuerzo de fluencia

C_s : Fuerza de acero colocado

C_c : Fuerza del concreto

T : Fuerza de tracción

P_b : Carga balanceada

M_b : Momento balanceado

X_c : Distancia a la fuerza del concreto

X_s, X_{s1}, X_{s2} : Distancia a la fuerza del acero

A_g : $b \cdot t$, Área bruta de columna

Cuarto punto: Falla frágil

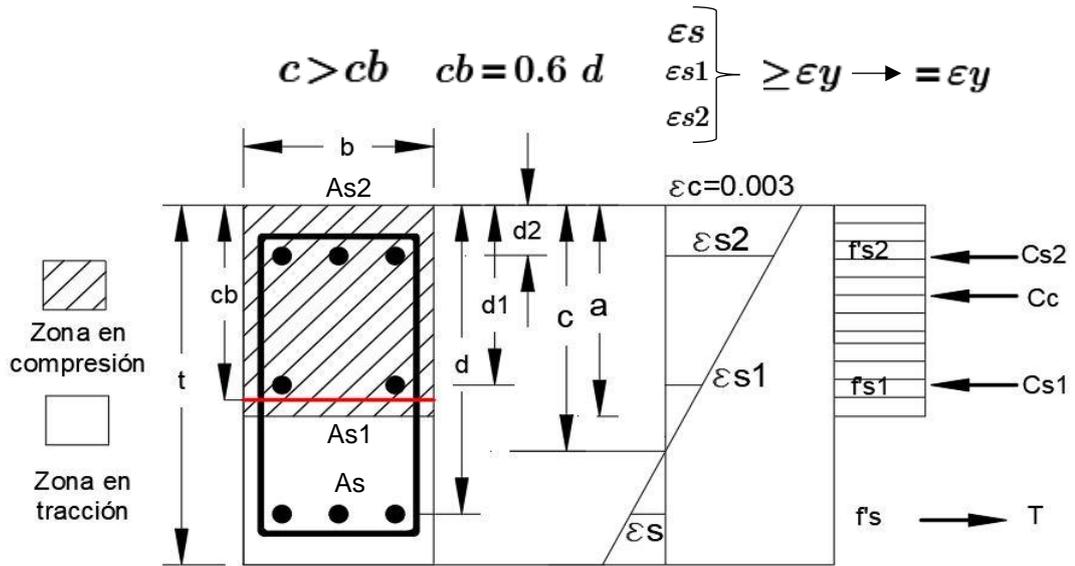


Figura 66. Falla frágil en columnas
Fuente: Elaboración propia

$$P_f = C_c + C_{s1} + C_{s2} - T$$

$$M_f = C_c \cdot X_c + C_{s1} \cdot X_{s1} + C_{s2} \cdot X_{s2} + T \cdot X_s$$

Quinto punto : Falla dúctil

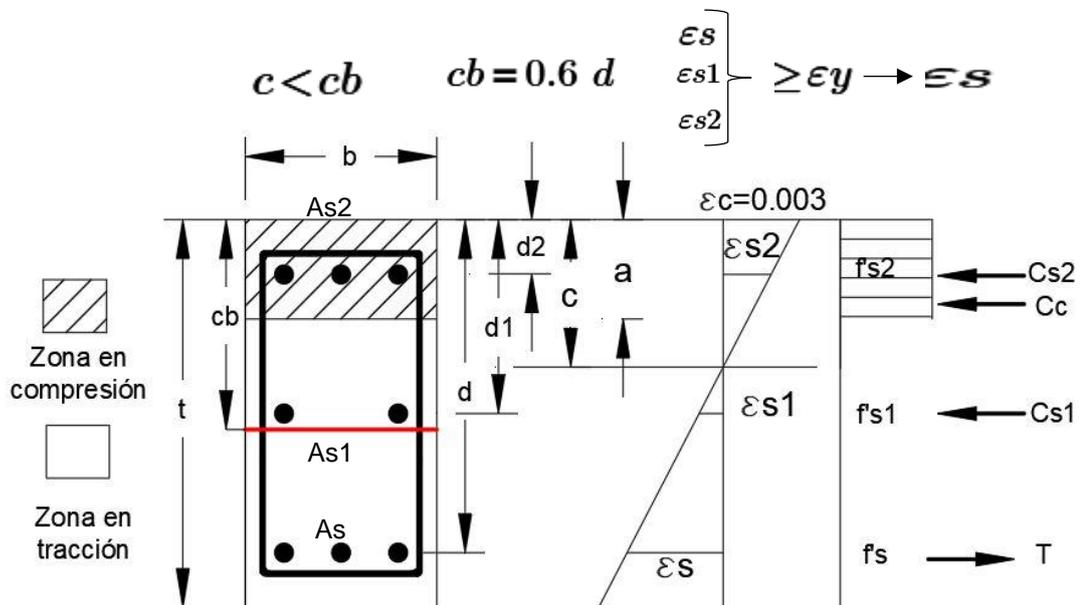


Figura 67. Falla dúctil en columnas
Fuente: Elaboración propia

$$P_d = C_c + C_{s1} + C_{s2} - T$$

$$M_d = C_c \cdot X_c + C_{s1} \cdot X_{s1} + C_{s2} \cdot X_{s2} + T \cdot X_s$$

Donde:

Pf : Carga frágil

Mf : Momento frágil

Pd : Carga dúctil

Md : Momento dúctil

Diagrama de iteración

Con los valores de carga y momento encontrados anteriormente se formará el diagrama de iteración nominal que en función de la falla ya sea por compresión o tensión se verán afectados por un Φ formado el diagrama de iteración de diseño. Los valores de carga y momento producidos por las diferentes combinaciones de carga tendrán que ubicarse por debajo de estar curva de diseño, que de lo contrario será necesario una mayor cantidad de acero o el incremento de la sección de la columna.

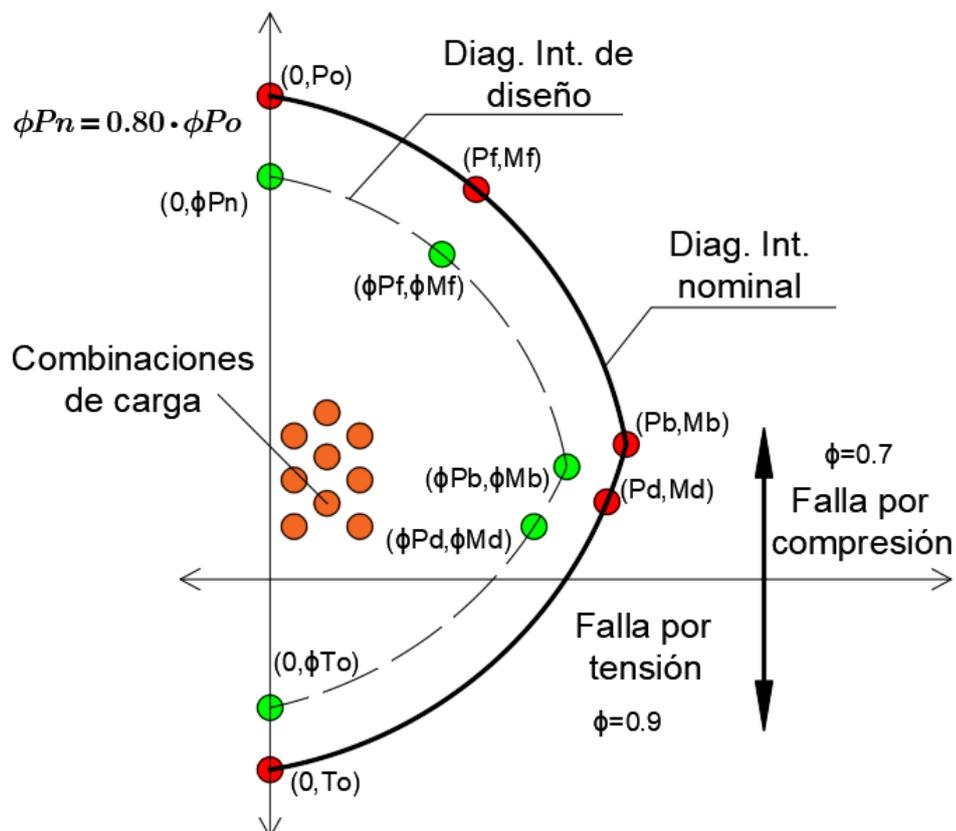


Figura 68. Diagrama de iteración de columnas
Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

La resistencia al corte del elemento estará dada por el concreto y el acero de los estribos.

$$\phi \cdot V_n = \phi \cdot (V_c + V_s) \quad V_c = 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left(1 + \frac{N_u}{140 A_g}\right) \cdot b \cdot d \quad V_s = \frac{A_v \cdot f'_y \cdot d_v}{sep}$$

Donde:

Nu: Carga axial amplificada

Estribos en columnas

La disposición de estribos para las columnas que pertenecen al sistema sismorresistentes de muros estructurales es como se muestra en la Figura 69.

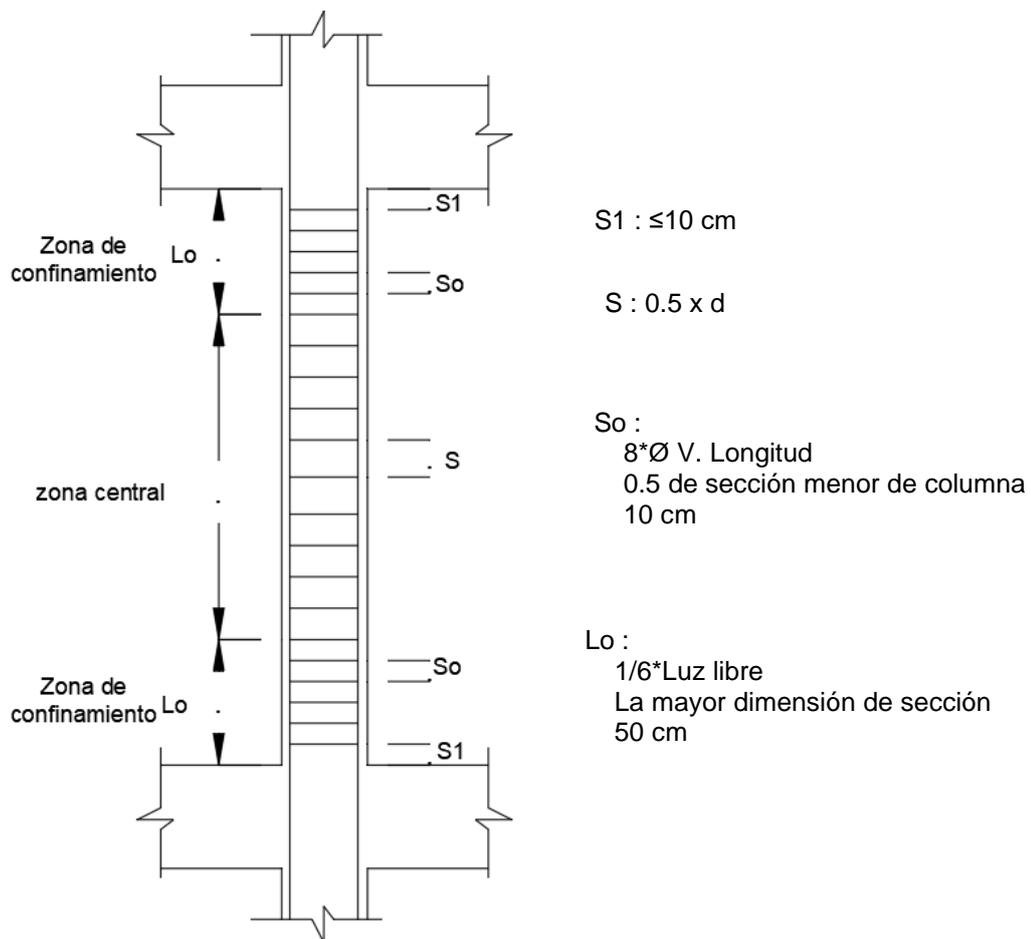


Figura 69. Estribos en columnas
Fuente: (RNE, 2009)

Verificación columna fuerte – viga débil

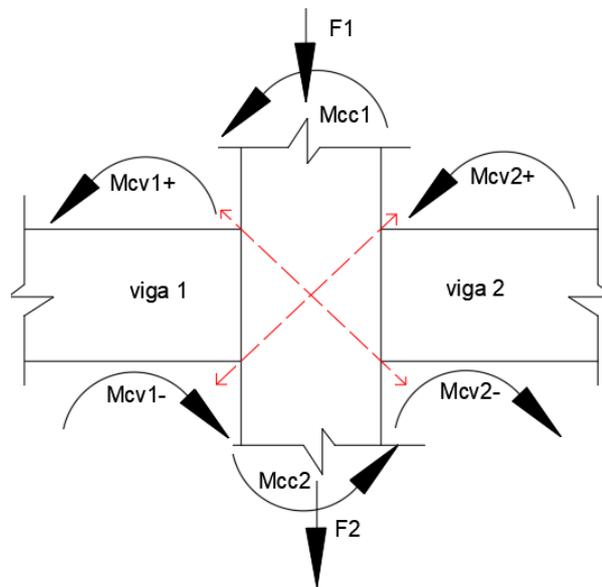


Figura 70. Verificación de columna fuerte - viga débil
Fuente: Elaboración propia

Momento de capacidad de vigas

Por cada eje de análisis se tomarán las vigas adyacentes a la columna y que de acuerdo con el acero proporcionado; se podrá calcular el momento de capacidad de la viga (M_{cv}) tanto para el acero superior e inferior. Luego sumaremos esos momentos de manera cruzada para encontrar los momentos de capacidad en sentido horario ($M_{Chorario}$) y antihorario ($M_{Cantihorario}$) resultantes. Para encontrar los M_{cv} se utilizará las siguientes formulas.

$$a = \frac{f'_y \cdot A_s}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \quad M_c = f'_y \cdot A_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{cv_{horario}} = M_{cv1} + M_{cv2} - \quad M_{cv_{antihorario}} = M_{cv2} + M_{cv1} -$$

Momento de capacidad de columnas

Con el diagrama de iteración nominal (sin el factor Φ) se podrá encontrar los momentos de capacidad de las columnas (M_{cc}) para las fuerzas axiales presentes en la columna F_1 y F_2 . Luego se sumarán estos dos momentos para encontrar el momento de capacidad resultante ($M_{CChorario}$).

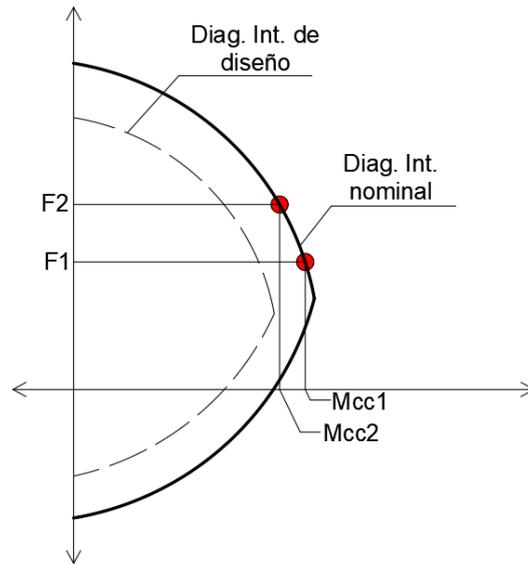


Figura 71. Diagrama de iteración sin factor Φ
Fuente: Elaboración propia

$$Mcc_{horario} = Mcc1 + Mcc2$$

Comprobación

Finalmente, se dará un incremento de un 20% o 6/5 a los momentos de capacidad de las vigas y se las dividirá con el momento de capacidad de columna, para que estos den un resultado por debajo del valor de unidad.

$$\frac{\left(\frac{6}{5}\right) Mcv_{horario}}{Mcc_{horario}} < 1$$

$$\frac{\left(\frac{6}{5}\right) Mcv_{antihorario}}{Mcc_{horario}} < 1$$

Diseño de muros estructurales

Los muros estructurales son elementos que cumplen las funciones de transmitir las cargas de que le seden las vigas hacia las cimentaciones y en este caso particular poder resistir más del 70% de la fuerza cortante producida por el sismo.

Diseño por flexo-compresión

Al igual que en el diseño de las columnas será necesario imponer un armado para luego crear el diagrama de iteración y verificar que los puntos generados por las combinaciones de carga se encuentren dentro del diagrama. Es recomendable que la mayor concentración de refuerzo este en los elementos de borde y en el alma un refuerzo con la cuantía mínima.

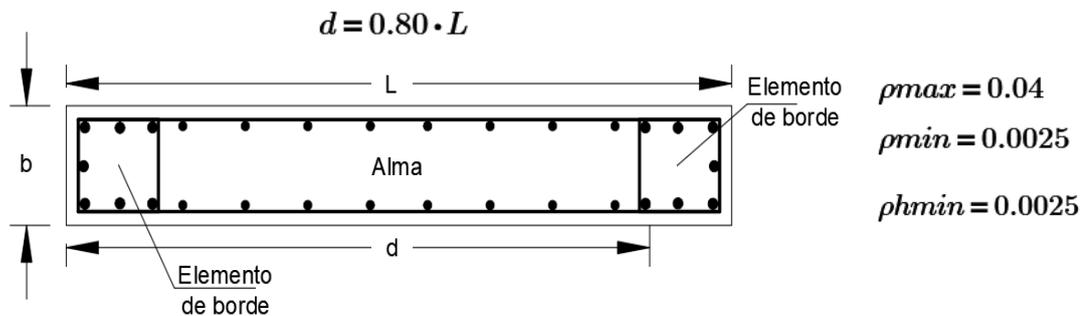


Figura 72. Diseño de muros estructurales
Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

$$\phi \cdot V_n = \phi \cdot (V_c + V_s) \quad V_c = A_{cv} \cdot \alpha_c \cdot \sqrt{f'_c} \quad V_s = A_{cv} \cdot \rho_h \cdot f'_y$$

Donde:

A_{cv} : $L \times b$, área bruta de muro estructural

$$\alpha_c : = 0.80, \frac{H}{L} \leq 1.5$$

$$= 0.53, \frac{H}{L} \geq 2.0$$

$$= 0.53 < \alpha_c < 0.80, 2.0 \geq \frac{H}{L} \geq 1.5$$

ρ_h : cuantía de refuerzo horizontal colocado

H : Altura del muro estructural

Diseño de cimentación

Las cimentaciones son elementos estructurales encargadas de transmitir cargas traídas por los elementos verticales hacia el suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible (σ_{adm}) y evitando asentamientos laterales.

El criterio para saber qué tipo de cimentación superficial se deberá colocar es comenzar por zapatas aisladas, zapatas conectadas, losa de cimentación y losa de cimentación con vigas respectivamente hasta que los esfuerzos generados por estos sean menores a la presión admisible del terreno.

Para la verificación de que los esfuerzos generados por la cimentación sean menores a los que el suelo pueda soportar, la norma nos indica que cuando intervengan la presencia de cargas temporales como las de sismos, se podrá considerar un incremento del 30% de la presión admisible del suelo, además las acciones sísmicas podrán reducirse al 80%. Así tenemos las siguientes combinaciones para la verificación de presiones.

Tabla 27. Combinaciones de carga para verificación de presiones.

N°	COMBINACION
Servicio 1	$1.0 \cdot \sigma_{adm} = CM + CV$
Servicio 2	$1.3 \cdot \sigma_t = (CM+CV) + 0.8 \cdot CS_x$
Servicio 3	$1.3 \cdot \sigma_t = (CM+CV) - 0.8 \cdot CS_x$
Servicio 4	$1.3 \cdot \sigma_t = (CM+CV) + 0.8 \cdot CS_y$
Servicio 5	$1.3 \cdot \sigma_t = (CM+CV) - 0.8 \cdot CS_y$

Fuente: (RNE, 2009)

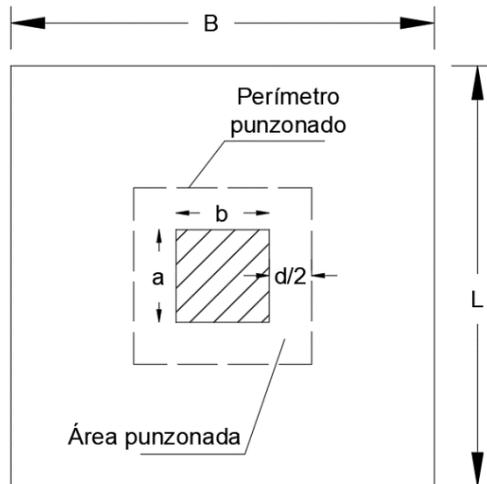
Posteriormente la cimentación será diseñada con las mismas combinaciones de carga mostradas en la Tabla 24 para encontrar una reacción amplificada de diseño (σ) y realizar verificaciones de corte y punzonamiento. Sus medidas deberán cumplir la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{(CM+CV)}{B \cdot L} + \frac{6 \cdot M_{xx}}{B \cdot L^2} + \frac{6 \cdot M_{yy}}{B^2 \cdot L} \leq \sigma_{adm}$$

Mxx: Momento actuante en x
Myy : Momento actuante en y

Verificación por punzonamiento

La sección crítica por corte se ubica a una distancia $d/2$ de la cara de la columna, como se muestra a continuación.



$$V_{up} \leq \phi V_{cp}$$

H = Altura de zapata asumida

$$V_{up} = \sigma_u \cdot (A_t - A_o)$$

$$A_t = B \cdot L$$

$$A_o = (d + a) (d + b)$$

Figura 73. Verificación por punzonamiento
Fuente: Elaboración propia

$$V_{cp} = \text{Menor de: } \begin{cases} V_{cp} = \left(0.53 + \frac{1.1}{\beta}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\ V_{cp} = 1.1 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \end{cases}$$

$$b_o = 2 \cdot (d + a) + 2 \cdot (d + b) \quad \beta = \frac{\text{Lado mayor de columna}}{\text{Lado menor de columna}}$$

Donde:

V_{up} : Cortante última de punzonamiento

V_{cp} : Cortante resistente del concreto

Φ : Factor de reducción de compresión

σ_u : Reacción amplificada de diseño

A_t : Área bruta de zapata

A_o : Área punzonada

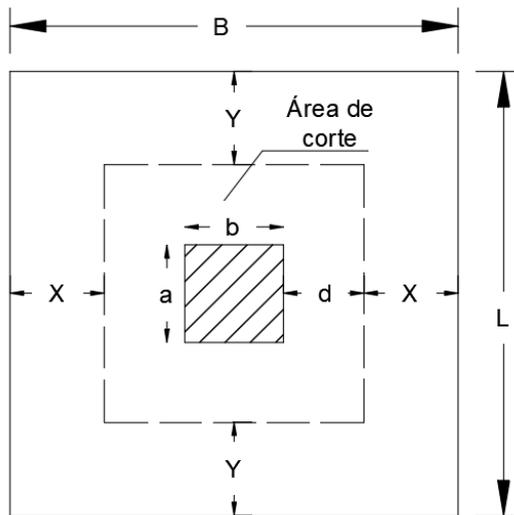
d : Peralte efectivo de zapata

B, L : Lados de zapata

a, b : Lados de columna

Verificación por corte

La sección crítica por corte se ubica a una distancia d de la cara de la columna. Se analizará en ambas direcciones por separado y en ambas deberá cumplir la condición dada. Para lograr obtener una resistencia mayor al corte el parámetro que es conveniente variar es el peralte efectivo o d , en la siguiente ecuación.



$$Vud \leq \phi Vc$$

Eje vertical

$$Vc = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot L \cdot d$$

$$Vud = \sigma u \cdot L \cdot X$$

Eje horizontal

$$Vc = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot B \cdot d$$

$$Vud = \sigma u \cdot B \cdot Y$$

Figura 74. Verificación por corte
Fuente: Elaboración propia

Donde:

- Vud : Cortante última de diseño
- Vc : Cortante resistente del concreto
- Φ : Factor de reducción de compresión
- σu : Reacción amplificada de diseño
- d : Peralte efectivo de zapata
- X : Volado horizontal
- Y : Volado vertical

Diseño por flexión

Se realizará de forma similar al diseño de losas macizas con las fórmulas de deflexión simple.

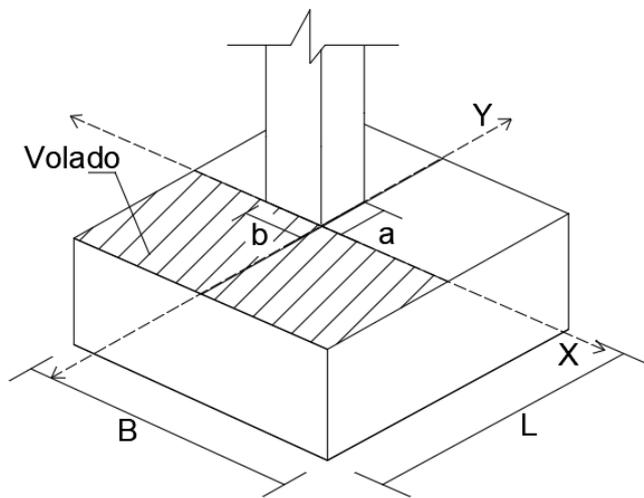


Figura 75. Diseño por flexión en cimentaciones
Fuente: Elaboración propia

$$p_{min} = 0.0018$$

$$voladoX = \frac{B-b}{2}$$

$$M_{ux} = \frac{\sigma_u \cdot B \cdot voladoX^2}{2}$$

$$voladoY = \frac{L-a}{2}$$

$$M_{uy} = \frac{\sigma_u \cdot L \cdot voladoY^2}{2}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot f'_c \cdot \phi \cdot b}}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \cdot f'_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$Separación = \frac{A_{scolocada}}{A_s}$$

Donde:

M_{ux} : Momento último en x

M_{uy} : Momento último en y

voladoX : Volado de zapata en x

voladoY : Volado de zapata en Y

Diseño de muro de sótano

Se supondrá que el muro de sótano no se moverá de su plano para considerar una mayor presión del suelo sobre este.

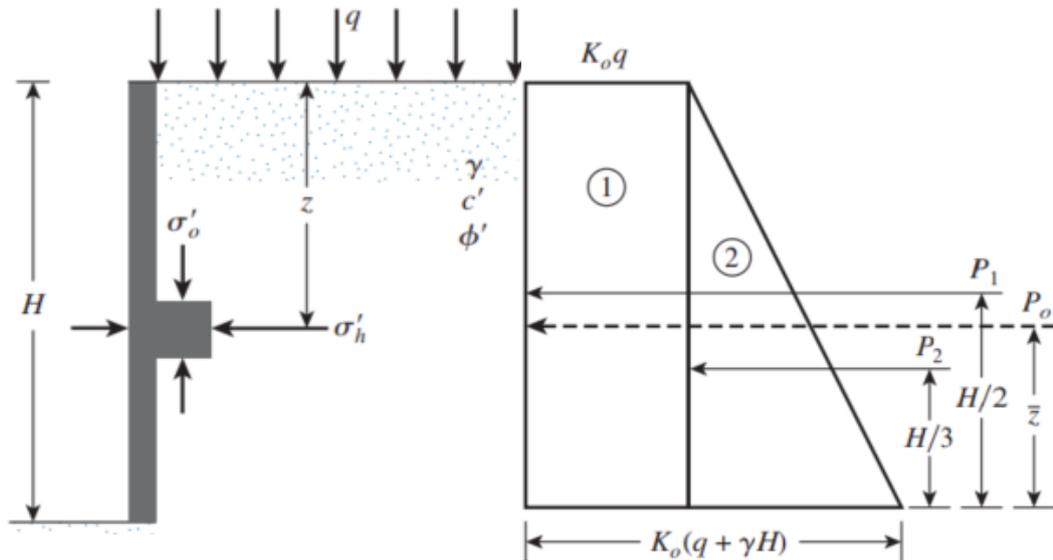


Figura 76. Empuje lateral en reposo de tierra
Fuente: (Braja M, 2012)

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad E_a = \gamma s \cdot H \cdot K_a \quad E_{sc} = q \cdot K_a$$

Donde:

- γ : Peso específico del suelo
- c' : Cohesión
- Φ' : Ángulo de fricción efectivo
- σ'_{o}, σ'_{h} : Esfuerzo vertical y horizontal respectivamente
- H : Altura de muro
- q : Sobrecarga
- Z : Profundidad desde el nivel de terreno
- P_1, P_2, P_o : Fuerza de figura 1, figura 2, total respectivamente
- z : Altura de ubicación de fuerza total
- K_a : Coeficiente de presión activa de Rankine
- E_a : Empuje activo del suelo
- E_{sc} : Empuje activo de sobrecarga

Después de calcular las fuerzas distribuidas por unidad de longitud que son ejercidas sobre el elemento, se analizara y diseñara como una viga con las mismas fórmulas para flexión y cortante.

$$p_{min} = 0.0018$$

Diseño de escalera

El diseño de la escalera tipo U se realizará con cargas de servicio dividido en dos elementos, las graderías y el descanso. Las cargas de servicio serán el peso propio del elemento, los acabados, y la sobrecarga.

Tabla 28. Metrado de cargas en escalera

	Peso propio (Tn/m)	Acabado (Tn/m)	S/C (Tn/m)	Distribuida (Tn/m)
Gradería	P1	Pa1	Psc1	Wu1
Descanso	P2	Pa2	Psc2	Wu2

Fuente: Elaboración propia

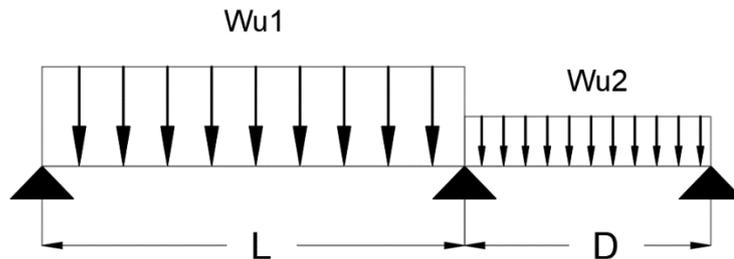
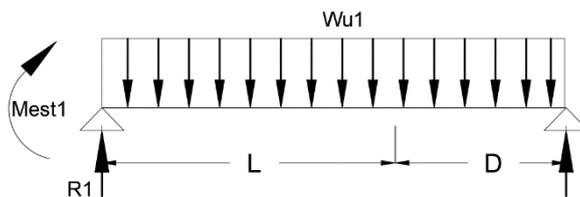


Figura 77. Fuerzas distribuidas en escalera

Fuente: Elaboración propia

CASO 1



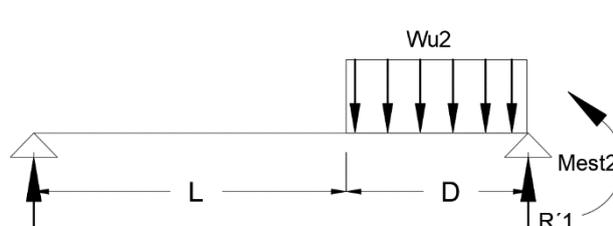
$$R1 = \frac{Wu1 \cdot (L+D)}{2}$$

$$Mest1 = \frac{Wu1 \cdot (L+D)^2}{8}$$

Figura 78. Reacciones y momentos de escalera – Caso 1

Fuente: Elaboración propia

CASO 2



$$R'1 = \frac{D \cdot Wu2 \cdot \left(L + \frac{D}{2}\right)}{L+D}$$

$$Mest2 = \frac{R'1 \cdot D}{2}$$

Figura 79. Reacciones y momentos de escalera - Caso 2

Fuente: Elaboración propia

Por el principio de superposición:

$$R = R_1 + R'_1$$

$$M_{est} = M_{est1} + M_{est2}$$

Se diseñará para una franja de 1m

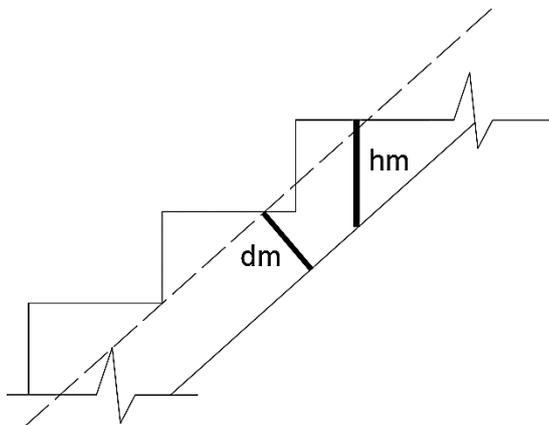
Momentos de diseño

$$M_u \text{ en el apoyo} = \frac{8}{20} \cdot M_{est}$$

$$M_u \text{ en el centro} = \frac{8}{10} \cdot M_{est}$$

$$M_u \text{ en las vigas} = \frac{8}{20} \cdot M_{est}$$

Se calculará el peralte promedio de la escalera (dm) y luego el peralte efectivo (d). La altura promedio (hm) y Angulo (Φ) se han visto en el predimensionamiento de escalera.



$$\rho_{min} = 0.0018 \text{ m}$$

$$dm = hm \cdot \cos\phi$$

$$d = dm - rec - \frac{\emptyset}{2}$$

Figura 80. Altura y peralte promedio en escalera
Fuente: Elaboración propia

Finalmente se usará las mismas formulas del diseño de vigas para el cálculo del acero de flexión y cortante resistente del concreto.

Longitudes de desarrollo, traslapeo y ganchos

Longitud de desarrollo

Las longitudes de desarrollo varían de acuerdo con el diámetro de la barra a desarrollarse. Se presenta dos casos, una longitud de desarrollo en tracción (ldt) y un en compresión (ldc).

En tracción

Para barras $\leq 3/4"$

$$\left(\frac{f'y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \lambda}{8.2 \cdot \sqrt{f'c}} \right) \cdot db$$

Para barras $\geq 7/8"$

$$\left(\frac{f'y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \lambda}{6.6 \cdot \sqrt{f'c}} \right) \cdot db$$

Min = 30 cm

En compresión

El mayor de los siguientes resultados

$$\left(\frac{0.0075 \cdot f'y}{\sqrt{f'c}} \right) \cdot db$$

$$(0.0044 \cdot f'y) \cdot db$$

Min = 20 cm

Donde:

Ψ_t : Factor de ubicación

Ψ_e : Factor de tratamiento superficial

λ : Facto de tipo de concreto

db : Diámetro de barra

Tabla 29. Longitudes de desarrollo

ϕ (in)	Tracción	Tracción	Compresión	Compresión
	ldt (cm)	ldt (cm)	ldc (mts)	ldc (mts)
3/8	33.67	35.00	20.70	20.00
1/2	44.89	45.00	27.61	30.00
5/8	56.11	55.00	34.51	35.00
3/4	67.33	70.00	41.41	40.00
1	111.54	110.00	55.21	55.00

Fuente: Elaboración propia

Longitud de empales por traslapo

Las longitudes de empalme también se dividen en dos casos la longitud de empalme por traslapo en tracción (Ist) y por comprensión (Isc).

En tracción

Min = 30 cm

Tabla 30. Empalmes por traslape a tracción

<u>As proporcionado</u> <u>As requerido</u>	Porcentaje máximo de As empalmado en la longitud requerida para dicho empalme.	
	50	100
Igual o mayor que 2	Clase A	Clase B
Menor que 2	Clase B	Clase B

Fuente: (RNE, 2009)

Donde :

Empalme clase A : $1.0 \cdot I_{dt}$

Empalme Clase B : $1.3 \cdot I_{dt}$

En comprensión

Para $f'y \leq 4200 \frac{kg}{cm^2}$, entonces $0.0071 \cdot f'y \cdot db$

Min = 30 cm

Tabla 31. Longitudes de empalmes por traslapo

ϕ (in)	Tracción Ist (cm)	Tracción Ist (cm)	Comprensión Isc (mts)	Comprensión Isc (mts)
3/8	43.77	45.00	30.48	30.00
1/2	58.35	60.00	38.94	40.00
5/8	72.94	75.00	48.67	50.00
3/4	87.53	90.00	58.41	60.00
1	145.00	145.00	77.88	80.00

Fuente: Elaboración propia

Longitud de desarrollo de ganchos

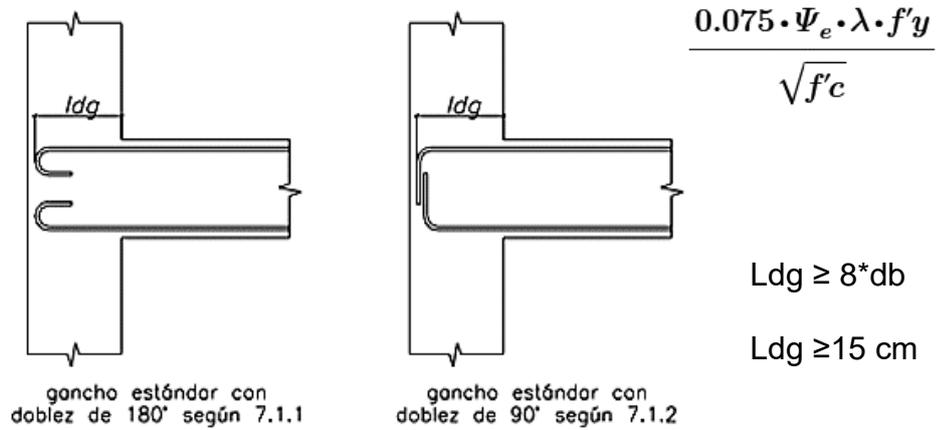


Figura 81. Longitud de desarrollo de ganchos
Fuente: (RNE, 2009)

Tabla 32. Longitudes de desarrollo de gancho estándar

Φ (in)	ldg (cm)	ldg (cm)
3/8	20.705	20.000
1/2	27.606	30.000
5/8	34.508	35.000
3/4	41.409	40.000
1	55.212	55.000

Fuente: Elaboración propia

Longitud de ganchos estándar



Figura 82. Longitud de gancho estándar
Fuente: (RNE, 2009)

Tabla 33. Longitudes de ganchos estándar

Φ (in)	Doblez a 90° (cm)	Doblez a 90° (cm)
3/8	11.43	10.00
1/2	15.24	15.00
5/8	19.05	20.00
3/4	22.86	25.00
1	30.48	30.00

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.9. Interoperabilidad con BIM

La interoperabilidad es la capacidad de comunicación entre distintos sistemas, con distintos formatos para poder compartir datos y posibilitar el intercambio de información, permitiendo que varios expertos contribuyan al trabajo en cuestión. (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008)

Por lo que es esencial que pueda haber una comunicación entre el software BIM de modelado y el software de análisis. En Perú el software de análisis más conocido tanto en el sector público como privado es Etabs. Una herramienta que nos proporciona una comunicación entre estos dos programas es CSIXRevit. Esta herramienta permite 4 flujos de información que son exportar desde Revit para crear un nuevo modelo de software CSI y actualizarlo, e importación desde el software CSI para crear un nuevo modelo de Revit y actualizarlo. La funcionalidad que nos proporciona es la interoperabilidad bidireccional con Revit. El modelo generado en Revit es constituido fielmente por los componentes estructurales, geometría, propiedades de los materiales y cargas que componen el modelo estructural en Etabs. Se utiliza un archivo (.EXR) para controlar el intercambio de informaciones entre los modelos.

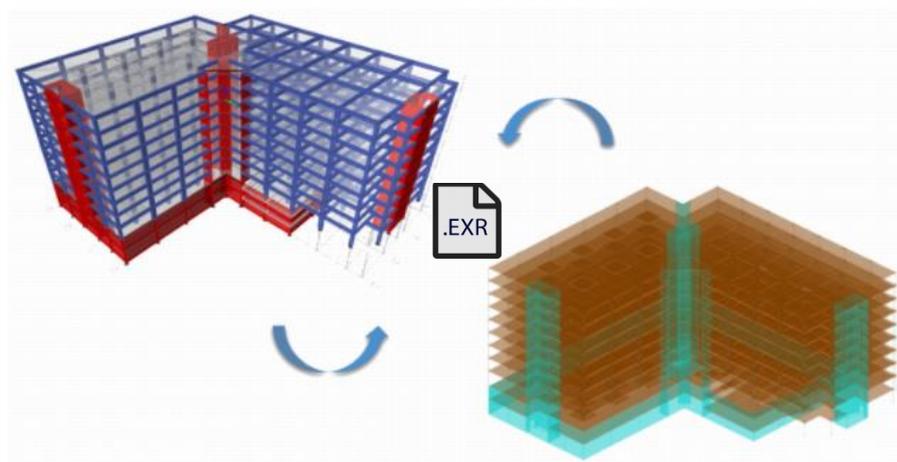


Figura 83. Interoperabilidad con BIM
Fuente: (PC CAD, s.f.)

2.2.3. Definición de términos básicos.

BIM. “El proceso utilizado para crear un modelo BIM”. (AIA, 2013)

SOFTWARE BIM. Un sistema informático en el cual podría almacenarse y manipularse la información de un proyecto para su diseño, construcción y análisis operativo. Debido a que un edificio se considera la formación espacial de un conjunto de otros elementos más pequeños. (Eastman, y otros, 1975)

LOD. Es la forma de comunicar hasta qué punto se puede utilizar un elemento del Modelo. Cuando se habla de comunicar el nivel de desarrollo, es importante diferenciarlo con el nivel de detalle. (The American Institute of Architects [AIA], 2013).

MADUREZ BIM. “La capacidad de la cadena constructiva de operar e intercambiar información” (British Standards Institution [BSI], 2013).

PLAN DE EJECUCIÓN BIM. “ Es el plan elaborado por los proveedores para explicar cómo se llevarán a cabo los aspectos de modelado de información de un proyecto”. (BSI, 2013)

USOS BIM. Para la definición de los usos BIM (Messner, y otros, 2019) menciona “Hay muchas tareas diferentes que pueden beneficiarse de la incorporación de BIM. Estos beneficios se comentan como Usos BIM”.

MODELO BIM. Es una representación de un proyecto de manera digital, puede ser de todo el proyecto o solo una parte de este. (AIA, 2013).

MODELO FÍSICO. Es el modelo para la utilización de dibujos en los planos y para la coordinación en la construcción. (Nielsen & Madsen, 2010)

MODELO ANALÍTICO. Es el modelo que se utiliza para análisis estructural en otro software BIM. (Nielsen & Madsen, 2010).

INTEROPERABILIDAD. Es la capacidad de comunicación entre distintos sistemas, con distintos formatos para poder compartir datos y posibilitar el intercambio de información, permitiendo que varios expertos contribuyan al trabajo en cuestión. (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008)

2.3. Hipótesis.

2.3.1. Hipótesis general

La metodología BIM mejorará el proceso de diseño estructural 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.

2.3.2. Hipótesis Específicas

H1: Mediante el plan de ejecución BIM se integra la metodología BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

H2: Mediante los modelados BIM se complementa el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

H3: Mediante las dimensiones BIM se determinó mantener la información centralizada del proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

H4: Mediante el nivel de desarrollo o LOD mejorará el detalle y visualización en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo no experimental transeccional. Es una investigación con un enfoque cuantitativo porque buscará a través de procedimientos ordenados y secuenciales la implementación de la metodología BIM en el proceso de diseño estructural para la integración de la información obtenida en una base de datos que servirán para su análisis, utilización y aplicación.

Es no experimental porque no busca alterar ninguna de las variables, pues se aplicarán conceptos, metodologías y teorías ya establecidos tanto para la metodología BIM como para el proceso de diseño estructural, que se vienen implementando en diferentes grados, de manera independientemente como de forma conjunta o paralela.

Es transeccional o transversal porque busca una relación entre las variables de la metodología BIM y el proceso de diseño estructural lograr una mayor integración de entre ambas y aumentar su correlación.

3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación es de tipo aplicada porque a través de la investigación de la metodología y los procesos que implican un diseño estructural buscan proponer soluciones a un determinado problema que afecta a determinado ámbitos, entidades o a un grupo de individuos de forma directa e indirecta.

3.1.3. Nivel de investigación

La investigación es de nivel descriptiva, en primer lugar, porque existe una amplia bibliografía de cada una de las variables, sus dimensiones e indicadores. Además, se hará uso de instrumentos estandarizados y conocidos de manera local e internacional con el fin de poder describir los procesos necesarios de la implementación BIM en el proceso de diseño estructural, los valores obtenidos y extraídos del análisis y diseño estructural y que mediante la implementación BIM podrán estar almacenados en un modelo BIM para su utilización e interpretación.

3.1.4. Diseño de investigación

La investigación tiene un diseño correlacional porque a través de la relación entre la metodología BIM y el proceso de diseño estructural se buscará explicar cómo se comporta el proceso de diseño estructural en función a la implementación de la metodología BIM. Además, buscará evaluarla y medirla en un determinado tiempo, incluyendo sus procesos para poder llegar a conclusiones relevantes.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población está conformada por todas las edificaciones multifamiliares del distrito de Ate-Vitarte, provincia y departamento de Lima. Estas edificaciones multifamiliares tienen las características que cuentan con viviendas independientes, donde su convivencia no es obligatoria y el terreno es una propiedad común. De esta manera se excluye las edificaciones unifamiliares, bifamiliares, colectivas, entre otros.

La cantidad de población exacta no se puede calcular de manera correcta pues siempre está en constante cambio, con nuevas construcciones que se realizan o también demoliciones.

Por lo tanto, solo se podrá estimar su cantidad en un tiempo determinado. Para estimar su cantidad se utilizó la información oficial del censo 2017, a través de (Corzo Nicolini & Herrera Romero, 2018) que contiene cuadros y mapas temáticos a partir de los resultados del censo 2017, para Lima metropolitana y los 50 distritos que lo conforman, incluyendo a provincias de Lima y Callao. Los datos relevantes que plasman son sobre la población, vivienda, servicios básicos, vulnerabilidad social y movilidad. Dentro de la sección de vivienda se encontró cuadros y mapas de viviendas según tipo, por distrito. De donde se extrajo la información del número de departamentos que se encuentran en edificios, en el distrito de Ate-Vitarte y que asciende a 34 672. Si por cada edificio multifamiliar existe un aproximado de 40 departamentos.

Entonces el tamaño de la población asciende a 867 edificios multifamiliares en el distrito de Ate – Vitarte para el año vigente.

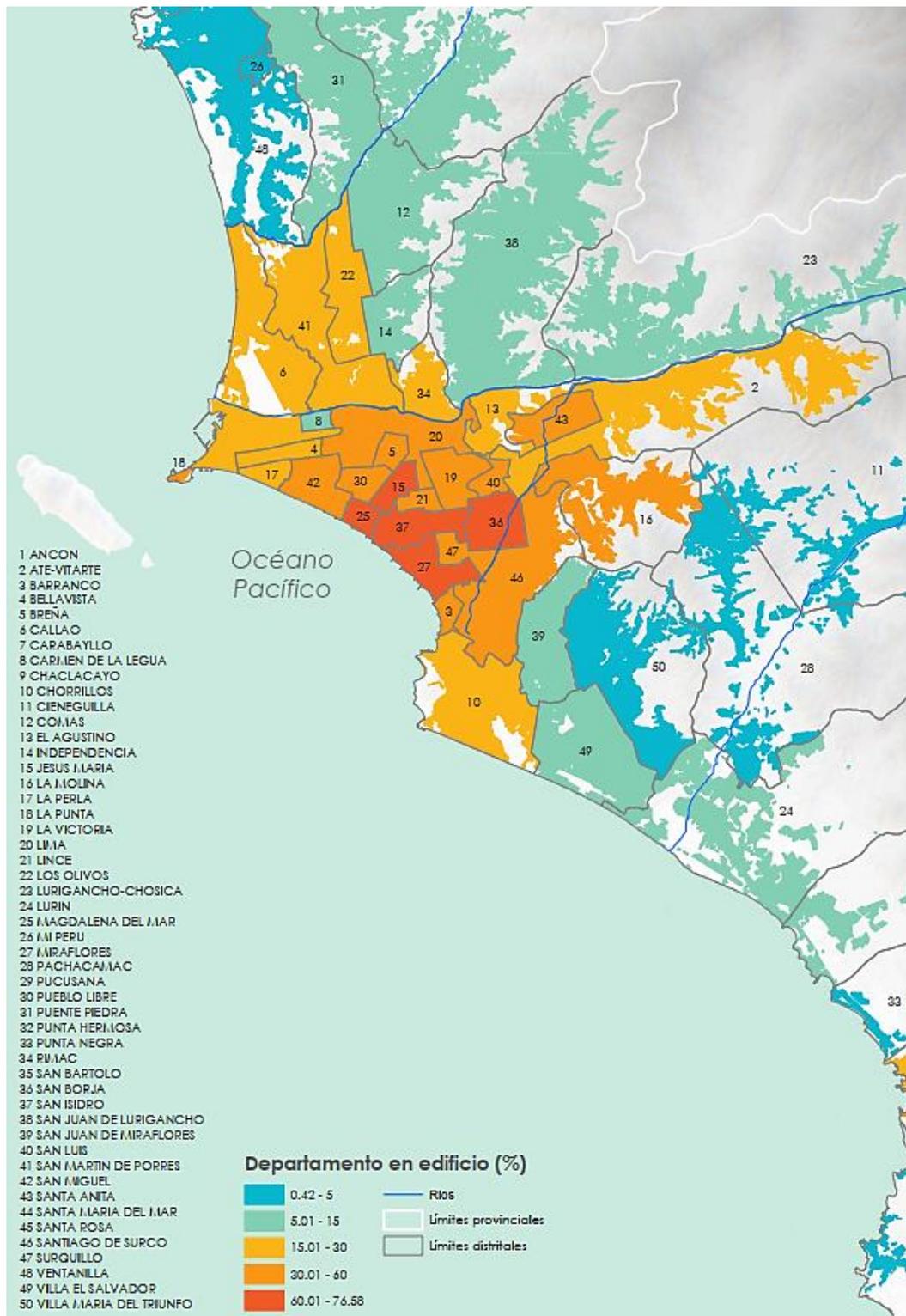


Figura 84. Departamento en edificio (%) por distrito
Fuente: (Corzo Nicolini & Herrera Romero, 2018)

Tabla 34. Viviendas según tipo, por distrito

Distrito	Vivienda Independiente		Departamento en edificio		Vivienda en quinta		Vivienda Improvisada		Vivienda en casa de vecindad*		Otros **		Total de viviendas censadas en el distrito
	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	
ANCON	25,428	94.19	884	3.27	28	0.10	548	2.03	62	0.23	46	0.17	26,996
ATE - VITARTE	135,872	75.94	34,672	19.38	1,215	0.68	5,341	2.98	1,132	0.63	698	0.39	178,930
BARRANCO	4,832	35.62	6,461	47.63	1,887	13.91	5	0.04	302	2.23	77	0.57	13,564
BELLAVISTA	15,620	75.71	3,899	18.90	739	3.58	11	0.05	298	1.44	63	0.31	20,630
BREÑA	9,344	31.34	13,635	45.73	5,759	19.31	21	0.07	902	3.03	157	0.53	29,818
CALLAO	90,789	76.04	21,726	18.20	3,967	3.32	188	0.16	2,153	1.80	574	0.48	119,397
CARABAYLLO	93,870	91.49	5,427	5.29	519	0.51	1,170	1.14	402	0.39	1,208	1.18	102,596
CARMEN DE LA LEGUA	9,233	82.19	1,616	14.38	153	1.36	2	0.02	207	1.84	23	0.20	11,234
CHACLACAYO	10,385	88.13	1,192	10.12	61	0.52	22	0.19	43	0.36	81	0.69	11,784
CHORRILLOS	58,261	72.22	18,519	22.96	2,214	2.74	315	0.39	944	1.17	415	0.51	80,668
CIENEGUILLA	11,576	87.36	102	0.77	55	0.42	1,283	9.68	182	1.37	53	0.40	13,251
COMAS	115,350	85.99	16,806	12.53	334	0.25	579	0.43	526	0.39	547	0.41	134,142
EL AGUSTINO	38,957	74.49	11,944	22.84	624	1.19	163	0.31	456	0.87	155	0.30	52,299
INDEPENDENCIA	47,789	89.09	4,997	9.32	153	0.29	361	0.67	222	0.41	117	0.22	53,639
JESUS MARIA	6,236	21.61	19,230	66.64	2,772	9.61	7	0.02	456	1.58	157	0.54	28,858
LA MOLINA	25,026	55.71	19,309	42.99	339	0.75	44	0.10	115	0.26	85	0.19	44,918
LA PERLA	12,656	68.27	4,830	26.06	759	4.09	4	0.02	253	1.36	35	0.19	18,537
LA PUNTA	878	59.89	455	31.04	113	7.71	0	0.00	16	1.09	4	0.27	1,466
LA VICTORIA	24,532	40.15	27,088	44.34	7,053	11.54	52	0.09	1,932	3.16	437	0.72	61,094
LIMA	40,914	44.58	36,103	39.34	11,461	12.49	66	0.07	2,750	3.00	484	0.53	91,778
LINCE	6,550	29.85	12,795	58.30	2,117	9.65	16	0.07	417	1.90	51	0.23	21,946
LOS OLIVOS	63,874	70.70	25,436	28.15	252	0.28	95	0.11	290	0.32	401	0.44	90,348
LURIGANCHO - CHOSICA	75,004	85.04	5,476	6.21	1,093	1.24	5,642	6.40	725	0.82	256	0.29	88,196
LURIN	25,395	90.25	1,639	5.82	506	1.80	181	0.64	286	1.02	132	0.47	28,139
MAGDALENA DEL MAR	5,864	26.43	14,034	63.24	1,947	8.77	10	0.05	280	1.26	56	0.25	22,191
MI PERU	11,710	98.30	84	0.71	0	0.00	78	0.65	18	0.15	23	0.19	11,913
MIRAFLORES	9,336	18.51	38,628	76.59	1,990	3.95	5	0.01	270	0.54	209	0.41	50,438
PACHACAMAC	36,811	91.18	346	0.86	165	0.41	2,649	6.56	283	0.70	118	0.29	40,372
PUCUSANA	6,817	93.27	169	2.31	13	0.18	256	3.50	20	0.27	34	0.47	7,309
PUEBLO LIBRE	12,042	39.67	16,650	54.85	1,248	4.11	12	0.04	333	1.10	71	0.23	30,356
PUENTE PIEDRA	86,724	90.66	5,529	5.78	374	0.39	2,246	2.35	496	0.52	285	0.30	95,654
PUNTA HERMOSA	8,022	85.82	859	9.19	15	0.16	387	4.14	38	0.41	26	0.28	9,347
PUNTA NEGRA	3,691	97.36	16	0.42	2	0.05	30	0.79	18	0.47	34	0.90	3,791
RIMAC	35,651	66.71	11,351	21.24	4,497	8.42	152	0.28	1,657	3.10	132	0.25	53,440
SAN BARTOLO	3,009	80.03	702	18.67	2	0.05	15	0.40	3	0.08	29	0.77	3,760
SAN BORJA	13,022	32.27	26,897	66.65	90	0.22	9	0.02	77	0.19	261	0.65	40,356
SAN ISIDRO	7,475	27.06	19,699	71.31	287	1.04	4	0.01	85	0.31	76	0.28	27,626
SAN JUAN DE LURIGANCHO	260,403	82.78	34,097	10.84	961	0.31	16,827	5.35	1,430	0.45	863	0.27	314,581
SAN JUAN DE MIRAFLORES	76,586	87.17	10,120	11.52	176	0.20	463	0.53	209	0.24	302	0.34	87,856
SAN LUIS	7,433	49.24	7,117	47.15	185	1.23	11	0.07	140	0.93	209	1.38	15,095
SAN MARTIN DE PORRES	133,620	74.43	42,443	23.64	1,258	0.70	283	0.16	1,257	0.70	673	0.37	179,534
SAN MIGUEL	21,268	40.32	29,018	55.01	1,798	3.41	16	0.03	568	1.08	83	0.16	52,751
SANTA ANITA	36,490	64.44	18,981	33.52	394	0.70	53	0.09	533	0.94	171	0.30	56,622
SANTA MARIA DEL MAR	558	41.83	758	56.82	14	1.05	1	0.07	0	0.00	3	0.22	1,334
SANTA ROSA	13,593	94.47	70	0.49	8	0.06	674	4.68	9	0.06	35	0.24	14,389
SANTIAGO DE SURCO	46,275	39.33	68,733	58.41	1,714	1.46	58	0.05	664	0.56	225	0.19	117,669
SURQUILLO	11,820	34.42	18,894	55.03	2,818	8.21	16	0.05	653	1.90	136	0.40	34,337
VENTANILLA	95,612	96.35	2,338	2.36	74	0.07	874	0.88	180	0.18	152	0.15	99,230
VILLA EL SALVADOR	86,632	93.11	5,277	5.67	189	0.20	312	0.34	281	0.30	348	0.37	93,039
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	101,592	93.76	3,285	3.03	516	0.48	2,286	2.11	447	0.41	229	0.21	108,355
TOTALES	2,080,427	71.85	670,336	23.15	64,908	2.24	43,843	1.51	25,020	0.86	11,039	0.38	2,895,573

Fuente: (Corzo Nicolini & Herrera Romero, 2018)

3.2.2. Muestra

En cuando al muestreo, para la presente investigación no será necesario realizarla porque se escogerá un ejemplar directamente desde la población a partir de criterios de inclusión y exclusión.

Los criterios de inclusión y exclusión se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 35. Criterios de inclusión y exclusión

Inclusión	Exclusión
Mayor a 5 niveles	Menor o igual a 5 niveles
Cuenta con sótano o semisótano	No cuenta con sótano o semisótano
Tiene un área de terreno mayor a 200 m ²	Tiene un área de terreno menor o igual a 200 m ²
No es simétrico en al menos uno de sus ejes	Es simétrico en ambos ejes
Cuenta con estacionamientos	No cuenta con estacionamientos

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para calcular el tamaño muestral, en orden de importancia, es primero encontrar un terreno con un área mayor a los 200 m², luego proceder a la verificación de los niveles, verificación si poseía asimetría en al menos uno de sus ejes o en ambos en una vista en planta, si contaba con algún semisótano o sótanos y finalmente si poseía zonas de estacionamiento.

Finalmente, el tamaño de la muestra se determinó que es una edificación multifamiliar en el distrito de Ate-Vitarte, provincia y departamento de Lima con las siguientes características.

Área de terreno : 400 m²

Nº de niveles : 6 niveles

Asimetría en planta : Asimétrico arquitectónicamente en ambos ejes

Sótanos : 1 semisótano

Estacionamientos : 17

Departamentos : 23 departamentos

3.3. Instrumentación

En la presente investigación se empleará los instrumentos de recolección de datos y de procesamiento de datos.

En primero lugar, se usará los instrumentos para la recolección de datos que va dirigido a la población pues se pretende obtener la mayor cantidad de información relacionada a ellos de forma general.

En segundo lugar, se usará los instrumentos de procesamiento de datos que va dirigido a la muestra pues se medirá y registrará de manera particular sus propiedades y alcances para poder obtener resultados concretos.

3.3.1. Instrumentos de recolección de datos

Bibliográficas

Se utilizaron fuentes bibliográficas como libros relacionados a la metodología BIM, libros sobre análisis y diseño estructural, revistas nacionales e internacionales, tesis de grado nacionales e internacionales, tesis de maestría internacionales y en otro idioma, manuales de los softwares Etabs y Safe, leyes, documentación legal, páginas web corporativas, páginas web en general, informes estadísticos, archivos PDF encontrados en la web y videos educativos y explicativos.

Cuestionarios

Se realizó cuestionarios a especialistas relacionados a la presente investigación, de los cuales se extrajo sus criterios para poder crear y plasmar en gráficos de columnas y determinar así cuales eran los más relevantes, con el fin de implementarlos o considerarlos en la investigación.

Normas técnicas peruanas

Se utilizaron las siguientes normas técnicas peruanas.

E.020 - Cargas

E.030 - Diseño sismo resistente

E.060 – Concreto armado

Guías internacionales

Se utilizó la siguiente guía internacional en la presente investigación.

BIM Project Execution Planning Guide v2.2

Diagrama de causa – efecto

Se utilizó este diagrama para poder facilitar la discusión y análisis de las causas que generarían un efecto y por lo tanto hacer una formulación más acertada de nuestro problema general.

3.3.2. Instrumentos de procesamiento de datos

Los instrumentos a continuación servirán para poder medir o registrar la información de la muestra.

AutoCAD 2019. (Medir) Servirá para estructuración, colocación de ejes y para el predimensionamiento.

Etabs 2018. (Medir) Se generará el modelo analítico y análisis estructural para la verificación de la deriva.

Safe 2016. (Medir) Se generará el modelo analítico y análisis estructural que en caso de las cimentaciones será las verificaciones de las presiones del suelo.

Excel 2104. (Medir y Registrar) Se utilizará para el predimensionamiento, metrado de cargas, almacenaje de datos y para el proceso del diseño de algunos elementos de concreto armado.

Mathcad 6. (Medir y Registrar) Se utilizará para el almacenaje y procesamiento de datos para el diseño exclusivamente de vigas, vigas de cimentación, y formación de diagramas de iteración de las columnas y muros estructurales.

CSixRevit 2021. Se utilizará para la transferencia de datos de los programas de análisis estructural Etabs y Safe hacia el programa de modelamiento Revit.

Revit 2021. (Registrar) Se realizará el modelo estructural conformado por el concreto, acero y posteriormente la documentación.

3.4. Procedimiento

3.4.1. Estructuración y predimensionamiento

El programa principal empleado aquí será el AutoCAD y Excel. Se procedió a la colocación de ejes verticales y horizontales en el plano arquitectónico, teniendo en cuenta factores importantes como los estacionamientos en el semisótano y sus distancias adecuadas para una buena circulación vehicular. También se determinó la ubicación de los elementos verticales como columnas y muros estructurales, evitando en lo posible alguna alteración significativa en el diseño arquitectónico. Aquí se determinó la necesidad de colocación de vigas que soportar otras vigas.

Con los ejes establecidos se pudo obtener distancias que sirvieron para el predimensionamiento de los elementos de concreto armado como losas aligeradas, macizas, vigas y en el caso de columnas poder determinar el peso de servicio basado en áreas tributarias. Para el caso de muros estructurales poder indicar una longitud tentativa y su adecuada distribución para evitar los efectos torsionales. Se pudo establecer un área para la ubicación del tanque elevado y los elementos necesarios para su soporte. Con las alturas de entre piso se pudo determinar y confirmar las dimensiones de la escalera.

3.4.2. Generación de modelo analítico

El programa principal empleado aquí será el Etabs. Con los elementos de concreto armado predimensionados y con las longitudes entre ejes obtenidos en la estructuración se procedió a la creación del modelo analítico en Etabs. Se procedió a la creación de materiales como el concreto armado y el acero juntamente con sus propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y fluencia respectivamente además de sus módulos de elasticidad. También a la creación de las secciones producto del predimensionamiento en losas, vigas y columnas. Se colocaron cargas muertas y vivas en las losas de manera distribuida y también en ciertas vigas que soportaran directamente el peso de la tabiquería.

Aquí también se realizó un metrado de cargas muertas y vivas con pesos establecidos por la norma E.020 y pesos calculados como la tabiquería repartida en función a la arquitectura.

3.4.3. Análisis estructural

El programa principal empleado aquí será el Etabs. De acuerdo con parámetros establecidos en la E.030 y al tipo de edificación se procedió a realizar los análisis estáticos y dinámicos, para los cuales se debió de antemano determinar también las irregularidades de elevación y planta. Y finalmente cumplir con la obtención del desplazamiento por debajo del desplazamiento máximo permitido por la norma en función del sistema estructural empleado. Si cumple este último requisito se podrá exportar la información necesaria al programa Safe para el siguiente paso.

3.4.4. Análisis estructural de cimentación

El programa principal empleado aquí será el Safe. Con la información necesaria importada del Etabs se procederá a un previo predimensionamiento para las cimentaciones. En función de los ejes verticales y horizontales importadas se procederá a la creación del modelo analítico, para luego realizar una verificación de presiones admisibles.

3.4.5. Importación de los modelos analíticos

El programa principal empleado aquí será CSIxRevit. Se exportarán los modelos analíticos de los programas Etabs y Safe en un archivo de formato EXR y luego estos archivos serán importados al programa revit a través del plugin CSIxRevit. De esta manera podremos mantener la información analizada en un solo modelo BIM. Es necesario contar previamente con una plantilla en revit con las secciones de los elementos creados en Etabs y Safe para una adecuada creación del modelo físico.

Después de la importación en revit se podrá tener una visualización del modelo físico y así determinar algunas incompatibilidades constructivas que no se detectaron en la creación del modelo analítico en Etabs o Safe.

Si se detectara alguna incompatibilidad se tendrá que corregir y actualizar el modelo con el plugin CSIxRevit para que ambas partes puedan estar totalmente coordinados. El modelo físico creado automáticamente es preliminar y no concuerda con los procesos constructivos.

3.4.6. Diseño de los elementos estructurales

Los programas principales empleados aquí serán Excel y Mathcad. Después de la verificación del cumplimiento de las normas en los modelos analíticos y la compatibilización con el modelo físico se procederá al diseño de los elementos estructurales teniendo en cuenta cuantías mínimas y máximas. Para este procedimiento en particular se utilizaron dos programas de procesamiento de datos. El Mathcad se empleó exclusivamente para el diseño de vigas, vigas de cimentación, columnas y muros estructurales y el programa Excel para el resto de los elementos de concreto armado.

3.4.7. Creación del modelo BIM

El programa principal empleado aquí será Revit. Se procederá a la terminación del modelo físico importado de los archivos EXR de acuerdo con los procesos constructivos. Corrección de columnas y muros estructurales por debajo de vigas peraltadas sin modificar su modelo analítico, límites de losas en caras de las vigas sin alterar su modelo analítico y extensión de columnas y muros estructurales hacia la cimentación. En la cimentación también se corregirán los cruces de vigas de cimentación que se encuentran dentro de las zapatas de acuerdo con el proceso constructivo.

Además, se modelarán elementos adicionales como viguetas o su equivalente, las barras de acero en todos los elementos de concreto armado calculados en el paso anterior, teniendo en cuenta los procesos constructivos. Se modelarán además los ladrillos de techo en todos los niveles con losa aligerada teniendo en cuenta el sentido en el que se diseñaron estas.

Se deberá tener en cuenta que estos nuevos modelamientos no modifiquen los modelos analíticos originales importados de los programas Etabs y Safe. Pues solo serán creados para su cuantificación y procesos posteriores como la simulación constructiva.

3.4.8. Generación de documentación

El programa principal empleado aquí será Revit. Finalmente, toda la información proporcionada al modelo BIM se detallará y visualizará en planos estructurales para su utilización en etapas posteriores como la etapa de construcción.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO

4.1. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en una edificación multifamiliar con 400 m² de área de terreno, seis niveles, y un semisótano, ubicado en la Urb. Javier Prado, Mz E, lote 02, VI etapa el distrito de Ate-Vitarte en la provincia y departamento de Lima. La edificación limita por el norte con una vivienda unifamiliar de 3 pisos, por el sur con una vivienda unifamiliar de 2 niveles. Además, cuenta con áreas techadas como se muestra la siguiente tabla.

Tabla 36. áreas techadas del proyecto

NIVEL	AREA TECHADA
Semisótano	364.30 m ²
1° piso	280.00 m ²
2°,3°,4°,5° y 6°piso	280.50 m ²
TOTAL	2 046.8 m ²

Fuente: Elaboración propia

La edificación cuenta con estacionamientos y un número de departamentos por nivel como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 37. Estacionamientos y departamentos por nivel

NIVEL	CONTENIDO
Semisótano	13 estacionamientos
1° piso	4 estacionamientos + 3 departamentos
2°,3°,4°,5° y 6°piso	4 departamentos por piso
TOTAL	17 estacionamientos + 23 departamentos

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis del plano arquitectónico

La edificación por ser de vivienda pertenece a la categoría C de acuerdo con el reglamento E.030, además se optó por un sistema de muros estructurales para dar un mejor comportamiento sismorresistente. Con respecto a las cargas vivas tenemos lo tradicional, adicionando las cargas por estacionamiento para los estacionamientos presentes en el 1° nivel. Los elementos sismorresistentes tendrán una resistencia a la comprensión de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ al igual que la cimentación y las escaleras. Para los tabiques y losas aligeradas serán de albañilería cocida hueca.

Tabla 38. Análisis del plano arquitectónico

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	
<u>Categoría</u>	"C" – Vivienda Multifamiliar	
<u>Sistema Estructural</u>	Concreto armado - Muros Estructurales	
<u>Cargas</u>	Carga Viva (CV)	
	Vivienda	200 kg/m ²
	Estacionamiento	250 kg/m ²
	Techo	100 kg/m ²
	Carga Muerta (CM)	
	Contrapiso	75 kg/m ²
	Enlucido	75 kg/m ²
	Cobertura	100 kg/m ²
	Tabiquería mínima	100 kg/m ²
<u>Materiales</u>	Losa aligerada	300 kg/m ²
	Losa maciza	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Vigas	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Columnas	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Placas	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Tanque elevado	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Cimentación	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Escalera	C.A $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
	Tabiquería	Albañilería hueca 1450 kg/m ³
	Acero	Grado 60° - 4200 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

4.3. Identificación de objetivos y usos BIM

En el desarrollo del proyecto en su contexto general se necesitará establecer objetivos que determinaran los usos BIM más provechosos y beneficiosos además de determinar cuáles podrían descartarse.

Tabla 39. Objetivos del proyecto para determinar usos BIM.

Prioridad (1-3) 1=Mas importante	Objetivos del proyecto	Potenciales usos BIM
2	Monitorear de manera efectiva el progreso del diseño para asegurar que se logre el objetivo para el inicio de la construcción.	Revisiones de diseño,
1	Optimización de la estructura	Análisis estructural
3	Realice un seguimiento preciso del progreso de la construcción.	Planificación de fases (modelado 4D)
3	Revise con precisión el impacto de los cambios en los costos de manera oportuna.	Autorización de diseño, Estimación de costos,
1	Garantizar una alta calidad de la documentación de diseño.	Autorización de diseño, Revisiones de diseño, coordinación 3D.
2	Desarrollar un registro preciso del diseño final del edificio para su uso en futuros proyectos de renovación.	Modelado de registros, coordinación 3D.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Usos BIM potenciales en el proyecto

Operaciones	Construcción	Diseño	Planificación
Modelado de registros			
	Coordinación 3D		
		Creación de diseño Análisis estructural Revisión de diseño	
			Planificación de fases Estimación de costos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Hoja de selección de usos BIM

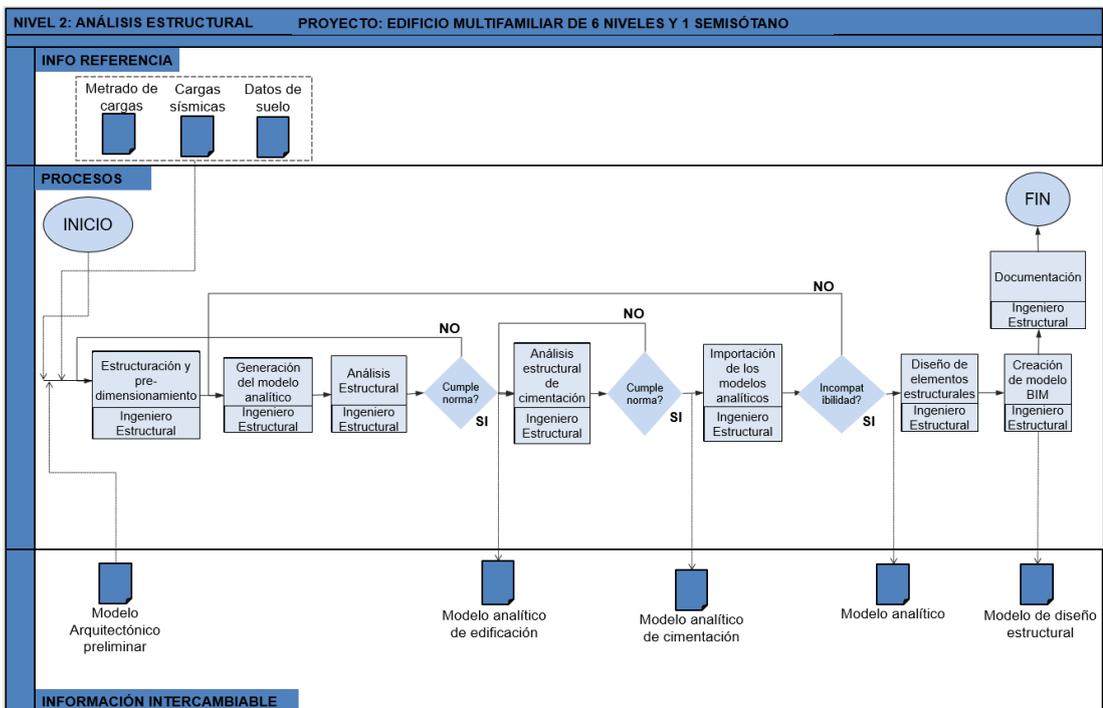
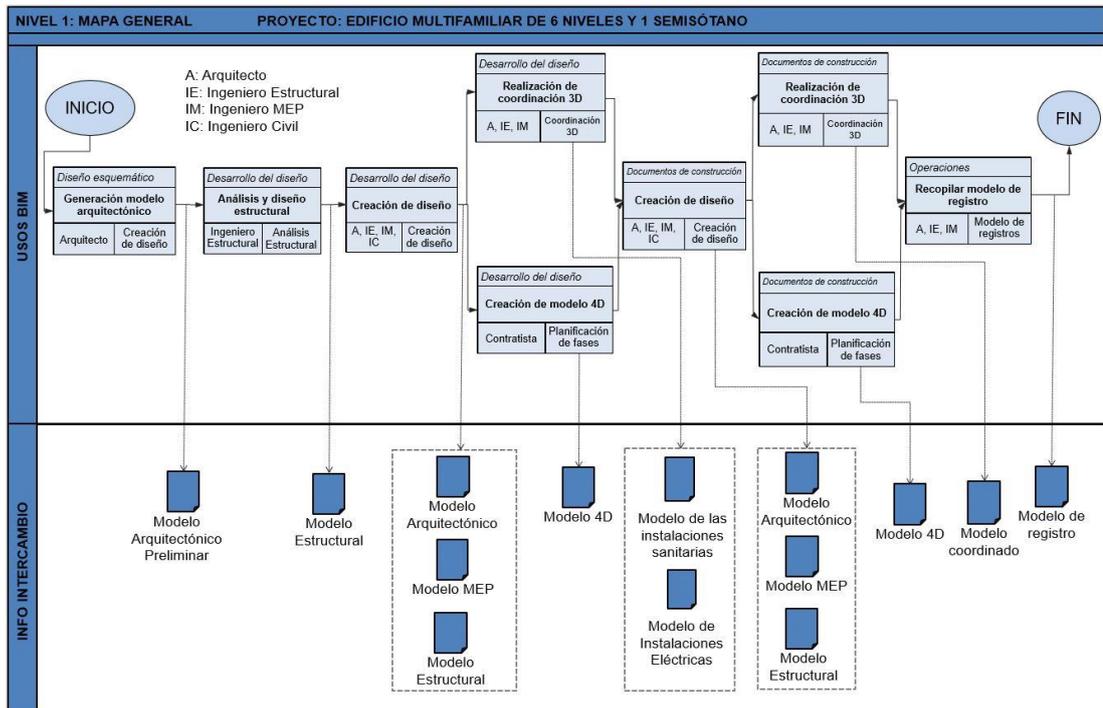
Usos BIM	Valor para el proyecto	Parte responsable	Valor de parte responsable	Calificación de capacidad			Recursos adicionales / Competencias requeridas para implementación	Notas	Proceder con uso BIM
				Escala 1-3 (1 = bajo)					
	Alto/Medio/Bajo		Alto/Medio/Bajo	R*	C*	E*			
Estimación de costos	Medio	Contratista	Alto	1	1	1			NO
Planificación de fases	Alto	Contratista	Alto	1	3	3	Implementación de software BIM de visualización		SI
Creación de diseño	Alto	Arquitecto	Alto	3	3	3			SI
		Ingeniero Estructural	Alto	3	3	3			
		Ingeniero MEP	Medio	3	3	3			
		Ingeniero Civil	Medio	2	2	2			
Análisis estructural	Alto	Ingeniero Estructural	Alto	3	3	3			SI
Revisión de diseño	Medio	Arquitecto	Bajo	2	1	1			NO
Coordinación 3D	Alto	Arquitecto	Alto	3	3	3			SI
		Ingeniero Estructural	Alto	2	2	2			
		Ingeniero MEP	Medio	2	2	2			
Modelado de registros	Medio	Arquitecto	Alto	3	3	2			SI
		Ingeniero Estructural	Medio	3	2	3			

R*: Recursos / C*: Competencia / E*: Experiencia

Fuente: Elaboración propia

4.4. Diseño del proceso de implementación BIM

Después de la definición de los usos BIM se procederá a plasmarlo en mapas de procesos generales y mapas detallados. En el mapa general se plasmarán todos los usos BIM a utilizar en el proyecto y como estos se relacionan, además de indicar la información de intercambio que se espera obtener en cada proceso. La presente investigación se centrará en el desarrollo del uso BIM análisis estructural y cada uno de sus procesos de forma secuencial como se muestra en la Figura 86.



4.5. Estructuración

Para la estructuración de la edificación se estuvo condicionado por los estacionamientos presentes en el semisótano, debido a ello las columnas debieron tener una mayor longitud en el eje horizontal con respecto al eje vertical, para proporcionar un mayor ancho a los estacionamientos. Por lo tanto, la colocación de placas también estuvo condicionada a que solo sean colocadas en los perímetros de la edificación siendo las placas del ascensor los únicos que se ubicaban en el centro izquierdo de la edificación.

La estructuración está conformada por 5 ejes verticales (0,1,1A,2,3 y 4) y 8 ejes horizontales (A,B,B1,C,C1,D,E y F) aunque no todos estos ejes continúan hasta el último piso como es el caso del eje vertical "0" que solo será para la ubicación de las columnas que soportaran los estacionamientos a nivel de calle y no todos los ejes atravesaran de extremo a extremo a la edificación como es el caso de los ejes 1,1A,D,C,B1 y C1.

El primer nivel está conformado por 3 niveles diferentes, el NPT +1.95 correspondía al techo de ingreso de los autos hacia los estacionamientos del semisótano, el NPT +0.00 correspondía a los estacionamientos a nivel de calle y un NPT +1.50 para el resto del piso. Los niveles del segundo piso al sexto piso son típicos teniendo todo el mismo nivel en toda su área.

Otra diferenciación entre el primer nivel y el resto de los niveles es que en el primero se tiene ausencia de 2 vigas por motivo de los estacionamientos a nivel de calle. Estas vigas están ubicadas en los ejes verticales 1 y 1A, el primero comprendido entre los ejes horizontales B y C; y el segundo entre los ejes horizontales E y F.

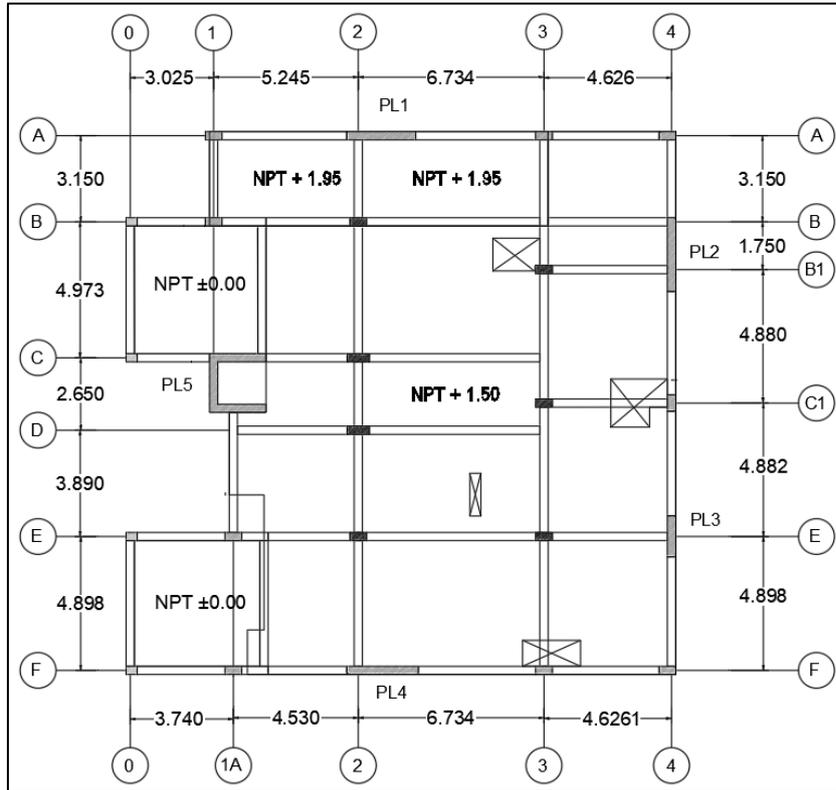


Figura 87. Estructuración del 1° Nivel
Fuente: Elaboración propia

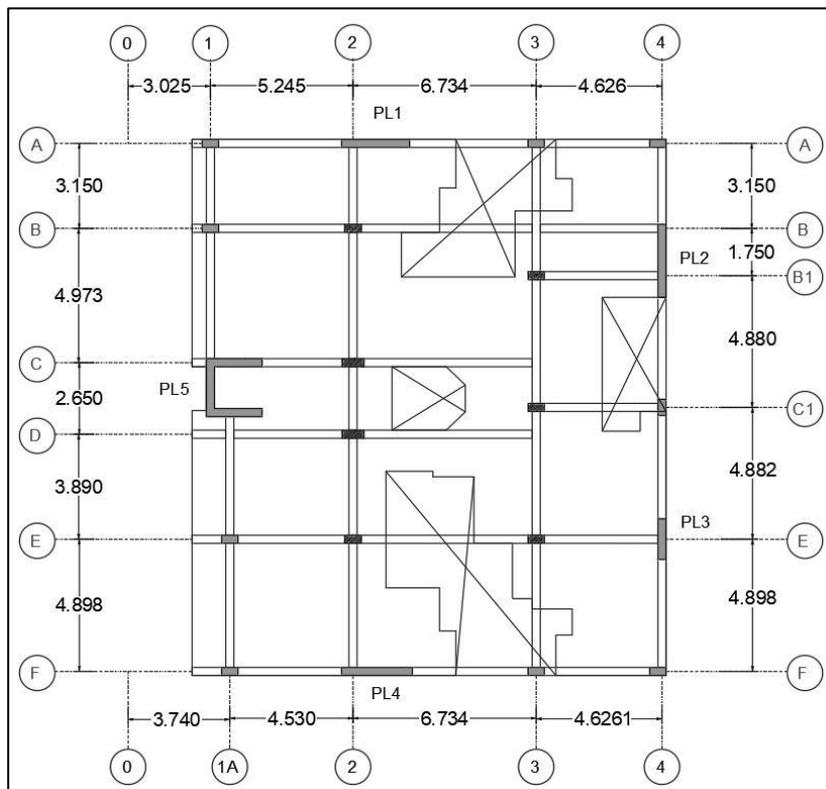


Figura 88. Estructuración de Nivel típico
Fuente: Elaboración propia

4.6. Predimensionamiento

4.6.1. Losa aligerada en una dirección

Se consideraron la mayor luz libre entre ejes verticales que es 6.73 m y la mayor luz libre entre ejes horizontales que es 4.97 m, tomando el menor de estos y dividiéndolo entre 25 obtendremos un espesor de losa aligerada de 20 cm que se considerará para todos los niveles.

4.6.2. Losas macizas

Para la losa de los estacionamientos ubicados en el primer piso se considerará losas macizas porque se requerirá un espesor menor al de la losa aligerada. Se tomaron los lados mayores de los dos paños tanto horizontales como verticales, lo cuales fueron 4.973m y 4.85m, para lo cual la Tabla 10 nos proporciona un espesor de 15 cm para ambos paños.

4.6.3. Vigas

Las longitudes mayores entre ejes horizontales es 4.973 m lo que nos proporciona un peralte de 40 cm y la mayor longitud entre ejes verticales es 6.734, sin embargo, estas vigas presentan vacíos importantes; por lo que se consideraron que soportaran una cobertura liviana y debido a las alturas de entre piso mínimas también se optó por un peralte de 40 cm en esta dirección. Para el ancho de la viga se considera una dimensión de 30 cm para conectar de forma simetría a las columnas, placas y ascensor. Esto nos da una viga de 30 x 40 cm tanto para los ejes horizontales como verticales.

4.6.4. Columnas

La edificación es de una categoría C, por lo tanto, se considera un peso estimado de 1 Tn/m². En función a los ejes se establecieron las áreas tributarias para todos los elementos verticales y se escogió la mayor. Se consideró el descuento de las áreas vacías, escalera y ascensor.

Las áreas tributarias se basaron en la distribución del segundo nivel por ser típica hasta el último nivel. Se consiguió así que el área tributaria mayor es de 26.41 m² lo cual nos proporciona un área de columna de 1676.825 cm², lo que se tradujo a una sección de columnas de 30 x 60 cm, que nos proporcionan 1800 cm².

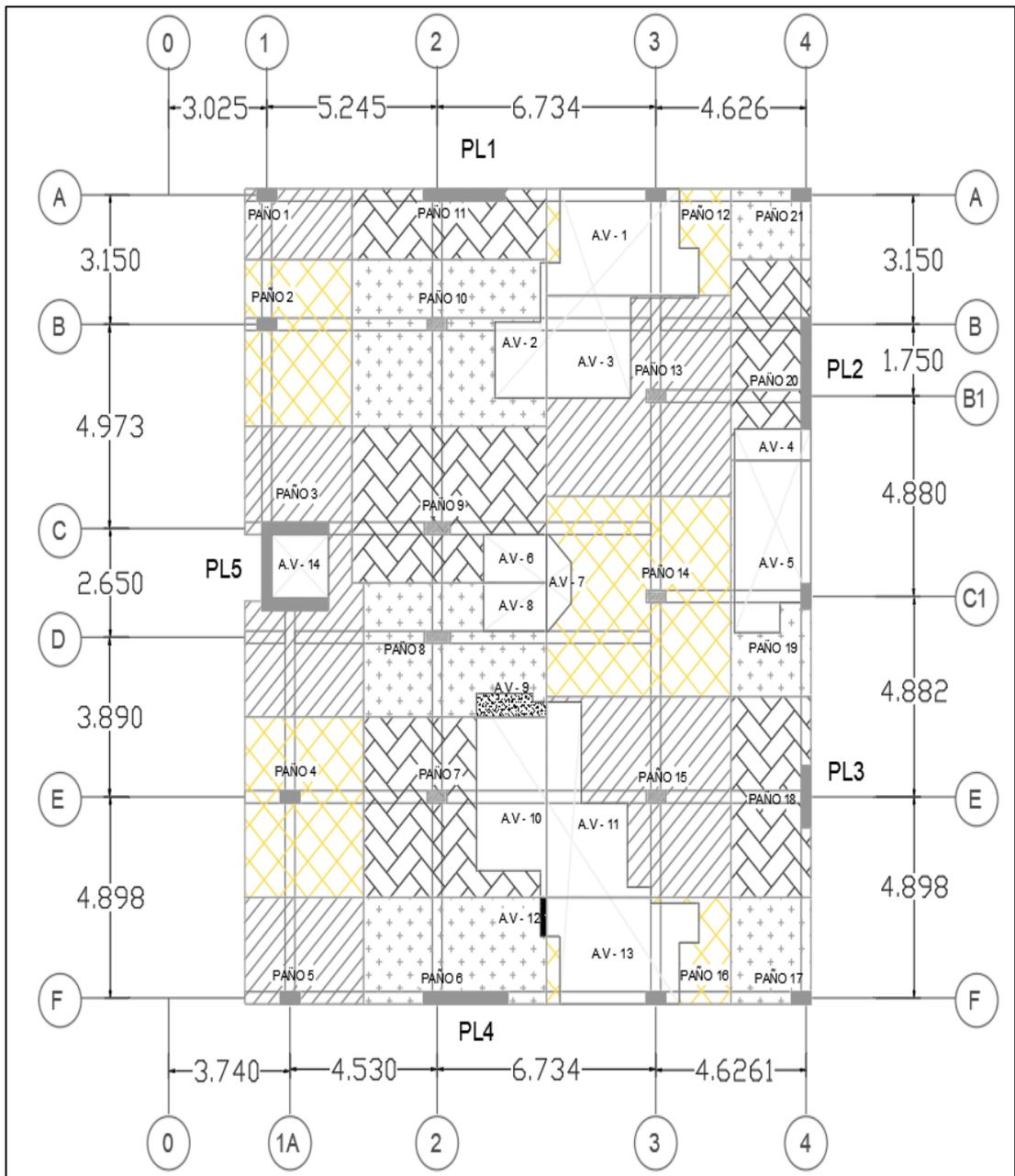


Figura 89. Áreas tributarias
Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Áreas tributarias por paños

Nº Paño	Área de Paño (m ²)	Nº Vacío	Área de Vacío (m ²)	AREA TOTAL (m ²)	Característica
PAÑO 1	5.69	-	-	5.69	
PAÑO 2	13.39	-	-	13.39	
PAÑO 3	23.67	A.V - 14	-2.71	20.95	
PAÑO 4	16.06	-	-	16.06	
PAÑO 5	9.50	-	-	9.50	
PAÑO 6	14.64	A.V - 12	-0.18	14.46	
PAÑO 7	24.75	A.V - 10	-8.20	16.55	
PAÑO 8	18.42	A.V - 8 A.V - 9	-3.72	14.69	
PAÑO 9	22.83	A.V - 6	-2.28	20.55	
PAÑO 10	24.32	A.V - 2	-3.20	21.12	
PAÑO 11	10.33	-	-	10.33	
PAÑO 12	14.77	A.V - 1	-10.59	4.18	
PAÑO 13	27.77	A.V - 3	-6.58	21.19	
PAÑO 14	27.72	A.V - 7	-1.32	26.41	Mayor Área
PAÑO 15	27.77	A.V - 11	-8.56	19.21	
PAÑO 16	14.76	A.V - 13	-10.41	4.35	
PAÑO 17	6.40	-	-	6.40	
PAÑO 18	12.04	-	-	12.04	
PAÑO 19	14.18	A.V - 5	-9.16	5.02	
PAÑO 20	12.05	A.V - 4	-1.80	10.25	
PAÑO 21	4.25	-	-	4.25	

Fuente: Elaboración propia

4.6.5. Muros estructurales

Se calculó una fuerza preliminar de la cortante basal $V= 368.16$ Tn. Se consideró el ancho de 30 cm, estribos de 3/8" en dos ramas y 20 cm de separación entre estos. Con estos datos se obtuvo un valor de $V_c=18.43$ Tn y un valor para $V_s=23.86$ Tn que sumados no proporciona un valor de $V_n=42.28$ Tn.

Finalmente nos quede una ecuación así $V \leq \phi \cdot V_n \cdot L$ donde la incógnita será L la cual al despejar nos da un valor de $L=10.24$ m, esto quiere decir que para cada dirección de análisis se estima un valor cercano a este. Este valor es referencia y no es definitivo, se deberá ejecutar su evaluación en los análisis sísmicos, ya que si no cumpliera se tendría que aumentar la longitud por dirección o si cumpliera por un gran margen estos podrían reducirse para optimizar.

4.6.6. Tanque Elevado

Se calculó la dotación total de la edificación que para una vivienda multifamiliar está basado en el número de dormitorios por departamento y por el área de estacionamiento.

Tabla 43. Cálculo de dotación

Ambiente	Área (m ²)	N° de departamentos	Dotación (L/d)	Parcial (L/d)
Agua Fría				
Departamentos de 3 dormitorios	-	1	1200	1200
Departamentos de 2 dormitorios	-	21	850	17850
Departamentos de 1 dormitorios	-	1	500	500
Agua Caliente				
Departamentos de 3 dormitorios	-	1	390	390
Departamentos de 2 dormitorios	-	21	250	5250
Departamentos de 1 dormitorios	-	1	120	120
Estacionamiento	440	-	2	880
			TOTAL	26190

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 43 la dotación calculada es de 26 190 litros diarios que serían 26.19 m³ y según la norma IS.010 para el tanque elevado es necesario 1/3 de esa capacidad. Por lo tanto, el tanque elevado tendrá una capacidad de 8.73m³. El área propuesta será 8.07 m² entonces la altura útil será de 1.1 m que sumado a la altura libre de 0.50 m y el espesor de la tapa del tanque de 20 cm nos da una altura total de 1.80 m.



Figura 90. Vista en elevación del tanque elevado
Fuente: Elaboración propia



Figura 91. Vista en planta del tanque elevado
Fuente: Elaboración propia

4.6.7. Escalera

La escalera cuenta con una longitud de 1.50 m y un ancho de descanso de 1.20 m, por lo tanto, el número de contrapisos necesarios es 13, el número de pasos es 12, el número de pasos en un tramo de la escalera será de 6, el espesor de la garganta y del descanso serán de 15 cm. Como datos adicionales se calculó el ángulo $\Phi=30.96^\circ$ obteniendo un espesor medio de escalera de 17.49 cm y finalmente una altura media de 26.24 cm.

4.7. Generación del modelo analítico

Con la estructuración de la edificación y el predimensionamiento de los elementos resistentes a las fuerzas sísmicas, se procedió a creación el modelo analítico.

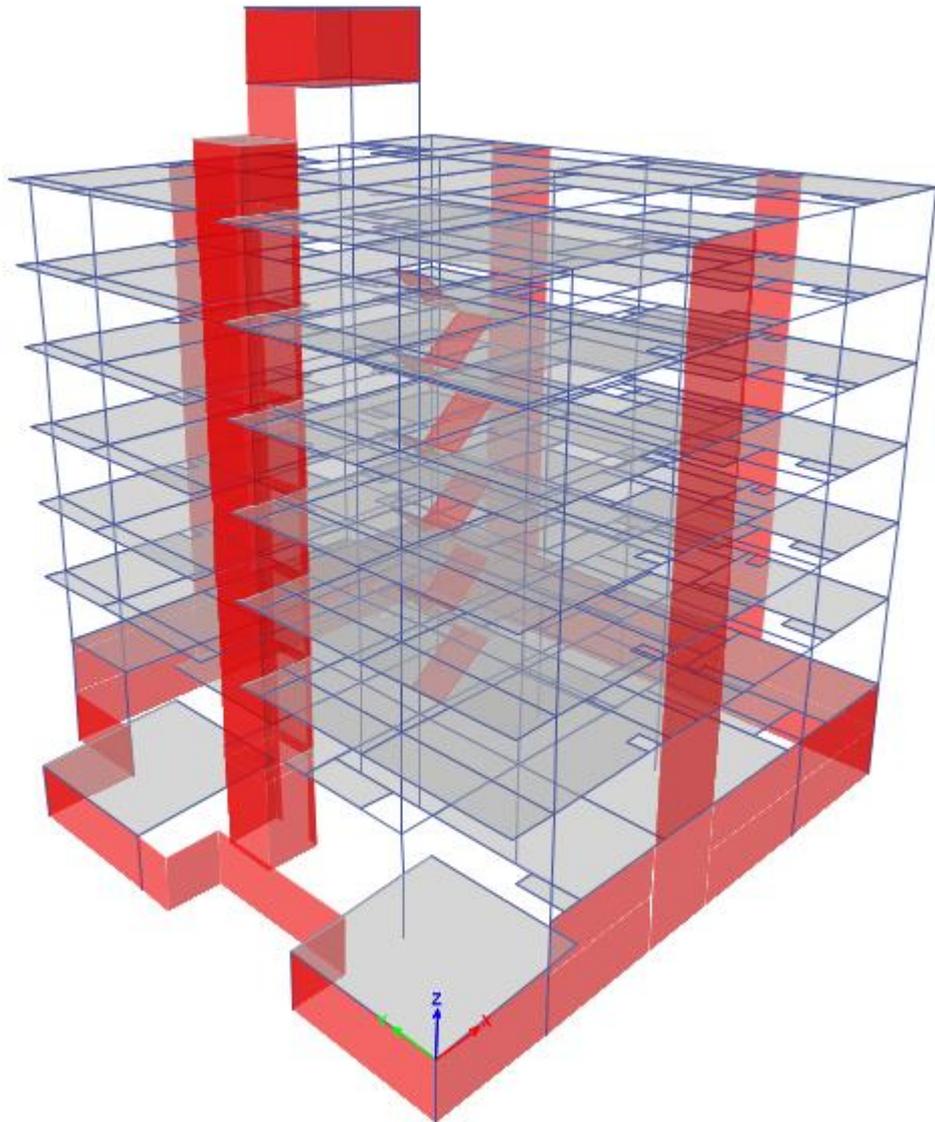


Figura 92. Creación del modelo analítico de la edificación
Fuente: Elaboración propia

4.7.1. Metrado de cargas

4.7.1.1. Metrado de cargas distribuidas en área

Las losas aligeradas son las encargadas de recibir todas las cargas que en ellas hay de manera distribuida, así tenemos la carga viva que básicamente son personas u objetos que pueden entrar y salir de la edificación. También tenemos cargas muertas de los acabados como del contrapiso y enlucido; y también por la tabiquería repartida en la cual deberemos calcular su peso real para poder distribuirlo en el área de la losa. Para calcular la tabiquería repartida vamos a identificarlas en el plano de arquitectura y posteriormente hacer su metrado respectivo.

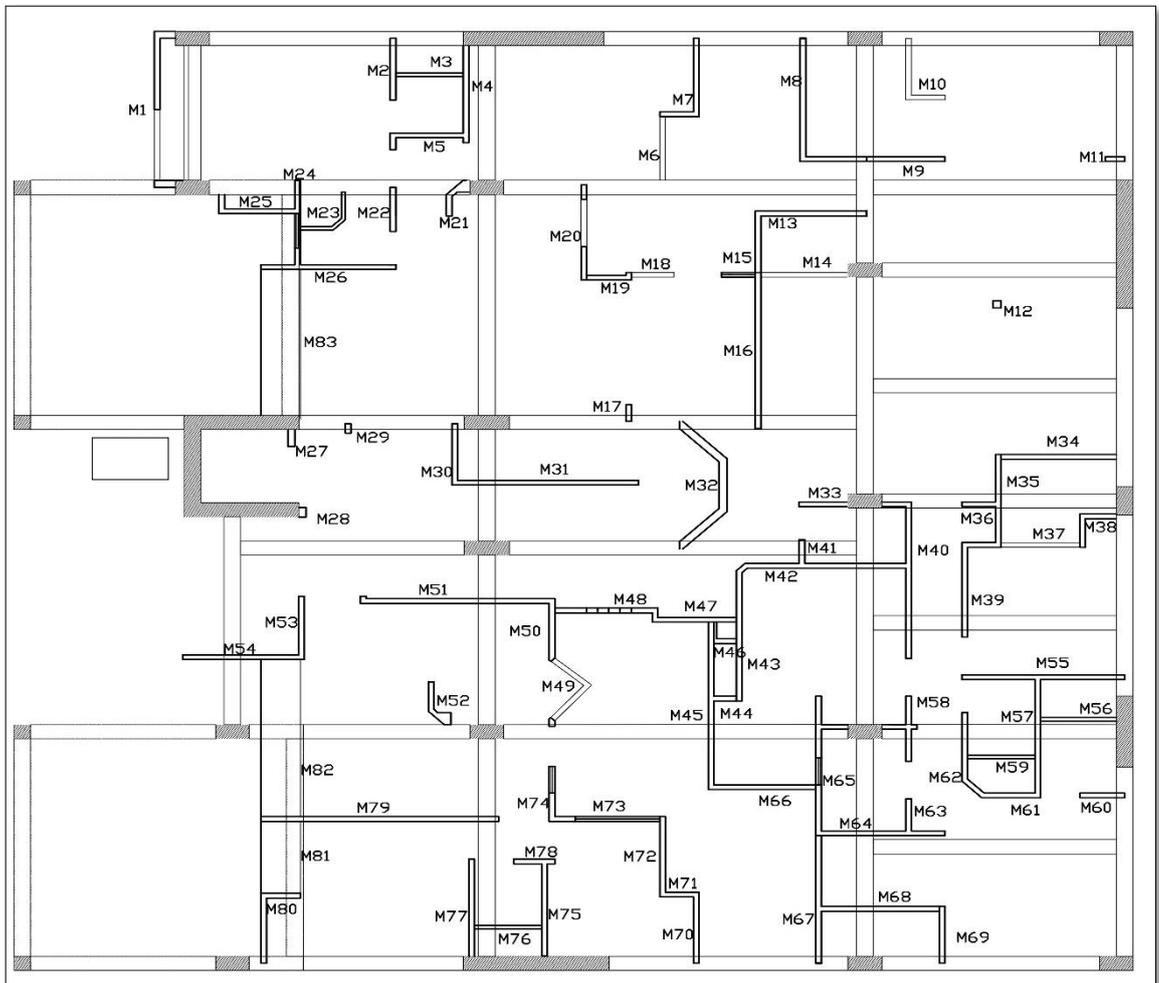


Figura 93. Distribución de tabiquería en el 1er nivel

Fuente: Elaboración propia

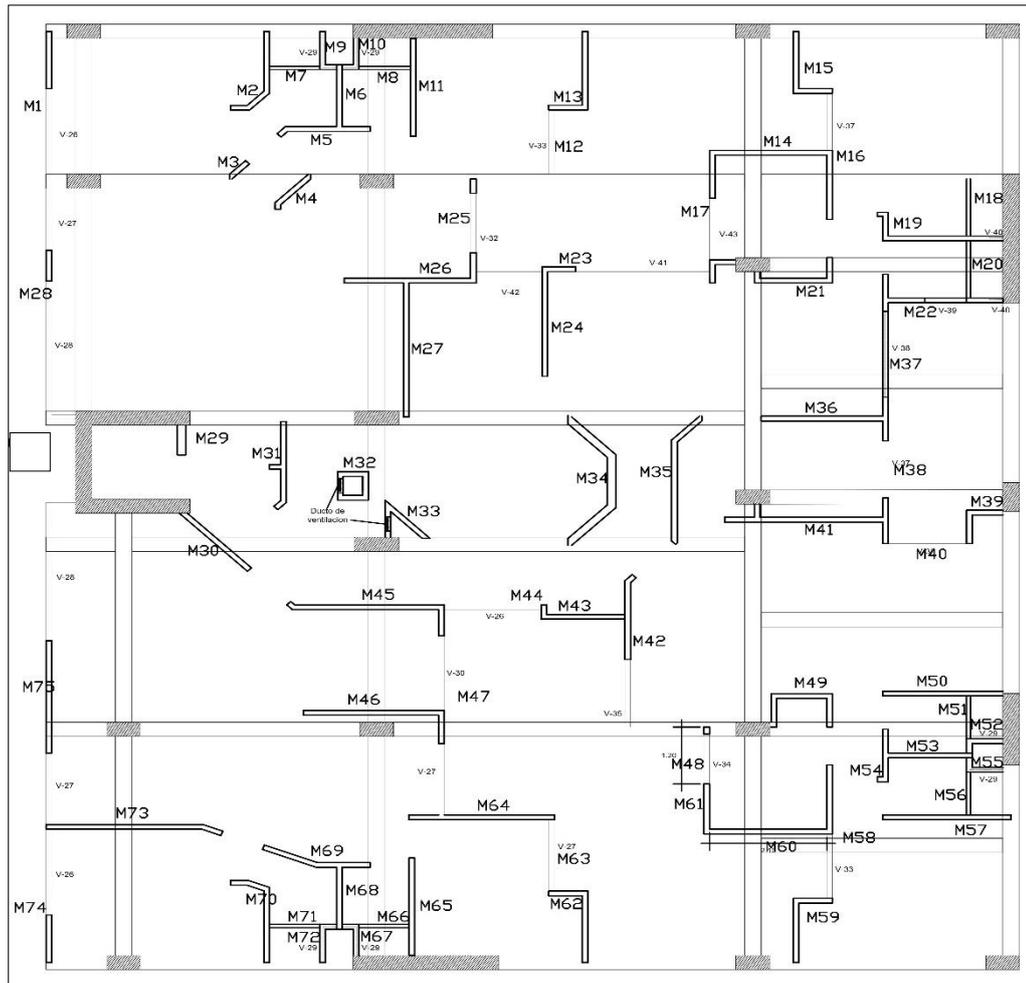


Figura 94. Distribución de tabiquería del 2do al 6to nivel
Fuente: Elaboración propia

Encontramos que el metrado en el primer nivel es un volumen de 43.63 m³ de tabiquería repartida y para los niveles del segundo al sexto piso un volumen de 49.72 m³ de tabiquería repartida por cada nivel. Posteriormente estos se multiplicarán por el peso específico del ladrillo pandereta 1450 kg/m³ y el resultado lo dividiremos entre el área techada para obtener finalmente una carga distribuida de 228.23 kg/m² para el primer nivel y de 240.43 kg/m² para los niveles desde el segundo al sexto. Estas cargas distribuidas serán sumadas a las demás cargas muertas de la edificación para finalmente plasmarlas en las losas aligeradas.

Tabla 44. Metrado de cargas en losas

	Estacionamientos		L.A 1N		L.A 2-6N		L.A Techo	
	CM (kg/m ²)	CV (kg/m ²)	CM (kg/m ²)	CV (kg/m ²)	CM (kg/m ²)	CV (kg/m ²)	CM (kg/m ²)	CV (kg/m ²)
Sobrecarga	-	250	-	200	-	200	-	100
T.R	100	-	240.43	-	228.23	-	-	-
Contrapiso	75	-	75	-	75	-	-	-
Enlucido	75	-	75	-	75	-	75	-
Cobertura	-	-	-	-	-	-	100	-
TOTAL	250	250	390.43	200	378.23	200	175	100

Fuente: Elaboración propia

4.7.1.2. Metrado de cargas distribuidas linealmente

Son cargas muertas que afectan directamente a las vigas como los muros perimetrales que estarán ejerciendo su peso de manera constante sobre ellas. Para el cálculo de las cargas distribuidas lineales multiplicaremos el espesor del ladrillo por la altura de entre piso y finalmente por el peso específico del ladrillo, así tenemos que para nuestra edificación diferentes cargas distribuidas linealmente en función si se encuentra debajo de vigas peraltas o chatas pues la altura del muro cambiará en cada una de ellas.

Tabla 45. Cargas distribuidas linealmente

Variable	Vigas Peraltas	Vigas chatas
Espesor	0.15 m	0.15 m
Altura entre piso	2.1 m	2.3 m
Peso específico	1450 kg/m ³	1450 kg/m ³
TOTAL	456.75 kg/m	500.25 kg/m

Fuente: Elaboración propia

4.8. Análisis estructural

4.8.1. Análisis estático

Zonificación (Z). La edificación se encuentra en el distrito de Ate-Vitarte en la región de Lima, por lo que se encuentra en una zona 4 y por lo tanto $Z=0.45$.

Categoría de la edificación (U). La edificación de nuestro estudio cumple los requisitos para ser clasificada en la categoría C, en el grupo de edificaciones comunes con un valor de $U=1$.

Factor de suelo (S). El suelo donde se ubica la edificación está conformado por afloramiento rocoso según el mapa de microzonificación sísmica de Lima elaborado por el (Centro Peruano-Japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres [CISMID], 2014), por lo tanto, estamos ante la presencia de suelo tipo 1.

Factor de amplificación sísmica (C). Podemos primeramente estimar un valor del periodo en base a la altura de la edificación, con un $T_p= 0.40$ y un $T_l=2.5$. Por lo tanto, se usará un valor de C igual a 2.5.

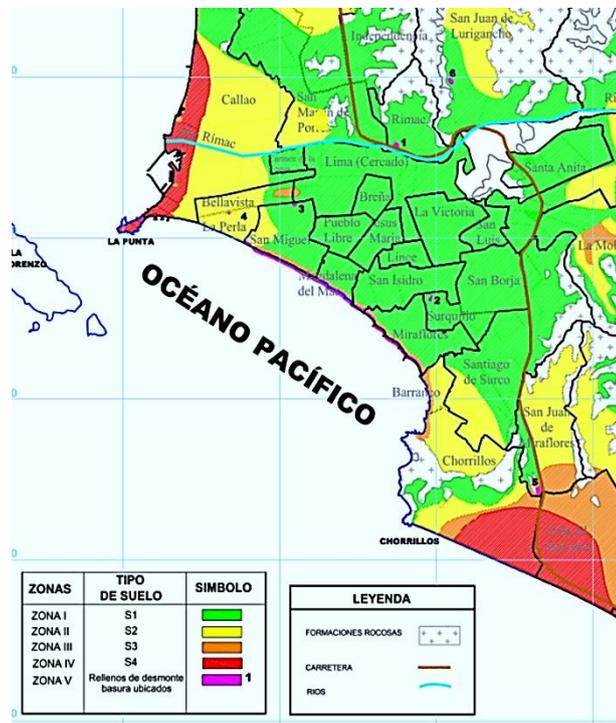


Figura 95. Microzonificación sísmica en Lima y Callao
Fuente: (CISMID, 2005)

4.8.2. Irregularidades

Irregularidad en altura

Irregularidad de rigidez – piso blando

Tabla 46. Irregularidad de rigidez en eje X.

X - X					
N°	Ki	$0.7 \cdot k_i \cdot (i+1)$	$0.8 \cdot \text{promedio}$ ($K_{i+1}, K_{i+2}, K_{i+3}$)	Condición 1	Condición 2
Techo	117.96	-	-	-	-
6	246.72	82.57	-	REGULAR	-
5	348.39	172.70	-	REGULAR	-
4	452.25	243.87	190.15	REGULAR	REGULAR
3	610.46	316.57	279.29	REGULAR	REGULAR
2	967.18	427.32	376.29	REGULAR	REGULAR
1	21113.24	677.03	541.30	REGULAR	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Irregularidad de rigidez en eje Y

Y - Y					
N°	Ki	$0.7 \cdot k_i \cdot (i+1)$	$0.8 \cdot \text{promedio}$ ($K_{i+1}, K_{i+2}, K_{i+3}$)	Condición 1	Condición 2
Techo	127.22	-	-	-	-
6	259.39	89.05	-	REGULAR	-
5	359.75	181.58	-	REGULAR	-
4	451.98	251.83	199.03	REGULAR	REGULAR
3	579.15	316.39	285.63	REGULAR	REGULAR
2	792.12	405.41	370.90	REGULAR	REGULAR
1	10550.33	554.48	486.20	REGULAR	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Irregularidad de resistencia – piso débil

Tabla 48. Irregularidad de resistencia

N°	CORTANTES		DESPL - REL		KL		Δx	Δy	CONDICION	
	X (Tn)	Y (Tn)	X (cm)	Y (cm)	X (Tn / cm)	Y (Tn / cm)	X	Y	X	Y
7	60.04	58.35	0.5090	0.4587	118	127	-	-	-	-
6	133.37	129.49	0.5406	0.4992	247	259	2.09	2.04	REGULAR	REGULAR
5	194.99	189.16	0.5597	0.5258	348	360	1.41	1.39	REGULAR	REGULAR
4	244.80	237.29	0.5413	0.5250	452	452	1.30	1.26	REGULAR	REGULAR
3	282.95	274.05	0.4635	0.4732	610	579	1.35	1.28	REGULAR	REGULAR
2	311.92	301.88	0.3225	0.3811	967	792	1.58	1.37	REGULAR	REGULAR
1	327.26	316.51	0.0155	0.0300	21113	10550	21.83	13.32	REGULAR	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Irregularidad extrema de rigidez

Al no presentar irregularidad de rigidez en el eje X y en el eje Y, ya no es necesario la evaluación de esta irregularidad.

Irregularidad extrema de resistencia

Al no presentar irregularidad de resistencia en los ejes X y Y, ya no es necesario la evaluación de esta irregularidad.

Irregularidad de masa o peso

Tabla 49. Irregularidad de masa o peso

N°	MASAS		1.5 x Pi+1		1.5 x Pi-1		CONDICIÓN ---> 1.5 x Pi+1		CONDICIÓN ---> 1.5 x Pi-1	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Tch	16162.98	16162.98	-	-	-	-	-	-	-	-
6	28967.1	28967.1	-	-	1.00	1.00	-	-	REGULAR	REGULAR
5	29056.17	29056.17	1.00	1.00	1.00	1.00	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
4	29056.17	29056.17	1.00	1.00	1.00	1.00	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
3	29056.17	29056.17	1.00	1.00	0.96	0.96	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
2	30246.3	30246.3	1.04	1.04	0.90	0.90	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
1	33521.44	33521.44	1.11	1.11	-	-	REGULAR	REGULAR	-	-

Fuente: Elaboración propia

Irregularidad de geometría vertical

La irregularidad por geométrica vertical no existe, porque las secciones de los sistemas sismo-resistentes son las mismas en todos niveles.

Discontinuidad en los sistemas resistentes

La irregularidad por discontinuidad en los sistemas resistentes no existe, porque son las mismas en todos los niveles.

Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes

Al no presentar irregularidad por discontinuidad en los sistemas resistentes no es necesario evaluar esta irregularidad.

Irregularidad en planta

Irregularidad torsional

Tabla 50. Irregularidad torsional

N°	MÁX DESL RELATIVOS		DESPL RELATIVO PROMEDIO		CONDICION		CONDICION	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
7	0.0245	0.0219	0.0244	0.0218	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
6	0.0263	0.0239	0.0262	0.0238	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
5	0.0273	0.0252	0.0271	0.0252	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
4	0.0265	0.0251	0.0262	0.0251	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
3	0.0228	0.0233	0.0224	0.0227	1.02	1.03	REGULAR	REGULAR
2	0.0165	0.0189	0.0156	0.0177	1.05	1.07	REGULAR	REGULAR
1	0.00076	0.0018	0.0007	0.0014	1.02	1.35	REGULAR	0.75

Fuente: Elaboración propia

Irregularidad torsional extrema

Tabla 51. Irregularidad torsional extrema

N°	MÁX DESL RELATIVOS		DESPL RELATIVO PROMEDIO		CONDICION		CONDICION	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
7	0.024556	0.021926	0.0244	0.0218	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
6	0.026352	0.023908	0.0262	0.0238	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
5	0.027327	0.025217	0.0271	0.0252	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
4	0.026511	0.025171	0.0262	0.0251	1.01	1.00	REGULAR	REGULAR
3	0.022811	0.023347	0.0224	0.0227	1.02	1.03	REGULAR	REGULAR
2	0.0165	0.018986	0.0156	0.0177	1.05	1.07	REGULAR	REGULAR
1	0.00076	0.001849	0.0007	0.0014	1.02	1.35	REGULAR	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Esquinas entrantes

Al ser una planta rectangular, es continua en todos sus lados de manera que no se presenta irregularidad por esquinas entrantes.

Discontinuidad del Diafragma

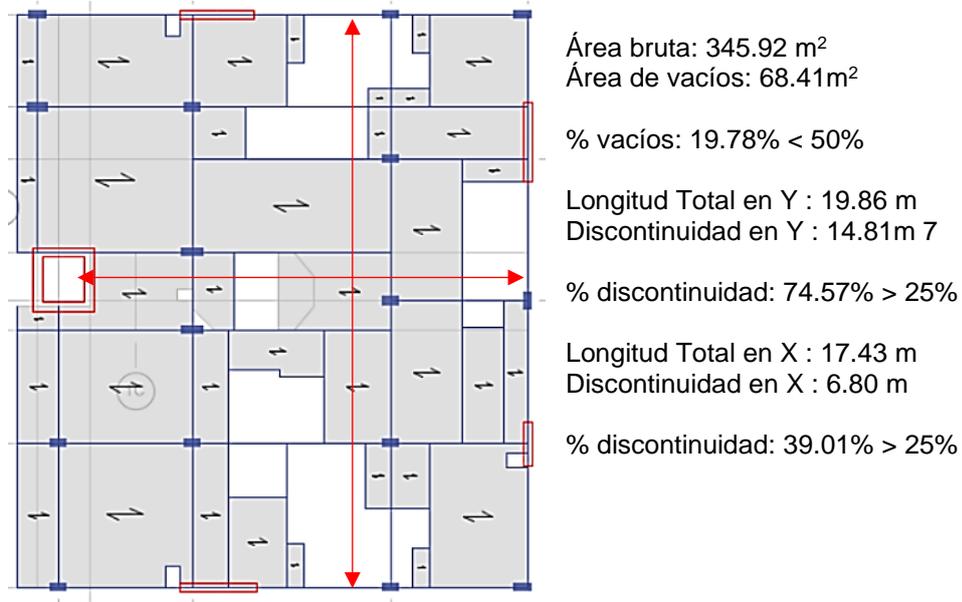


Figura 96. Vista en planta de la edificación
Fuente: Elaboración propia

Sistemas no paralelos

La edificación no presenta sistemas no paralelos, pues todos sus ejes tanto verticales y horizontales son paralelos.

Tabla 52. Resumen de irregularidades

Tipo	Irregularidades	Irregularidad
Irregularidad en altura (Ia)	Irreg. de rigidez	1
	Irreg. de resistencia	1
	Irreg. extrema de rigidez	1
	Irreg. extrema de resistencia	1
	Irreg. de masa o peso	1
	Irreg. de geométrica vertical	1
	Discontinuidad del sistema resistente	1
	Discontinuidad extrema del sistema resistentes	1
Irregularidad en planta (Ip)	Irreg. torsional	0.75
	Irreg. torsional extrema	1
	Esquinas entrantes	1
	Discontinuidad del diafragma	0.85
	Sistemas no paralelos	1

Fuente: Elaboración propia

4.8.3. Análisis dinámico

Con las irregularidades encontradas anteriormente se procedió a la creación de espectro dinámico de pseudo aceleración.

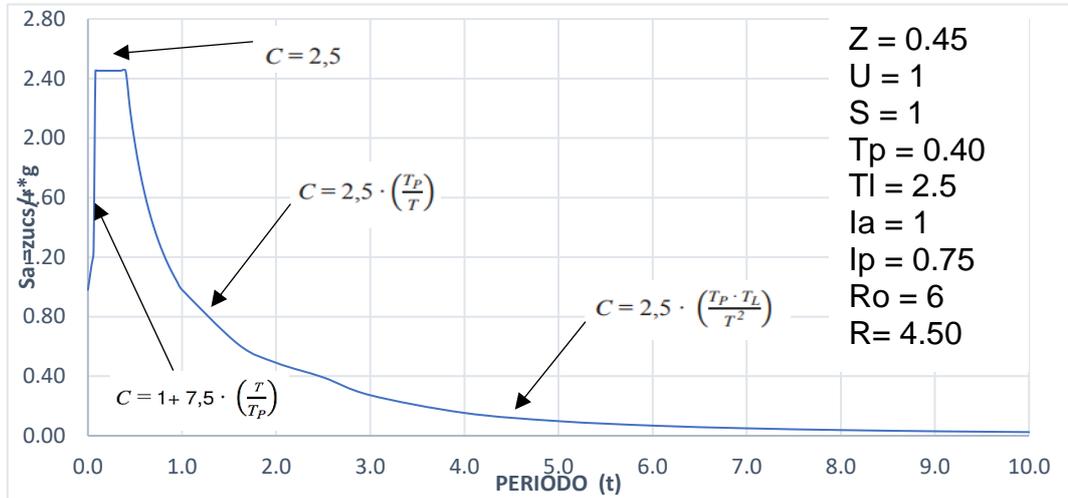


Figura 97. Espectro dinámico de pseudo aceleración
Fuente: Elaboración propia

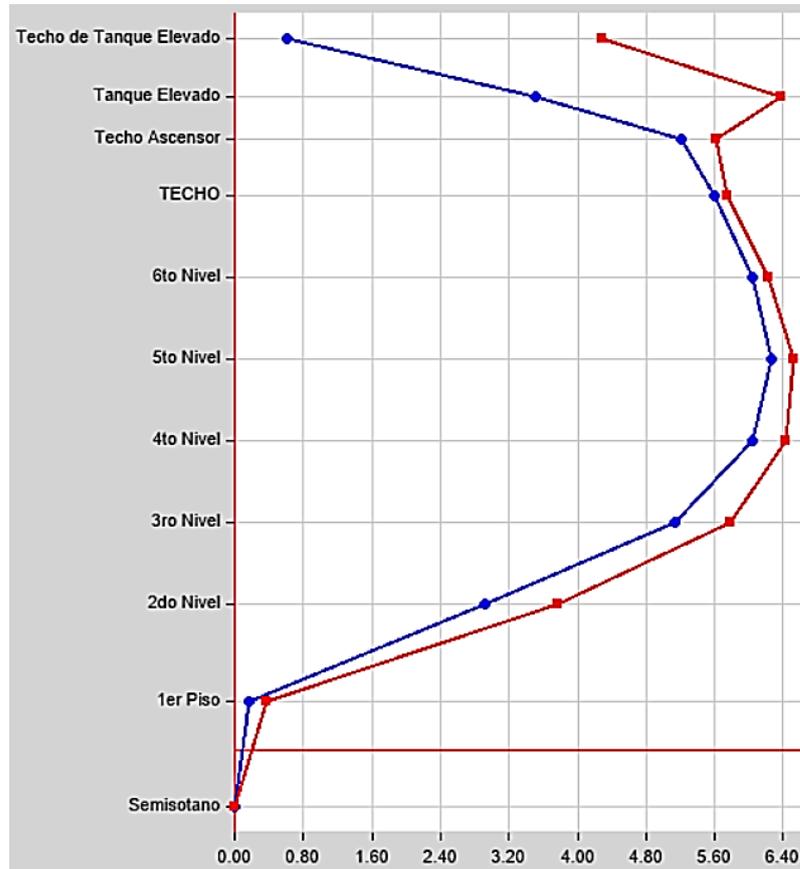


Figura 98. Verificación de derivas del análisis dinámico
Fuente: Elaboración propia

4.9. Análisis estructural de cimentación

Para el dato de la presión admisible del suelo se tomó de referencia el estudio de (CISMID, 2014) donde se opta por una presión admisible del suelo igual a 3 kg/cm².

4.9.1. Predimensionamiento

Después del cumplimiento de las verificaciones del modelo analítico en Etabs se extrajo los pesos de servicio por elemento vertical para poder realizar un predimensionamiento de la cimentación.

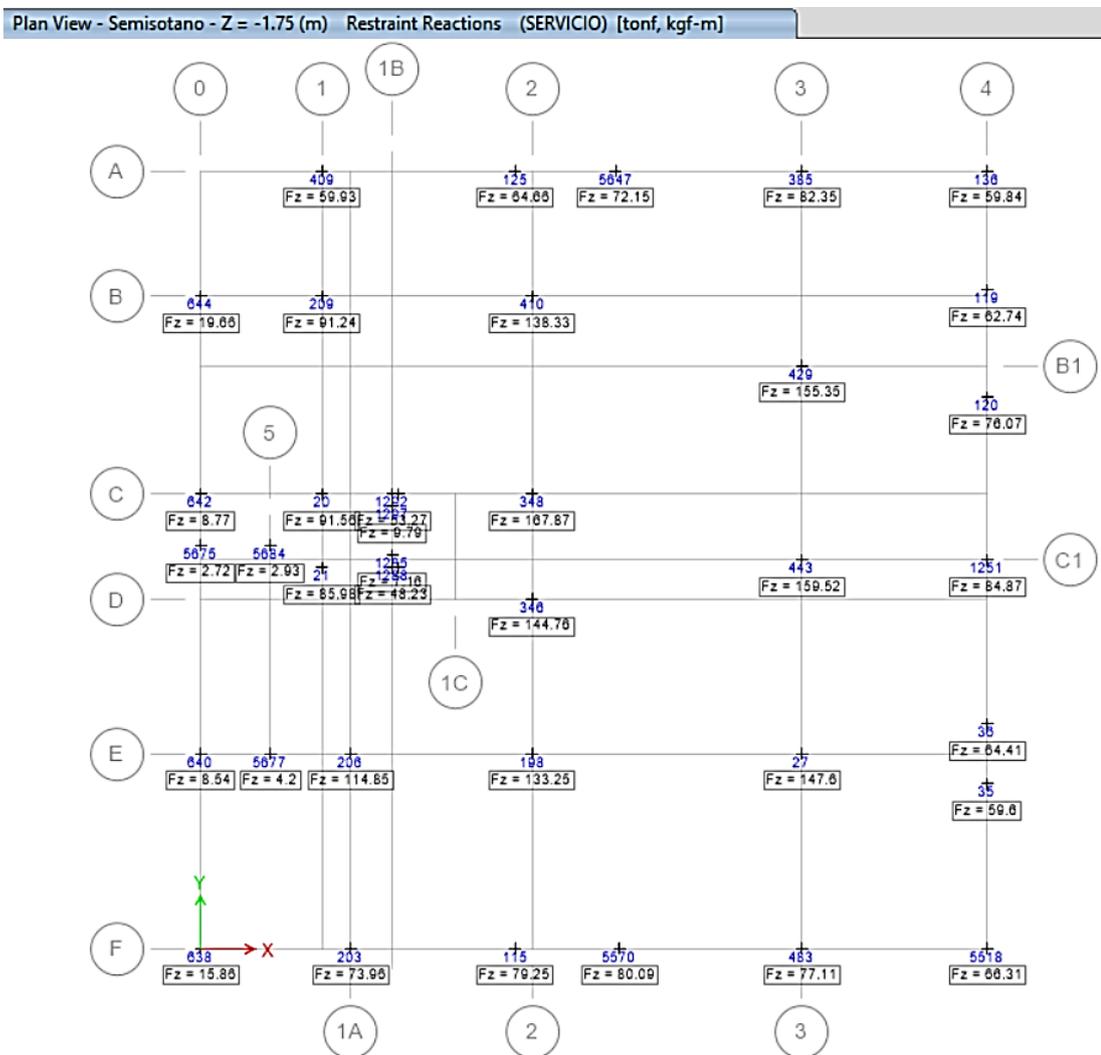


Figura 99. Pesos de servicio
Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Predimensionamiento de zapatas

Lugar :	1 - A	2 - A	3 - A	4 - A	0 - B	1 - B	2 - B	4 - B
<u>Pservicio :</u>	59.93	64.66	72.15	82.35	59.84	19.66	91.24	76.07
<u>Az min :</u>	2	2.16	2.41	2.75	1.99	0.66	3.04	2.54
<u>m =</u>	1	1	1	1.5	1	1	1	1
EJE X <u>b =</u>	0.6	2.5	0.6	0.6	0.4	0.7	0.6	0.3
EJE Y <u>a =</u>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.7
EJE X <u>B =</u>	2.6	4.5	2.6	2.1	1.4	2.7	2.6	1.3
EJE Y <u>L =</u>	1.3	1.3	1.3	1.8	2.3	2.3	2.3	4.7
<u>Az predimensionado :</u>	3.4	5.9	3.4	3.8	3.2	6.2	6	6.1
<u>Verificación</u>	OK							

Fuente: Elaboración propia

4.9.2. Creación del modelo analítico de cimentación

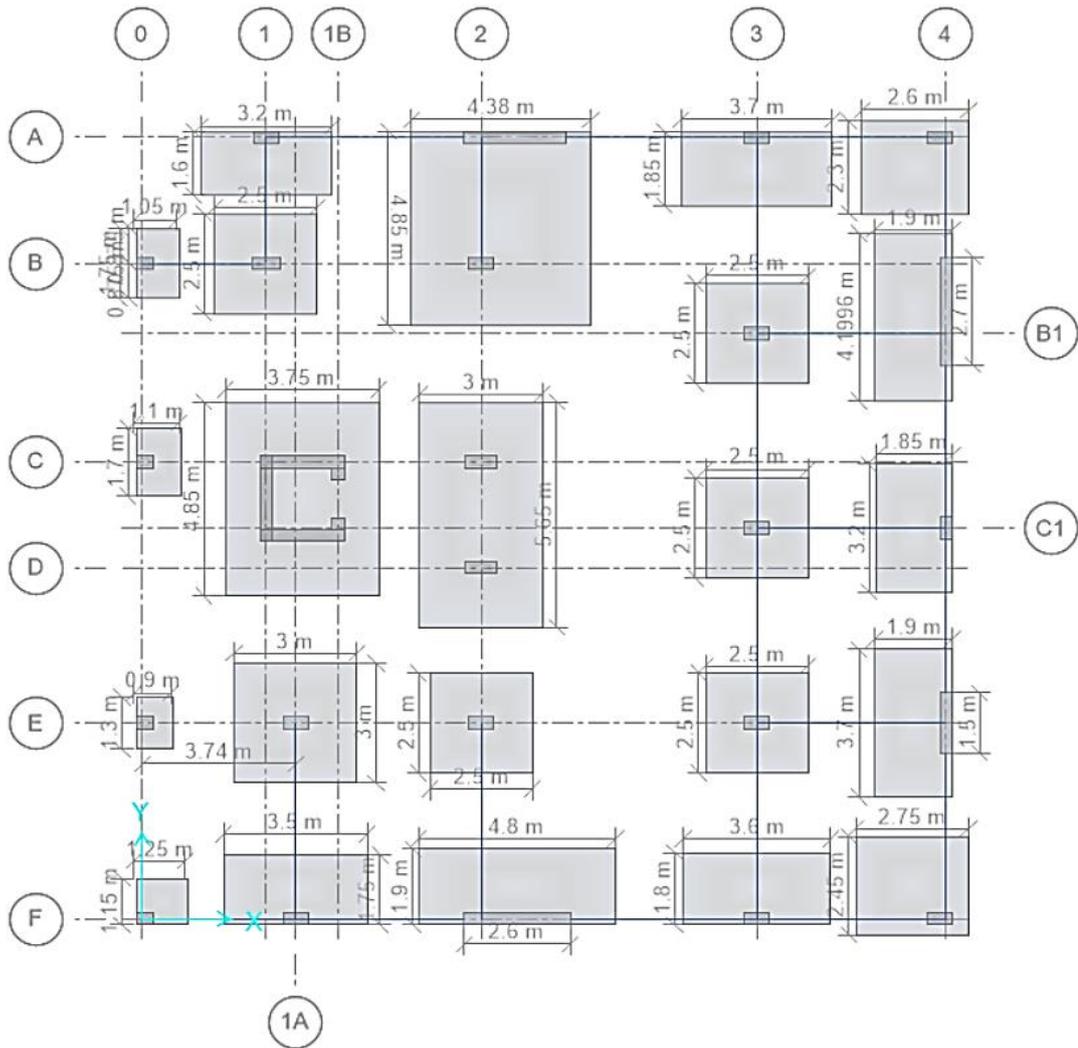


Figura 100. Creación del modelo analítico de cimentación

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a la creación del modelo analítico con una altura de cimentación de $h=90$ cm. Además, se determinó un aumento de áreas de zapata con respecto a su predimensionamiento, la necesidad de zapatas combinadas y conectadas.

4.9.3. Verificación de presiones admisibles del suelo

Se procedió a la verificación de las presiones admisibles del suelo en función de las cinco combinaciones de servicio.

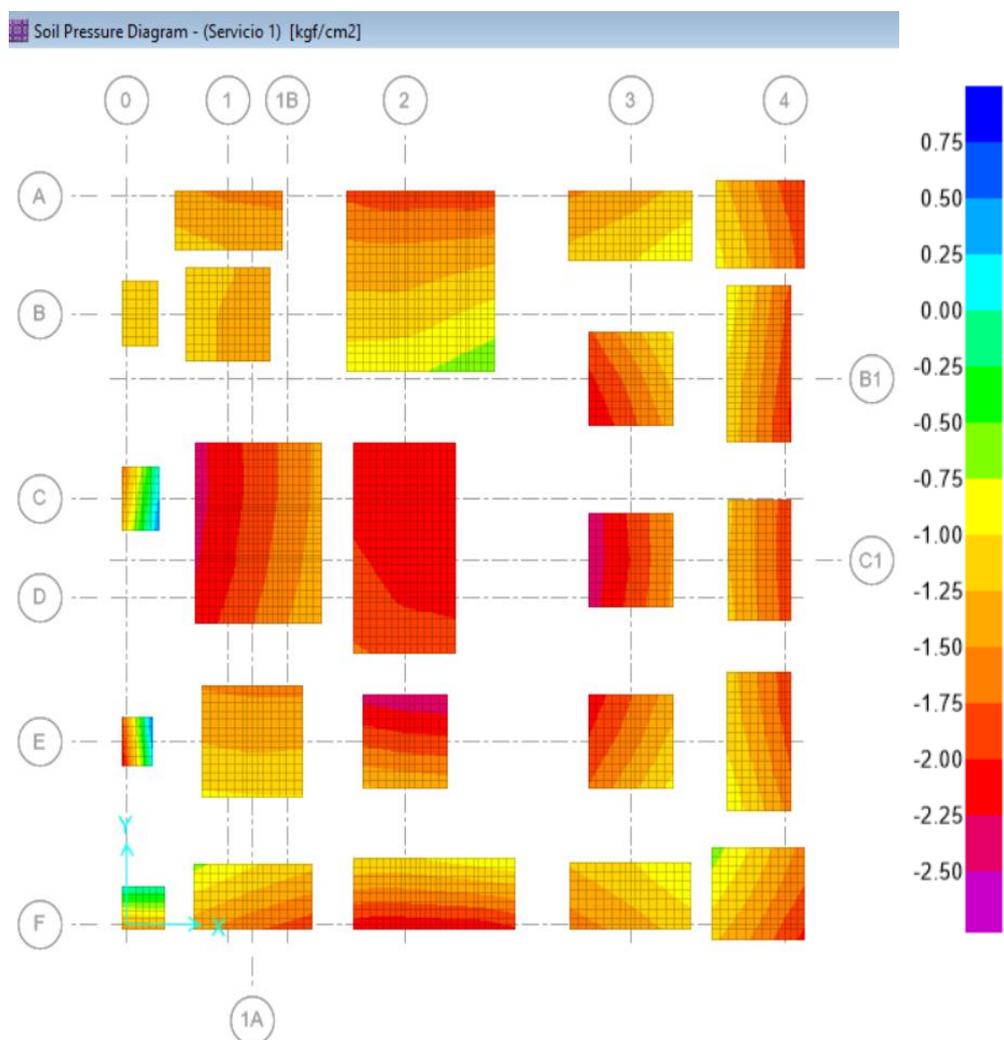


Figura 101. Verificación de presiones - Servicio 1
Fuente: Elaboración propia

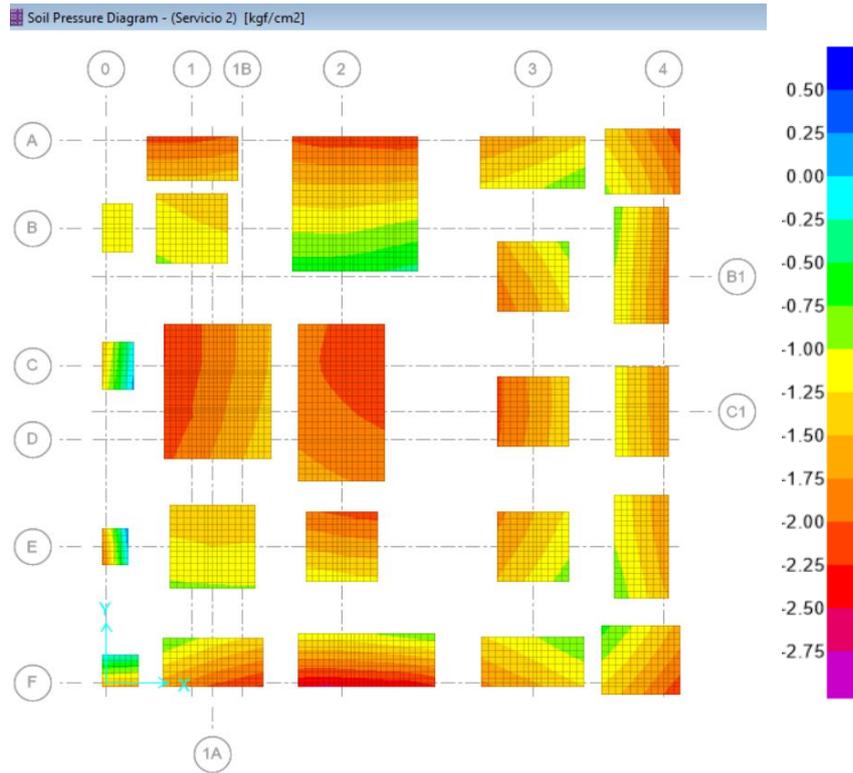


Figura 102. Verificación de presiones - Servicio 2
Fuente: Elaboración propia

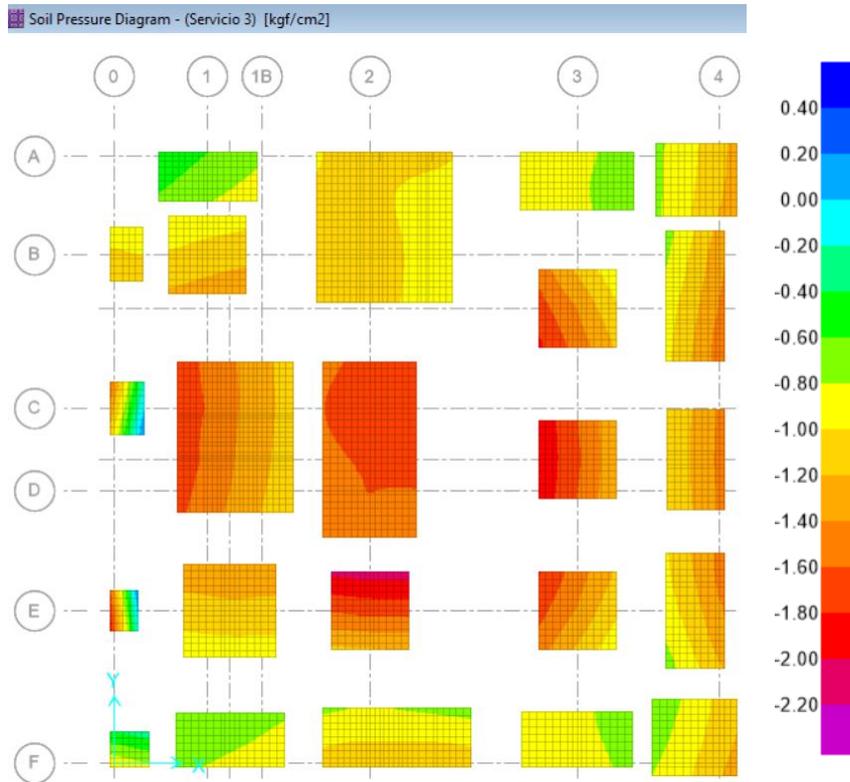


Figura 103. Verificación de presiones - Servicio 3
Fuente: Elaboración propia

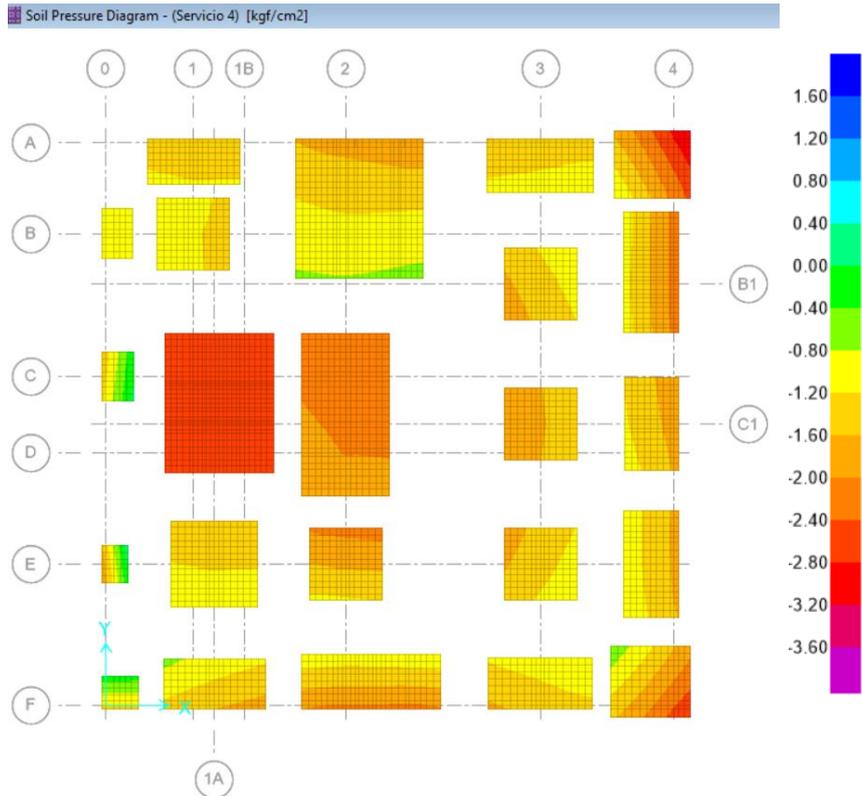


Figura 104. Verificación de presiones - Servicio 4
Fuente: Elaboración propia

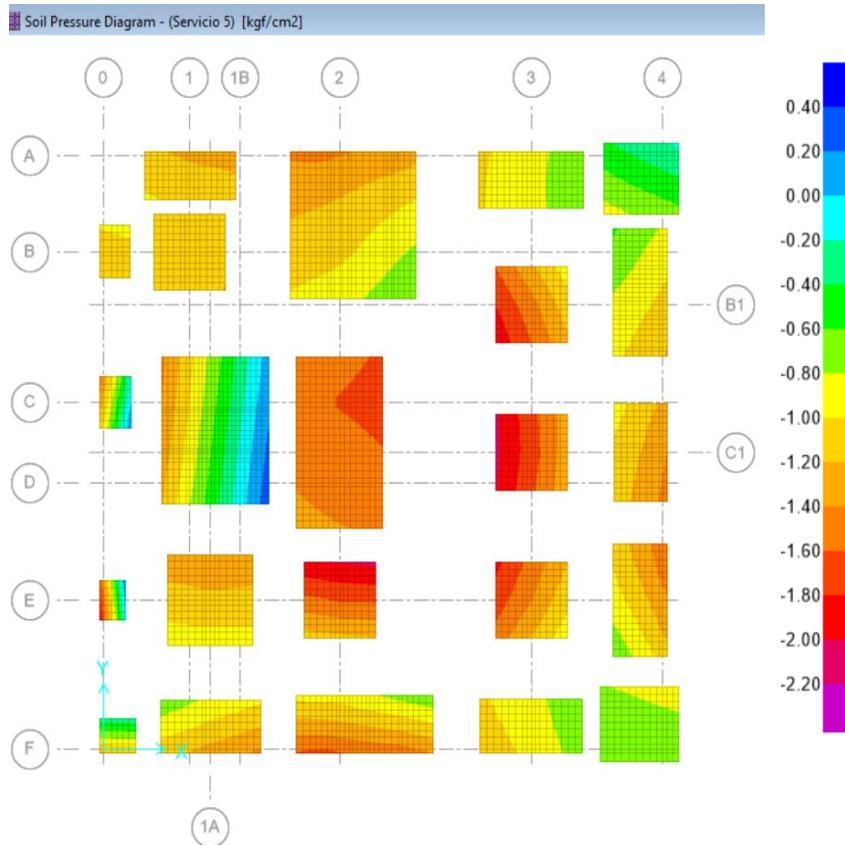


Figura 105. Verificación de presiones - Servicio 5
Fuente: Elaboración propia

4.10. Importación de los modelos analíticos

El proceso para poder realizar una importación de los softwares de análisis estructurales hacia el software BIM es primeramente exportar archivos independientes .EXR de cada uno de ellos. Es necesario la utilización de una plantilla previa de Revit Estructuras que contengan las mismas secciones de los modelos analíticos. Además de la herramienta indispensable del plugin CSIxRevit 2021 instalada en el software BIM.

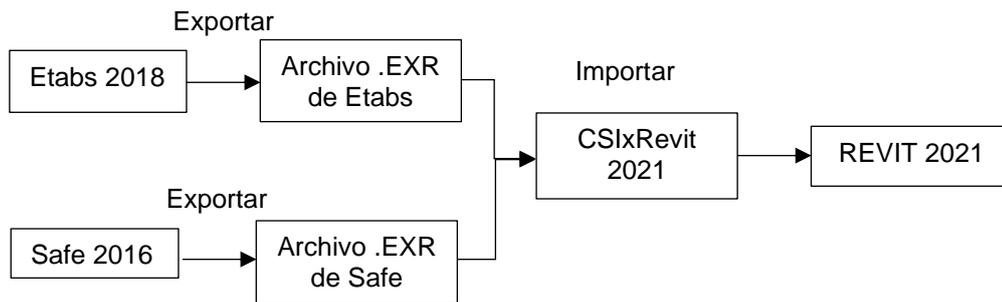


Figura 106. Proceso de importación
Fuente: Elaboración propia

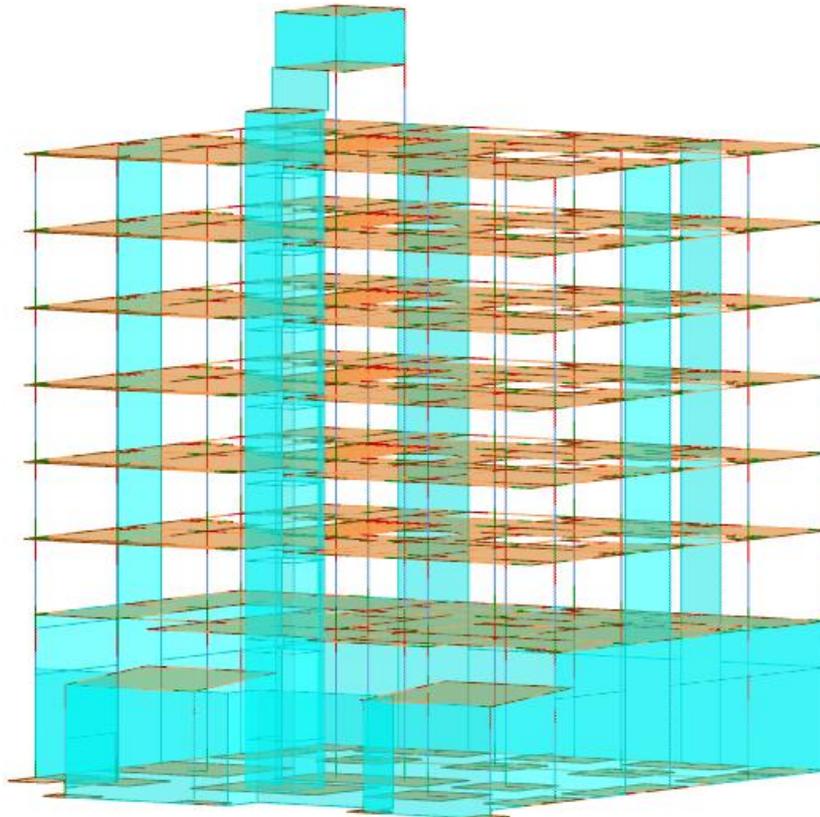


Figura 107. Modelo analítico importado
Fuente: Elaboración propia

4.11. Diseño de los elementos estructurales

4.11.1. Losa aligerada en una dirección

Debido a la complejidad de la losa aligerada y a la cantidad de áreas vacías se utilizaron franjas de diseño de un ancho de 40cm que representan todas las viguetas dentro de la losa aligerada.

Diseño por flexión

Tomaremos como ejemplo los momentos encontrados en la losa aligerada típica que abarca desde el 2do hasta el 6to piso y en la cual calcularemos el acero para la vigueta conformada por 5 tramos como se muestra en la Figura 108.

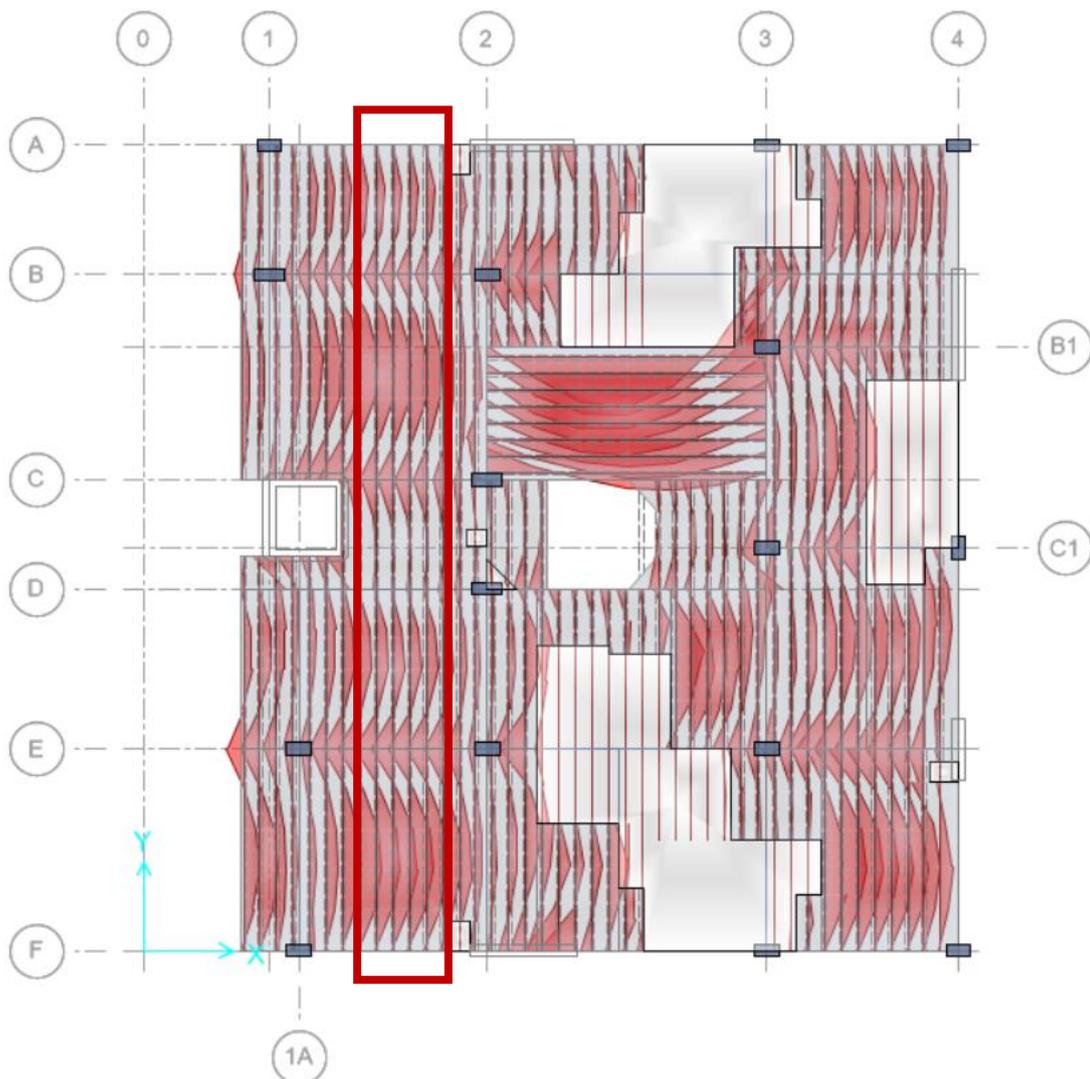


Figura 108. Momento en losa aligerada
Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Diseño de acero de losa aligerada

	Apoyo A	Tramo A-B	Apoyo B	Tramo B-C	Apoyo C	Tramo C-D	Apoyo D	Tramo D-E	Apoyo E	Tramo E-F	Apoyo F
	M-	M+	M-								
M_u (kg-m)	96.36	511.44	760.88	518.96	1110.16	100.8	205.46	700.18	1198.8	719.44	145.24
d (cm)	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73	16.73
As Max (cm ²)	2.67	10.67	2.67	10.67	2.67	10.67	2.67	10.67	2.67	10.67	2.67
As Min (cm ²)	0.41	0.93	0.41	0.93	0.41	0.93	0.41	0.93	0.41	0.93	0.41
a (cm)	0.08	2.02	0.72	2.05	1.06	0.37	0.19	2.84	1.15	2.93	0.13
As (cm ²)	0.15	0.86	1.22	0.87	1.81	0.16	0.32	1.21	1.96	1.24	0.23
As min (cm ²)	0.41	0.931	1.22	0.93	1.81	0.93	0.41	1.21	1.96	1.24	0.41
As colocado	3/8"	1/2"	1/2"	1/2"	5/8"	1/2"	3/8"	1/2"	5/8"	1/2"	3/8"

Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

En el tramo diseñado se encontró que el mayor cortante resistido por la vigueta se encuentra en el apoyo E, el cual tiene un valor de 949.24 kg o 0.95 Tn. Este valor se considera como el V_u y se compara con el córtate resistente del concreto.

El cortante resistente del concreto es

$$\phi_{vc} := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b_w \cdot d = 1.09 \text{ tonnef}$$

Verificación de cortantes

$$V_u \leq \phi \cdot V_c$$

$$0.95 \text{ tonnef} \leq 1.09 \text{ tonnef}$$

4.11.2. Losa maciza

Las losas macizas están ubicadas entre los ejes B,C y los ejes E,F del primer piso y servirán para 4 estacionamientos. Se tomará como ejemplo el diseño del paño entre los ejes B,C con 0,1B. Este paño tiene una longitud de 4.97m entre sus apoyos por lo que para un ancho de $b=1.0\text{m}$ se podrá analizar como una viga simplemente apoyada. Aquí no se podrá realizar una alternancia de cargas pues solo contamos con un tramo.

Diseño por flexión

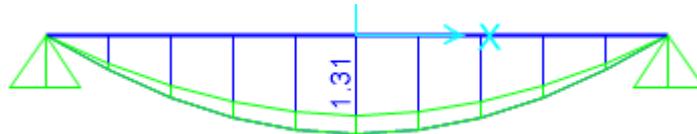


Figura 109. Momentos de losa maciza
Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Diseño de acero en losa maciza

Mu (kg-m)	1.31
a (cm)	0.001
As calculado/m (cm ²)	0.003
As Max/m (cm ²)	44.92
As Min/m (cm ²)	2.02
As tomado/m (cm ²)	2.021
Separación colocando 3/8"	$0.71/2.021 = 35 \text{ cm}$, Tomaremos 20 cm
As colocado	3/8" @ 0.20 m

Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

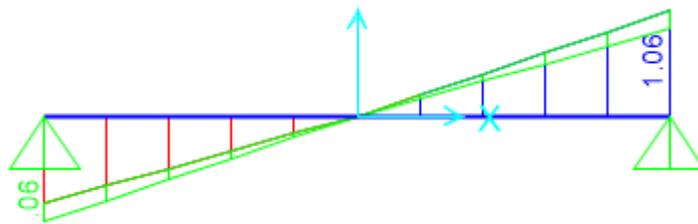


Figura 110. Cortantes en losa maciza
Fuente: Elaboración propia

$$\phi_{vc} := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot b \cdot d = 7.76 \text{ tonnef}$$

$$Vu \leq \phi \cdot Vc$$

$$1.06 \text{ tonnef} \leq 7.76 \text{ tonnef}$$

4.11.3. Vigas

Para los momentos de diseño (M_u) se recomienda que el momento positivo en la cara del nudo sea mayor a $1/3$ del momento negativo y para el resto secciones tanto momentos negativos como positivos en la longitud del elemento sea igual o mayor a $1/4$ del máximo momento en cualquiera de los extremos ya sea positivo o negativo.

Tomaremos como ejemplo las vigas del eje 4. Se tomaron los momentos de análisis ($M_{\text{análisis}}$) mayores tanto positivos como negativos de los niveles 2do al 6to para poder analizarlos todos en un solo análisis. Los momentos de análisis se adecuaron para que cumplan con los requisitos del párrafo anterior, modificando solo los momentos donde no cumple y dejando el resto igual al momento de análisis.

Diseño por flexión

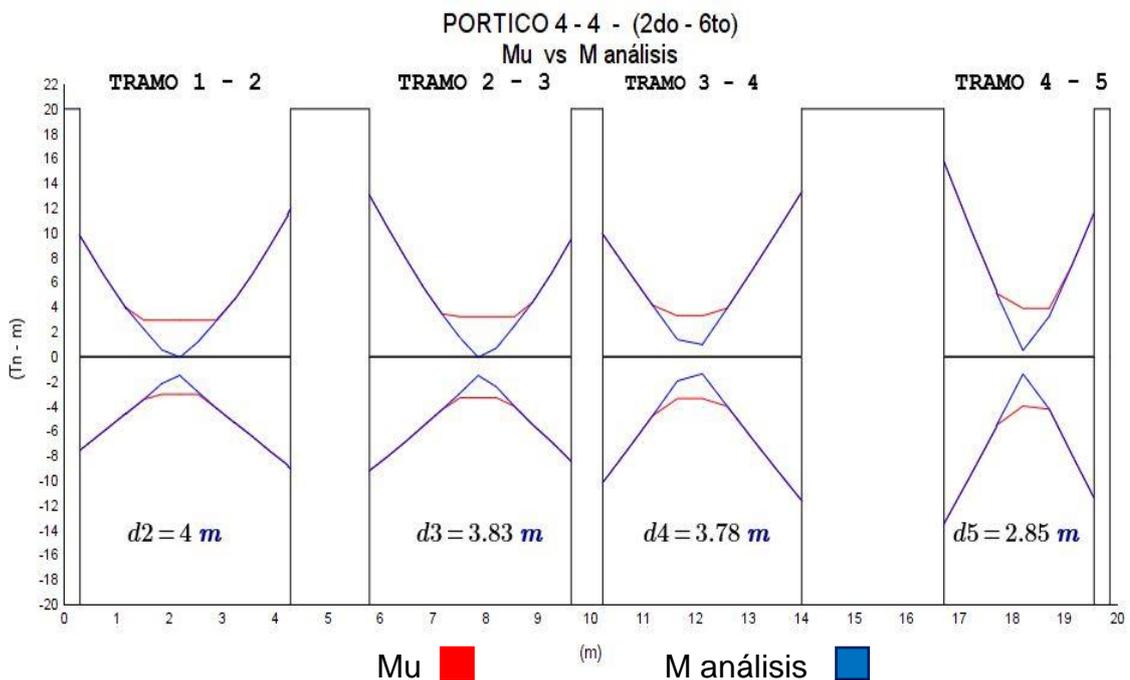


Figura 111. Momentos en vigas
Fuente: Elaboración propia

Además, la norma nos recomienda recorrer dos barras longitudinales tanto en la parte inferior como en la superior para poder cumplir con el acero mínimo y por facilidades en el tema constructivo.

La viga será de 0.30 x 0.40 m con un peralte efectivo de $d=34.1$ cm, considerando un recubrimiento de 4 cm y asumiendo una varilla de 3/4".

Tabla 56. Diseño de acero por flexión en vigas

TRAMO	UBICACIÓN		Mu (Tn*m)	As (cm ²)		Varillas continuas	Varillas adicionales	ΦMn (Tn*m)	Comprobación final
	SECCION	MOMENTO		max	min				
TRAMO 1 - 2	Lado Izq	Superior (-)	9.82	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	7.52	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	centro	Superior (-)	4.61	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	5.26	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	Lado Der	Superior (-)	11.97	16.85	2.54	4 Ø 3/4	1 Ø 5/8	15.81	OK
		Inferior (+)	8.98	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
TRAMO 2 - 3	Lado Izq	Superior (-)	13.09	16.85	2.54	4 Ø 3/4	1 Ø 5/8	15.81	OK
		Inferior (+)	9.16	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	centro	Superior (-)	5.60	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	5.52	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	Lado Der	Superior (-)	9.54	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	8.40	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
TRAMO 3 - 4	Lado Izq	Superior (-)	9.93	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	10.12	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	centro	Superior (-)	4.20	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	4.73	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	Lado Der	Superior (-)	13.36	16.85	2.54	4 Ø 3/4	1 Ø 3/4	16.80	OK
		Inferior (+)	11.60	16.85	2.54	4 Ø 3/4	1 Ø 5/8	15.83	OK
TRAMO 4 - 5	Lado Izq	Superior (-)	15.79	16.85	2.54	4 Ø 3/4	1 Ø 3/4	16.80	OK
		Inferior (+)	13.45	16.85	2.54	4 Ø 3/4	1 Ø 5/8	15.83	OK
	centro	Superior (-)	5.36	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	5.61	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
	Lado Der	Superior (-)	11.65	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK
		Inferior (+)	11.37	16.85	2.54	4 Ø 3/4		13.58	OK

Fuente: Elaboración propia

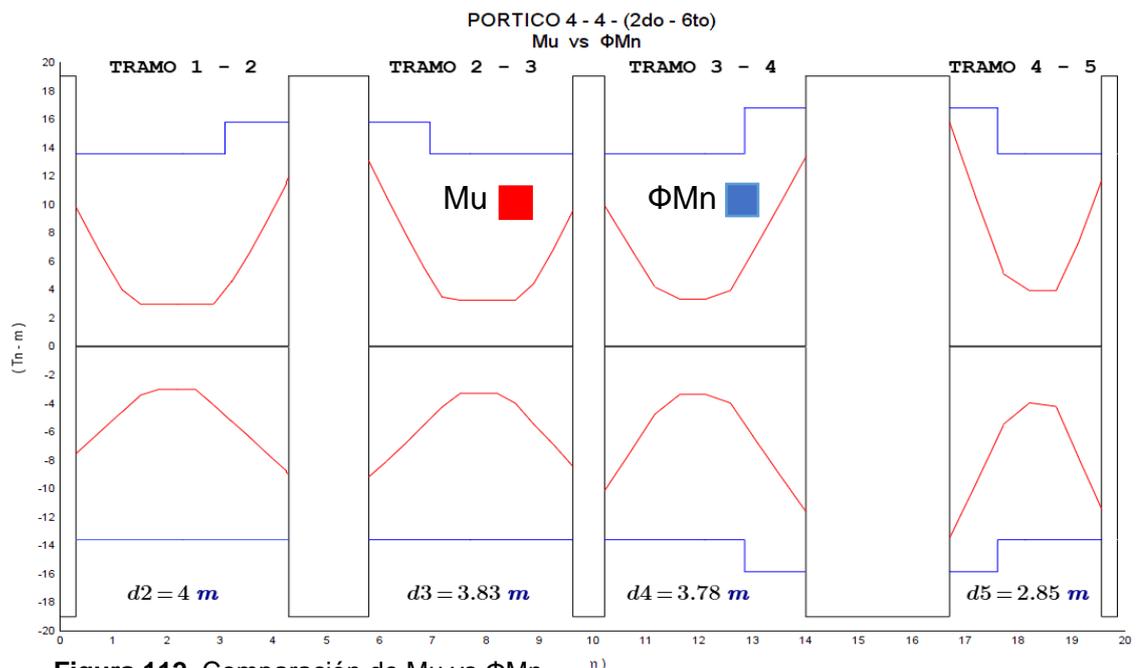


Figura 112. Comparación de Mu vs ΦMn
Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

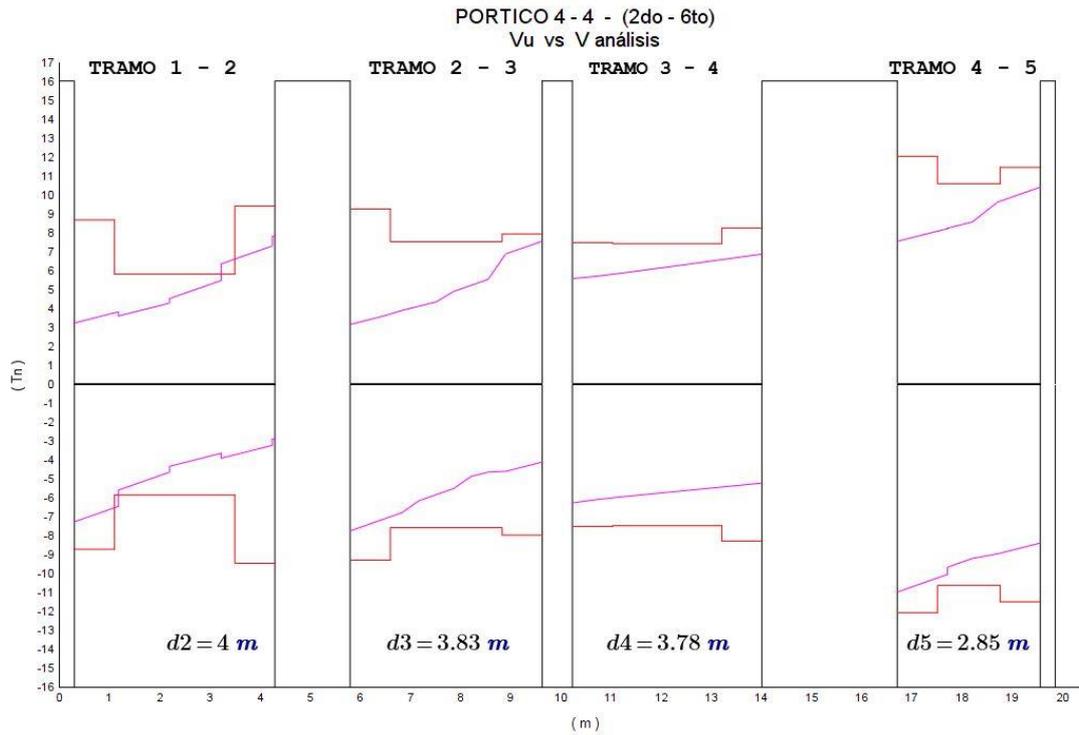


Figura 113. Fuerzas cortantes en vigas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Diseño de acero por corte en vigas

TRAMO	UBICACIÓN		Vu (Ton)	S para estribos de confinamiento				S general	S Definido (cm)	ΦVn (Ton)	Comprobacion final
	SECCION	MOMENTO		d/4 o 15 (cm)	10*ØVcont (cm)	24*ØVest (cm)	30 cm	d/2 (cm)			
TRAMO 1 - 2	Lado Izq	Superior (-)	8.70	15.00	19.05	22.86	30.00	10.00	17.86	OK	
		Inferior (+)									
	centro	Superior (-)	5.84	17.55	15.00	11.90	OK				
		Inferior (+)									
TRAMO 2 - 3	Lado Izq	Superior (-)	9.28	15.00	19.05	22.86	30.00	10.00	17.86	OK	
		Inferior (+)									
	centro	Superior (-)	7.56	17.55	15.00	11.90	OK				
		Inferior (+)									
TRAMO 3 - 4	Lado Izq	Superior (-)	7.50	15.00	19.05	22.86	30.00	10.00	17.86	OK	
		Inferior (+)									
	centro	Superior (-)	7.46	17.55	15.00	11.90	OK				
		Inferior (+)									
TRAMO 4 - 5	Lado Izq	Superior (-)	12.06	15.00	19.05	22.86	30.00	10.00	17.86	OK	
		Inferior (+)									
	centro	Superior (-)	10.62	17.55	15.00	11.90	OK				
		Inferior (+)									
Lado Der	Superior (-)	11.48	15.00	19.05	22.86	30.00	10.00	17.86	OK		
	Inferior (+)										

Fuente: Elaboración propia

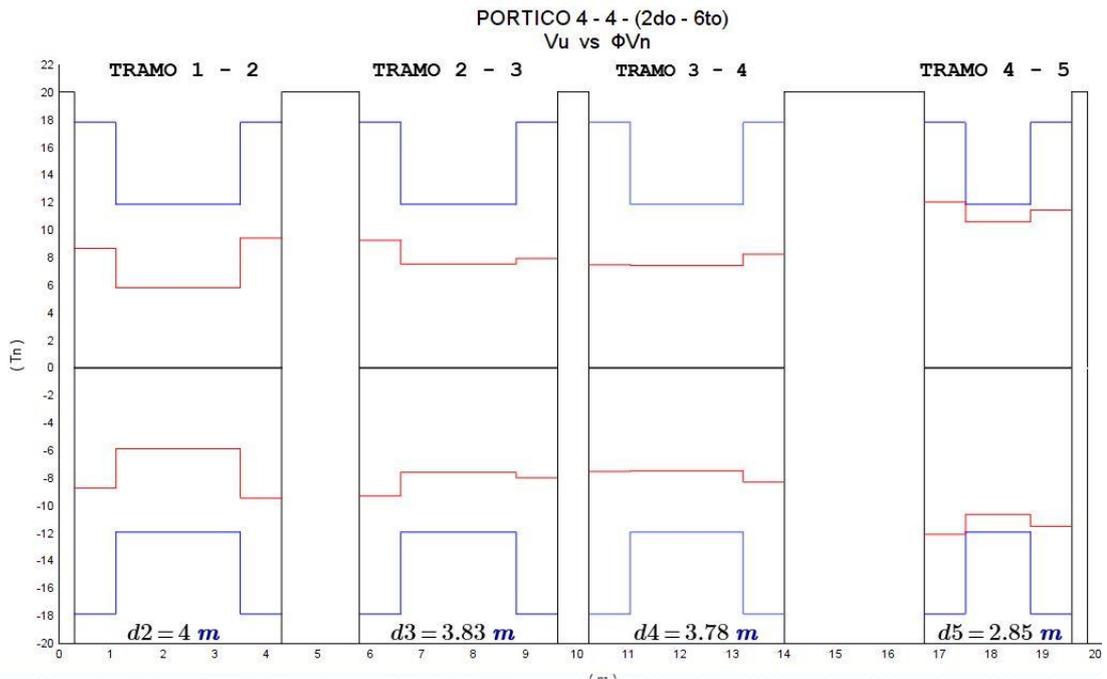


Figura 114. Comparación entre V_u vs ΦV_n
Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Resumen de diseño de vigas

RESUMEN						
TRAMO 1 - 2						
Barras continuas		4 \emptyset 3/4				
Barras de refuerzo	Superiores	R.S Derecho :	1 \emptyset 5/8	Longitud :	1.20 m	
Distribución de estribos		1 @ 0.05 8 @ 0.100 m res @ 0.15				
TRAMO 2 - 3						
Barras continuas		4 \emptyset 3/4				
Barras de refuerzo	Superiores	R.S Izquierdo :	1 \emptyset 5/8	Longitud :	1.15 m	
Distribución de estribos		1 @ 0.05 8 @ 0.100 m res @ 0.15				
TRAMO 3 - 4						
Barras continuas		4 \emptyset 3/4				
Barras de refuerzo	Superiores	R.S Derecho :	1 \emptyset 3/4	Longitud :	1.15 m	
	Inferiores	R.I Derecho :	1 \emptyset 5/8	Longitud :	1.15 m	
Distribución de estribos		1 @ 0.05 8 @ 0.100 m res @ 0.15				
TRAMO 4 - 5						
Barras continuas		4 \emptyset 3/4				
Barras de refuerzo	Superiores	R.S Izquierdo :	1 \emptyset 3/4	Longitud :	0.90 m	
	Inferiores	R.I Izquierdo :	1 \emptyset 5/8	Longitud :	0.90 m	
Distribución de estribos		1 @ 0.05 8 @ 0.100 m res @ 0.15				

Fuente: Elaboración propia

4.11.4. Columnas

El diseño se realizará imponiendo un armado con la cuantía mínima al elemento y poder generar su diagrama de interacción. Posteriormente se le añadirá las fuerzas y momentos que generaron cada una de las 9 combinaciones de carga esperando que estas se encuentren dentro del diagrama, de lo contrario se tendrá que aumentar la cuantía de acero o las secciones. Se tomará como ejemplo la columna ubicada entre los ejes E y 3, el cual tiene una sección de 30x60 cm y que está constituido por 4 barras de 3/4" en sus esquinas y por cada cara una barra de 5/8", lo que nos da un total de 19.32 cm² que es un poco más del 1% de la sección bruta de 1800 cm².

Diseño por flexocompresión

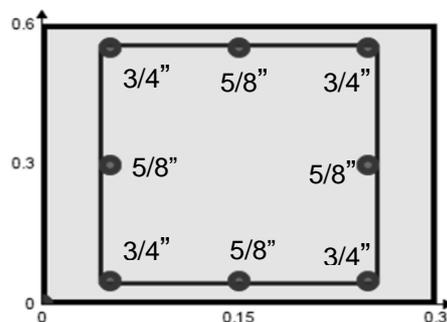


Figura 115. Sección armada de columna 30x60cm
Fuente: Elaboración propia

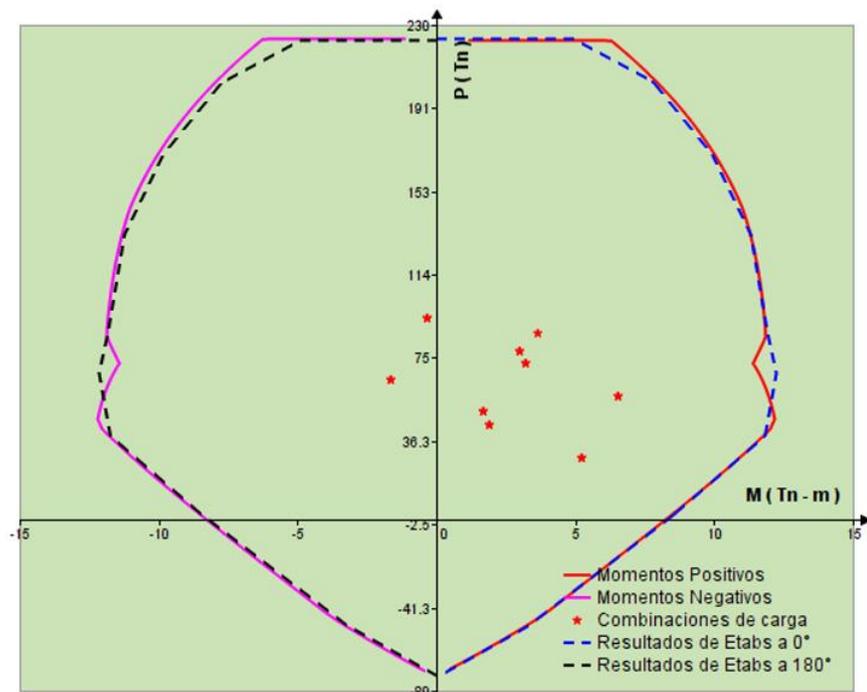


Figura 116. Diagrama de iteración de columna en el eje X
Fuente: Elaboración propia

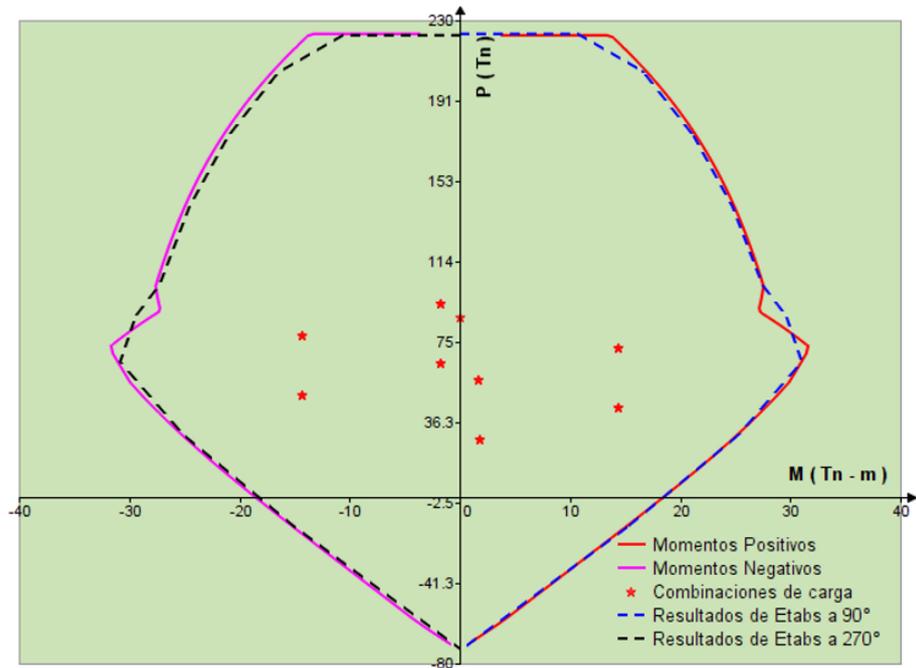


Figura 117. Diagrama de iteración de columna en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

Tabla 59. Diseño por corte en columnas

Ubicación Zona	Vu (Ton)	S para estribos de confinamiento		S general		S Definido (cm)	ΦV_c (ton)	ΦV_s (Ton)	Verificación
		$8 \cdot \emptyset V_{long}$ (cm)	$1/2 \cdot b$ (cm)	10 (cm)	$d/2$ (cm)				
Zc. Superior	6.81	12.70	15	10		10	11.3	27.52	OK
Zona Central	6.81				27.05	25	11.3	11.01	OK
Zc. Inferior	6.81	12.70	15	10		10	11.3	27.52	OK

Zc*: Zona de confinamiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60. Resumen de diseño de columnas

Barras
 continuas $4 \emptyset 3/4" + 4 \emptyset 5/8"$

Distribución
 de estribos $1 @ 0.05 \text{ m } 6 @ 0.10 \text{ m res } @ 0.25 \text{ m}$

Fuente: Elaboración propia

4.11.5. Muros estructurales

Al igual que en el diseño de las columnas será necesario imponer un armado para luego crear el diagrama de iteración y verificar que los puntos generados por las combinaciones se encuentren dentro del diagrama. Es recomendable que la mayor concentración de refuerzo este en los bordes del elemento y en el alma un refuerzo con la cuantía mínima si fuera el caso. Tomaremos como ejemplo el diseño de la placa PL2, el cual tiene una longitud de muro de 2.70 m, una altura de muro de 2.95 m y un espesor del alma de 0.30 m.

Diseño por flexocompresión

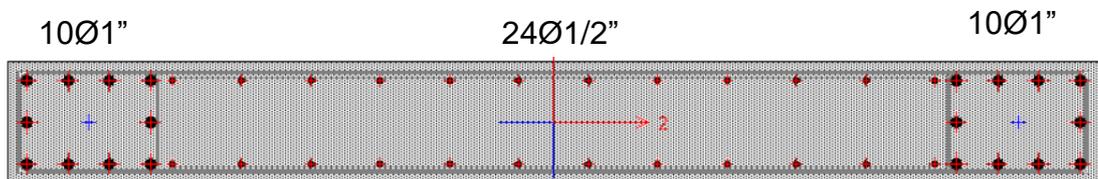


Figura 118. Sección armada de placa 30x270cm
Fuente: Elaboración propia

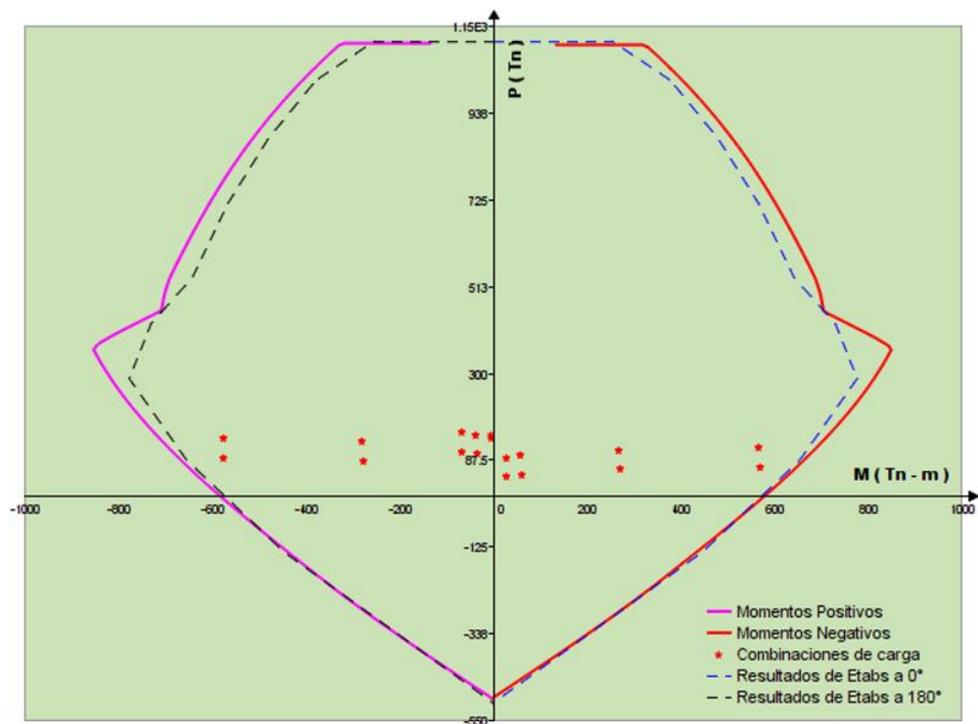


Figura 119. Diagrama de iteración de placa en el eje X
Fuente: Elaboración propia

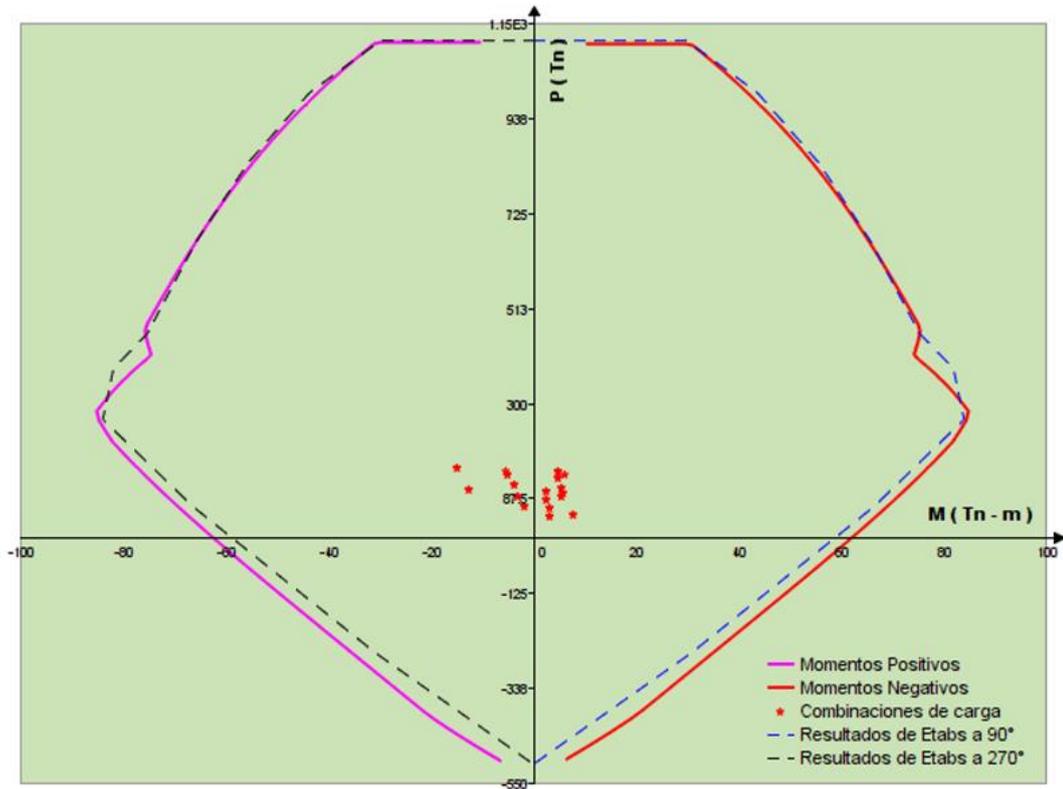


Figura 120. Diagrama de iteración en el eje Y
Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

Tabla 61. Diseño por corte en placas

ELEMENTO	V_u (Ton)	A_v/s (cm ² /m)	S calculado (cm)	S definido (cm)	ΦV_c (ton)	ΦV_n (Ton)	Comprobación final
Alma de placa y bordes	151.05	13.89	10.26	10.00	51.87	201.10	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62. Resumen de diseño de placas

Barras verticales	20	Ø	1"	+	24	Ø	1/2"
Distribución de estribos en alma de placa y bordes	1	@	0.05 m	res	@	0.10	m

Fuente: Elaboración propia

4.11.6. Cimentación

Se tomará como ejemplo el diseño de la zapata de la columna “” de 0.30x0.40 m que se encuentra en la intersección entre el eje 0 y C, sometidos a las siguientes cargas.

Tabla 63. Cargas presentes en cimentación

Cargas	P (Tn)	M _{xx} (Tn-m)	M _{yy} (Tn-m)
CM	7.72	0.54	0.80
CV	1.43	0.38	0.18
CSx	0.34	0.64	0.55
Csy	0.71	0.47	0.29

Fuente: Elaboración propia

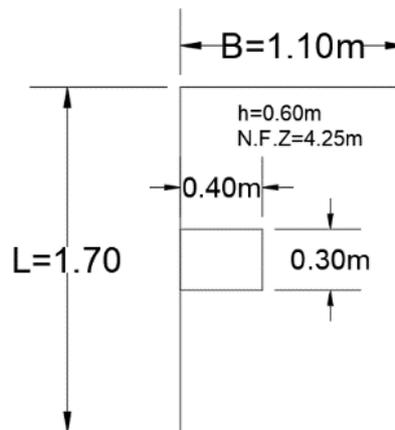


Figura 121. Medidas de cimentación

Fuente: Elaboración propia

Evaluación estática de las dimensiones

Posteriormente se verificarán las dimensiones por cargas de gravedad para poder obtener una presión menor a la presión admisible del terreno de 30 Tn/m²

$$\sigma = \frac{(CM+CV)}{B \cdot L} + \frac{6 \cdot M_{xx}}{B \cdot L^2} + \frac{6 \cdot M_{yy}}{B^2 \cdot L} \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma = \frac{1.10 \cdot (9.16 \text{ tonnef})}{1.87 \text{ m}^2} + \frac{6 \cdot (0.92 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{1.1 \text{ m} \cdot (1.7 \text{ m})^2} + \frac{6 \cdot (0.98 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{(1.1 \text{ m})^2 \cdot 1.7 \text{ m}} = 9.98 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Evaluación dinámica de las dimensiones

Para la verificación con cargas de gravedad y sismo; tanto en x como en y; la norma nos permite incrementar en un 30% la presión admisible del terreno, este por ser cargas temporales.

$$\sigma = \frac{(CM + CV + CS)}{B \cdot L} + \frac{6 \cdot (M_{xx} + M_{sx})}{B \cdot L^2} + \frac{6 \cdot (M_{yy} + M_{sy})}{B^2 \cdot L} \leq 1.3 \sigma_{adm}$$

$$\sigma_x := \frac{1.10 \cdot (9.49 \text{ tonnef})}{1.87 \text{ m}^2} + \frac{6 \cdot (1.56 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{1.1 \text{ m} \cdot (1.7 \text{ m})^2} + \frac{6 \cdot (1.53 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{(1.1 \text{ m})^2 \cdot 1.7 \text{ m}} = 12.99 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

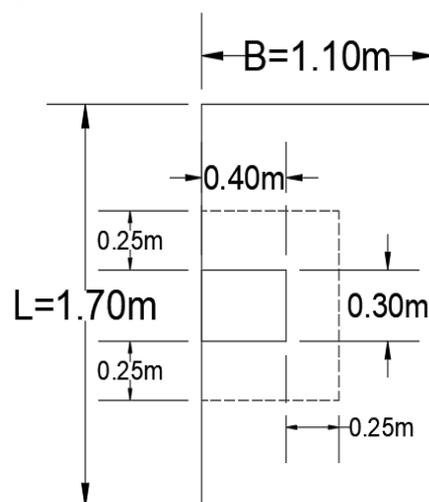
$$\sigma_y := \frac{1.10 \cdot (9.87 \text{ tonnef})}{1.87 \text{ m}^2} + \frac{6 \cdot (1.39 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{1.1 \text{ m} \cdot (1.7 \text{ m})^2} + \frac{6 \cdot (1.27 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{(1.1 \text{ m})^2 \cdot 1.7 \text{ m}} = 12.13 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Presión última de diseño

Para la determinación de la presión última de diseño amplificaremos la carga muerta por 1.4 y la carga viva por 1.7.

$$\sigma_u := \frac{1.10 \cdot (13.25 \text{ tonnef})}{1.87 \text{ m}^2} + \frac{6 \cdot (1.40 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{1.1 \text{ m} \cdot (1.7 \text{ m})^2} + \frac{6 \cdot (1.42 \text{ tonnef} \cdot \text{m})}{(1.1 \text{ m})^2 \cdot 1.7 \text{ m}} = 14.578 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Verificación por punzonamiento



H : 0.60 m
d : 0.50 m
Bo : 2.1 m
β : 1.33
At : 1.87 m²
Ao : 0.50 m²

$$Vu < \Phi \cdot Vc$$

$$19.68 \text{ Tn} < 142.27 \text{ Tn} \quad \text{OK}$$

Figura 122. Verificación por punzonamiento
Fuente: Elaboración propia

Verificación por corte

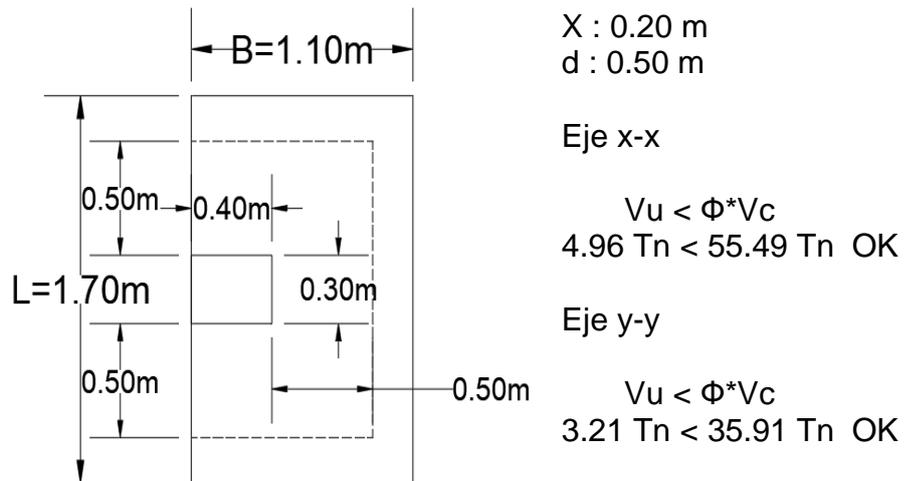


Figura 123. Verificación por corte
Fuente: Elaboración propia

Diseño por flexión

Finalmente determinaremos el área de acero de refuerzo que necesitará la zapata para poder soportar los momentos en ambas direcciones de análisis. En donde el valor para $y = 0.70 \text{ m}$ y $x = 0.70 \text{ m}$, con un $\Phi = 0.9$.

Tabla 64. Diseño de acero en cimentación

M_u (Tn-m)	6.07	3.39
a (cm)	0.76	0.49
As calculado/m (cm ²)	3.21	2.09
As Min/m (cm ²)	10.80	10.80
As tomado/m (cm ²)	10.80	10.80
Separación colocando 5/8"	$1.99/10.80 = 18.4 \text{ cm}$, Tomaremos 15 cm	$1.99/10.80 = 18.4 \text{ cm}$, Tomaremos 15 cm
As colocado	5/8" @ 0.15 m	5/8" @ 0.15 m

Fuente: Elaboración propia

4.11.7. Muros de sótano

Los muros de sótanos estarán soportando cargas perpendiculares a su plano de trabajo por lo tanto para su análisis se puede tomar una franja de 1m y analizarlo como una viga simplemente apoyada.

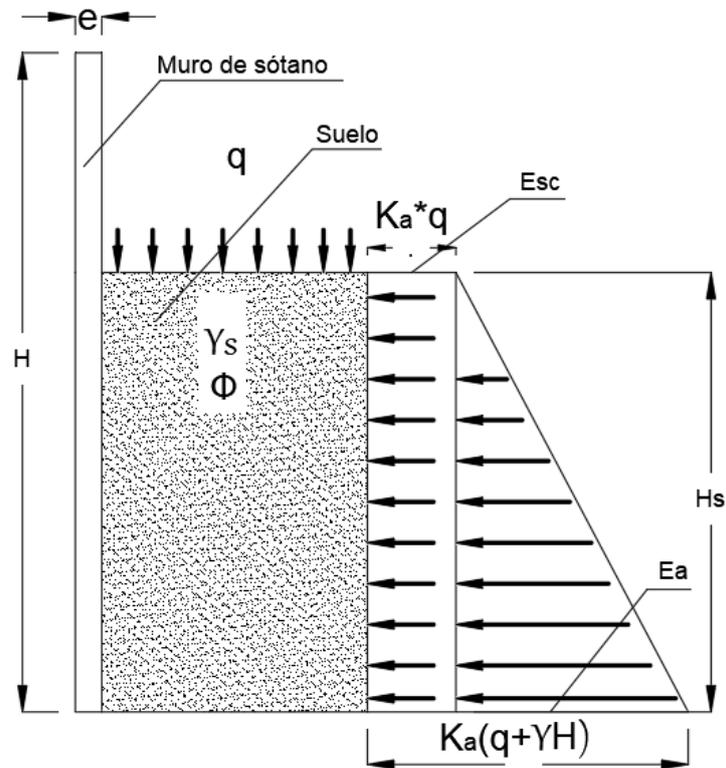


Figura 124. Diagrama de fuerzas en muro de sótano
Fuente: Elaboración propia

Donde:

Resistencia del concreto (f_c) : 210 kg/cm²

Resistencia a la fluencia (f_y) : 4200 kg/cm²

Peso específico del suelo (γ_s) : 1600 kg/m³

Angulo de fricción efectivo (Φ) : 30°

Altura del muro (H): 3.70 m

Sobrecarga (q) : 250 kg/cm²

Espesor del muro (e) : 0.20 m

Altura del suelo (Hs) : 1.75 m

Peralte efectivo (d) : 0.16 m

Calculamos el coeficiente de presión activa de Rankine (K_a):

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{30^\circ}{2} \right) = 0.333$$

Calculamos el empuje activo del suelo (E_a), multiplicamos por 1.7 para llevar el empuje a condiciones últimas de resistencia:

$$E_a = 1.7 \cdot 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \cdot 1.75 \text{ m} \cdot 0.333 = 1586.67 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Calculamos el empuje producido por la sobrecarga (E_{sc}) :

$$E_{sc} = 250 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \cdot 0.333 = 83.33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

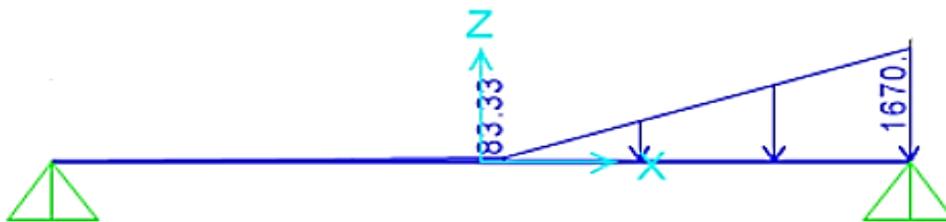


Figura 125. Fuerzas distribuidas en muro de sótano
Fuente: Elaboración propia

Diseño por flexión

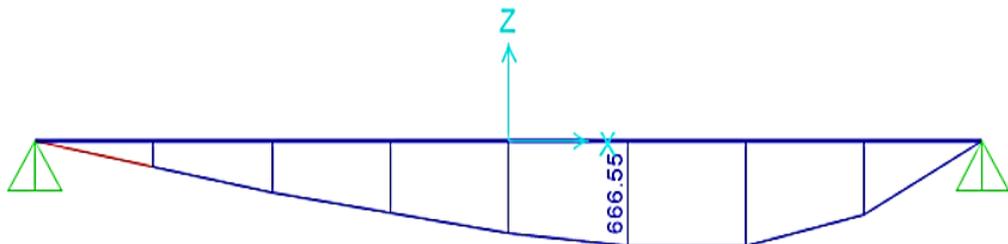


Figura 126. Momento en muro de sótano
Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Diseño de acero en muro de sótano

Mu (kg-m)	666.55
a (cm)	0.261
As calculado/m (cm ²)	1.111
As Min/m (cm ²)	3.60
As tomado/m (cm ²)	3.60
Separación colocando 1/2"	1.29/3.60= 35 cm , Tomaremos 20 cm
As colocado	1/2" @ 0.20 m

Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

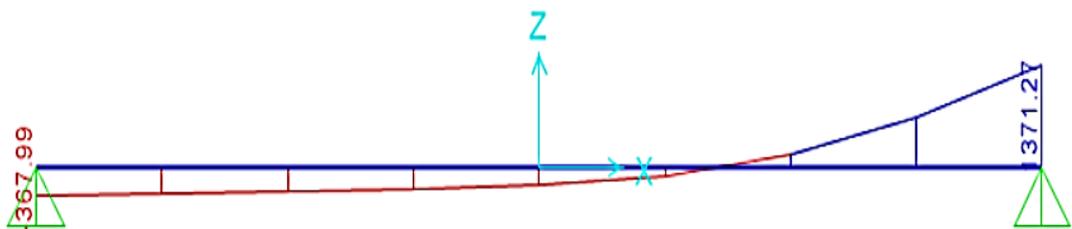


Figura 127. Fuerzas cortantes en muro de sótano

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la resistencia del concreto al corte, para 1.0 m de ancho:

$$\phi v_c := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{210} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm} = 10.45 \text{ tonnef}$$

$$V_u < \Phi \cdot V_c$$

$$1.37 \text{ Tn} < 10.45 \text{ Tn} \quad \text{OK}$$

4.11.8. Escalera

La escalera se de tipo U, es decir conformada por dos tramos, por lo tanto, para tramo se representar que esta apoya en sus extremos para poder analizar las fuerzas distribuidas que en ella se aplica.

Tabla 66. Metrado de cargas calculado para escalera

	Peso propio (kg/m)	Acabado (kg/m)	S/C (kg/m)	Distribuida (kg/m)
Gradería	629.8	100	200	929.83
Descanso	360	100	200	660.00

Fuente: Elaboración propia

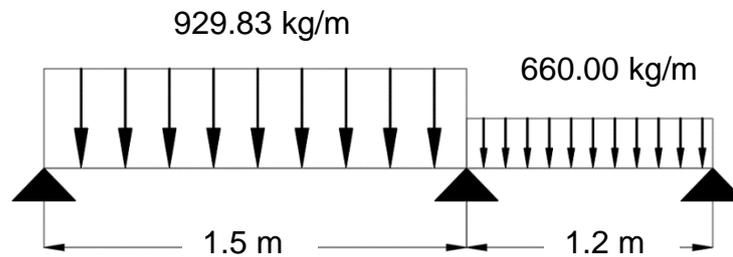


Figura 128. Fuerzas distribuidas calculadas en escalera

Fuente: Elaboración propia

CASO 1

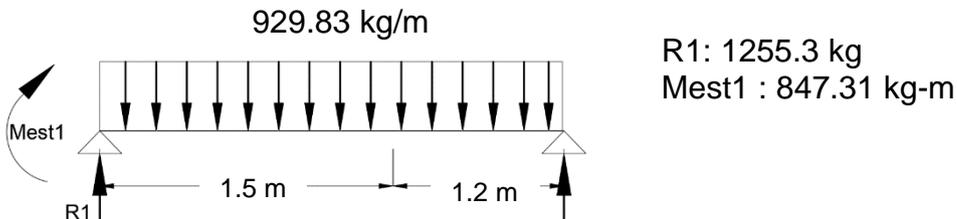


Figura 129. Reacciones y momentos calculados - caso 1

Fuente: Elaboración propia

CASO 2

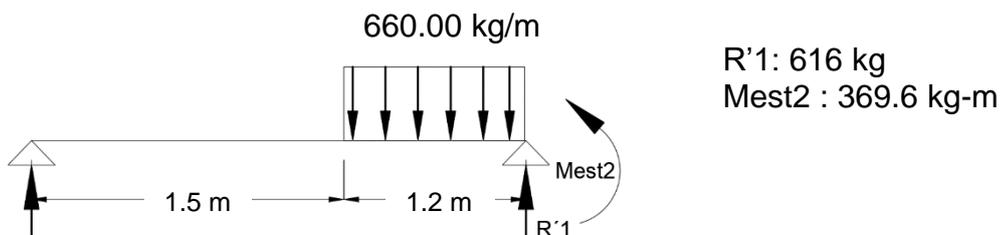


Figura 130. Reacciones y momentos calculados - caso 2

Fuente: Elaboración propia

Por el principio de superposición:

R : 1871.27 kg
Mest : 1216.91 kg-m

Se diseñará para una franja de 1m

Momentos de diseño
Mu en el apoyo : 486.76
Mu en el centro : 973.53
Mu en las vigas : 486.76

Diseño por flexión

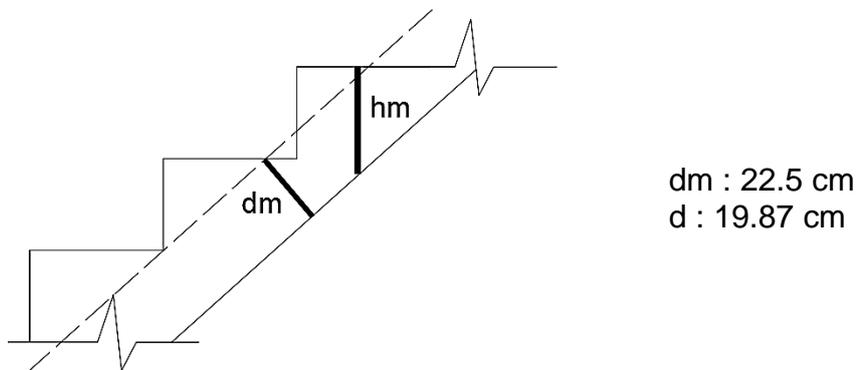


Figura 131. Altura y peralte promedios calculados en escalera
Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Diseño de acero en escalera

Mu (kg-m)	973.53
a (cm)	0.307
As calculado/m (cm ²)	1.306
As Min/m (cm ²)	3.58
As tomado/m (cm ²)	3.58
Separación colocando 3/8"	0.71/3.58 = 19.8 cm , Tomaremos 17.5 cm
As colocado	3/8" @ 0.175 m

Fuente: Elaboración propia

Diseño por corte

Cálculo de la resistencia del concreto al corte, para 1.0 m de ancho:

$$\phi v_c := \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{210} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 19.87 \text{ cm} = 12.97 \text{ tonnef}$$

$$V_u < \Phi \cdot V_c$$

$$1.87 \text{ Tn} < 12.97 \text{ Tn} \quad \text{OK}$$

4.12. Creación del modelo BIM

Se mejoró el modelo físico de concreto armado que se creó automáticamente al momento de la importación pues los cruces con otros elementos ya sea vigas o losas, no son acordes a los procesos constructivos. Después de corregir y terminar el modelo físico de concreto armado se procedió a la creación de los elementos de acero, estos deberán ser acordes según los diseños calculados, además se consideró las longitudes de desarrollo, traslape y ganchos. Se creó además elementos de albañilería para las losas aligeradas y las viguetas. Con respecto a la escalera, se deberá crear una nueva, ya que la creada en el modelo de Etabs no se ajusta a la realidad.



Figura 132. Creación del modelo físico de la edificación
Fuente: Elaboración propia

4.13. Documentación

Finalizando el modelo BIM de estructuras se produjeron las vistas necesarias de los diferentes elementos estructurales con el fin de poder integrarlos en planos de detalles listos para la construcción. Estos planos están ligados al modelo BIM lo que significa que cualquier modificación que hagas en este se podrá ver reflejado de manera automática en los planos, sin tener la necesidad de cambiar uno por uno.

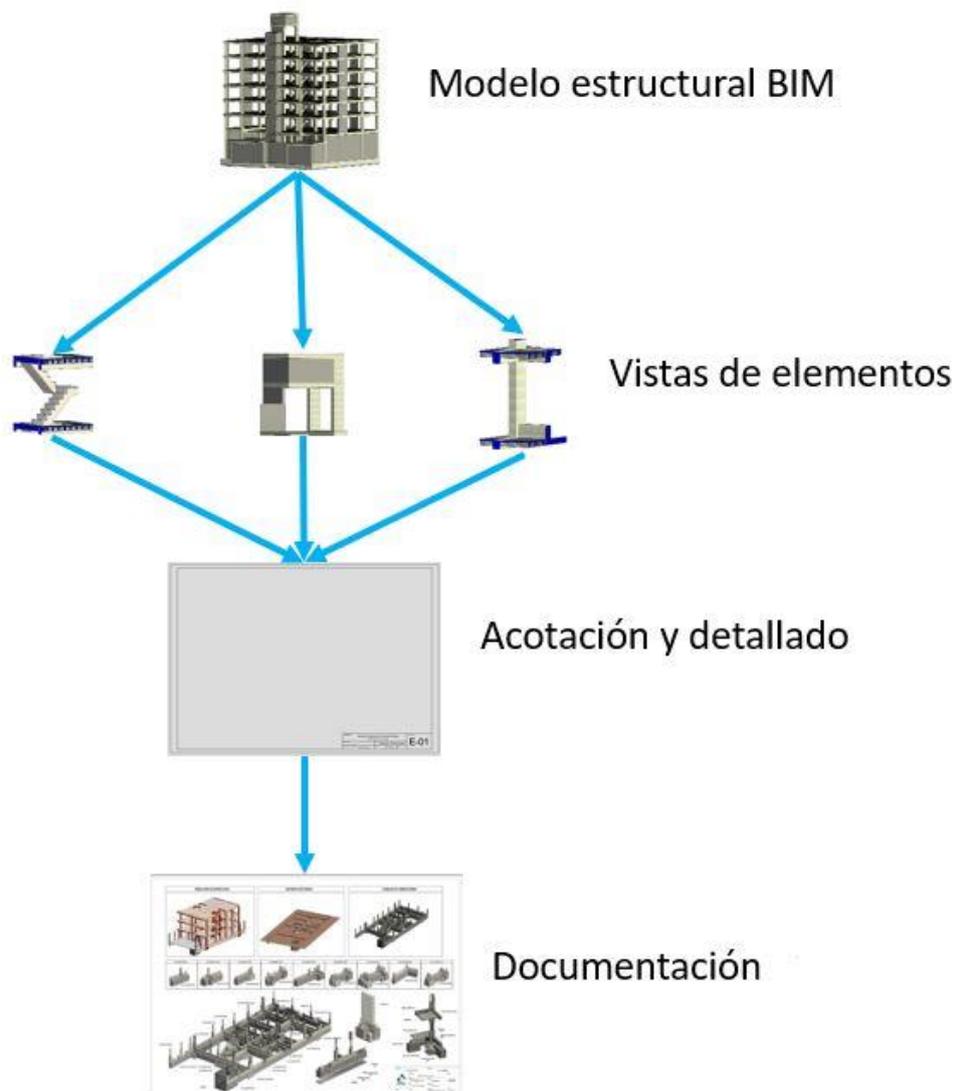


Figura 133. Proceso de documentación
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. RESULTADOS

El plan de ejecución BIM integra y mejora totalmente el proceso de diseño estructural al convertir el proceso individualista en un proceso colectivo que se ve reflejado en el intercambio de información. Se pudo obtener por lo tanto el intercambio de información en el proceso del uso BIM: Análisis estructural. Este intercambio de información está conformado por el modelo analítico, que contienen la información de análisis estructural, el modelo geométrico o físico conformado por el modelado de concreto y el acero, y elementos complementarios pero indispensables para un modelo BIM final de estructuras, como las viguetas de losa aligerada, ladrillo de techo, contrapiso del semisótano y escalera.

A partir de este intercambio de información se pudo realizar una estructura de desglose de los elementos del modelo basado en el sistema de clasificación Unifomat II. Con el fin de poder comunicar y transferir la información para la continuación de los procesos en fases más avanzadas de del proyecto, visto en la Figura 85. Así la información creada y extraída de este proceso no tendrá que volverse a ingresar en las siguientes fases.

En esta estructura de desglose se definió los elementos del intercambio de información, así pues, tenemos el LOD del elemento con el que este ingreso al proceso del uso BIM y el LOD de salida con el que termino el elemento. Se informó de los tipos de archivos y softwares necesario para la utilización y manejo del intercambio de información. Se identificó al responsable de recibir la información en el siguiente uso BIM.

Se adiciono información necesaria en la sección notas para diferenciar elementos del modelo que contienen su modelo analítico y los que no contienen. Y en el caso de escalera se indicó que la escalera cuenta con su modelo analítico solo en el software Etabs y no en revit porque el elemento importado desde Etabs a revit no se ajusta y visualiza a los procesos constructivos. Reemplazando el modelo importado por un nuevo elemento sin el modelo analítico de este. Además, se indicó las partes responsables de recopilar la información requerida y de completar cada categoría utilizando el Desglose de Elementos del Modelo.

Tabla 68. Información de intercambio

INFORMACIÓN DE INTERCAMBIO							
Título del Uso BIM		Creación de diseño			Análisis estructural		
Etapa del proyecto		Diseño			Diseño		
Fase de intercambio (SD, DD, CD, Construcción)		SD,DD,CD			DD		
Parte responsable (receptor de información)		Arquitecto			Ingeniero Estructural		
Formato de archivo del receptor		.dwg			.EDB / .rvt		
Software y versión		AutoCAD 2019			Etabs 2018 / Revit 2021		
Desglose de elementos del modelo		LOD	Parte Respons	Notas	LOD	Parte Respons	Notas
A	SUBESTRUCTURA						
A10	Cimientos						
A1010	Cimentación estandar						
A1010.10	Cimentación superficial						Capacidad admisible 3 kg/cm2
	.01 Zapatas aisladas	N/A			400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.02 Zapatas combinadas	N/A			400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.03 Zapatas conectadas	N/A			400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.04 Zapata corridas	N/A			400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
A20	Perimetro de subrasante						
A2010	Construcción de muro de cerramiento de subrasante						
A2010.10	Muros para cerramientos de subrasante						
	.01 Muros de semisótano	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
B	CASCO ESTRUCTURAL						
B10	Superestructura						
B1010	Construcción de piso						
B1010.10	Pórticos estructurales						Sistema de muros estructurales
B1010.10.10	Concreto						f'c=210 kg/cm2 / f'y=4200 kg/cm2
	.01 Vigas peraltadas	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.02 Vigas chatas de aberturas	N/A			400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.03 Viguetas de losa	N/A			400	IE	-
	.04 Columnas	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.05 Muros estructurales	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
B1010.20	Cubiertas de piso, losas y revestimientos						
	.01 Losas aligeradas en una dirección	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
	.02 Losas macizas	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)
B1080	Escaleras						
B1080.10	Construcción de escaleras						
	.01 Escaleras del 2do al 6to nivel	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD)
D	SERVICIOS						
D20	Instalaciones Sanitarias						
D2010	Distribución de agua doméstica						Sistema indirecto
D2010.10	Tanques de almacenamiento de agua potable						Para agua fría y caliente
	.01 Tanque Elevado de 8.73 m3	200	A		400	IE	Modelo analítico (EBD,rvt)

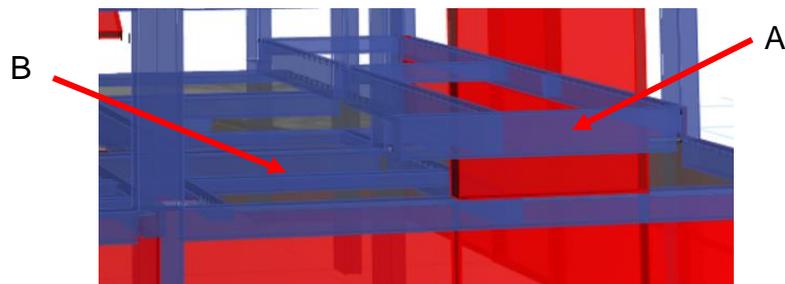
SD: Diseño esquemático / **DD:** Desarrollo del diseño / **CD:** Documentos de construcción

A: Arquitecto / **IE:** Ingeniero Estructural / **IM:** Ingeniero MEP / **IC:** Ingeniero Civil

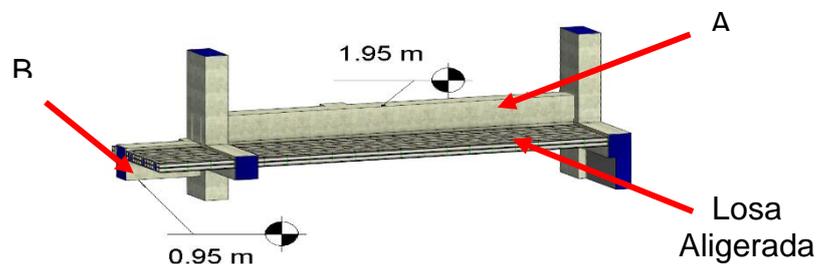
Fuente: Elaboración propia

El modelo BIM se complementa con el proceso de diseño estructural encontrando situaciones en donde se puede optimizar los elementos estructurales, situaciones que durante las etapas de estructuración o de la generación del modelo analítico es difícil de detectarlo pues solo se contó con objetos 2D y un deficiente flujo tridimensional respectivamente. También se complementa durante la etapa de creación del modelo BIM pues ayuda a corregir los elementos traídos desde Etabs y adecuarlos correctamente conforma las dimensiones planteadas en arquitectura. Etabs a pesar de manejar un modelo tridimensional durante la etapa de generación del modelo analítico, este no es suficiente para mostrar las propiedades geométricas de los elementos pues su interfaz gráfica es pobre en detalles tridimensionales. A continuación, se muestran las optimizaciones y mejoras encontradas.

Tabla 69. Optimización de elementos estructurales 1



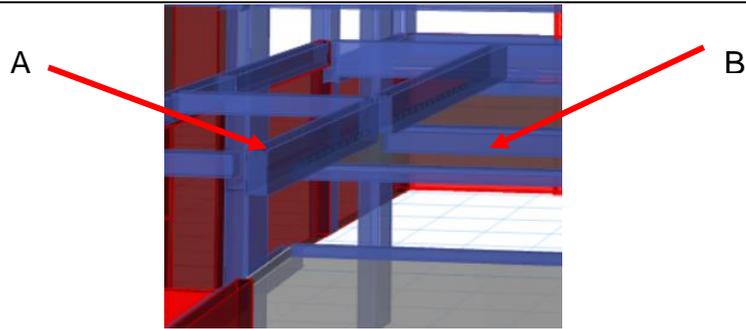
Durante la etapa de generación del modelo analítico se consideró a la viga A (ubicada en el 1er piso, entre los ejes A y B), un peralte de 1.0 m, para que su fondo sea igual al de la viga B.



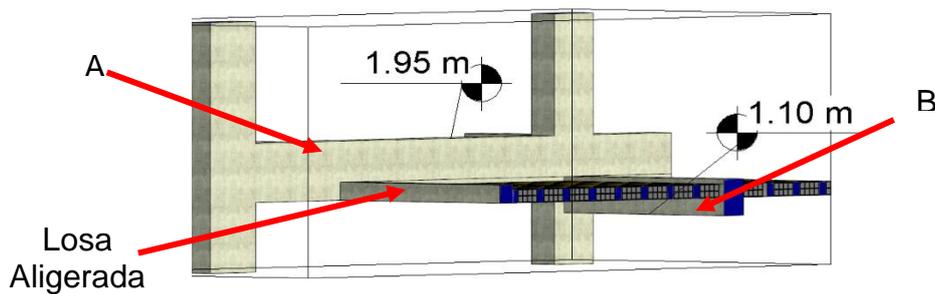
En el modelo geométrico, no se vio la necesidad de un peralte tan grande, pues solo era necesario que el fondo de la viga A sea igual al fondo de la losa aligerada, convirtiendo el peralte de 1.0 m a solo 0.65 m.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Optimización de elementos estructurales 2



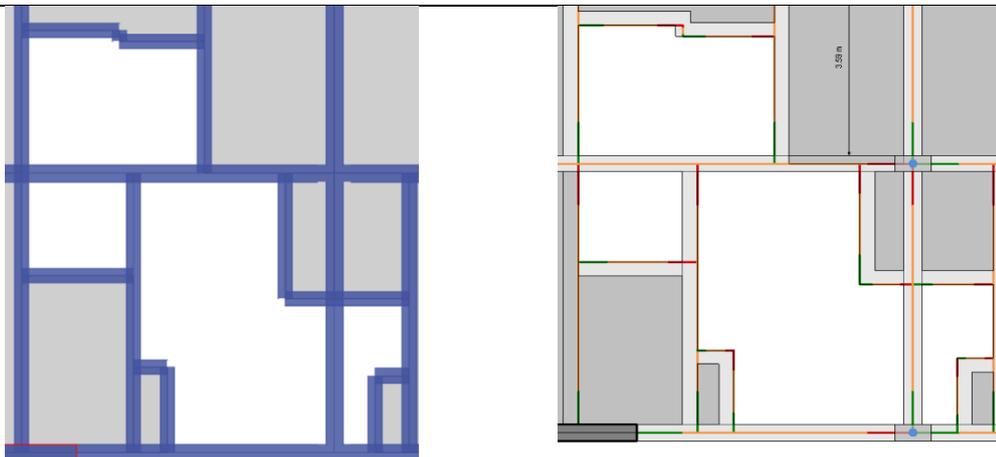
Durante la etapa de generación del modelo analítico se consideró a la viga A (ubicada en el 1er piso, entre los ejes 1 y 3), un peralte de 0.85 m, para que su fondo concuerde con el fondo de la viga B.



En el modelo geométrico, no se vio la necesidad de un peralte tan grande, pues solo era necesario que el fondo de la viga A sea igual al fondo de la losa aligerada, convirtiendo el peralte de 0.85 m a solo 0.65 m.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Mejoramiento del modelado estructural



Durante la generación del modelo analítico, en los bordes de la losa, para las aberturas, se colocaron líneas de vigas chatas. Estas líneas además representan el límite de la losa, no debiendo sobrepasarse más allá de estas. Sin embargo, al momento de extruir los elementos de Etabs, estos si lo hacen.

En Revit la línea de la viga que se encontraba en medio del elemento se puede corregir. Modificando las propiedades del modelo geométrico de la viga para que coincida con el límite de la losa. Permitiendo mantener los espacios de arquitectura sin alterar el modelo analítico.

Fuente: Elaboración propia

Se creó una información centralizada en la dimensión 3D porque toda la información producida en el software Etabs y Safe se logró transferir al modelo BIM 3D. Esta información está conformada por sus coordenadas, elevaciones, geometría, cargas lineales y superficiales. El acero calculado por Etabs no se puede transferir al modelo BIM 3D con la tecnología actual. Sin embargo, se puede incluir la información del acero, producto de los cálculos realizados en Excel y Mathcad. De esta manera la información de procesos separados e independientes se unifican y visualizan en un solo centro de información que es el modelo BIM 3D. Por lo tanto, el modelo BIM 3D está conformado por el modelo de concreto, modelo del acero, el modelo analítico, pero también por las cargas distribuidas superficial y linealmente que se aplican en Etabs, y que ahora también lo contendrá el modelo BIM, evitando la necesidad de volver a colocarlas. Logrando así mantener la información centralizada.

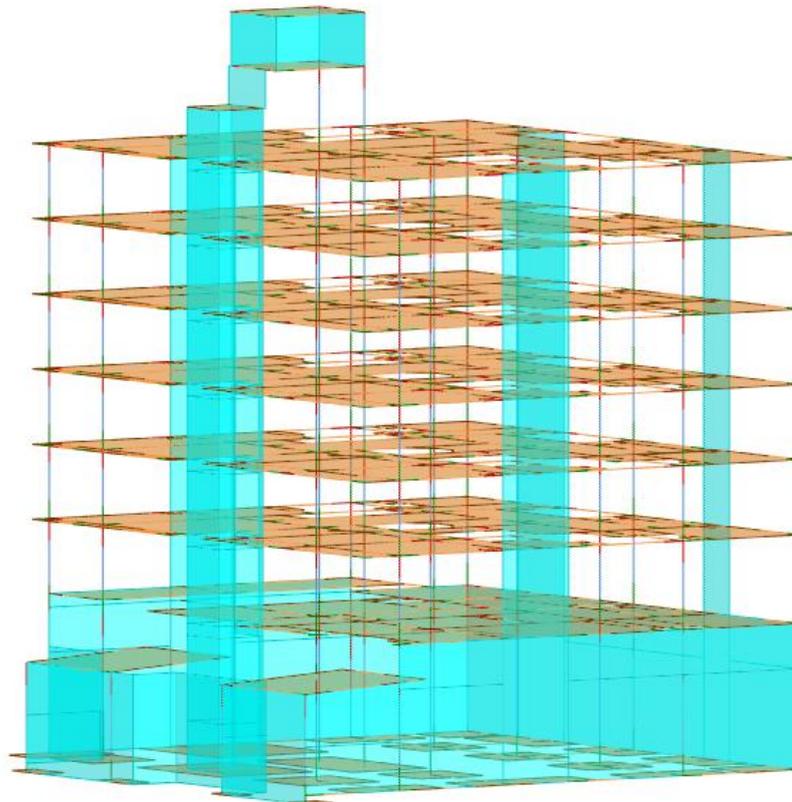


Figura 134. Modelo analítico
Fuente: Elaboración propia

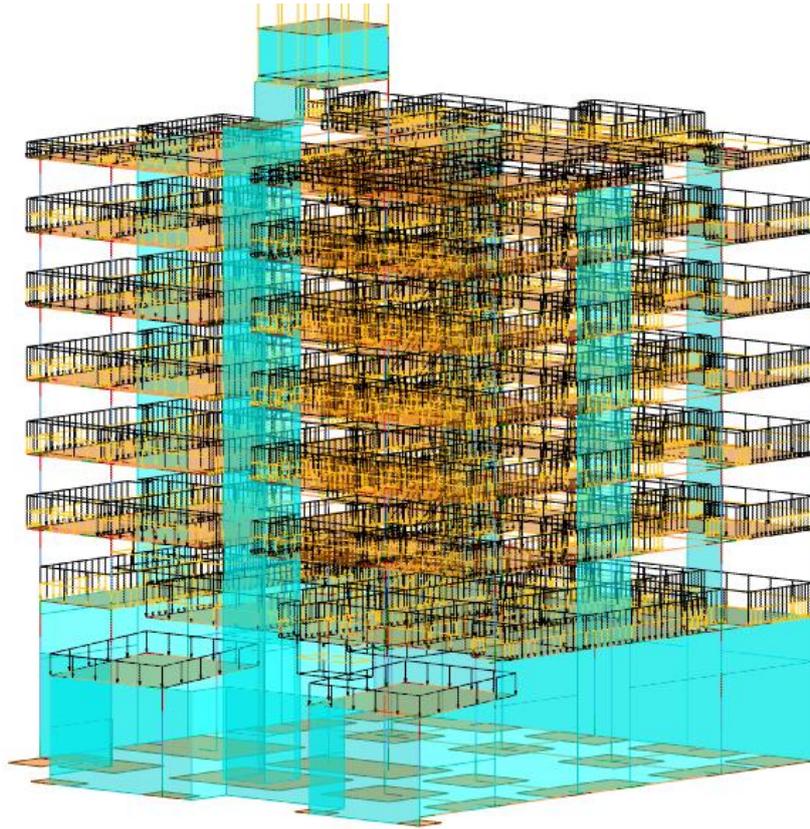


Figura 135. Cargas distribuidas superficialmente
Fuente: Elaboración propia

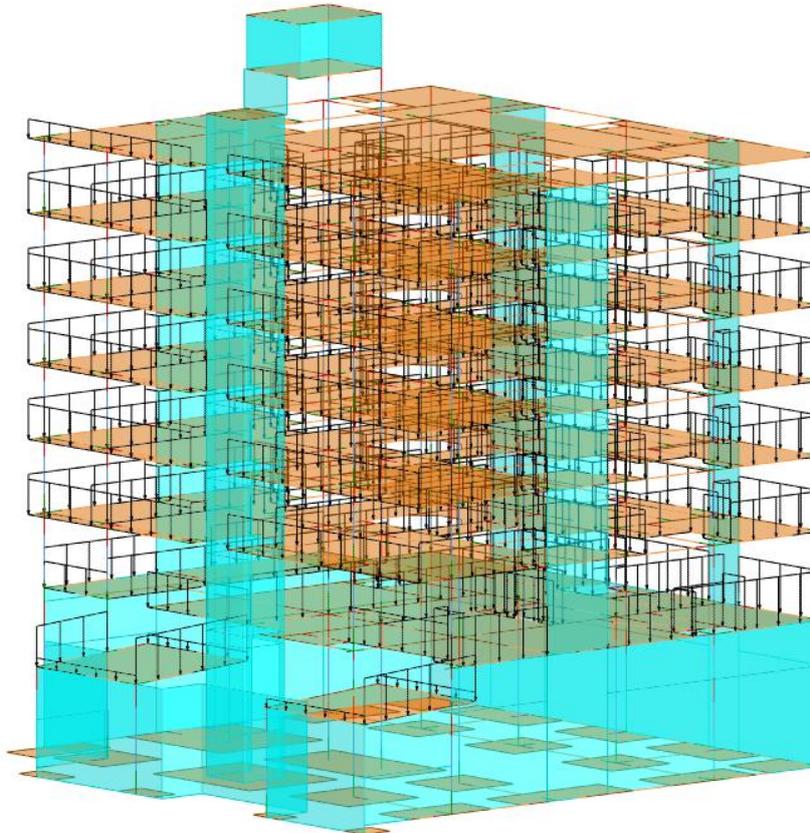


Figura 136. Cargas distribuidas linealmente
Fuente: Elaboración propia

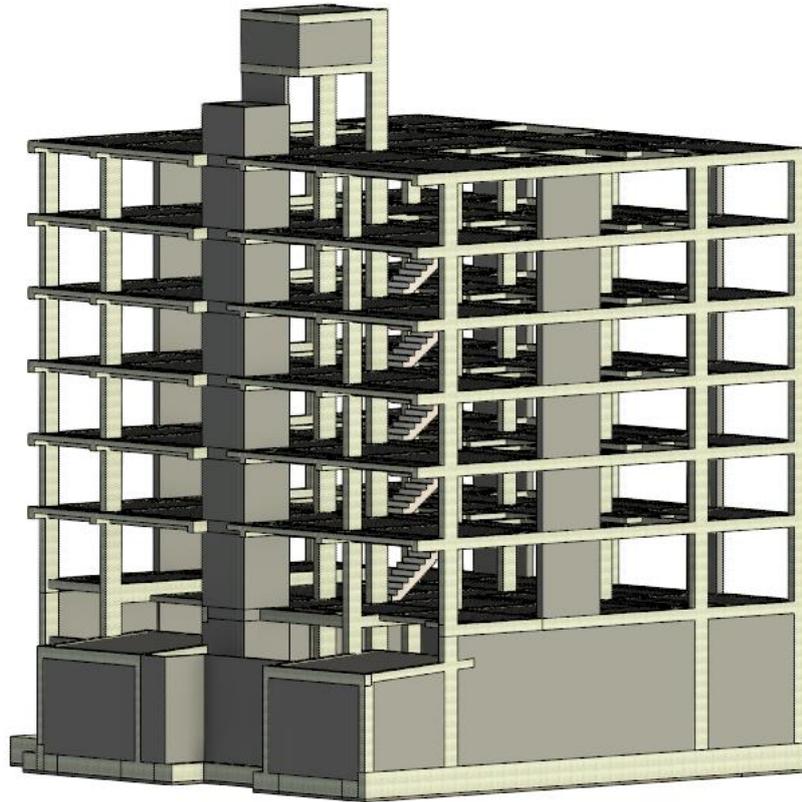


Figura 137. Modelo de concreto armado
Fuente: Elaboración propia

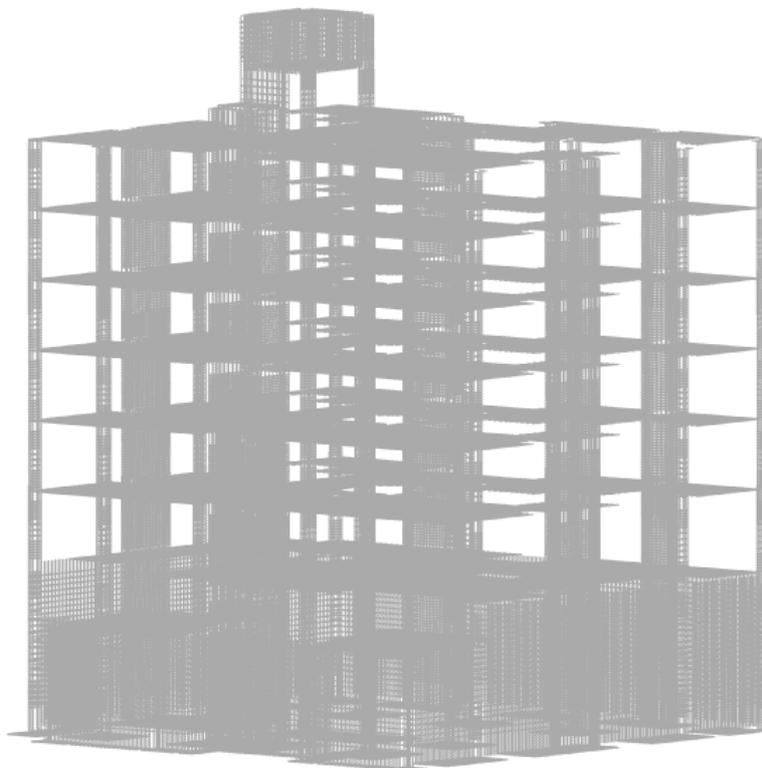
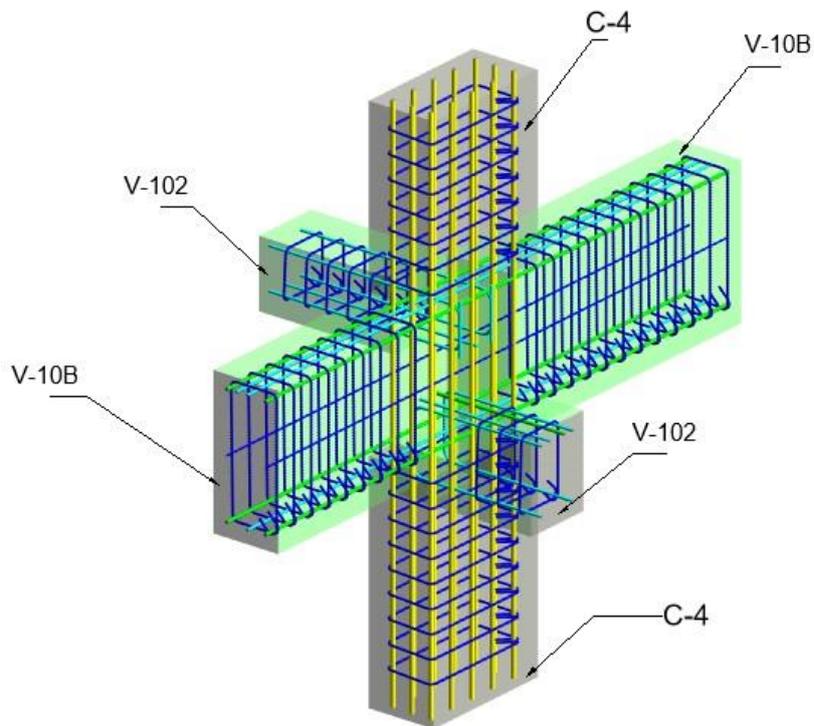


Figura 138. Modelo de acero estructural
Fuente: Elaboración propia

Se logró un nivel de desarrollo o LOD 400 mejorando el detalle y visualización del proyecto. Las bondades de este nivel de desarrollo de hicieron más notorias en las uniones de columnas y vigas, donde las columnas y reciben diferentes vigas a diferente nivel y que de una manera bidimensional sería difícil de comprender y construir. Los nudos son los que se encuentran entre el eje 3 y eje A, eje 4 y eje B, y el nudo en el eje 2 con el eje B.



9 Nudo 2B

Figura 139. LOD 400 en nudo 2B
Fuente: Elaboración propia

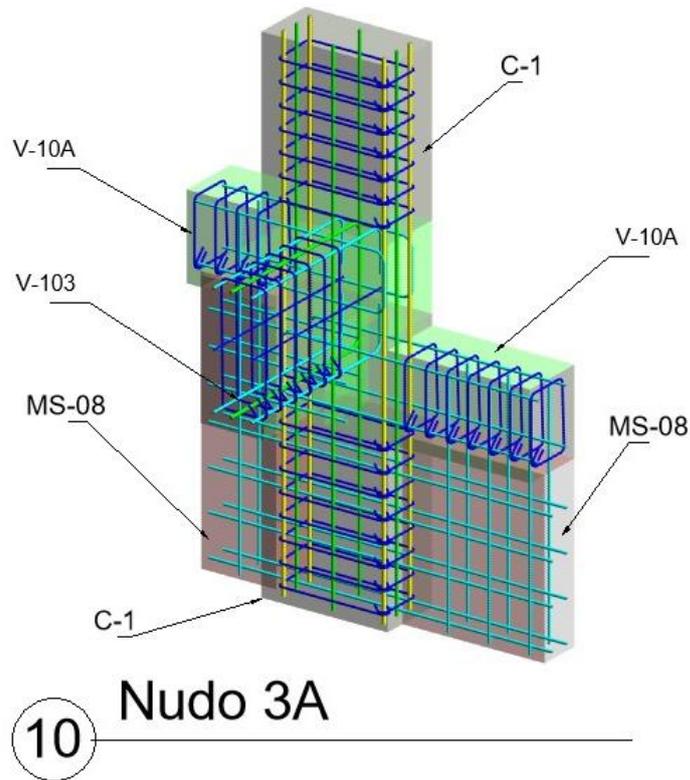


Figura 140. LOD 400 en nudo 3A
Fuente: Elaboración propia

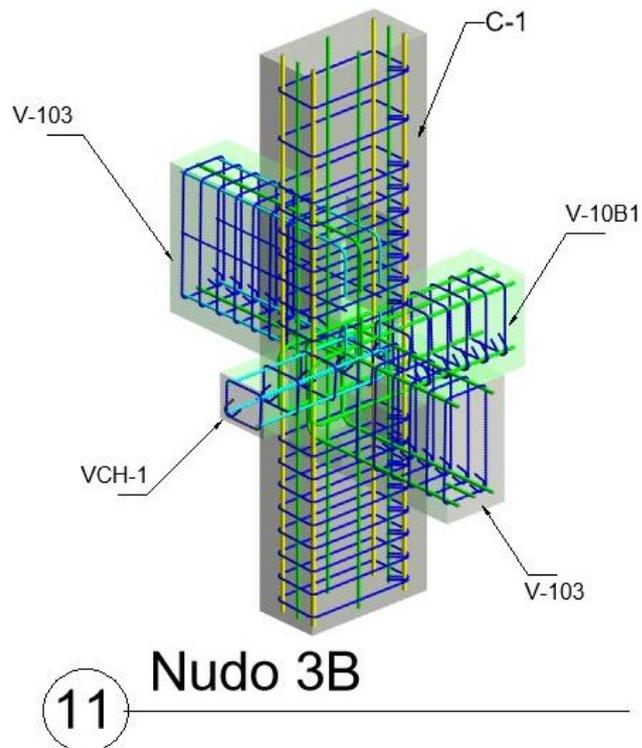


Figura 141. LOD 400 en nudo 3B
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN

6.1. Contrastación de hipótesis.

6.1.1. Hipótesis específica 1:

H1: Mediante el plan de ejecución BIM se integra la metodología BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano

Según la hipótesis específica uno, se pudo integrar la metodología BIM en el proceso de diseño estructural al poder crear la información de intercambio, que vendría a ser propiamente el modelo estructural, y que esta información de intercambio se pueda usar en fases más avanzadas del proyecto. Además, se pudo identificar 14 elementos principales que conforma el modelo estructural, y los cuales se pudieron desglosar en una hoja de intercambio de información para poder indicar el nivel de desarrollo con el que han sido creados e indicar información adicional importante para tener en cuenta en la sección de notas. De esta manera el proceso tradicional de diseño estructural pasa a ser un proceso colaborativo en donde el modelo 3D es el intercambio. En consecuencia, la hipótesis H1, **se valida**.

Tabla 72. Contrastación de H1

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Mediante el plan de ejecución BIM se integra la metodología BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Hoja de trabajo de intercambio de información	Información de intercambio: El modelo estructural. El desglose de 14 elementos principales que conforman el modelo estructural para el intercambio de información	Se indicó el nivel del LOD desarrollado e información adicional por cada elemento.

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Hipótesis específica 2:

H2: Mediante los modelados BIM se complementa el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano

Según la hipótesis específica dos, los resultados muestran que se han encontrados 2 optimizaciones en los elementos estructurales, que no se hubieran podido encontrar fácilmente sin la visualización e interfaz gráfica del modelo BIM. Además, en los resultados se encontrar que en el modelo BIM se corrige las formas de cómo se trabaja en Etabs, convirtiéndose de esta manera en un complemento beneficioso del proceso de diseño estructural. En consecuencia, la hipótesis H2, **se valida**.

Tabla 73. Contrastación de H2

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Mediante los modelados BIM se complementa el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Análisis observacional	Con el modelo BIM se han encontrados 2 optimizaciones en los elementos estructurales. El en modelo BIM se corrige la forma de trabajo de Etabs	Las optimizaciones no se hubieran podido encontrar fácilmente sin la visualización e interfaz gráfica del modelo BIM.

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Hipótesis específicas 3 :

H3: Mediante las dimensiones BIM se determinó mantener la información centralizada del proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano

Según la hipótesis específica tres, los resultados indican que se pudo transferir y mantener la información producida en el modelo analítico de Etabs y Safe al software Revit, incluyendo sus cargas distribuidas y lineales. Se pudo crear el modelo de concreto conforme al proceso constructivo y se creó el modelado de acero. En consecuencia, la hipótesis H3, **se valida**.

Tabla 74. Contrastación de H3

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Mediante las dimensiones BIM se determinó mantener la información centralizada del proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Archivos .EXR CSlxRevit 2021	Integración de la toda información del proceso de diseño estructural en un solo modelo BIM	La información almacenada en el modelo BIM es la siguiente: a) Modelo analítico de la estructura b) Modelo analítico de la cimentación c) Cargas distribuidas superficial y linealmente d) Modelado del concreto armado e) Modelado del acero de refuerzo

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Hipótesis específicas 4:

H4: Mediante el nivel de desarrollo o LOD mejorará el detalle y visualización el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano

Según la hipótesis específica cuatro, los resultados indican que se pudo obtener visualizaciones tridimensionales que mejoran la visualización y el detalle de la documentación, con un LOD 400, y así mejorar la comunicación entre las partes involucradas del proyecto, además de lograr ampliar su comprensión sobre el diseño de los elementos estructurales. En consecuencia, la hipótesis H4, **se valida**.

Tabla 75. Contrastación de H4.

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Mediante el nivel de desarrollo o LOD mejorará el detalle y visualización el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	REVIT 2021	Perspectivas de dibujo tridimensional en documentos de construcción con LOD 400	Los elementos tridimensionales ayudan a comprender y entender mejor los diseños constructivos

Fuente: Elaboración propia

6.2. Contrastación con los antecedentes

6.2.1. Contrastación con antecedente internacional

Tabla 76. Contrastación con antecedente internacional

Antecedente Internacional	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
(Kemerink, 2018)	Propone mejorar el modelo analítico creado en Revit por medio de Dynamo.	Con la programación en Dynamo se pudo extraer los datos del modelo analítico en Revit de manera adecuada para cualquier software de análisis estructural	Los resultados coinciden porque también se puede extraer los datos del modelo analítico, pero con la diferencia de que primero fue creado en Etabs, lo que evito la necesidad de la utilización de Dynamo.

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Contrastación con antecedente nacional

Tabla 77. Contrastación con antecedente nacional

Antecedente Internacional	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
(Chambilla Zamata, 2016)	Etabs – Revit - Navisworks	El modelado 3D se puede utilizar como herramienta de análisis para evaluar y revisar criterios de diseño. Permite evaluar aspectos constructivos que faciliten un mejor planeamiento y control de las actividades de construcción	Los resultados coinciden con los obtenidos en la investigación donde los modelos BIM se complementan con el proceso de diseño estructural.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. El plan de ejecución BIM logró integrar la metodología BIM en el proceso de diseño estructural por medio de la hoja de selección de usos BIM, los mapas de procesos generales; que sirvió para poner en un contexto general la necesidad del proceso de diseño estructural en el desarrollo de un proyecto con metodología BIM; mapas de procesos detallados y finalmente por medio de la hoja de intercambio de información para transmitir la información creada hacia etapas más avanzadas del proyecto, por medio del desglose de los elementos estructurales del modelo.

2. El modelo BIM logró complementar el proceso de diseño estructural al poder tener una excelente visualización tridimensional de la estructura en su conjunto y de cada elemento de forma específica, que mediante un análisis observacional poder detectar incompatibilidades rápidamente u encontrar opciones de optimización de los elementos estructurales.

3. La dimensión BIM 3D logró mantener la información centralizada del proceso de diseño estructural, que involucran los programas de análisis y obtención de datos Etabs y Safe, y de los programas de almacenaje y procesamiento de datos Excel y Mathcad. La dimensión 3D está compuesta por lo tanto de los modelos analíticos importados de Etabs y Safe, cargas distribuidas superficial y linealmente, el modelado del concreto armado y el modelado del acero de refuerzo. Con esta dimensión ya se puede realizar la documentación necesaria para la construcción.

4. El nivel de desarrollo o LOD es 400, puesto que todos los elementos del modelo contienen concreto armado, era indispensable que se añadiera las cantidades de acero para cada elemento estructural. Este nivel de desarrollo 400 proviene de los cálculos de Excel y Mathcad donde se determina las cantidades de acero necesarias para cada elemento, incluyendo longitudes de ganchos, traslapes y longitudes de desarrollo. Además, durante la colocación del acero en los elementos verticales se consideró la longitud de traslape de acuerdo con el diámetro de la barra mayor a traslapar. En el caso de losa aligerada se añadió, además del acero y concreto, ladrillos techo con el fin de poder alcanzar un LOD 400 para este elemento.

RECOMENDACIONES

Identificar y definir una infraestructura para el proyecto. Esta infraestructura puede contar con categorías como la información del proyecto, contactos clave del proyecto o representante de cada parte involucrada, roles organizacionales para definir responsabilidades específicas, procedimientos de colaboración electrónica y de las actividades, determinar que plataformas de software son necesarias son solo algunas categorías que se pueden definir.

Iniciar la creación del modelo analítico en Etabs. Al momento de la importación del modelo analítico de Etabs a Revit, se lograr importar correctamente. Sin embargo, el modelo geométrico o físico sufre choques y conflictos entre sus elementos, como por ejemplo las losas aligeradas y vigas, y que necesariamente se deberá corregir, sin embargo, esta corrección puede tomar un tiempo considerable puesto que en su mayoría estos acontecimientos suceden en los nudos de cada columna por cada nivel. Entonces entre más columnas y más niveles contenga el proyecto más tiempo tomara la corrección.

Usar códigos en los elementos para poder e identificarlo rápidamente y ser más precisos. Como para el caso de metrados, en donde solo se requiere para una partida específica la cantidad de concreto de las vigas de cimentación. Por lo tanto, a las vigas de cimentación se les podrá colocar un código y así será más fácil de obtener la información de solamente esas vigas.

Definir el nivel de desarrollo o LOD necesario considerando su utilización en etapas avanzadas del proyecto. Esto debido a que el elemento puede desarrollarse significativamente, pero por algún motivo no se utilizara en las etapas siguientes, lo que se traduciría en una pérdida de tiempo.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		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					
Título de la investigación		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					
Elaborado por		SEGUNDO FERNANDO CARLOS CUEVA					
Problema		Objetivo	Hipótesis	Variables		Metodología	
Problema Principal		Objetivo Principal	Hipótesis Principal	Variables	Dimensión	Indicadores	
¿De qué manera influye la metodología BIM en el proceso de diseño estructural 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?		Aplicar la metodología BIM en el proceso de diseño estructural 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.	La metodología BIM mejorará el proceso de diseño estructural 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	La metodología BIM (Independiente)		Plan de ejecución BIM (BEP) BIM Project Execution Planning Guide v2.2 The VA BIM Guide v1.0 Singapore BIM Guide v2	Diseño - Enfoque : Cuantitativo no experimental transeccional. Se usará procedimientos ordenados, no se alterará ninguna variable y se busca una relación entre variables. - Tipo : Aplicada. Busca proponer soluciones. - Nivel : Descriptiva. Describe procesos y existe una amplia bibliografía de las variables. - Diseño : Correlacional. Se busca explicar como se comporta una variable ante la implementación de otra variable, evaluando su relación y medida.
				Modelos BIM Modelo Arquitectónico Modelo Estructural Modelo Analítico Modelo MEP Modelo HVAC		Muestra Edificación multifamiliar con 400 m2 de área de terreno, 6 niveles , asimétrico arquitectonicamente en ambos ejes, con un semisótano, 17 estacionamientos, 23 departamentos en el distrito de Ate-Vitarte, provincia y departamento de Lima	
				Dimensiones BIM 3D - 4D - 5D - 6D - 7D			
				Nivel de desarrollo (LOD) 100 - 200 - 300 - 400 - 500			
Problemas Específicos		Objetivos Principales	Hipótesis Específicas			Instrumentos	
¿De qué manera influye el plan de ejecución BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?		Determinar la influencia del plan de ejecución BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.	Mediante el plan de ejecución BIM se integra la metodología BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Estructuración Simplicidad Simetría Resistencia Ductibilidad Unidad Rigidez lateral Diafragma rígido		Instrumentos 1. Instr. de recolección de datos - Bibliográficos - Cuestionarios - Normas técnicas peruanas - Guías internacionales - Diagrama de causa - efecto 2. Instr. de procesamiento de datos - AutoCAD 2019 - Etabs 2018 - Safe 2016 - Excel 2104 - Mathcad 6 - CSIxRevit 2021 - Revit 2021	
¿De qué manera influye los modelados BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?		Determinar la influencia de los modelados BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.	Mediante los modelados BIM se complementa el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Proceso de diseño estructural (Dependiente)		Procedimiento 1. Estructuración y predimensionamiento 2. Generación de modelo analítico 3. Análisis estructural 4. Análisis estructural de cimentación 5. Importación de los modelos analíticos 6. Diseño de los elementos estructurales 7. Creación del modelo BIM 8. Generación de documentación	
¿De qué manera influye las dimensiones BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?		Determinar la influencia de las dimensiones BIM en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.	Mediante las dimensiones BIM se determinó mantener la información centralizada del proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Diseño de concreto armado Diseño por flexión Diseño por corte Diseño por flexocompresión Verificación de columna fuerte y viga débil Verificación por corte Verificación por punzonamiento			
¿De qué manera influye el nivel de desarrollo o LOD en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano?		Determinar la influencia del nivel de desarrollo o LOD en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano.	Mediante el nivel de desarrollo o LOD mejorará el detalle y visualización en el proceso de diseño estructural en la etapa de planificación de un proyecto en una edificación multifamiliar de seis niveles y un semisótano	Documentación Planos de losas aligeradas Planos de losas macizas Planos de vigas Planos de columnas y muros estructurales Planos de cimentación			

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TERRENO:

Capacidad portante : 3.00 kg/cm²
 Profundidad de desplante : - 4.25 m

CONCRETO SIMPLE:

Solado : C:H - 1 bolsa : 12 latas concreteras

CONCRETO ARMADO:

CONCRETO

Cimentación : f'c=210 kg/cm²
 Muros de sótano : f'c=210 kg/cm²
 Columnas y muros estructurales : f'c=210 kg/cm²
 Vigas peraltadas : f'c=210 kg/cm²
 Otros elementos : f'c=210 kg/cm²

ACERO DE REFUERZO : f'y=4200 kg/cm²

RECUBRIMIENTO:

Cimentación : 7.50 cm
 Muros estructurales y de sótano : 2.50 cm
 Losas macizas : 2.50 cm
 Columnas y vigas peraltadas : 4.00 cm
 Aligerados y vigas chatas : 2.00 cm
 Escaleras : 2.00 cm

SOBRECARGA:

1er - 6to piso : 200.00 kg/m²
 Techo : 100.00 kg/m²
 Estacionamientos : 250.00 kg/m²

NORMAS DE DISEÑO :

Cargas : E-0.20
 Diseño sismoresistente : E-0.30
 Diseño concreto armado : E-0.60
 Suelos y cimentaciones : E-0.50

PARAMETROS SISMICOS (NORMAS E-0.30-2018):

Factor de Zona : Z: 0.45
 Factor de Uso : U: 1.00
 Factor de suelo : S: 1.00
 Factor de amplificación sísmica : C: 2.50

ESTRUCTURA IRREGULAR

Irregularidad en planta (Ip) : 0.75
 Irregularidad en altura (Ia) : 1.00
 Factor de reducción de fuerza sísmica : 6.00

Sistema Estructural

: Muros Estructurales

Máxima distorsión de entre piso

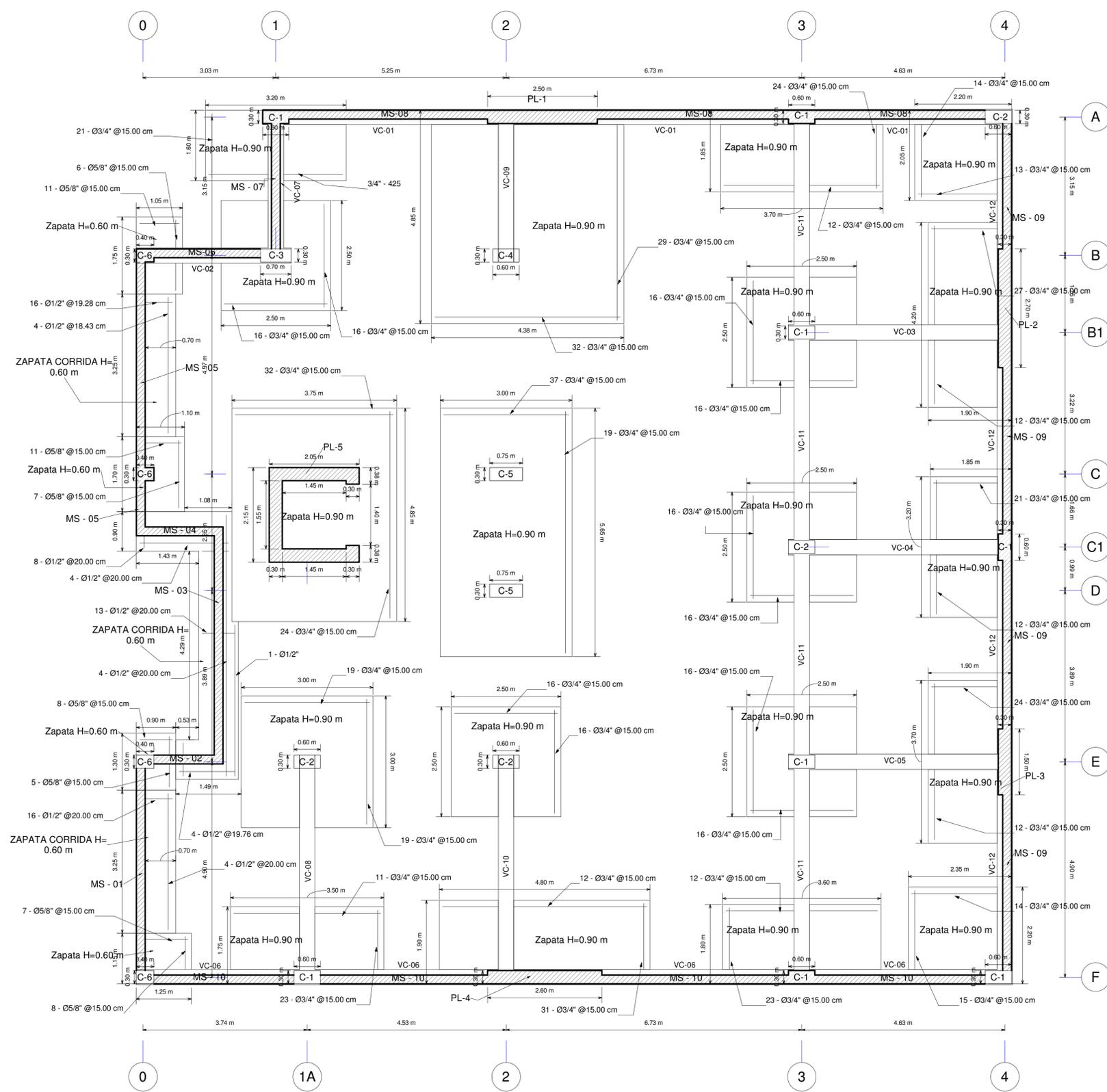
: 0.0070

Máxima desplazamiento

: 0.0065

Junta de separación sísmica

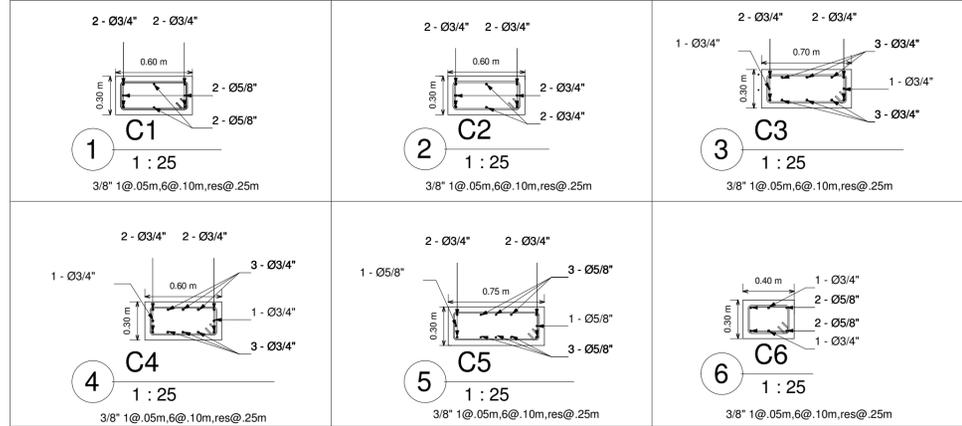
: 5.00 cm



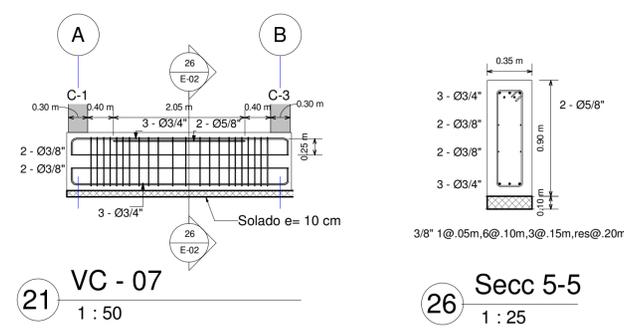
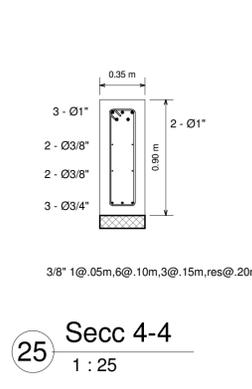
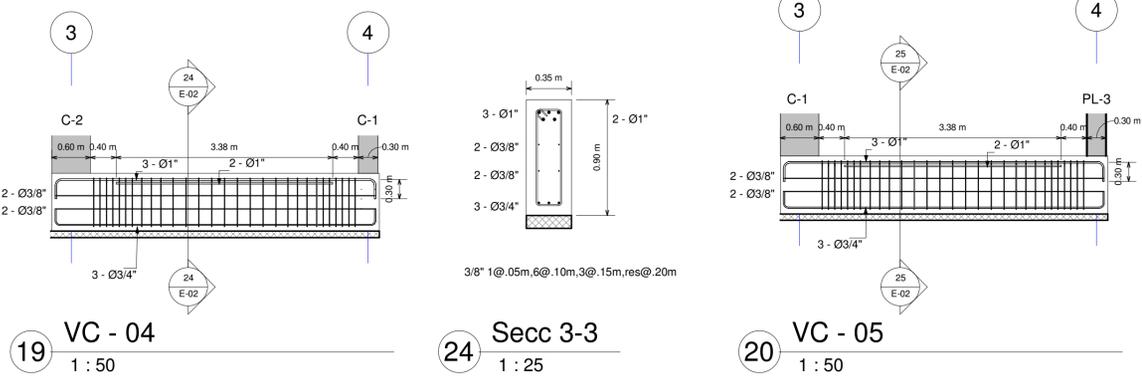
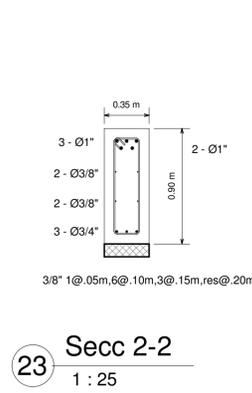
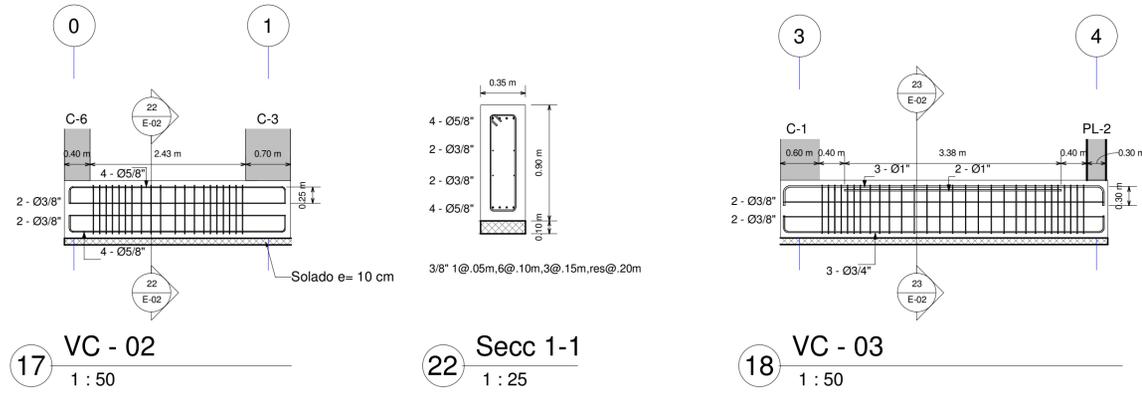
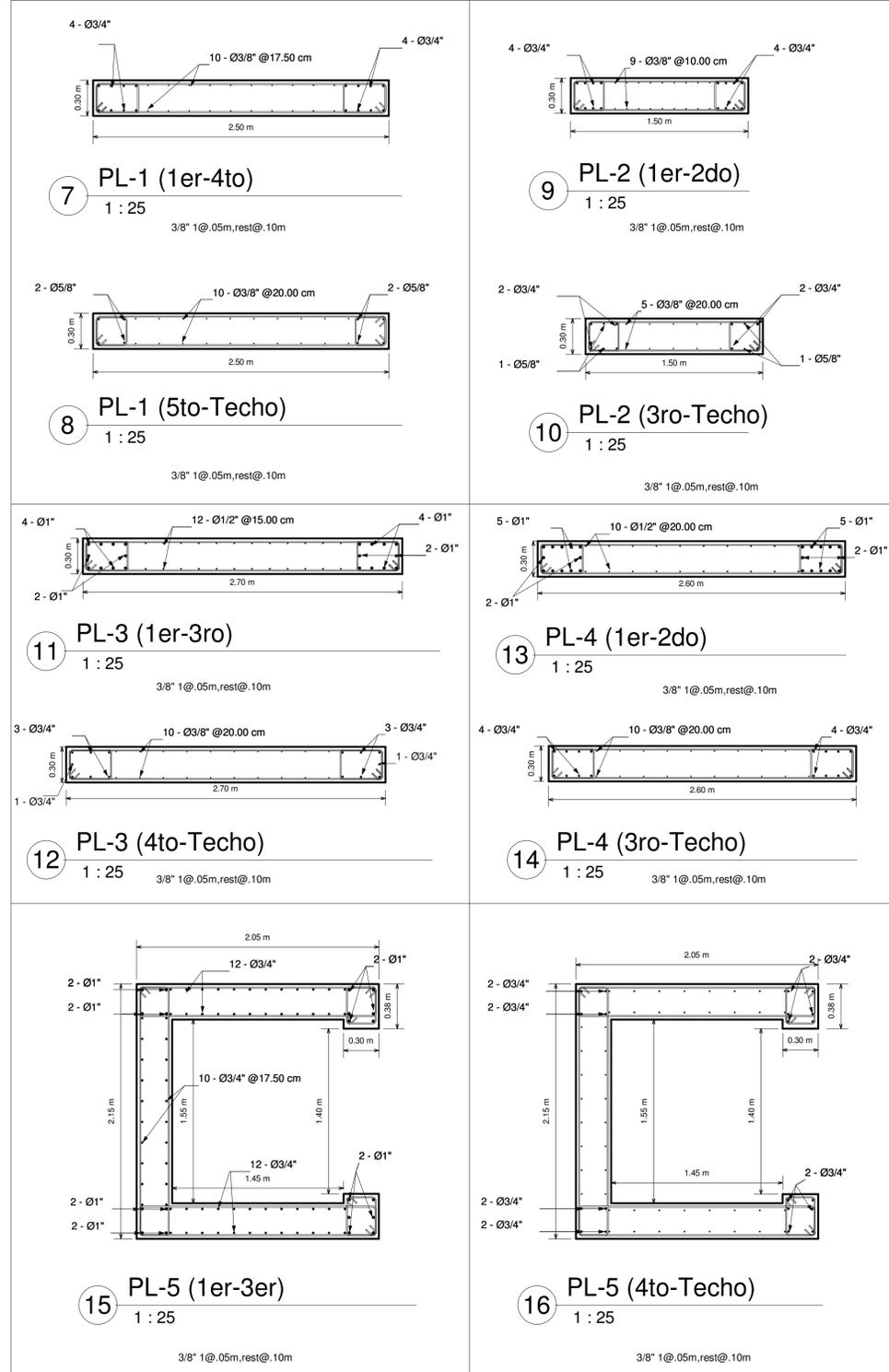
1 Cimentación
 1 : 50

	DISTRITO:	PROYECTO:	Nº DE LAMINA:
	ATE - VITARTE	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	E-01
	PROVINCIA:	ESPECIALIDAD:	ESCALA:
	LIMA	ESTRUCTURAS	INDICADA
DEPARTAMENTO:	PLANO:	FECHA:	
LIMA	CIMENTACIÓN - PLANTA Y DETALLES	JUNIO 2021	
ALUMNO:	Segundo Fernando Carlos Cueva		

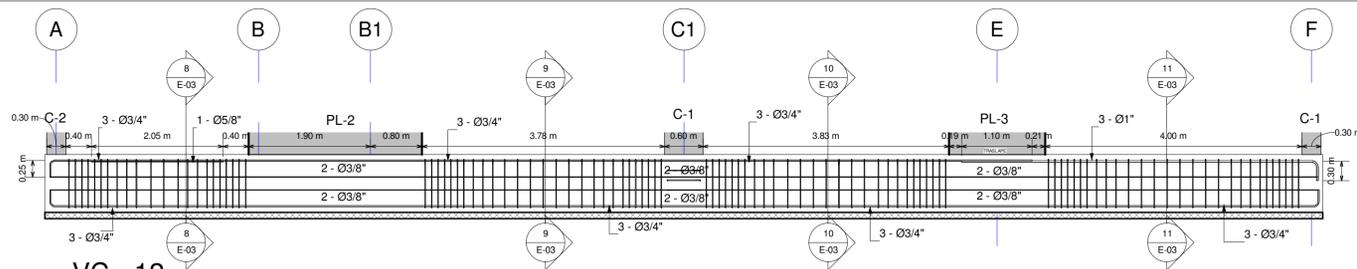
CUADRO DE COLUMNAS



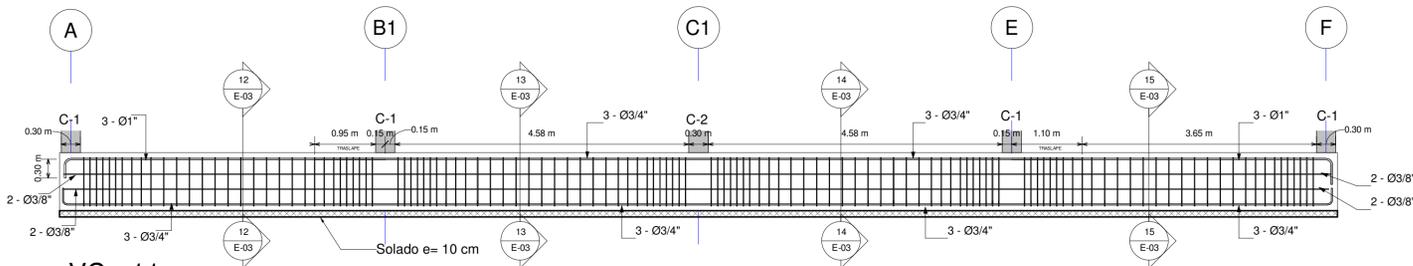
CUADRO DE MUROS ESTRUCTURALES O PLACAS



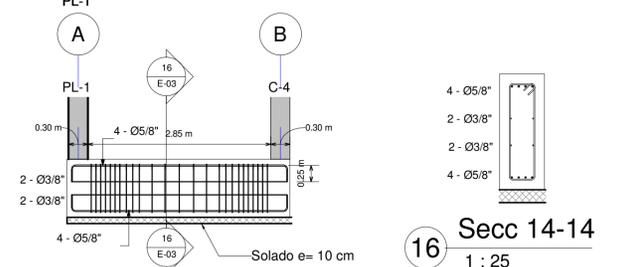
USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	DISTRITO:	ATE - VITARTE	PROYECTO:	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	Nº DE LAMINA:	E-02
	PROVINCIA:	LIMA	ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	ESCALA:	INDICADA
	DEPARTAMENTO:	LIMA	PLANO:	COLUMNAS - PLACAS - VIGAS DE CIMENTACIÓN	FECHA:	JUNIO 2021
	ALUMNO:	Segundo Fernando Carlos Cueva				



1 VC - 12
1 : 50

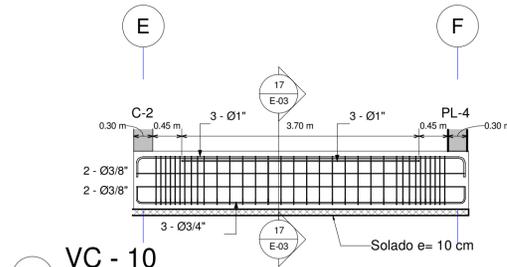


2 VC - 11
1 : 50

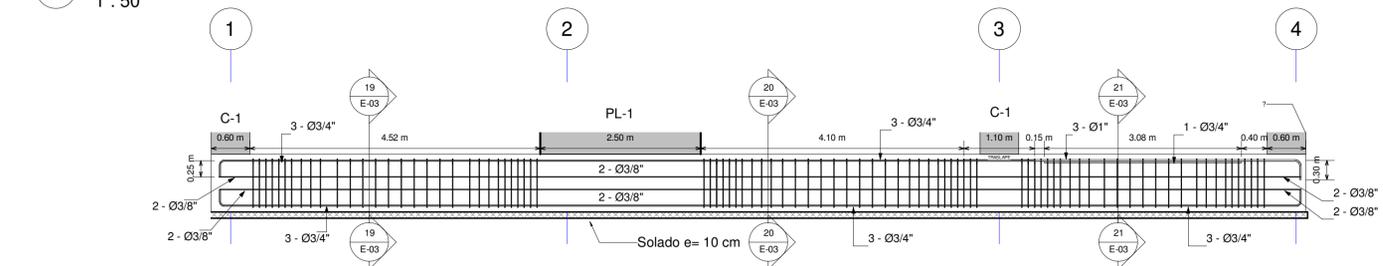


3 VC - 09
1 : 50

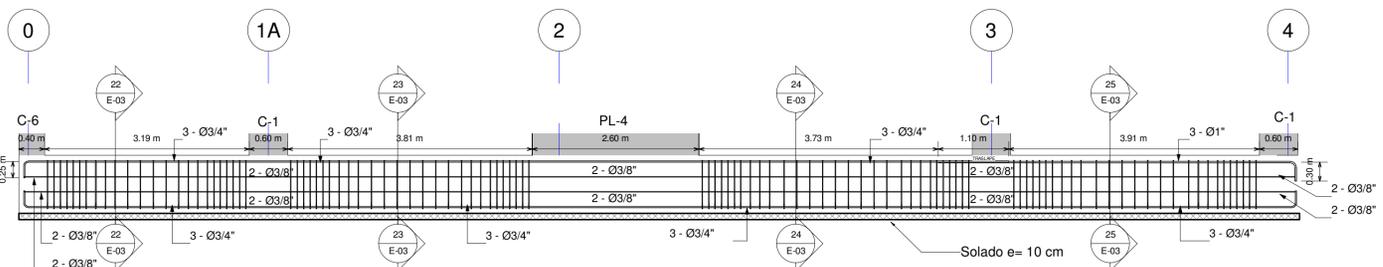
16 Secc 14-14
1 : 25



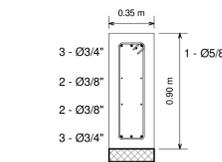
4 VC - 10
1 : 50



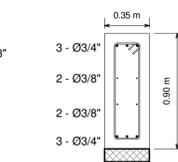
6 VC - 01
1 : 50



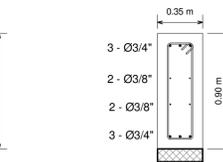
7 VC - 06
1 : 50



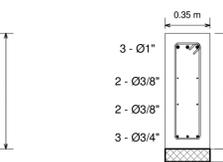
8 Secc 6-6
1 : 25



9 Secc 7-7
1 : 25

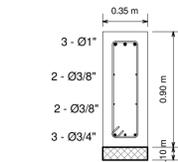


10 Secc 8-8
1 : 25

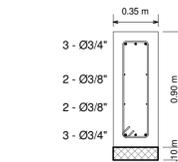


11 Secc 9-9
1 : 25

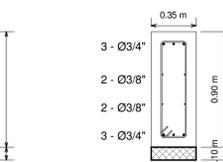
3/8" 1@.05m,6@.10m,3@.15m,res@.20m



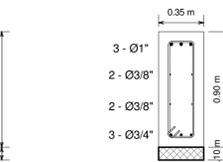
12 Secc 10-10
1 : 25



13 Secc 11-11
1 : 25

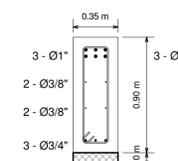


14 Secc 12-12
1 : 25



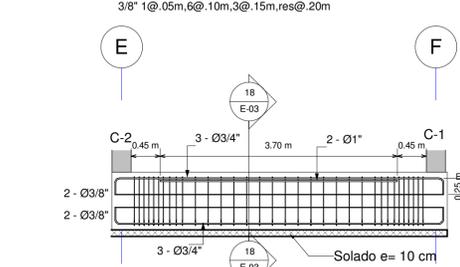
15 Secc 13-13
1 : 25

3/8" 1@.05m,6@.10m,3@.15m,res@.20m

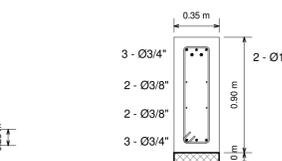


17 Secc 15-15
1 : 25

3/8" 1@.05m,6@.10m,3@.15m,res@.20m

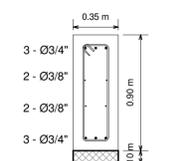


5 VC - 08
1 : 50

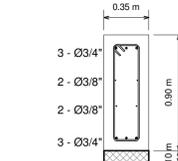


18 Secc 16-16
1 : 25

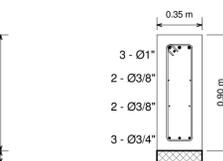
3/8" 1@.05m,6@.10m,3@.15m,res@.20m



19 Secc 17-17
1 : 25

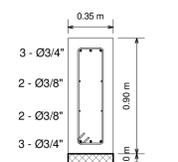


20 Secc 18-18
1 : 25

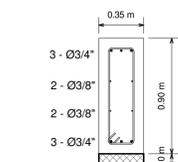


21 Secc 19-19
1 : 25

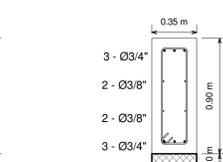
3/8" 1@.05m,6@.10m,3@.15m,res@.20m



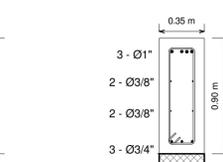
22 Secc 20-20
1 : 25



23 Secc 21-21
1 : 25



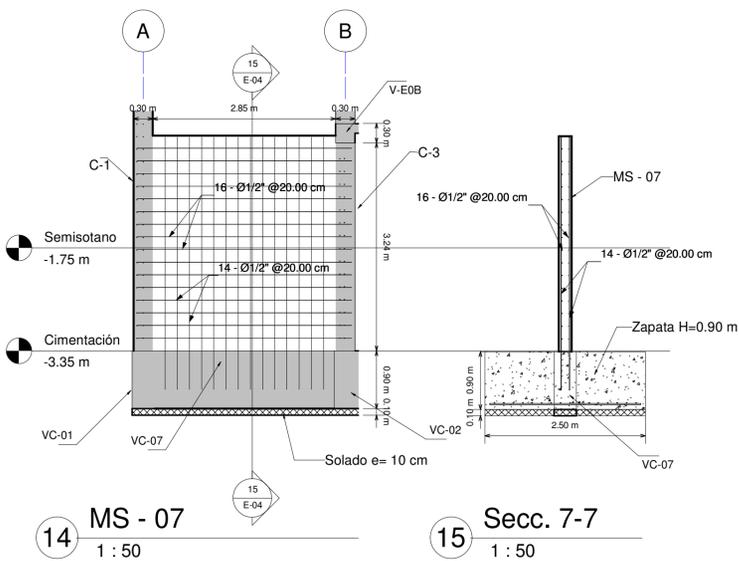
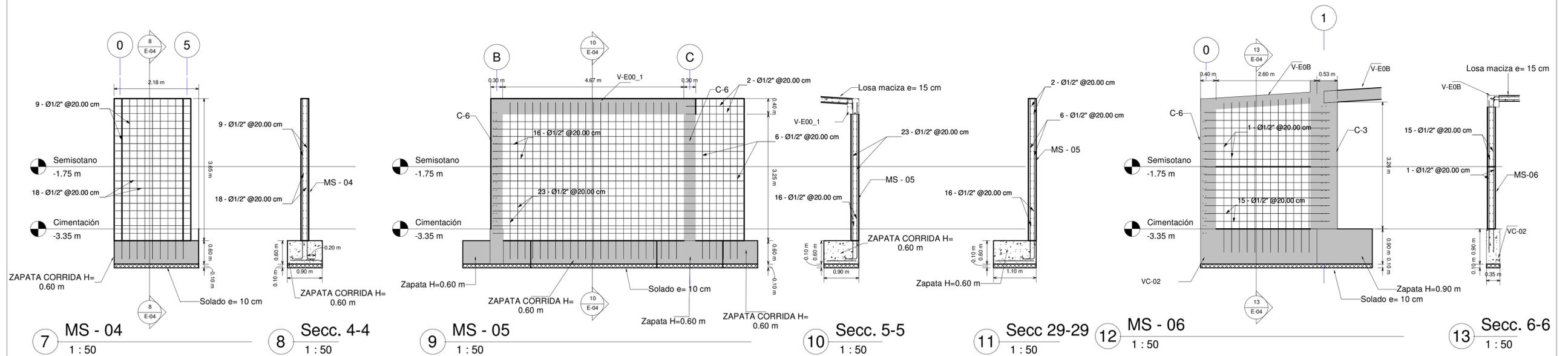
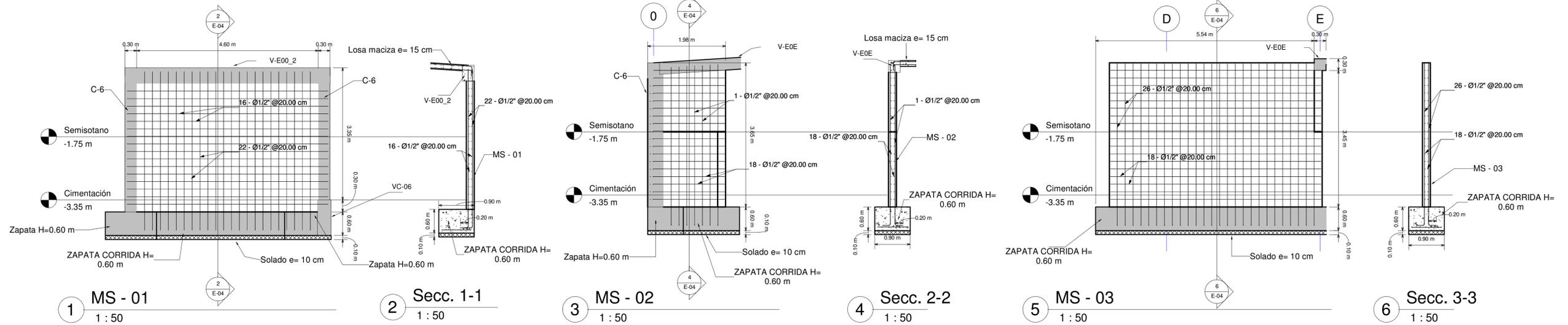
24 Secc 22-22
1 : 25



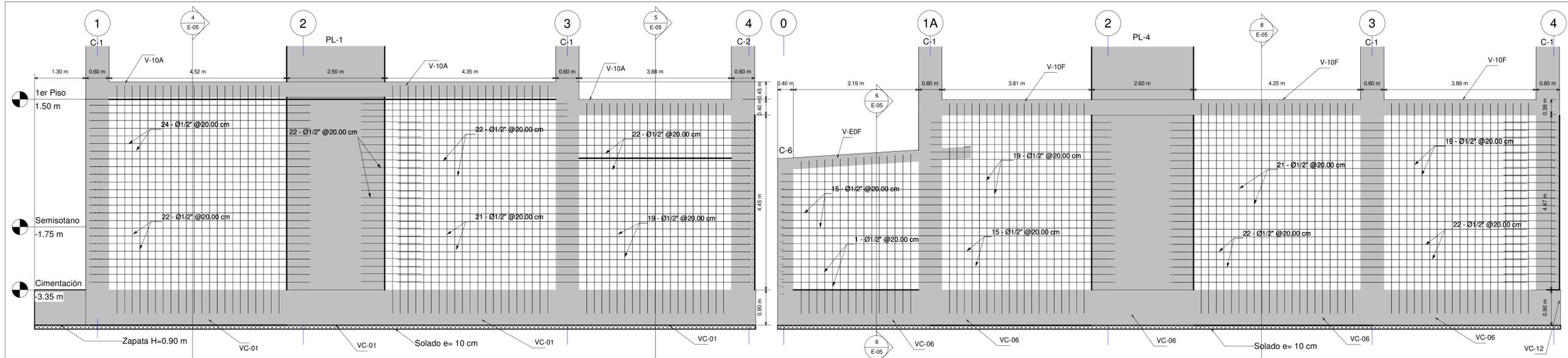
25 Secc 23-23
1 : 25

3/8" 1@.05m,6@.10m,3@.15m,res@.20m

 USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	DISTRITO:	PROYECTO:	Nº DE LAMINA:
	ATE - VITARTE	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	E-03
	PROVINCIA:	ESPECIALIDAD:	ESCALA:
	LIMA	ESTRUCTURAS	INDICADA
DEPARTAMENTO:	PLANO:	FECHA:	
LIMA	CIMENTACIÓN - VIGAS DE CIMENTACIÓN	JUNIO 2021	
	ALUMNO:		
	Segundo Fernando Carlos Cueva		

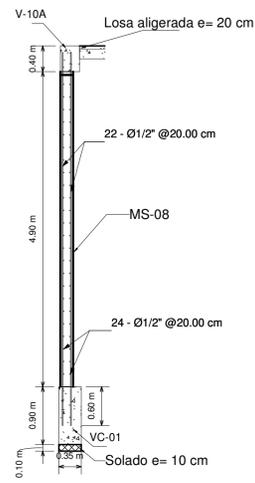


 USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		DISTRITO: ATE - VITARTE	PROYECTO: EDIFICION MULTIFAMILIAR	Nº DE LAMINA: E-04	
			ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS	ESCALA: INDICADA		
			PLAN: MUROS DE SEMISÓTANO	ALUMNO: Segundo Fernando Carlos Cueva	FECHA: JUNIO 2021	
			DEPARTAMENTO: LIMA			

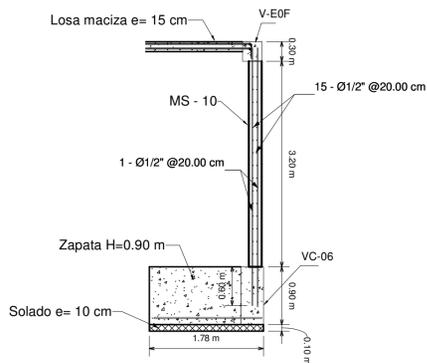


1 MS - 08
1 : 50

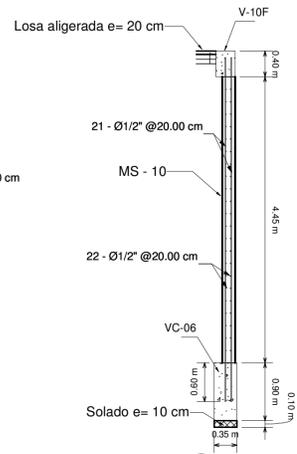
2 MS - 10
1 : 50



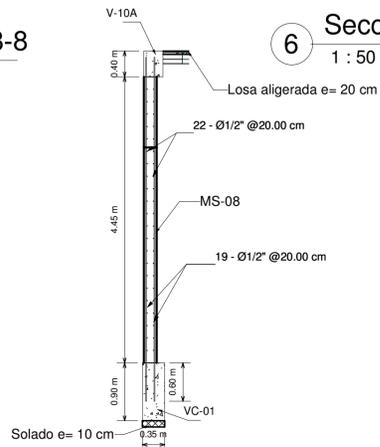
4 Secc. 8-8
1 : 50



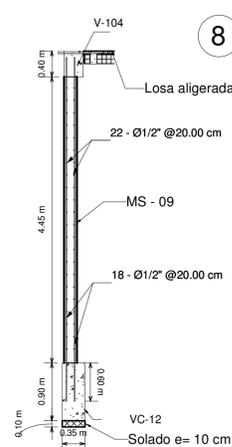
6 Secc. 10-10
1 : 50



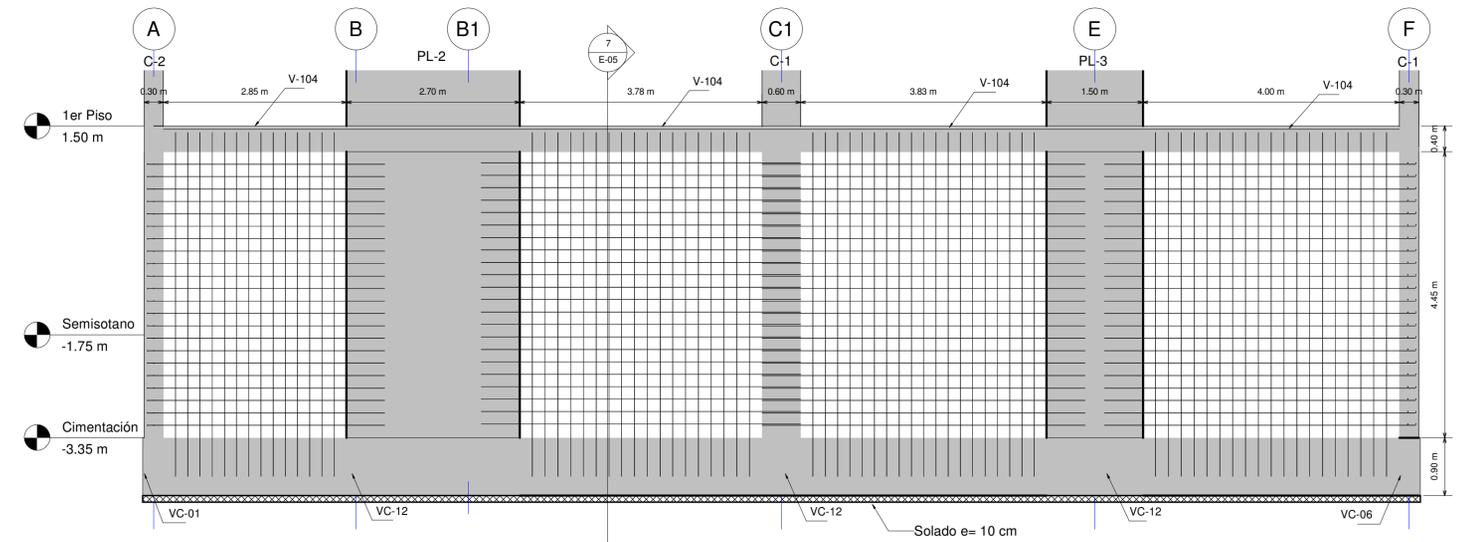
8 Secc. 12-12
1 : 50



5 Secc. 9-9
1 : 50



7 Secc. 11-11
1 : 50

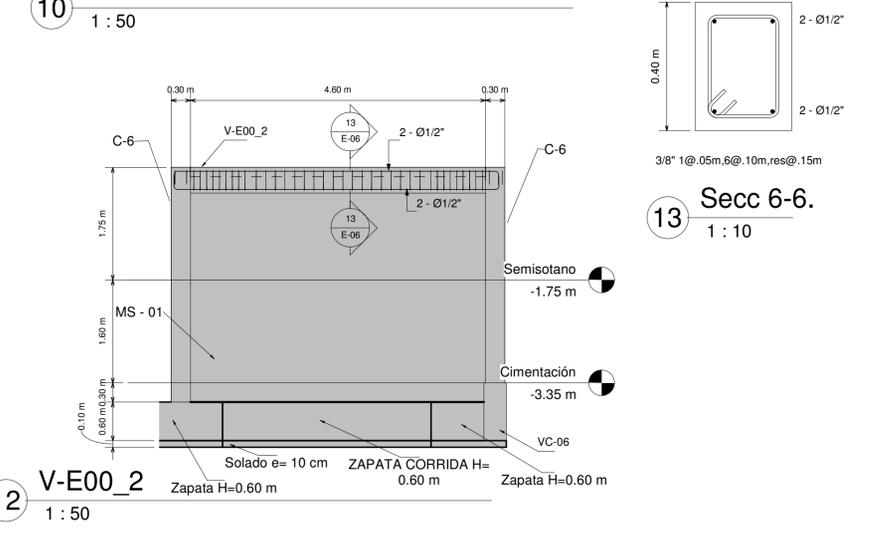
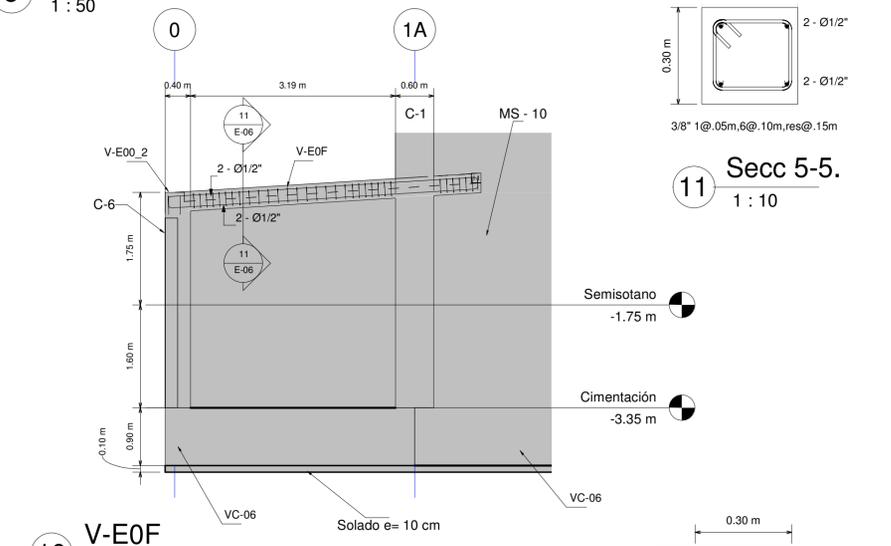
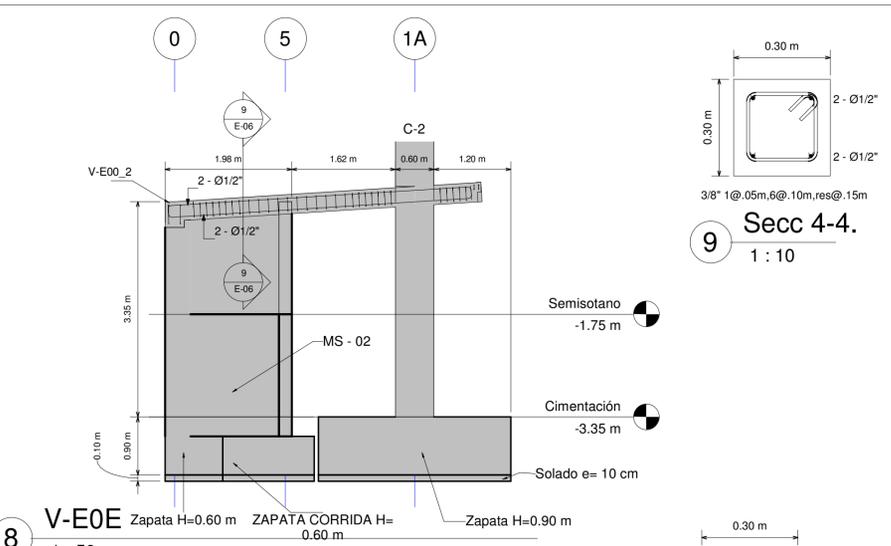
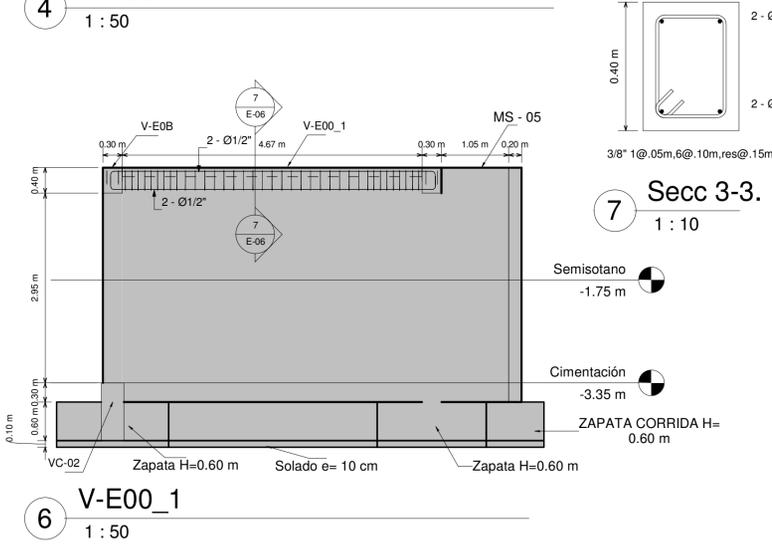
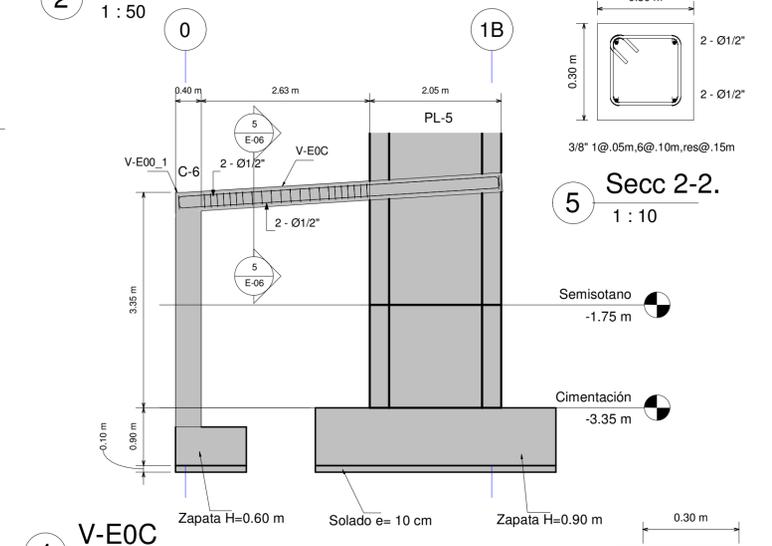
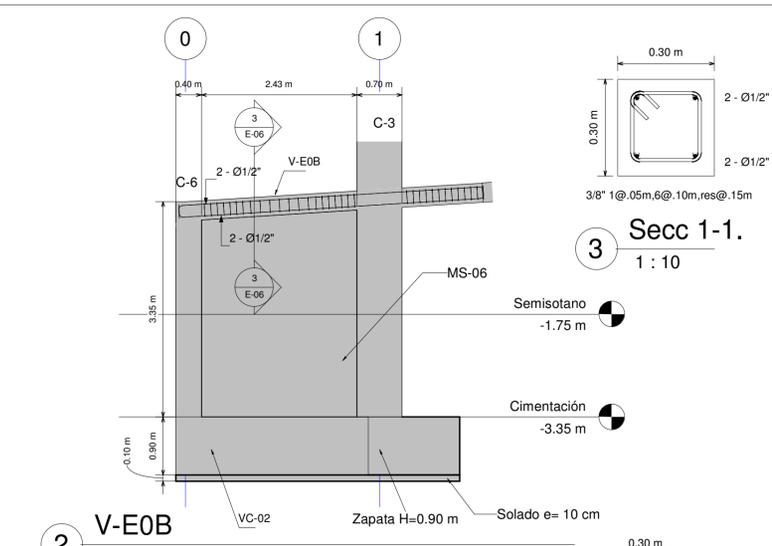
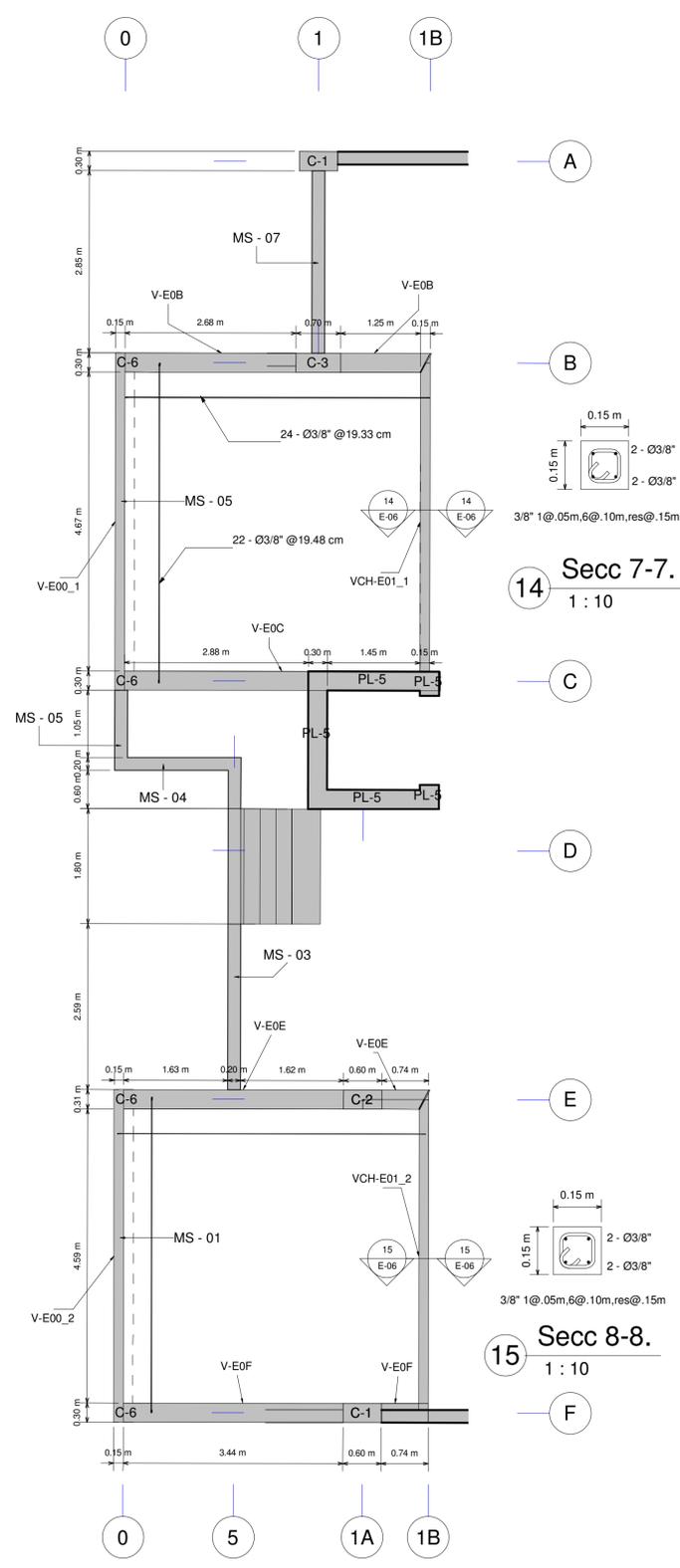


3 MS - 09
1 : 50



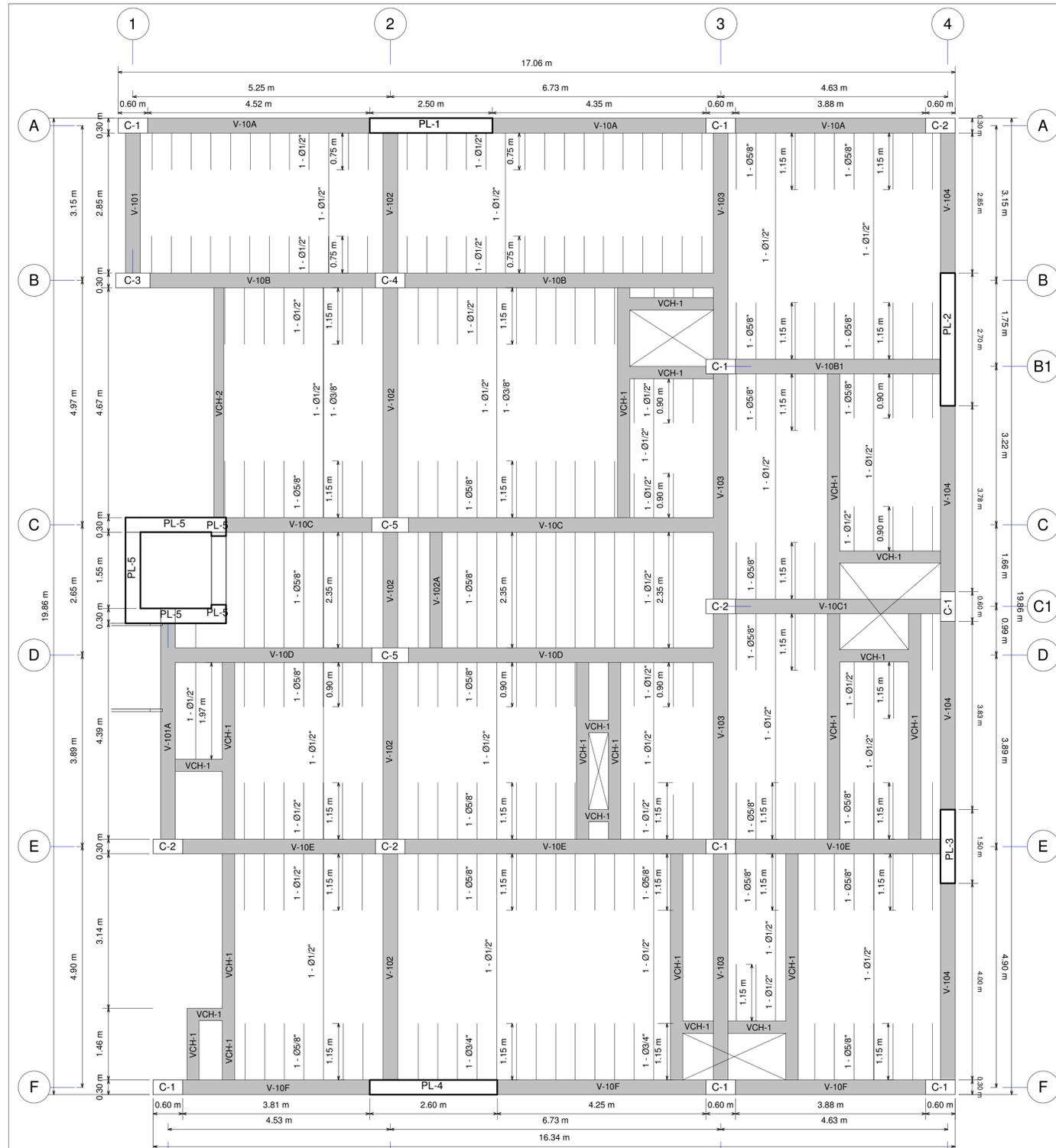
USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES
FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DISTRITO: ATE - VITARTE	PROYECTO: EDIFICION MULTIFAMILIAR	Nº DE LAMINA: E-05
PROVINCIA: LIMA	ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS	ESCALA: INDICADA
DEPARTAMENTO: LIMA	PLANO: MUROS DE SEMISÓTANO	FECHA: JUNIO 2021
	ALUMNO: Segundo Fernando Carlos Cueva	

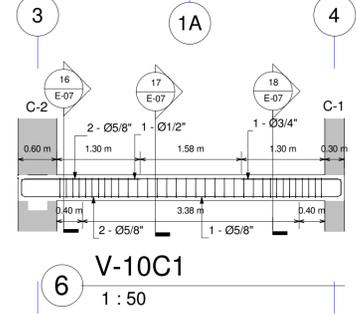
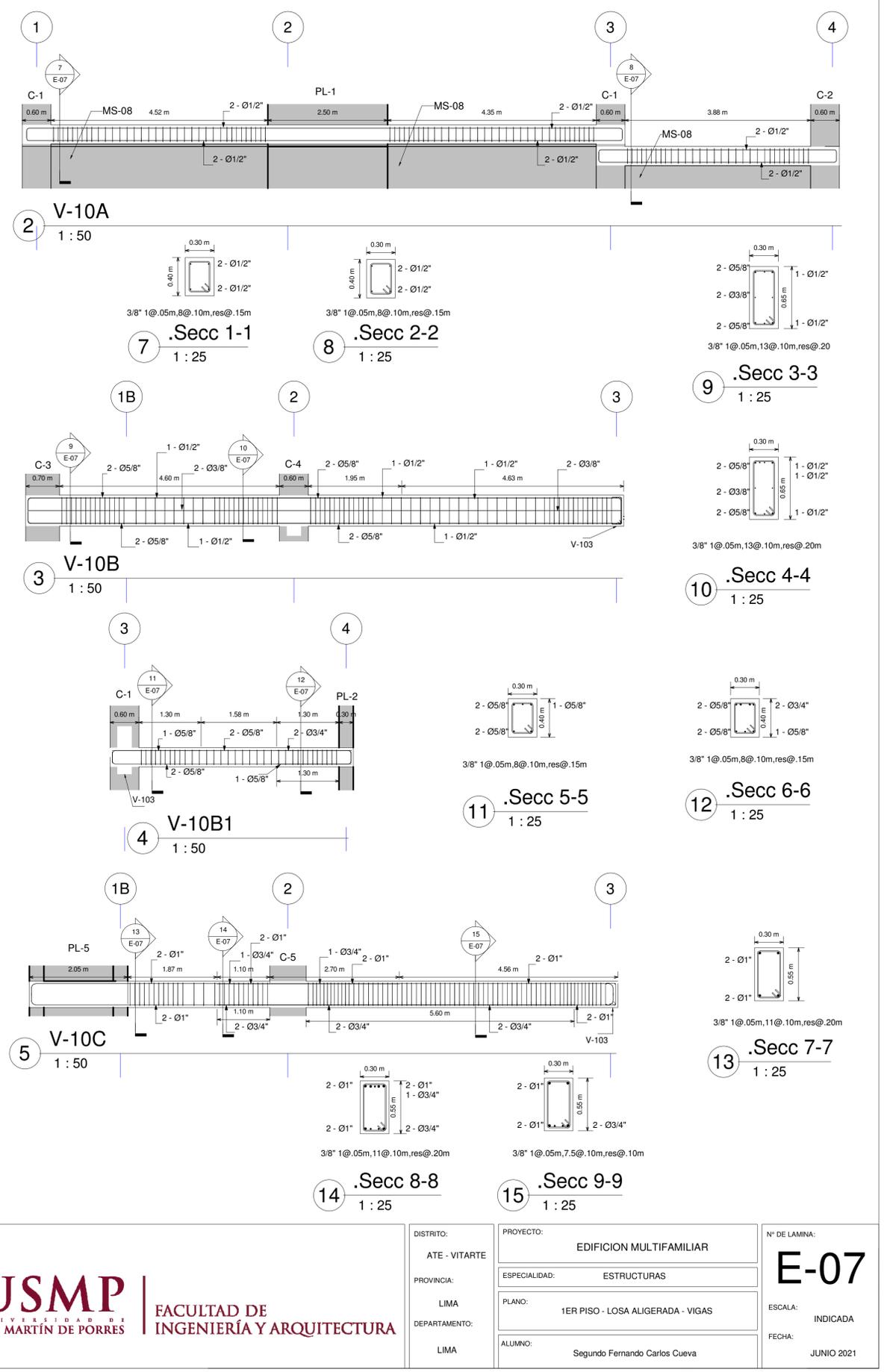


1 Losa Maciza - Estacionamientos
1 : 50

	DISTRITO:	ATE - VITARTE	PROYECTO:	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	Nº DE LAMINA:	E-06
	PROVINCIA:	LIMA	ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	ESCALA:	INDICADA
	DEPARTAMENTO:	LIMA	PLANO:	ESTACIONAMIENTO	FECHA:	JUNIO 2021
	ALUMNO:	Segundo Fernando Carlos Cueva				



Losa Aligerada 1er Nivel
1 : 50



6 V-10C1
1 : 50



16 .Secc 10-10
1 : 25



17 .Secc 11-11
1 : 25



18 .Secc 12-12
1 : 25



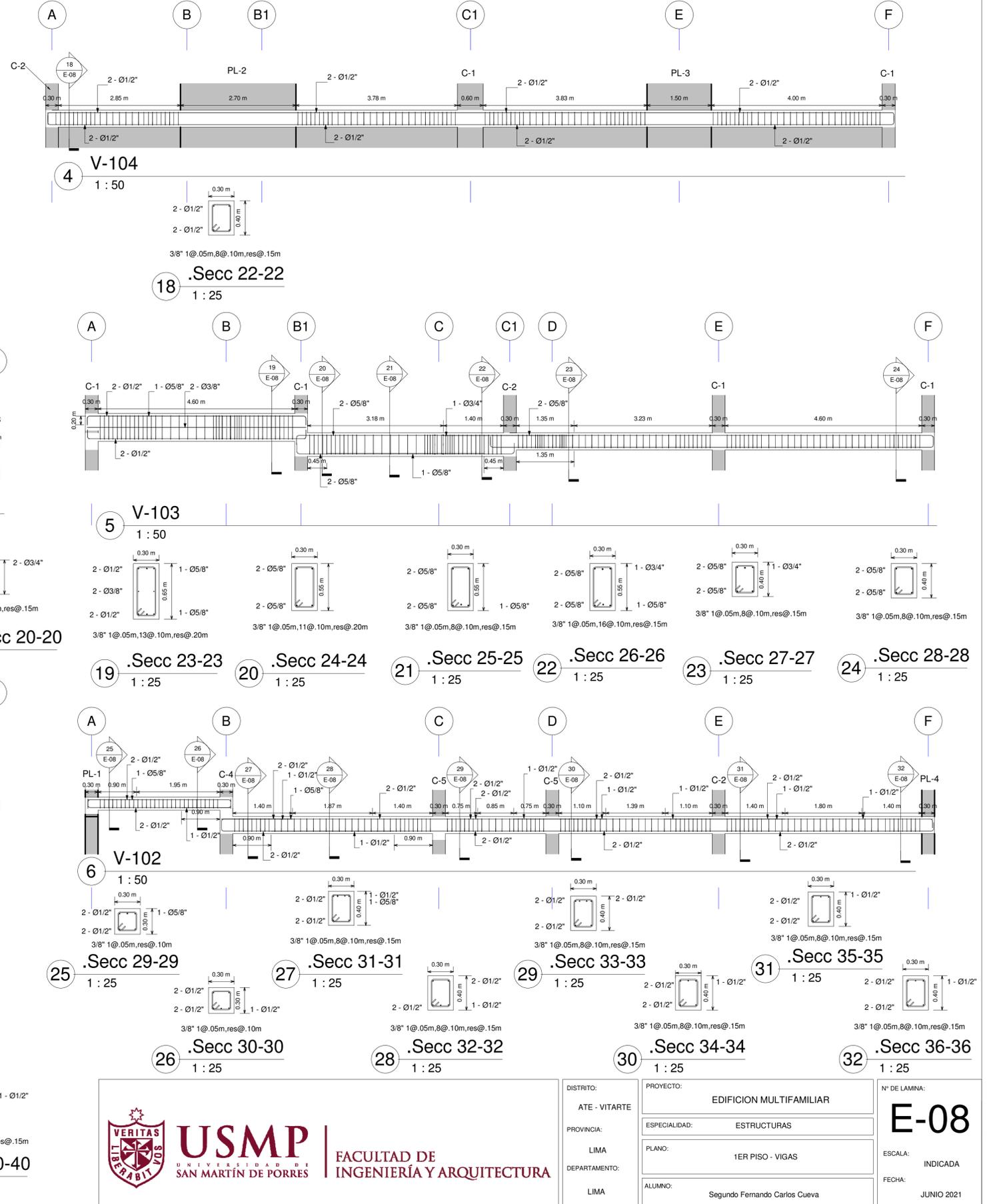
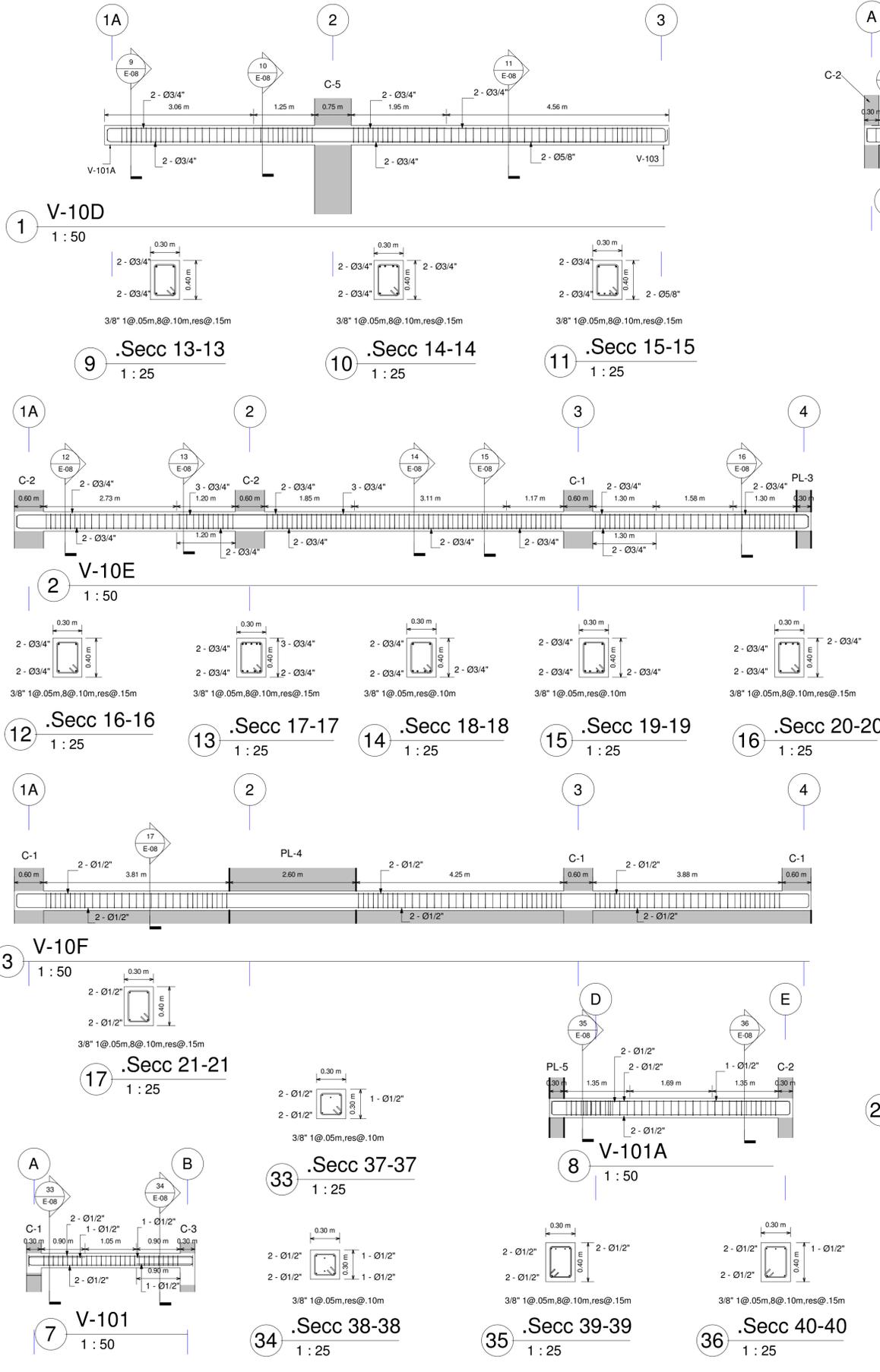
USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

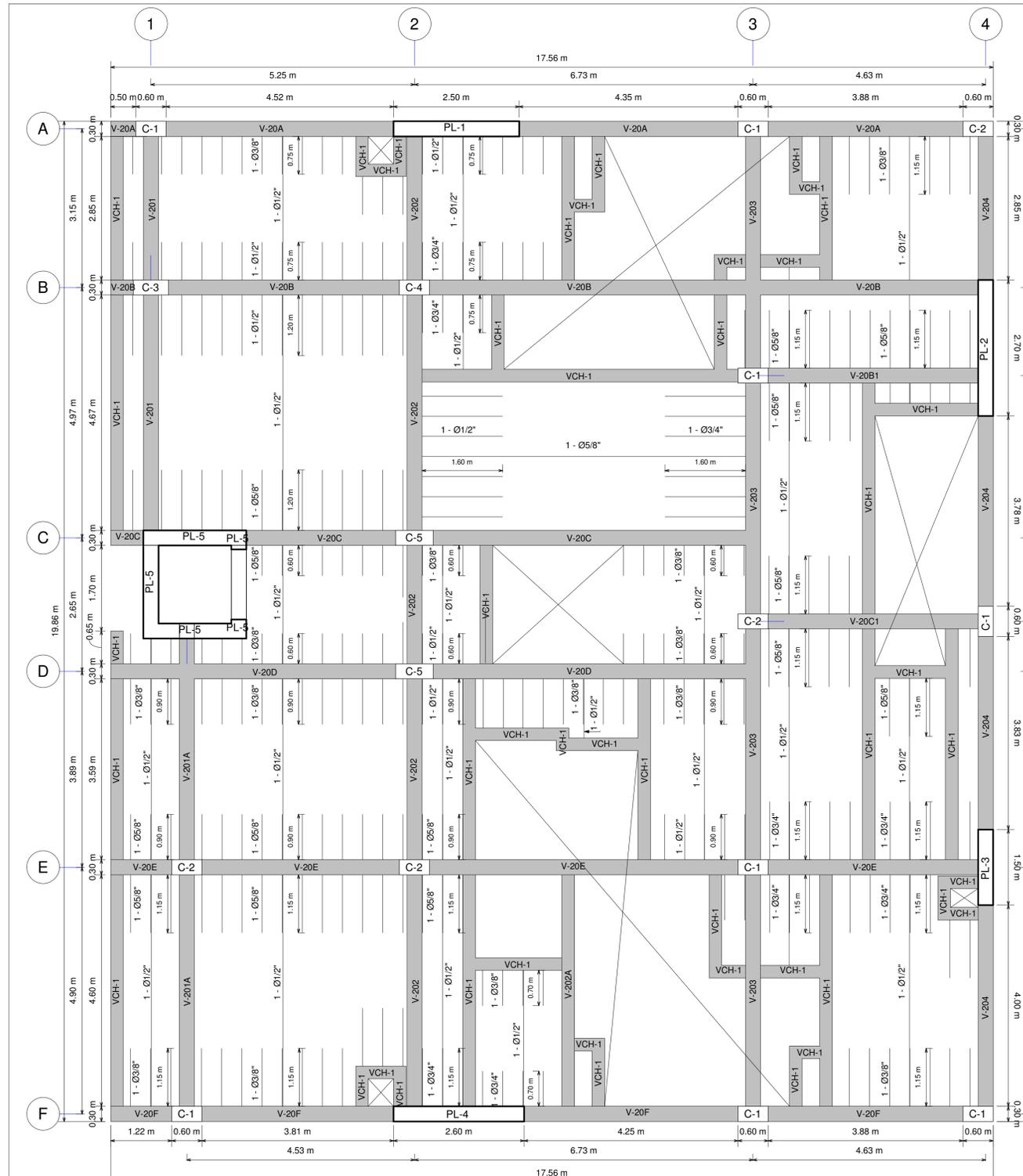
DISTRITO: ATE - VITARTE
PROVINCIA: LIMA
DEPARTAMENTO: LIMA

PROYECTO: EDIFICACION MULTIFAMILIAR
ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS
PLANO: 1ER PISO - LOSA ALIGERADA - VIGAS
ALUMNO: Segundo Fernando Carlos Cueva

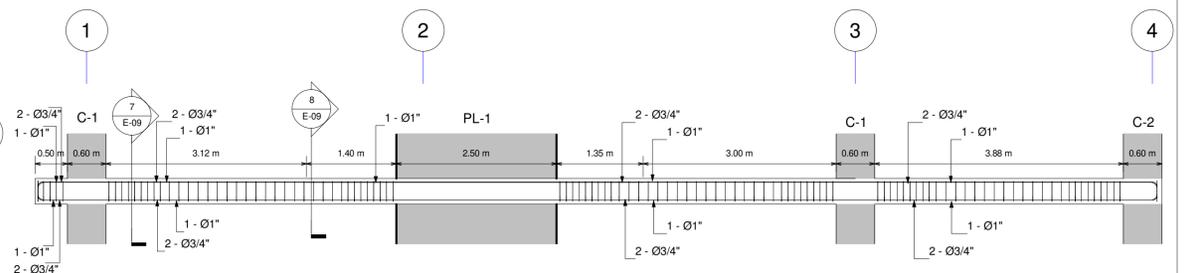
N° DE LAMINA: **E-07**
ESCALA: INDICADA
FECHA: JUNIO 2021



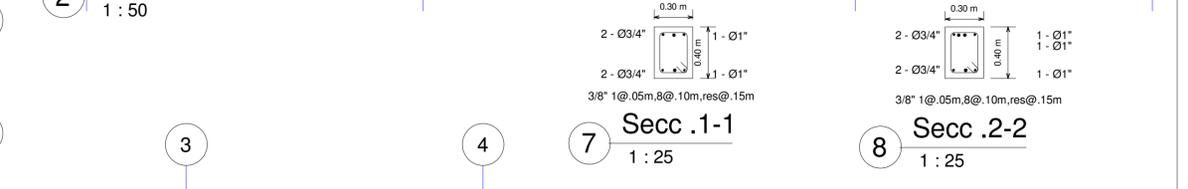
<p>USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p>	DISTRITO:	PROYECTO:	<p>E-08</p> <p>ESCALA: INDICADA</p> <p>FECHA: JUNIO 2021</p>
	ATE - VITARTE	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	
	PROVINCIA:	ESPECIALIDAD:	
	LIMA	ESTRUCTURAS	
DEPARTAMENTO:	PLANO:	1ER PISO - VIGAS	
LIMA	ALUMNO:	Segundo Fernando Carlos Cueva	



Losa Aligerada 2do - 6to Nivel

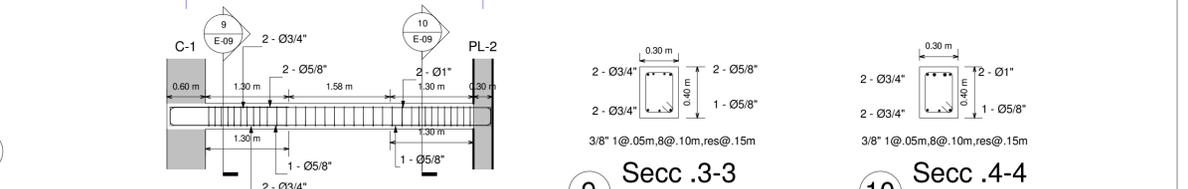


V-20A
1 : 50



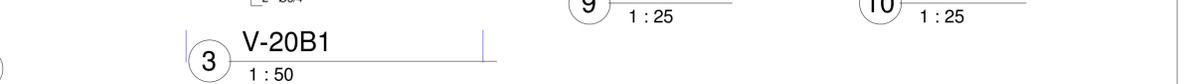
7 Secc .1-1
1 : 25

8 Secc .2-2
1 : 25

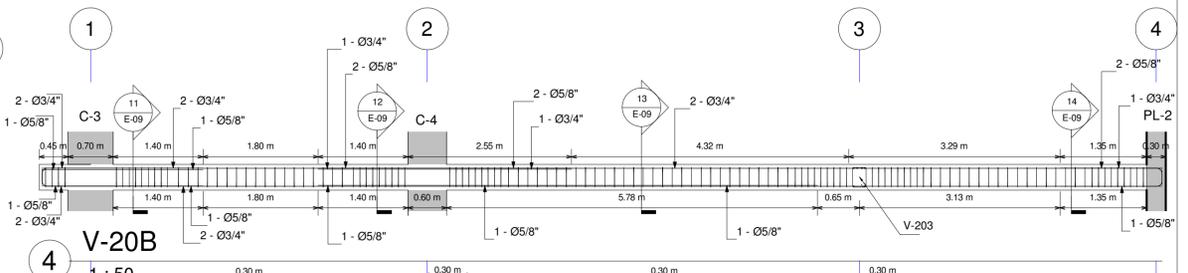


9 Secc .3-3
1 : 25

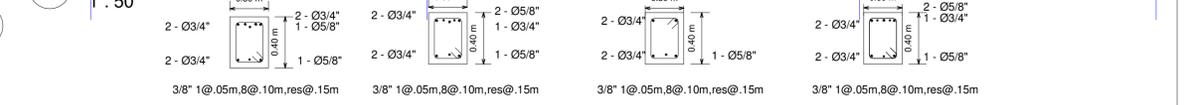
10 Secc .4-4
1 : 25



V-20B1
1 : 50



V-20B
1 : 50

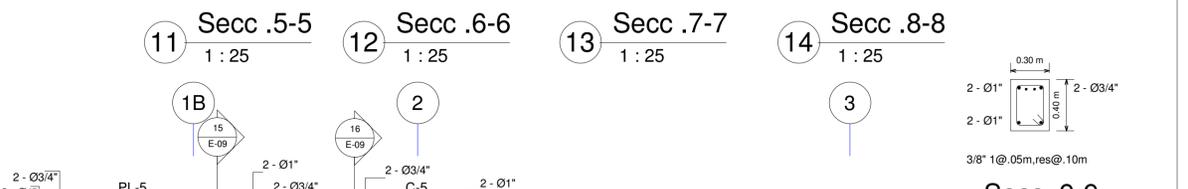


11 Secc .5-5
1 : 25

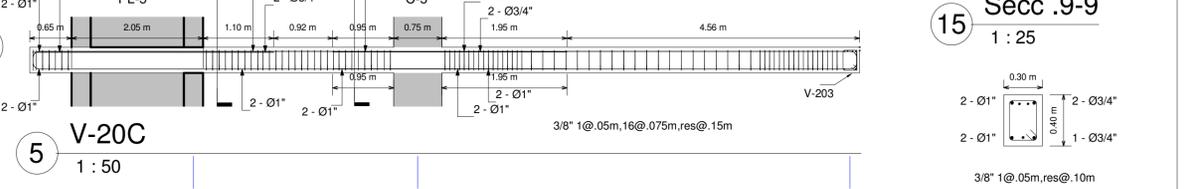
12 Secc .6-6
1 : 25

13 Secc .7-7
1 : 25

14 Secc .8-8
1 : 25



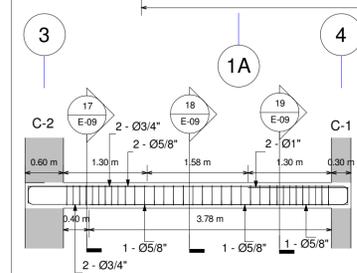
V-20C
1 : 50



15 Secc .9-9
1 : 25



16 Secc .10-10
1 : 25



V-20C1
1 : 50

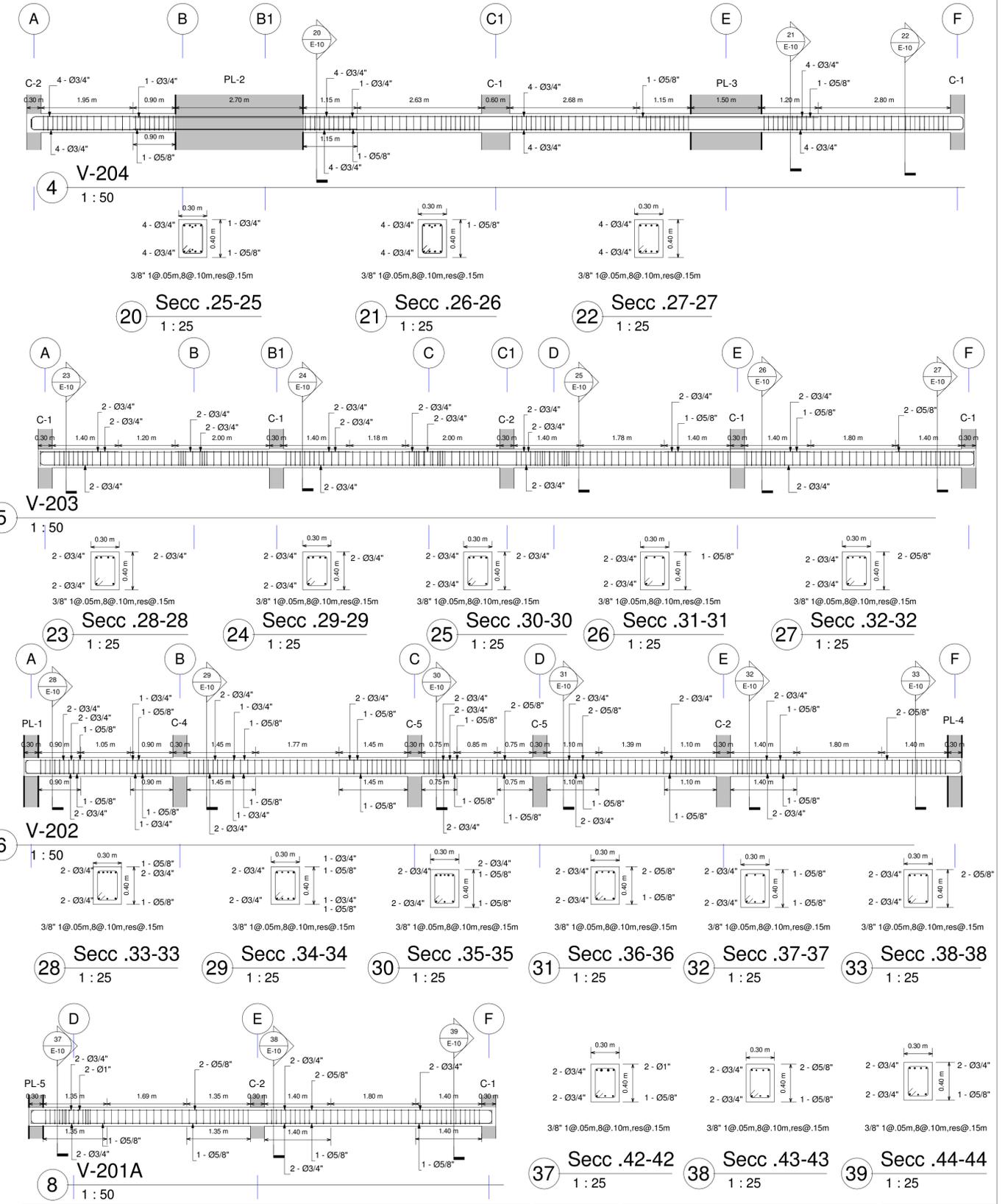
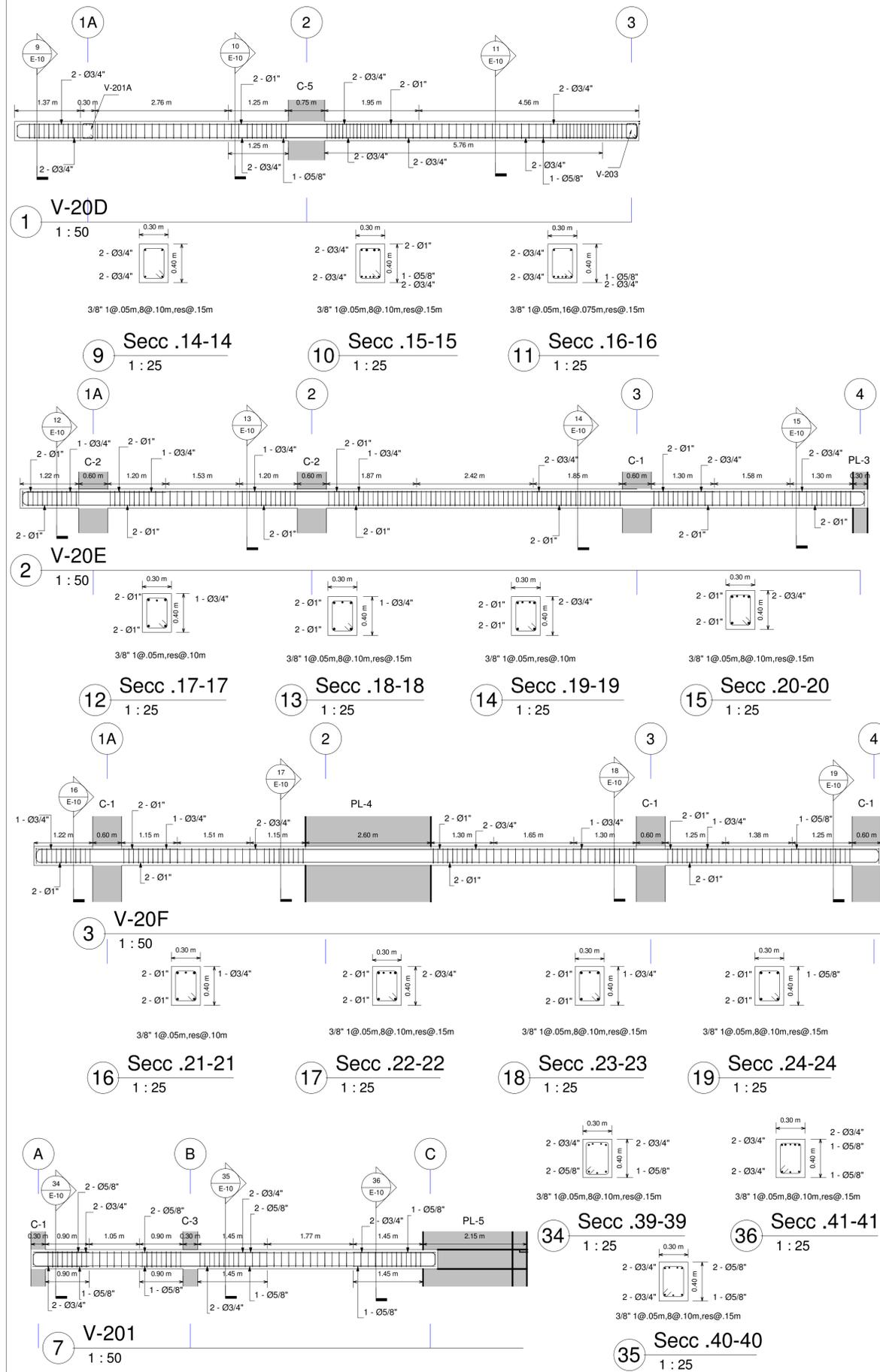
17 Secc .11-11
1 : 25

18 Secc .12-12
1 : 25

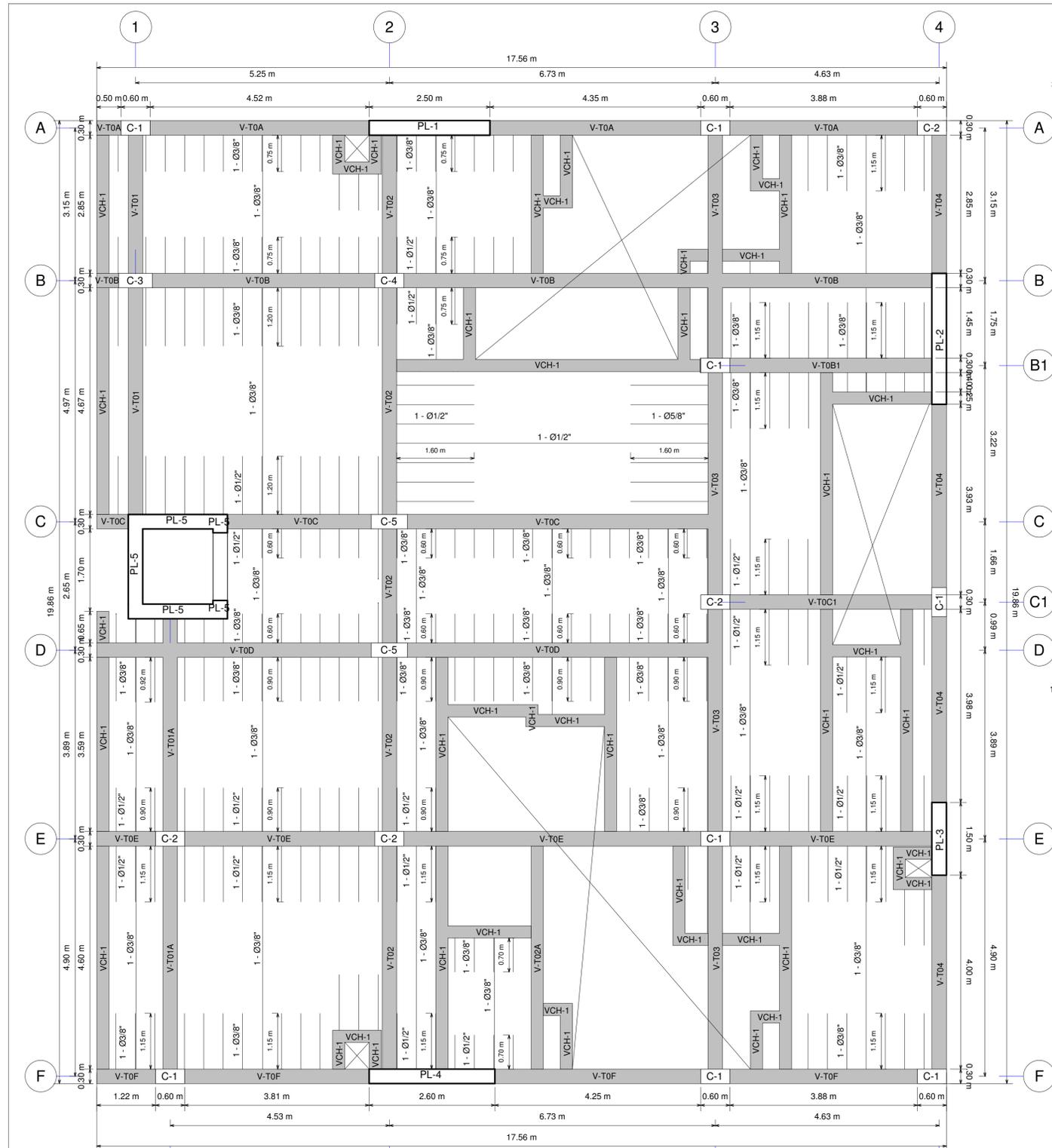
19 Secc .13-13
1 : 25


USMP
 UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRÉS
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

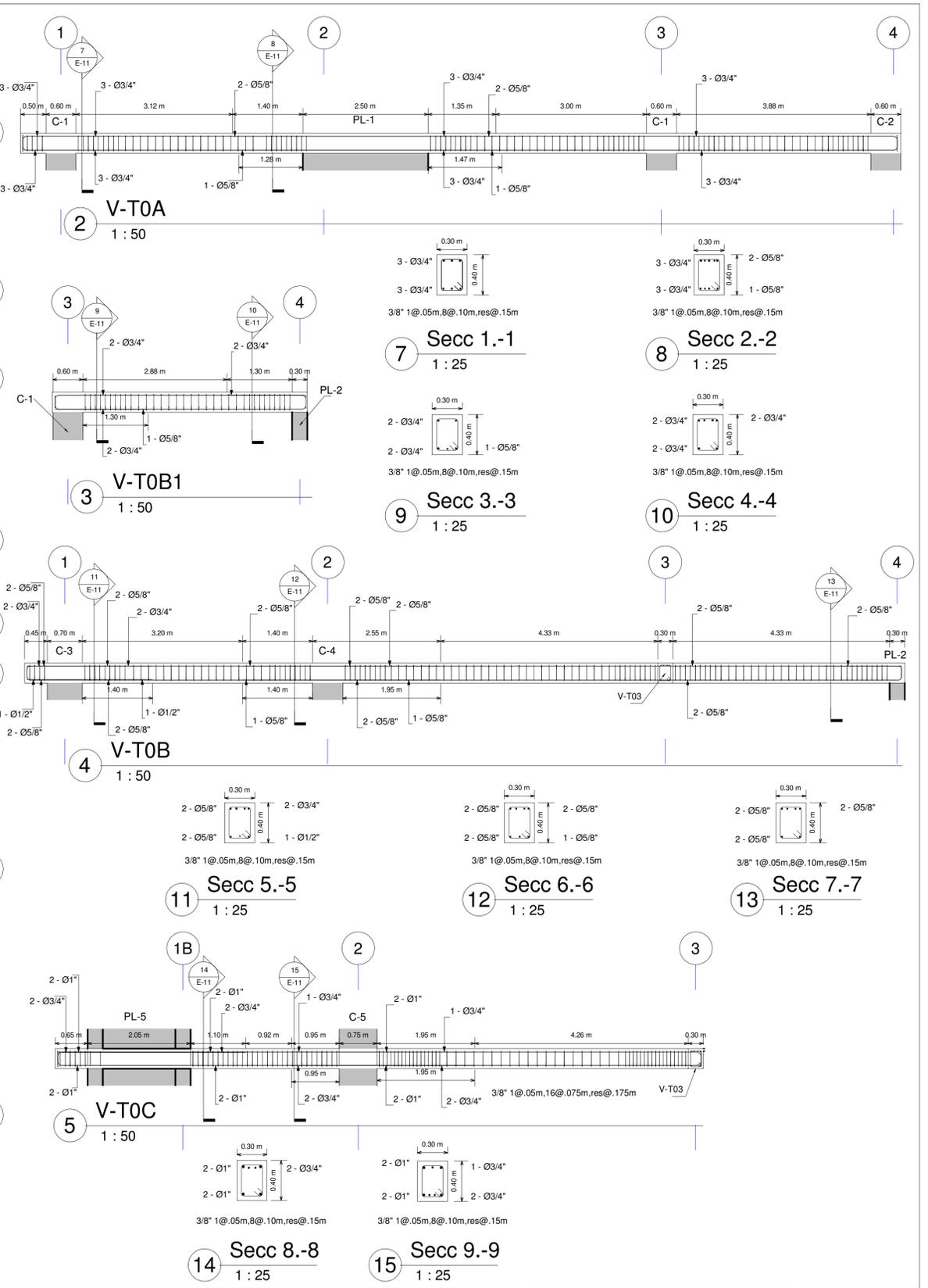
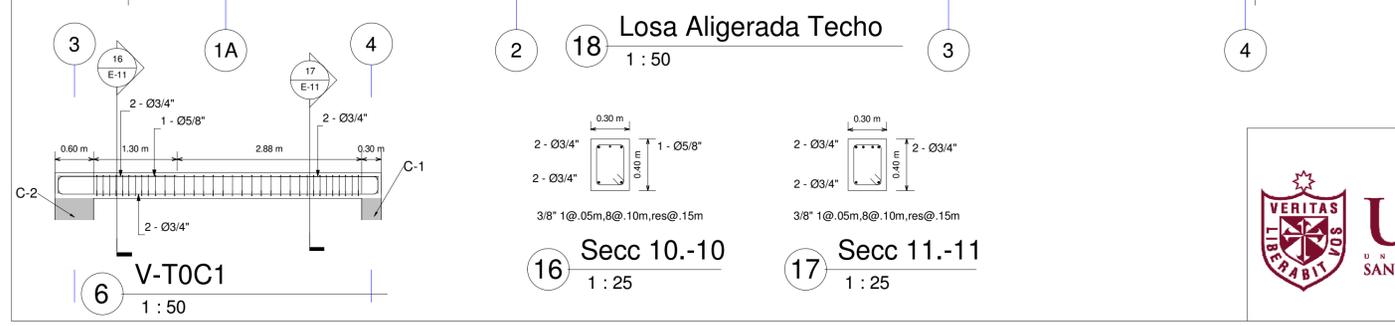
DISTRITO:	ATE - VITARTE	PROYECTO:	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	Nº DE LAMINA:	E-09
PROVINCIA:	LIMA	ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	ESCALA:	INDICADA
DEPARTAMENTO:	LIMA	PLANO:	2DO AL 6TO PISO - LOSA ALIGERADA - VIGAS	FECHA:	JUNIO 2021
ALUMNO:	Segundo Fernando Carlos Cueva				



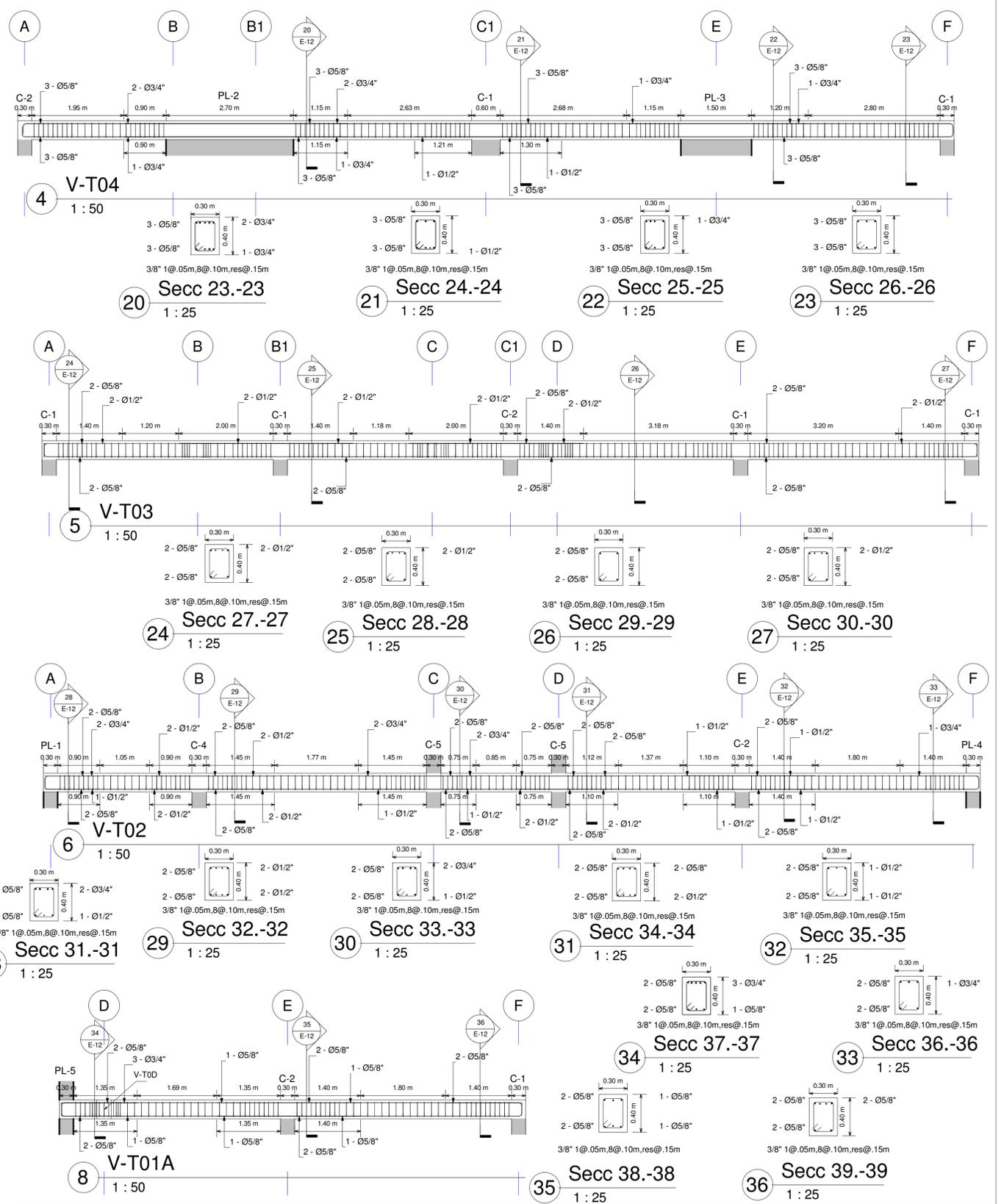
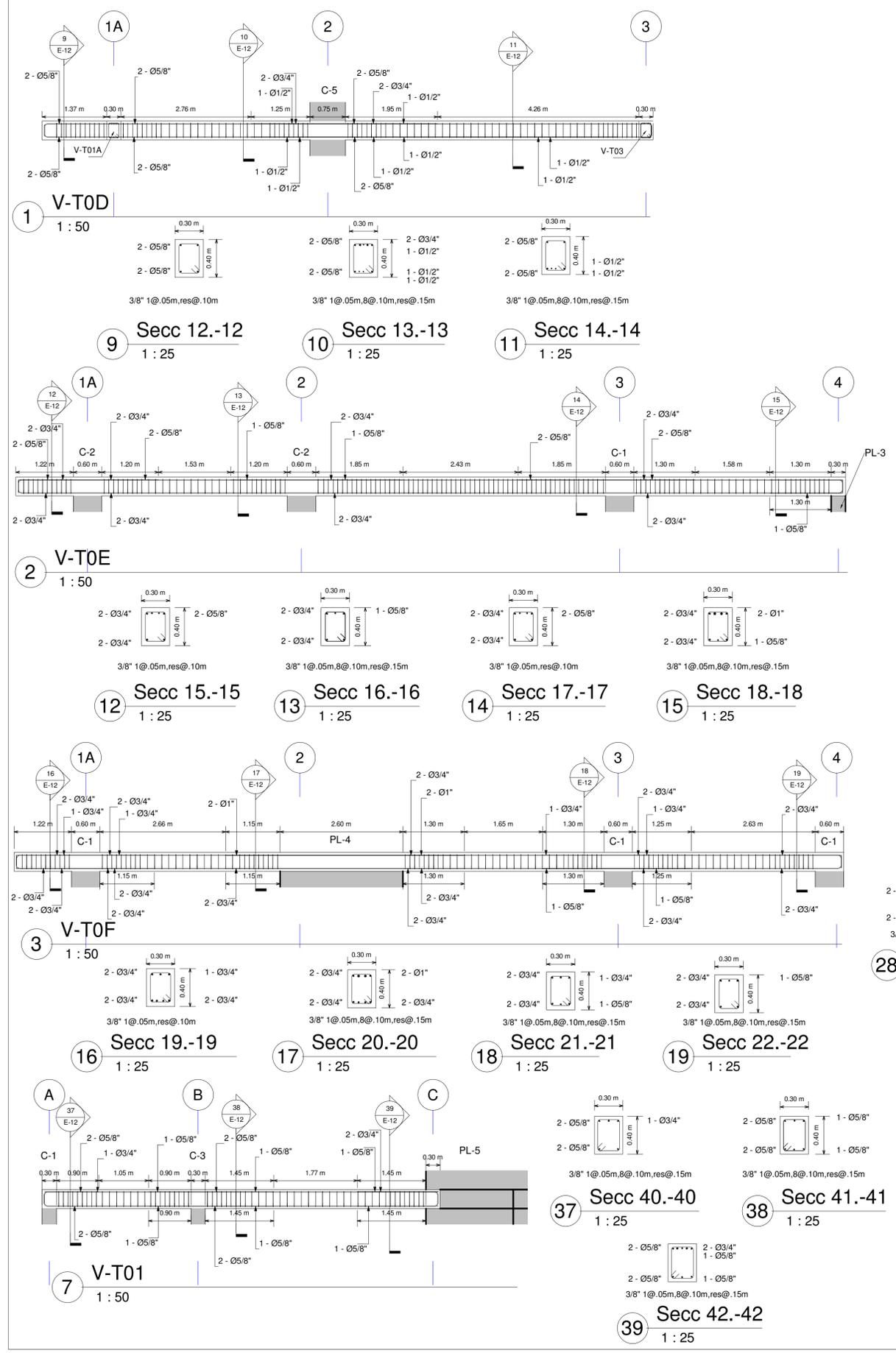
<p>USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRÉS</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p>	DISTRITO:	PROYECTO:	Nº DE LAMINA:
	ATE - VITARTE	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	E-10
	PROVINCIA:	ESPECIALIDAD:	ESCALA:
	LIMA	ESTRUCTURAS	INDICADA
DEPARTAMENTO:	PLANO:	FECHA:	
LIMA	2DO AL 6TO PISO - VIGAS	JUNIO 2021	
	ALUMNO:		
	Segundo Fernando Carlos Cueva		



Losas Aligeradas Techo



<p>USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRÉS</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p>	DISTRITO:	ATE - VITARTE	PROYECTO:	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	Nº DE LAMINA:	E-11	
	PROVINCIA:	LIMA	ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	ESCALA:		INDICADA
	DEPARTAMENTO:	LIMA	PLANO:	TECHO - LOSA ALIGERADA - VIGAS	FECHA:		JUNIO 2021
	ALUMNO:	Segundo Fernando Carlos Cueva					

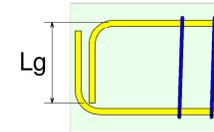
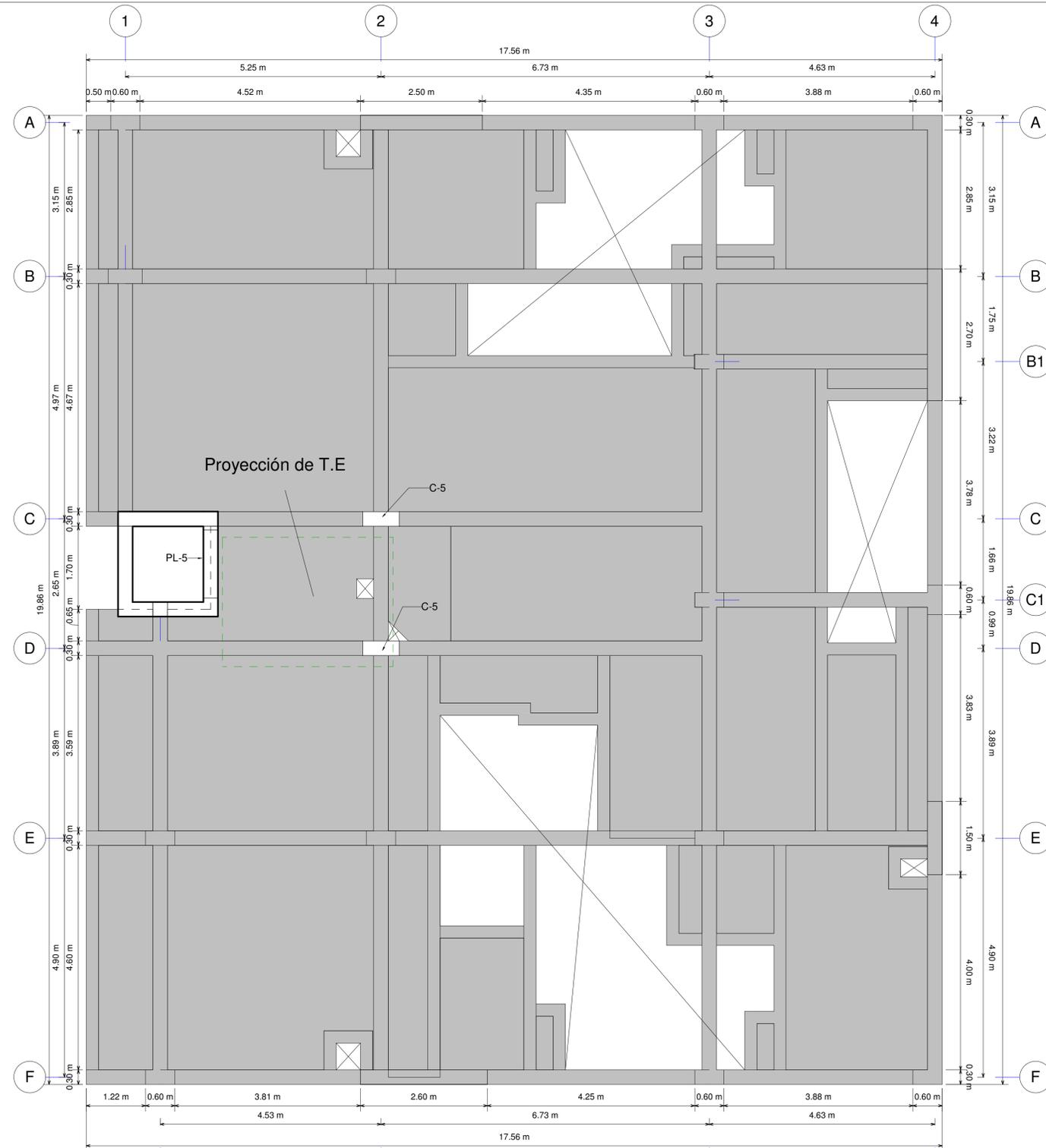




USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRÉS

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

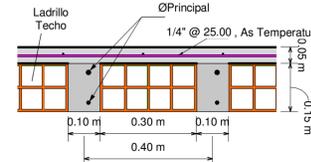
DISTRITO:	PROYECTO:	N° DE LAMINA:
ATE - VITARTE	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	E-12
PROVINCIA:	ESPECIALIDAD:	ESCALA:
LIMA	ESTRUCTURAS	INDICADA
DEPARTAMENTO:	PLANO:	FECHA:
LIMA	TECHO - VIGAS	JUNIO 2021
	ALUMNO:	
	Segundo Fernando Carlos Cueva	



Ø	Longitud (Lg)
3/8"	10.00 cm
1/2"	15.00 cm
5/8"	20.00 cm
3/4"	25.00 cm
1"	30.00 cm

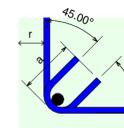
4 LONGITUD DE GANCHO ESTANDAR

1 : 10



3 CORTE TÍPICO DE ALIGERADO h=0.20m

1 : 10



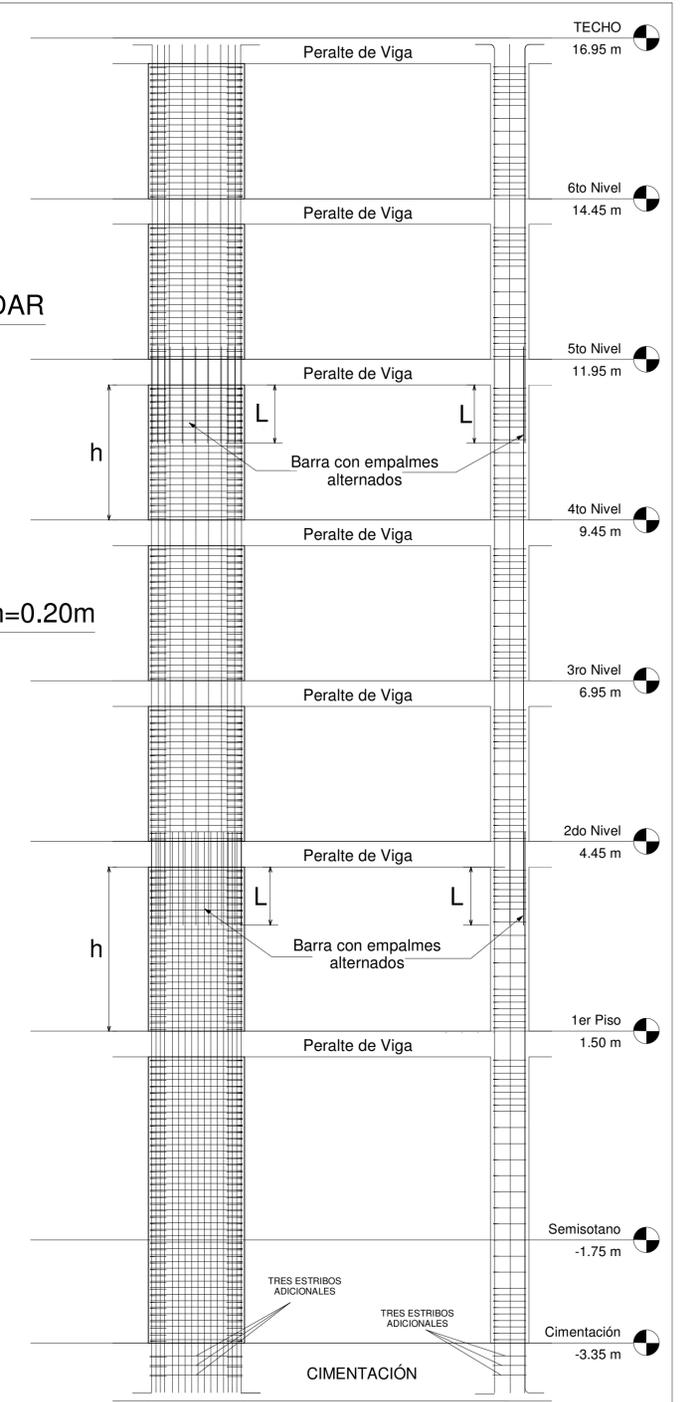
Ø	r (min)	a
8mm	2.00 cm	10.00 cm
3/8"	3.00 cm	15.00 cm

6 DOBLADO DE ESTRIBOS

1 : 5

Ø	Longitud (L)
3/8"	45.00 cm
1/2"	60.00 cm
5/8"	75.00 cm
3/4"	90.00 cm
1"	145.00 cm

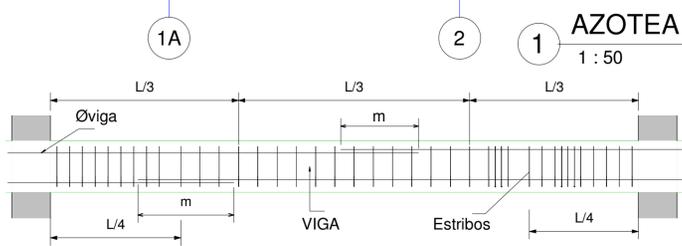
LONGITUD DE EMPALMES POR TRASLAPO EN COLUMNAS



2 DISPOSICIÓN DE BARRAS EN COLUMNAS Y PLACAS

1 : 50

NOTA: ZONAS EN LAS QUE NO SE EFECTUAN TRASLAPES
 1. ARMADURA INFERIOR EN EL TERCIO CENTRAL
 2. ARMADURA SUPERIOR EN APOYOS CONTINUOS
 3. ARMADURA SUPERIOR EN VOLADIZOS
 4. LOS TRASLAPES SERAN INTERCALADOS



5 TRASLAPE DE ACERO EN VIGAS

1 : 25

Ø	Superior (m)	Inferior (m)
3/8"	45.00 cm	30.00 cm
1/2"	60.00 cm	40.00 cm
5/8"	75.00 cm	50.00 cm
3/4"	90.00 cm	60.00 cm
1"	145.00 cm	80.00 cm

LONGITUD DE EMPALMES POR TRASLAPO EN VIGAS



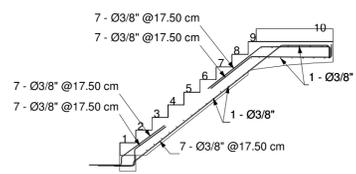
USMP
 UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

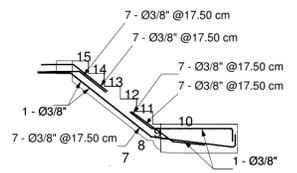
DISTRITO: ATE - VITARTE
 PROVINCIA: LIMA
 DEPARTAMENTO: LIMA

PROYECTO: EDIFICACION MULTIFAMILIAR
 ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS
 PLANO: AZOTEA - DETALLES
 ALUMNO: Segundo Fernando Carlos Cueva

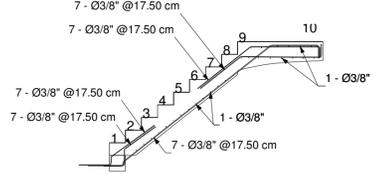
Nº DE LAMINA: **E-13**
 ESCALA: INDICADA
 FECHA: JUNIO 2021



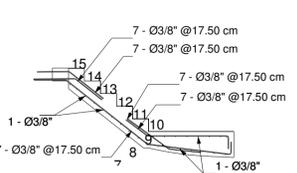
1 Tramo 1 - 1er Piso
1 : 50



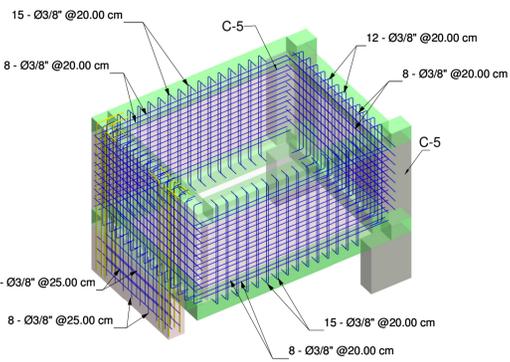
3 Tramo 2 - 1er Piso
1 : 50



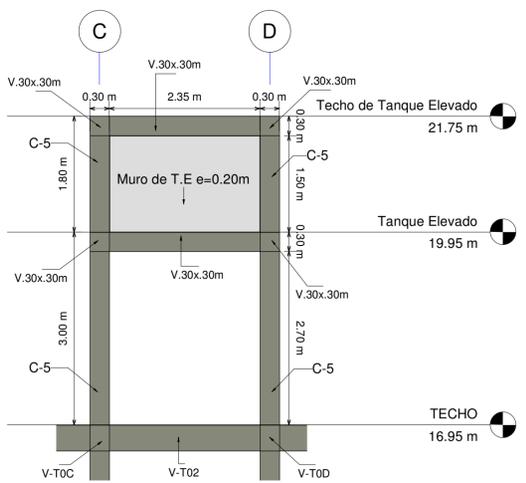
2 Tramo 1 - 2do-6to Piso
1 : 50



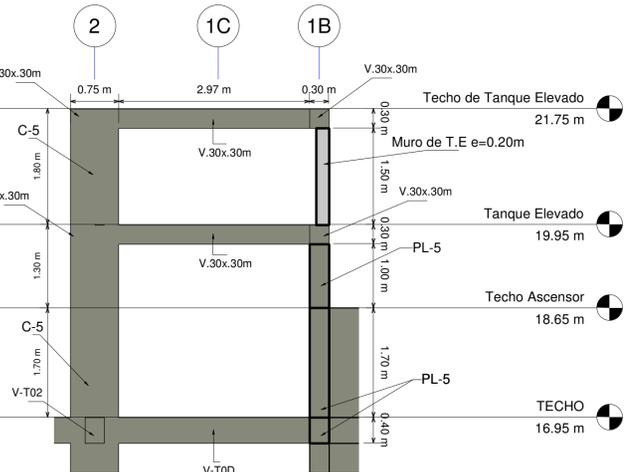
4 Tramo 2 - 2do-6to Piso
1 : 50



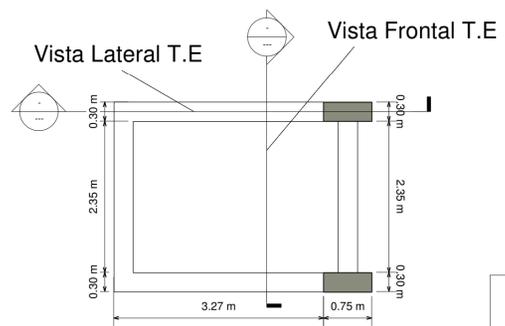
7 Tanque Elevado 3D



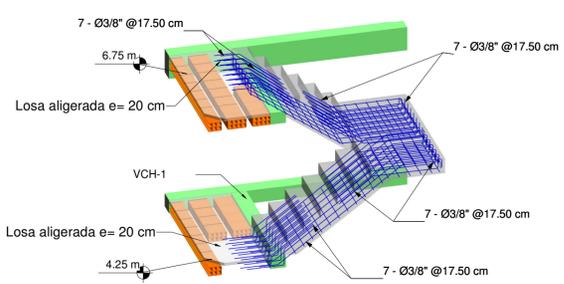
12 Vista Frontal T.E
1 : 50



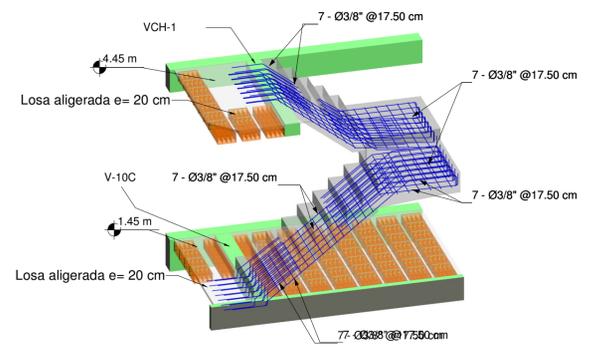
13 Vista Lateral T.E
1 : 50



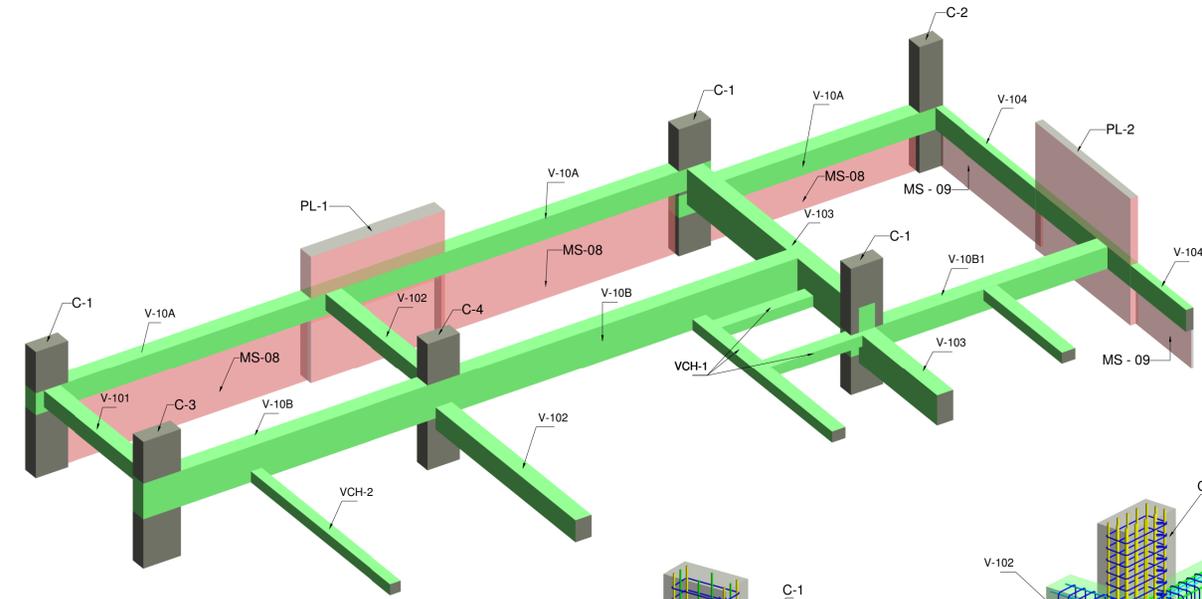
14 Vista Planta T.E
1 : 50



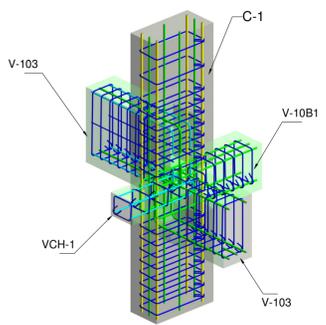
5 Escalera 3D 1er Piso



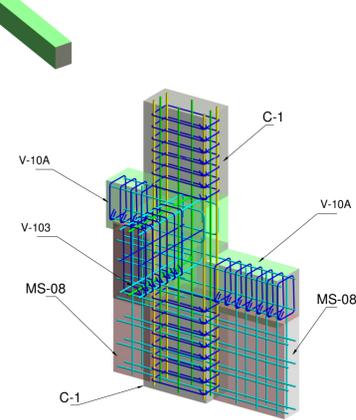
6 Escalera 3D 2do-6to Piso



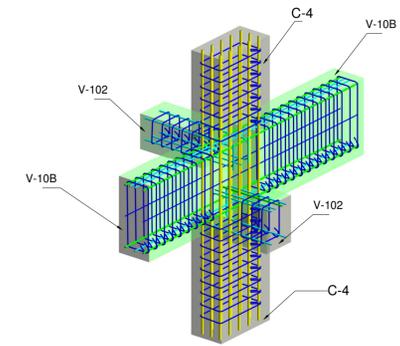
8 Ubicación de nudos críticos



11 Nudo 3B



10 Nudo 3A



9 Nudo 2B

USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	DISTRITO:	PROYECTO:	Nº DE LAMINA:
	ATE - VITARTE	EDIFICACION MULTIFAMILIAR	E-14
	PROVINCIA:	ESPECIALIDAD:	ESCALA:
	LIMA	ESTRUCTURAS	INDICADA
DEPARTAMENTO:	PLANO:	FECHA:	
LIMA	ESCALERA - T.E - NUDOS	JUNIO 2021	
	ALUMNO:		
	Segundo Fernando Carlos Cueva		

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bew, M., & Richards, M. (2008). *Bew-Richards BIM Maturity Model*. [Figura]. Recuperado el 22 de Mayo de 2021, de https://www.researchgate.net/figure/The-Bew-and-Richards-BIM-Maturity-Levels-Model-Bew-and-Richards-2008_fig1_269405460

Blanco Blasco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Capítulo de Ingeniería Civil - Consejo Departamental de Lima. Obtenido de <https://es.slideshare.net/esmaton/estructuracion-y-diseo-de-edificaciones-de-concreto-armado-antonio-blanco-blasco>

Braja M, D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, (7ma. ed.)*. México: Cengage Learning. Obtenido de https://issuu.com/gustavochoonlongalcivar/docs/fundamentos_de_ingenieria_de_ciment

British Standards Institution [BSI]. (2013). *PAS 1192-2: 2013: Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*. Obtenido de <https://fliphtml5.com/qmgn/pjql/basic>

Centro Peruano-Japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres [CISMID]. (2005). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de Lima y callao*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/fcaciv/informe-microzonificacion-sismica-cismid>

Centro Peruano-Japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres [CISMID]. (2014). *Microzonificación sísmica del distrito de Ate*. Obtenido de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/2105>

- Chambilla Zamata, C. P. (2016). *Análisis, diseño estructural e instalaciones sanitarias de un edificio de departamentos de 05 niveles y 01 semisótano, utilizando plataforma BIM, en el distrito de José Bustamante y Rivero*. (Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María). Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/5765>
- Chanca Hinojosa, M. J. (2018). *Diseño Estructural y la Implementación de Tecnología Building Information Modeling 3D Aplicado en una Edificación de Concreto Armado*. (Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú). Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1APmZe8OMxmDUXXzK_iWEXa4k0Ep-omSL/view
- Charleston, A. (2008). *Seismic Design for Architects: Outwitting the Quake*. [Figura] Elsevier Ltd. Obtenido de https://www.academia.edu/36573017/Seismic_Design_for_Architects_Outwitting_The_Quake
- Condori Atencio, J. J. (2020). *Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna*. (Tesis de grado, Universidad de Tacna). Obtenido de <http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/1567/1/Condori-Atencio-Jeanleo.pdf>
- Corzo Nicolini, D., & Herrera Romero, T. (2018). *Estadísticas y mapas de Lima metropolitana por distritos según el censo 2017*. Perú: Centro de Investigación de la Arquitectura y la Ciudad . Obtenido de https://downloads.ctfassets.net/pdodv24mshgs/6Av3qjM5SnIQ42CFhiXse/e3fa8f8ba55f26a8cad45450ae63d91e/ESTADISTICAS_Y_MAPAS_2017.pdf

- Domínguez Hurtado, N. R., & Moreno Minaya, A. E. (2018). *Diseño estructural sismorresistente de un edificio de siete niveles bajo la metodología bim en la provincia de Pomabamba, Ancash, 2018*. (Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo). Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26694>
- Eastman, C., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J., Stoker, D., & Yessios, C. (1975). *An Outline of the Building Description System(N° 50)*. Obtenido de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Obtenido de https://www.academia.edu/3183272/BIM_handbook_A_guide_to_building_information_modeling_for_owners_managers_designers_engineers_and_contractors
- Eyzaguirre Vela, R. R. (2015). *Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación, (Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú)*. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6414>
- factoria5hub. (s.f.). *Diferencias entre Autocad vs Revit*. [Figura]. Recuperado el 5 de Mayo de 2021, de <https://www.factoria5hub.com/wp-content/uploads/2020/04/autocad-vs-revit.png>
- Huancas Tineo, E. W., & Torres Pedraza, H. S. (2020). *Metodología BIM para Ciclos de Desarrollo de Proyectos Inmobiliarios*. (Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán). Obtenido de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6997>
- Ikerd Consulting, como se citó en BIMFORUM,2020. (s.f.). *Level of development (LOD) specification part I & commentary*, pp. 39-40. [Figura]. Recuperado el 21 de Mayo de 2021, de <https://bimforum.org/resources/Documents/LOD%20Spec%202020%20Part%20I%202020-12-31.pdf>

- Kemerink, R. (2018). *Guidelines structural analysis in BIM*. (Tesis de grado, University of Twente). Obtenido de <https://essay.utwente.nl/77451/1/Kemerink-Renk.pdf>
- Macleamy. (s.f.). *Curva de Macleamy*. [Figura]. Recuperado el 27 de Abril de 2021, de https://www.researchgate.net/figure/Curva-de-esfuerzo-del-proceso-constructivo-MACLEAMY_fig3_284159764
- Martin Dorta, N., Gonzalezde Chaves Assef, P., & Roldan Mendez, M. (2014). *Building Informatio Modeling (BIM): Una oportunidad para transformar la insdustria de la construcción*, 12-17. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/421487>
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., . . . Zikic, N. (2019). *BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.2*. Pennsylvania, USA: Computer Integrated Construction Research Program. Obtenido de <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/>
- Microgeo. (s.f.). *Ciclo del BIM*. [Figura]. Recuperado el 29 de Abril de 2021, de <https://microgeo.cl/wp-content/uploads/2017/03/Ciclo-BIM.jpg>
- Ministerio de Economía y finanzas [MEF]. (2020). *Plan de implementación y hoja de ruta del Plan BIM Perú*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/novedades/2020/Oct/Plan_Implementacion_y_HR_BIM.pdf
- Ministerio de Economía y finanzas [MEF]. (2020). *Lineamientos para la utilizacion de la metodología BIM en las inversiones públicas*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/anexo_RD007_2020EF.pdf
- Ministerio de Economía y finanzas [MEF]. (2020). *Metas del Plan BIM Perú*. [Tabla]. Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <http://www.mef.gob.pe/planbimperu/planbim.html>

- Moldtech. (s.f.). *Molde para viga estructural prefabricada en T invertida*. [Figura]. Recuperado el 21 de Mayo de 2021, de <https://www.moldtechsl.es/es/productos/molde-de-pilares/moldes-laterales-de-viga-t>
- Mumena Alekhtyar, M. (2018). *Building Information Modelling and Virtual Design and Construction (Differentiations)*. (Tesis de maestría, Royal Institute of Technology). Obtenido de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1229497/FULLTEXT01.pdf>
- Nielsen, A., & Madsen, S. (2010). *Structural modelling and analysis using BIM tools*. (Tesis de maestría, Aalborg University). Obtenido de <https://projekter.aau.dk/projekter/files/32688467/Structural-modelling-and-analysis-using-BIM-tools.pdf>
- Ortiz Berrocal, L. (1990). *Resistencia de materiales*. McGraw-Hill. Obtenido de <https://resistenciadematerialesylaboratoriounet.files.wordpress.com/2016/07/resistencia-de-materiales-berrocal.pdf>
- PC CAD. (s.f.). *Interoperabilidad con BIM*. [Figura]. Recuperado el 05 de Junio de 2021, de <https://www.pccadcr.com/programas/csixrevit-2/>
- Pellinen, P. (2016). *Developing design process management in BIM based project involving infrastructure and construction engineering*. (Tesis de maestría, Aalto-University). Obtenido de <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19964>
- ProBIM ONG. (s.f.). *Representaciones de los niveles de madurez BIM*. [Figura]. Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de <https://probim.org/niveles-de-madurez-de-bim/>
- Reglamento nacional de edificaciones [RNE]. (2006). *IS.010 Instalaciones Sanitarias para edificaciones*. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/03_IS/RNE2006_IS_010.pdf

- Reglamento Nacional de edificaciones [RNE]. (2018). *E.030 Diseño sismorresistente*. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- Reglamenton nacional de edificaciones [RNE]. (2009). *E.060 Concreto armado*. Obtenido de <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Sánchez Bonilla, J. H., Rivas Varón, A. F., & Ott Serrano, J. P. (2018). *Diseño y modelacion de proyectos en dos y tres dimensiones con la metodología bim (building information modeling) soportado en herramienta autodesk revit*. (Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia). Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/16266>
- The American Institute of Architects [AIA]. (2013). *Guía, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital practice Documents*. Obtenido de https://help.aiacontracts.org/public/wp-content/uploads/2020/03/Digital-Practice_Guide.pdf
- The Construction Association. (2019). *Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary: For Building Information Models and Data*. Obtenido de https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf
- Trejo Carvajal, N. A. (2018). *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción*. (Tesis de grado, Universidad de Chile). Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168599>
- Xunta de Galicia. (s.f.). *Esfuerzos*. [Figura]. Recuperado el 02 de Junio de 2021, de https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/4_esfuerzos.html