



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA

CARRERA DE ARQUITECTURA

Análisis de la implementación de la metodología BIM en la fase constructiva de proyectos en la ciudad de Loja. Caso de estudio: Edificio de consultorios médicos.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

ARQUITECTO

Autor: Cueva Guamán, Mateo Josué / Puertas Larrea, Juan Fernando

Director: Fernández Bravo, Diego Fernando

LOJA

2024



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2024

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja,

Arquitecto,

Diego Fernando Fernández Bravo

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Análisis de la implementación de la metodología BIM en la fase constructiva de proyectos en la ciudad de Loja. Caso de estudio: Edificio de consultorios médicos, realizado por Juan Fernando Puertas Larrea, Mateo Josué Cueva Guamán ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Arq. Diego Fernando Fernández Bravo

C.I.: 1103506588

Correo electrónico: dffernandez1@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Juan Fernando Puertas Larrea y Mateo Josué Cueva Guamán, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor(a) del Trabajo de Titulación denominado: Análisis de la implementación de la metodología BIM en la fase constructiva de proyectos. Caso de estudio: Edificio consultorios médicos, de la carrera de arquitectura, específicamente de los contenidos comprendidos en: Capítulo 1: Marco teórico conceptual, Capítulo 2: Metodología, Capítulo 3: Análisis y comparación de datos, Capítulo 4: Discusión de resultados, siendo Diego Fernando Fernández Bravo, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo. Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Juan Fernando Puertas Larrea

C.I.: 1104759905

Correo electrónico: jfpuertas1@utpl.edu.ec

.....

Autor: Mateo Josué Cueva Guamán

C.I.: 1106088485

Correo electrónico: mjcueva12@utpl.edu.ec

Dedicatoria

A Dios, que ha sido mi guía frente a todos los momentos de mi vida y mi soporte frente a cualquier adversidad sucedida. A mis padres que siempre se han asegurado de darme una vida digna. A mis hermanos por ser mi lugar de paz y amor. A mis abuelos que son quienes me dan la fuerza para darles el orgullo que ellos sienten por mí. A mis amigos, que nunca dudan de mí, aunque yo mismo lo haga.

Juan Fernando Puertas Larrea

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis padres y hermanos que siempre han confiado en mi conocimiento y a todos los que formaron parte en este proceso de mi vida.

Mateo Josué Cueva Guamán

Agradecimiento

Agradezco a cada maestro que me ha guiado a través del camino que es crear este trabajo de investigación. Agradezco a todos aquellos que nunca dudaron de mí a lo largo de mi carrera como arquitecto, a mi familia por estar siempre orgullosos de mi persona y por último a Dios, por darme la salud y vida para poder crear el presente bajo mi autoría.

Juan Fernando Puertas Larrea

Agradezco especialmente a mis papás por ser mi soporte no solo financiero si no también emocional durante todo este proceso, a mis hermanos por siempre apoyarme cuando lo necesito, a todos los profesores que formaron parte de este proceso y en sobre todo a Dios por bendecirme cada día con el regalo de la vida.

Mateo Josué Cueva Guamán

Índice de contenido

Aprobación del director del Trabajo de Titulación	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de contenido	VII
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Generalidades	4
Problemática	6
Formulación del problema	7
Justificación.....	7
Objetivos	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Capítulo Uno.....	10
Marco teórico conceptual.....	10
1.1 BIM (Building information modeling).....	10
1.1.1 Teoría de BIM.....	10
1.1.1.1 Niveles de integración BIM.....	12
1.1.2 Metodología BIM	13
1.1.3 Interoperabilidad	15
1.1.4 Niveles de detalle y desarrollo LOD.....	17
1.1.4.1 Niveles de detalle LOD.....	17
1.1.4.2 Niveles de desarrollo LOD.....	19
1.1.5 IFC (Industry Foundation Classes)	20
1.1.6.1 BIM en Gestión de Proyectos	23
1.1.7 BEP	25
1.1.8 Modelo Lean-BIM	26
1.1.9 Planificación de Proyecto.....	27
Capítulo dos	30
Metodología.....	30
2.1.1 Recolección de datos	30
2.1.2 Comparación de datos.....	31
2.1.3 Determinación de datos a recoger.....	32

2.1.4 Instrumento de recolección de datos	32
Capítulo tres	33
Análisis y Comparación de datos	33
3.1 Consultorios médicos 18 de noviembre.....	33
3.2 Localización del caso de estudio.....	34
3.3 Extracción de volúmenes	42
3.4 Recopilación de datos	47
3.4.1 Modelo 3D.....	47
3.4.2 Extracción de volúmenes dentro del software.....	51
3.4.3 Extracción de volúmenes según planos estructurales	54
3.5 Comparación	57
Capítulo cuatro.....	59
Discusión de resultados.....	59
4.1 Implementación del modelado BIM.....	59
4.1.1. Planos BIM según caso de estudio.....	60
4.1.2 Modelado de edificación.....	72
4.1.3 Interpretación de resultados	74
4.2 Uso de metodología BIM	74
4.2.1 Software ArchiCAD	74
4.2.1.1 Barra de tareas	75
4.2.2 Ventajas de uso de software ArchiCAD.....	78
4.2.2.1 Esquemas y Criterios.....	79
4.2.2.3 Sobreescrituras gráficas	80
4.2.2.4 Propiedades de elementos	82
4.2.2.5 Creación y gestión de perfiles.....	82
4.2.2.6 Identificación de elementos	84
Conclusiones	85
Recomendaciones	86
Referencias	87

Índice de tablas

Tabla 1. Definición de áreas	33
Tabla 2. Resumen de actividades según libro de obra.....	37
Tabla 3. Resumen de volumen de hormigón fundido.....	42
Tabla 4. Síntesis total de fundición de hormigón según estado actual de obra.....	46
Tabla 5. Síntesis total de hormigón según estado actual de obra en modelo BIM	53
Tabla 6. Cálculo de columnas según planos estructurales de edificación	54
Tabla 7. Cálculo de columnas según planos estructurales del estado actual.....	55
Tabla 8. Síntesis de hormigón usado en obra actual según planos estructurales	56
Tabla 9. Comparación de volúmenes de hormigón según estado de obra actual	57

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de nivel de detalle LOD	18
Figura 2. Ejemplo de niveles de desarrollo LOD.....	20
Figura 3. Esquema de estructuración de modelo de edificación según estándar IFC. 22	22
Figura 4. Foto aérea del predio a intervenir	34
Figura 5. Armado de varillas	35
Figura 6. Fundición de zapatas y columnas.....	36
Figura 7. Desencofrado y relleno.....	36
Figura 8. Armado de estructura y fundición	37
Figura 9. Modelo según caso de estudio dentro del software ArchiCAD	48
Figura 10. Modelo 3D finalizado.....	48
Figura 11. Modelo 3D estado de obra ctual.....	49
Figura 12. Modelo representativo de elementos de núcleos de carga	49
Figura 13. Esquemas principales de configuración de plantas según edificación	50
Figura 14. Detalle constructivo losa-columna	50
Figura 15. Sección longitudinal del modelo según caso de estudio.....	51
Figura 16. Representación de elementos para la extracción de volúmenes.....	52
Figura 17. Definiciones de esquemas para la obtención de volúmenes.....	52
Figura 18. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de cimentación	61
Figura 19. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de subsuelo	62
Figura 20. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de primer piso.....	63
Figura 21. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de segundo piso	64
Figura 22. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de tercer piso.....	65
Figura 23. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de cuarto piso.....	66
Figura 24. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de quinto piso	67

Figura 25. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de sexto piso	68
Figura 26. Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de terraza accesible .	69
Figura 27. Elevación frontal según modelo BIM	70
Figura 28. Elevación posterior según modelo BIM.....	71
Figura 29. Vista axonométrica del estado actual de la edificación	73
Figura 30. Vista axonométrica del estado final estructural de la edificación	73
Figura 31. Barra de tareas dentro del software ArchiCAD	75
Figura 32. Barra de visualización dentro del software ArchiCAD	75
Figura 33. Barra de herramientas dentro del software ArchiCAD	76
Figura 34. Ventana de definiciones de parámetros de columna.....	77
Figura 35. Barra de navegación de software ArchiCAD	78
Figura 36. Resultados de volumen de columnas según esquemas de ArchiCAD	79
Figura 37. Ventana de edición de reglas de sobreescrituras gráficas.....	80
Figura 38. Ejemplo de modelo impuesto bajo sobreescrituras gráficas.....	81
Figura 39. Ventana de edición de reglas de sobreescritura gráfica	81
Figura 40. Creación de perfil usando el gestor de perfiles de ArchiCAD	83
Figura 41. Clasificación de identificación de elementos en ArchiCAD	84

Resumen

El presente trabajo de investigación da como resolución al planteamiento de ventajas sobre el uso de la metodología BIM y su implementación en procesos constructivos, logrado a través de la creación de un modelo arquitectónico dentro del software ArchiCAD según el caso de estudio "Edificio consultorios médicos 18 de noviembre". Se da la extracción y cálculo sobre los volúmenes de hormigón en los elementos de carga existentes, realizando una comparación sobre dicho volumen total usado, frente a los planos estructurales dispuestos y el modelo creado a base de un software de metodología BIM. Se verifica así su eficacia y se exponen las ventajas características sobre el uso de la metodología BIM propuesta frente a una metodología de trabajo CAD, exponiendo la necesaria promoción de su uso, siendo capaz de afectar de manera positiva en las actividades presupuestarias y la gestión de proyectos futuros en la ciudad de Loja gracias al mínimo margen de error existente en consecuencia de una buena práctica arquitectónica de diseño de la mano de un software que implemente una metodología BIM.

Palabras clave: metodología BIM, procesos constructivos, gestión de proyectos

Abstract

This research work clarifies the approach to benefits and implementation of BIM methodology in the city of Loja. This is done by creating an architectural model within ArchiCAD using the case study of "November 18 Medical Clinic Building". The model extracts and estimates according to the volumes of concrete in the existing loading elements based on the area of the structural elements, being concrete in this case, making a comparison of said total volume used against the structural plans arranged and the model created by using a BIM methodology software. By doing so, the effectiveness of the proposed BIM methodology is verified, the characteristic advantages of this proposed methodology are explained, with that, the need to promote its use increases by having a positive impact on budget activities and future project management in the town of Loja due to the small margin of error thanks to good architectural design practice combined with a software that implements the BIM methodology.

Key words: BIM methodology, constructive process, project management

Introducción

A manera de dar solución a la problemática planteada, se dio por efectividad, uso del software de modelado bajo la metodología BIM, ArchiCAD. El mismo que, gracias a sus características de proyección y creación de elementos paramétricos, es capaz de identificar y esquematizar según las etiquetas y parámetros únicos que se les designan, elementos y estructuras en conjunto de sus propiedades, que en este caso, fue el volumen neto de hormigón según el área que ocupa cada elemento a proyectar, extrayendo así datos precisos que a su vez sirvieron para la comparación entre los datos de volúmenes de materiales del estado actual del caso de estudio y una metodología tradicional CAD a manera de verificar la veracidad y eficacia que tiene la implementación de una metodología BIM y sus ventajas, frente al método tradicional de diseño, esto según los cálculos exactos de hormigón en el estado actual de la obra que servirán como fundamento para la comparación.

Los objetivos se resuelven de forma en la que se permite verificar la efectividad del uso de una metodología de modelado BIM tomando en cuenta el caso de estudio, el cual se limita desde su primera hasta la trigésima primera semana de ejecución en obra, alcanzando a visualizar un proyecto estructural del estado actual de la obra y su modelado completo para su posterior comparación según los volúmenes de materiales extraídos. Como limitantes a sobreponer para el alcance del objetivo se tuvo el aprendizaje y correcto manejo del software ArchiCAD, esto ya que, al usar una metodología de modelado paramétrica, tiene una proyección más precisa, además de tener que llevar apuntes y cálculos tanto del modelo como de los planos estructurales y del libro de obra actual del caso de estudio.

Para conseguir la correcta ejecución de los resultados a obtener, se empleó una metodología mixta, en la que por un lado fue necesario cuantificar los datos obtenidos mediante el uso de un software BIM y su comparación frente a demás antecedentes y referencias para confirmar su efectividad frente a estas. Mientras que, por el lado cuantitativo, fue necesario recopilar algunas de las características que se fueron exponiendo a lo largo del trabajo, evidenciando las propiedades y ventajas del uso de esta metodología BIM que se expone como una nueva alternativa que prevé favorecer el diseño de edificaciones gracias a

su amplitud de uso en la gestión de proyectos, facilitando la creación de modelos 2D y 3D, el análisis de costos y materialidad, simulación de análisis de energía, entre otras

Dentro del presente trabajo de investigación existen cuatro capítulos; en el capítulo uno se encuentra el marco teórico sobre la problemática a resolver, englobando los términos adyacentes a BIM y sus características, seguido a esto, se encuentra la metodología, identificando como la misma, la verificación de la eficiencia de la metodología BIM en procesos constructivos. En subsiguiente, dentro del capítulo tres, "análisis y comparación de datos"; se encuentra la exhibición y comparación de los datos obtenidos en cada uno de los sectores expresados, conteniendo los resultados según el modelo BIM, planos estructurales y el estado actual de obra. Por último, en el capítulo cuatro, "discusión de resultados" se dio la verificación sobre la implementación de la metodología BIM y como su participación tuvo efecto dentro de la investigación presente.

La importancia de esta investigación radica en su exposición de datos y ventajas hacia el uso de una metodología BIM dentro del entorno de diseño arquitectónico, esto a manera de promover el uso de dicha tecnología en la ciudad de Loja ya que se verifica su eficacia al momento de modelar y gestionar un proyecto digital, siendo posible tener una mayor efectividad frente al uso de otros métodos tradicionales de diseño, esto gracias a que la metodología BIM es capaz de centralizar datos y realizar cálculos estructurales, al igual que diseños exactos de manera sencilla, proveyendo con softwares que facilitan el manejo de un proyecto arquitectónico concentrando distintas características que si bien tienen una complejidad mayor de aprendizaje, son efectivas al momento de ponerlas en práctica.

Generalidades

La metodología Building Information Modeling (BIM) se ha ido popularizando a lo largo de Latinoamérica en los últimos años, hay varias empresas en Latinoamérica que ya han implementado esta metodología de forma constante como es el caso de Big Fórum Argentina, que es una organización cuyo objetivo es capacitar a aquellas empresas, instituciones y profesionales vinculados al BIM en el país. Lastimosamente no en todos los países latinos

existen este tipo de empresas y es notable la falta de información y capacitación en estos temas. En general, los países latinoamericanos han comenzado a adoptar esta metodología, aunque a diferentes ritmos y con distintos niveles de implementación. En algunos países, como Brasil, México y Chile, el uso de BIM ya es bastante común en proyectos de gran escala, y ha sido impulsado por el gobierno y organizaciones privadas como una herramienta clave para la innovación y la eficiencia en la industria de la construcción. En Chile, el uso de BIM ha sido expuesto de manera específica a través de proyectos de infraestructura y edificación, de forma en la que se promueve su integración, gracias a programas de enseñanza. En México, el gobierno ha impulsado el uso de BIM en proyectos públicos de infraestructura y ha establecido un marco normativo para su implementación en la industria de la construcción.

En países como Colombia, Argentina y Perú, la metodología BIM se encuentra en un ciclo de progreso, de la mano de programas estatales y privados a manera de promover su acogimiento. En Colombia, por ejemplo, se ha creado el Programa Nacional de BIM para fomentar el uso de esta metodología en el país, y se han llevado a cabo proyectos piloto para demostrar su eficacia. En Argentina, se han organizado conferencias y programas de capacitación para difundir su uso en la industria de la construcción. En Perú, se ha creado una normativa para el uso de BIM en proyectos públicos, y se ha establecido un comité técnico para la elaboración de estándares y guías para su implementación. La metodología BIM ha comenzado a ser adaptada en Ecuador en los últimos años, aunque su uso aún se encuentra en una etapa de crecimiento y desarrollo es por eso que la capacitación de los profesionales de la construcción en el uso de BIM y BIM management es fundamental para su implementación, pero puede ser un proceso costoso y requiere una inversión significativa de tiempo y recursos. A pesar de eso, integrar un modelo BIM para construcciones en Ecuador, se considera una herramienta clave para la innovación y la eficiencia en la industria de la construcción, y se espera que su uso continúe creciendo en el país en los próximos años.

Problemática

¿Qué tan eficiente es utilizar la metodología BIM management en procesos constructivos frente al método tradicional de construcción en la ciudad de Loja?

Dentro del diseño de edificaciones existen distintos métodos para generar proyecciones de las mismas, comúnmente, dentro de estas existen pérdidas al momento de la fase constructiva debido a imprecisión de la información detallada, esto hace que existan intervalos dentro de la obra donde se dan problemas debido a continuos cambios exigidos gracias a la aparición de estos fallos, esto sucede principalmente por la naturalidad de la forma en que se trabaja tradicionalmente.

Se ha evidenciado que el uso de la metodología tradicional CAD dentro de la gestión de proyectos, ha sido el mayor precursor dentro de las fallas de diseño existentes, esto debido a factores como la deficiencia al momento de regulación entre disciplinas de diseño y la intermitencia de actualizaciones, también un problema muy importante es que existe pérdida de datos cuando se utilizan otros softwares ajenos al CAD y al momento de exportar e importar hay una notable pérdida de información debido a los formatos que cada una de estas aplicaciones tiene.

Gracias a los puntos descritos, se plantea el uso de la metodología BIM y su manejo, BIM management, como precursor destacado, siendo capaz de solucionar los problemas mencionados gracias a su capacidad de configuración de parámetros frente los elementos existentes, para que de esta manera exista una mejoría en la gestión administrativa proyectual. Además de exponer su uso mediante características detalladas a través de la implementación que se dará en conjunto al caso de estudio seleccionado donde se redactarán las ventajas de su uso y la experiencia obtenida con el uso de estas tecnologías aplicadas.

Formulación del problema

La presente investigación pretende diferenciar y exponer durante su extensión, puntos clave en los que se destaca el uso de la metodología BIM a través del uso de un proyecto BIM management, mediante el estudio de un proyecto de edificación en ejecución de consultorios médicos en la ciudad de Loja, evidenciando así las ventajas que esta metodología tiene a ofrecer y de esta manera concretar su factibilidad de implementación dentro de la organización de un proyecto arquitectónico y argumentar mediante diferentes aseveraciones objetivas, razones por las cuales un modelo de gestión de proyectos relacionado al uso de una metodología BIM es superior al momento del desarrollo de una obra arquitectónica, gracias a la exhibición de distintos puntos a demostrar a lo largo de la participación y adaptación del proyecto a analizar.

Se plantea formular bases referentes, características y seguras sobre la ventaja de diseño que supone usar esta metodología en la práctica de diseño de una edificación, analizando su admisión y superposición sobre otras metodologías, aseverando que el uso de la presente sea más ventajoso en la gestión de un proyecto arquitectónico. La investigación servirá como información competente y referente a forma aliciente del uso de no solo esta metodología, sino que, de las nuevas tecnologías capaces de brindar exactitud, satisfaciendo las necesidades al momento de estructurar un proyecto, reconociendo las conclusiones al igual que recomendaciones del presente, además de servir como documento base para investigaciones a futuro entorno a la implementación de nuevas metodologías.

Justificación

Las técnicas vinculadas a la metodología Building Information Modeling (BIM) han significado un restablecimiento sobre la industria de la construcción, permitiendo una gestión más eficiente y precisa de proyectos. A pesar de su creciente uso en Ecuador, existe una falta de investigación sobre su aplicación en la fase constructiva de proyectos en la ciudad de Loja.

Por lo tanto, se justifica la realización de una investigación sobre el proceso constructivo con la metodología del BIM management en la ciudad de Loja con el fin de proporcionar una evaluación detallada de su implementación y sus beneficios en la gestión de proyectos de construcción en esta ciudad y de esta manera promover su uso no solo en el ámbito local, sino que, de manera general, compartiendo ventajas de lo que conlleva tener una gestión de proyectos en base a un software de trabajo BIM. De esta manera se proyecta conocer las deficiencias y los problemas principales al momento de levantar la información usando esta metodología.

Además, esta investigación puede contribuir al desarrollo de la industria de la construcción en la ciudad de Loja y en el país en general ya que la implementación efectiva de la metodología BIM tiene la capacidad de mostrar mejoría sobre la calidad y manejo de proyectos, reducir los tiempos de construcción y los costos y aumentar la eficiencia en la gestión de recursos. Esta investigación también puede servir como base para futuras investigaciones en esta área y contribuir a la literatura existente sobre el uso de BIM en la industria de la construcción.

En resumen, la realización de una investigación sobre el proceso constructivo BIM en la ciudad de Loja se justifica por la necesidad de evaluar su implementación y sus beneficios en la gestión de proyectos de construcción en esta ciudad, y por su potencial para contribuir al desarrollo de la industria de la construcción en el país y a la literatura existente en esta área.

Gracias a que este análisis se da según un proyecto en desarrollo, establecido con limitaciones prolongadas indefinidas al desarrollo de este documento, no es posible comparar el proceso de desenvolvimiento completo, por tal motivo, se toma la estructuración principal referente a la primera fase del diseño sobre el cual será aplicada la metodología de gestión de proyecto BIM a manera de comparación y mejora sobre la situación actual del mismo generando y demostrando los beneficios del uso de la presente, específicamente hasta la semana trigésima primera de ejecución de proyecto.

Objetivos

Objetivo general

- Implementar la metodología BIM en los procesos de la fase inicial de construcción del caso de estudio.

Objetivos específicos

- Demostrar la competitividad del uso de metodología BIM y BIM management frente a los métodos tradicionales.
- Obtener un modelo virtual usando los procesos BIM que permita comprender los procesos de construcción y la aplicación de Lean Construction en el caso de estudio.
- Exhibir los beneficios obtenidos mediante el caso de estudio, con el uso de una metodología BIM en relación a la gestión de proyectos arquitectónicos.

Capítulo Uno

Marco teórico conceptual

1.1 BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

Se le da un significado adyacente a un modelo digital paramétrico que tiene como objetivo su edición, logrando su correcto desarrollo y seguimiento a lo largo del ciclo de vida del proyecto que se presente (Trejo Carvajal, 2018). La metodología BIM permite modelar el ciclo de vida de un proyecto desde su fase misma de proyección hasta la fase de mantenimiento y operaciones, siendo la eficiencia del proyecto la cual dependerá en como llegue a aplicarse la metodología BIM dentro de la gestión de la obra (Paguay Monteros & Reyes Cruz, 2020).

Según Paguay Monteros & Reyes Cruz (2020), dentro de las características y ventajas del uso de una metodología BIM aplicada a la planificación de proyectos arquitectónicos:

De acuerdo con la experiencia de los constructores, es cada vez más alta la tendencia del número de proyectos que sufren modificaciones con respecto a la planificación inicial, por lo tanto, para evitar ser parte de esta estadística alarmante, el BIM viene siendo una importante herramienta que mejorará la planificación de los proyectos (p. 41).

Representa de manera más concreta no solo el diseño de la edificación, sino que también la especificación de su entorno, asociándose con herramientas las herramientas, métodos y los diferentes tipos de análisis que otorga el uso del software a utilizar, en relación al modelo propuesto (Silva Saldías, 2010).

1.1.1 TEORÍA DE BIM

El uso BIM, se refiere a la creación y edición de información virtual de forma armoniosa y coherente tanto en el diseño y su trabajo frente un proyecto, teniendo como representante el modelado de información, específicamente sobre la construcción e infraestructura, facilitando la coordinación, simulación y visualización en vivo del proyecto facilitando la planificación, diseño y administración de la infraestructura en la que se está trabajando,

representando así todas las características físicas y funcionales de la construcción (Aponte Sierra, 2016).

Teniendo en cuenta a Aponte Sierra (2016) dentro del artículo de investigación de gestión de proyectos afirma que:

En general, BIM promueve la colaboración de todos los participantes del proyecto. Hay usos beneficiosos de BIM durante la fase de construcción, sin embargo, al final la capacidad de afectar el costo en un proyecto reduce tanto como la construcción avanza. Varios usos incluyen la secuenciación, la estimación de costos, fabricación y BIM en el sitio de realización de la obra (p. 5).

La metodología BIM facilita al usuario una manera de empleo eficiente como sostenible, dentro de la gestión del mismo, simplificando la integración del trabajo y se disminuya de manera efectiva los costos y esfuerzo del proceso de ejecución del proyecto, permitiendo optimizar la inversión supuesta gracias a que permite desarrollar la simulación, navegación y según estas, la prevención del proyecto, anticipando posibles fallas a futuro, evitando errores por lo que a su vez, se disminuyen plazos de entrega, gracias a la gestión del diseño a tiempo real, mejorando así también la calidad de presentación del proyecto (Oussouboure & Victore, 2017).

Se trata de un recurso de información que puede ser compartido en conjunto de la información de una obra que desempeñará el papel de un ejemplo de confianza para la creación de soluciones a lo largo del ciclo de vida de la edificación gracias a la compatibilidad con los diferentes recursos usados en el diseño del mismo; desde la concepción ideal de la edificación hasta su demolición (Compadre del Río, 2018).

El uso de un software capaz de trabajar con BIM, puede representar una mejora de los componentes del proyecto, estando a la vanguardia sobre procesos de modelado basados en únicamente una representación vectorial. Además de permitir tener una información de datos centralizada, de forma en la que se evita tener diferentes versiones de archivos que puedan tener cierta incompatibilidad, optimizando los procesos constructivos y de diseño. (Vizcarra Apaza, 2015)

Como expone Trejo Carvajal (2018) en el estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos sobre su aplicación y trascendencia dentro del entorno de desarrollo de un proyecto:

Es importante considerar que BIM no reemplaza las personas, sino que reduce las tareas de trabajo repetitivo y redundante, además de esclarecer el proceso de información, pero aún son personas las que reúnen e ingresan la información al modelo. Por lo mismo, BIM no está libre de errores, pero es una metodología que permite su pronta detección y corrección (p. 7).

BIM posee un grado de inteligencia ya que aplica dos métodos de diseño, siendo el diseño paramétrico, con el que los elementos como muros, vigas, ventanas, etc., son regulados según parámetros y reglas que determinan la geometría del edificio en cuestión y, por otro lado, tenemos la bidireccionalidad asociativa que es un método con el que es posible gestionar los cambios que ocurren dentro del diseño y del modelo en el que se está trabajando, actualizando el mismo a tiempo real y así eliminando posibles inconsistencias que se generan desde un error, siendo corregidas en todo el modelo (Silva Saldías, 2010).

1.1.1.1 Niveles de integración BIM. *Según los investigadores de la asignación de recursos en la Gestión de Proyectos orientada a la metodología BIM, Oussouboure & Victore (2017) comentan que:*

El BIM es una metodología que permite diseñar en 3D la documentación del contenido de los proyectos mediante modelos que reflejan los contenidos en cada una de sus fases; con volúmenes, planos, recursos, cantidades, tablas, costos, tiempo y calidad en un proceso integrado de las especialidades a través de un sistema de información y comunicación con los sujetos, participantes y partes interesadas, con facilidades para la simulación de los procesos, identificación de conflictos, evaluar soluciones y proceder a la toma de decisiones en un proceso integrado, con resultados donde se reduce el plazo de tiempo, en el marco del presupuesto y con la calidad requerida por el cliente y las partes interesadas (p. 4).

Dentro de los niveles de integración BIM y sus dimensiones, dependen del proceso de organización, equipamiento y capacitación de los especialistas que trabajen en el proyecto, llevándose en función de las posibilidades objetivas del grupo de trabajo (Oussouboure & Victore, 2017):

Existe como primer punto el BIM 3D, siendo un modelo que se dirige únicamente a elementos que describen la información geométrica unificada del caso; por consiguiente, existe BIM 4D, siendo capaz de controlar el proyecto y todos sus aspectos al detectar inconsistencias, crear simulaciones para su resolución y abriendo paso a una posibilidad de dismunción tanto de costo como plazo de ejecución gracias a esto. De igual manera, en conjunto de BIM 5D se facilita la inspección exhaustiva de los costos según el modelo empleado bajo una simulación de la ejecución del mismo; a esto se suma BIM 6D, que analiza y proyecta la capacidad de sostenibilidad en todas sus fases bajo un análisis integral; por último, BIM 7D o Facility Management, gestiona el mantenimiento activo de las instalaciones de la edificación a lo largo de su vida útil.

1.1.2 Metodología BIM

El modelado de información para la construcción o BIM, según sus siglas en inglés, se trata de una metodología que caracteriza la optimización de la gestión de proyectos constructivos, brindando apoyo sobre la ejecución de la obra ya que descarta y optimiza sub-procesos dentro del diseño e ingeniería estructural de la misma (Trejo Carvajal, 2018). El uso de una metodología BIM facilita la colaboración de las distintas partes que componen el proyecto, permitiendo un flujo de información renovable e instantáneo de la información de cada proceso por los que se rige la estructura del proyecto, disminuyendo la repetición de tareas y logrando un orden en el proceso de construcción (Trejo Carvajal, 2018).

BIM tiene la capacidad de ser implementado en distintas etapas de un proyecto, evidenciando sus ventajas de distintas maneras, como explica en el plan de implementación

de una metodología para la gestión de proyectos (Sabogal Morales & González Pineda, 2021).

El uso de esta metodología tiene un gran potencial, permitiendo crear un modelo detallado que se ajuste a las necesidades en la etapa de diseño, mejorándolo y adaptándolo durante la fase de construcción, permitiendo obtener resultados visibles de una gestión eficiente durante la etapa de operación, lo cual podría resultar en una reducción de los costos de ubicación. Así mismo, el uso de un modelo BIM, cuenta con diferentes herramientas que son de utilidad al momento de recoger, procesar y dirigir información a una base de datos 3D, incluyendo así propiedades de los elementos modelados como lo son su área, volumen, materialidad, peso, especificaciones, entre otras, siendo capaz de calcular estimados dentro de la gestión de un proyecto de manera precisa (Vizcarra Apaza, 2015).

A su vez, Aponte Sierra (2016) como investigador de gestión de proyectos de construcción con metodología BIM "building information modeling" y su práctica dentro de un entorno práctico, afirma que:

El uso de BIM mejora especialmente los esfuerzos de colaboración del equipo, en donde el arquitecto y el ingeniero pueden poner a prueba sus ideas de diseño. El gerente de construcción puede proporcionar constructibilidad, secuenciación, el valor y los informes de ingeniería, también pueden iniciar la coordinación 3D entre los subcontratistas y proveedores durante las primeras etapas de diseño. El propietario puede visualizar si el diseño es lo que él está buscando realmente. (p. 7)

Los beneficios dentro de la gestión de proyectos, se especifican al momento de reducir la incertidumbre en su manejo, suma las posibilidades de controlar el proyecto, eliminando aproximaciones aleatorias (Aponte Sierra, 2016).

Según Baldeón Mendoza (2020), sobre la aplicación de la metodología BIM para la etapa de planificación y control de obra, nos dice que:

Se puede apreciar que la metodología BIM es aplicable a diferentes etapas de un proyecto multifamiliar. Entender, que el potencial de la metodología es que se realice el modelo a detalle y que el mismo modelo sea exacto en la etapa de diseño y

mejorado y adaptado en la etapa de construcción para que en la etapa de operación se pueda ver los resultados de una buena gestión puesto a primera vista se podría disminuir los costos de ubicación (p. 32).

Al contrario de los conceptos que resaltan a mayor grado el uso del modelado de datos como lo puede ser la aplicación de una metodología BIM y lo que esta contiene, la misma no es un software que genera modelos 3D, un método de mejora de diseño o como atajo para proyectos con altos costos de inversión, sino que se enfatiza a la concepción de una filosofía de trabajo que optimiza la representación de recursos, procesos y especificaciones que son necesarios a manera de lograr los requisitos prácticos e integrales de la gestión del proyecto en el que se trabaja (Baldeón Mendoza, 2020).

Como beneficios de la aplicación de esta metodología podemos enumerar que:

- Permite la integración del proyecto en el ciclo de vida del mismo, representando y protegiendo los intereses presentes y a futuro del cliente.
- Facilita el control y monitoreo gracias a la posibilidad de un constante seguimiento con respecto a los costos y el mantenimiento del equipo y materiales usados para su construcción.
- Minimiza errores proyectuales, posibilita hacer estudios de beneficios, facilitando la gestión de decisiones al momento de proyectar la edificación, siendo posible variar entre materialidad para saber su mejor eficacia, los riesgos de su uso.

Esto además de las ventajas como la mejor coordinación, el aumento productivo, calidad de detallamiento, control de información, relación con el cliente, mejorando en sí la calidad de los proyectos. (Oussouboure & Victore, 2017)

1.1.3 Interoperabilidad

Se refiere a la capacidad de intercambio de datos y a su vez de archivos de manera eficiente y precisa. Se la define como una técnica novedosa dentro del campo de diseño

debido a la carencia de un modelo de datos sin la posibilidad de compartir su progreso en tiempo real, puede crear limitaciones en la comunicación entre las diferentes partes que se involucran para la creación y diseño del proyecto, lo que puede dificultar la colaboración y a su vez, limitar la efectividad del proyecto. Gracias a esto, se han creado estándares fomentando la exportación de documentos, destacando el formato Industry Foundation Classes (IFC), con el cual los profesionales de la construcción pueden intercambiar modelos y datos sin pérdida de información, mejorando la colaboración y coordinación entre los diferentes actores del proyecto.

Es la capacidad de diferentes sistemas, dispositivos o softwares para intercambiar información y comunicarse entre sí de manera efectiva, compartiendo datos de manera transparente, sin importar las diferencias en la tecnología subyacente, los protocolos de comunicación o los formatos de datos utilizados, englobando los mismos en una sola red capaz de compartir datos entre las existentes. Permite que los sistemas en los cuales se trabajan se conecten, interactúen y compartan información de manera eficiente, lo que facilita la cooperación, colaboración y el intercambio de datos entre diferentes entidades. Esto, haciendo alusión a la metodología BIM, apoya al ahorro económico y de tiempo al desarrollar la obra gracias a que datos informativos esenciales existentes pueden ser exportados o importados hacia diferentes plataformas y softwares que facilitan su procesamiento.

A partir de los datos extraídos por parte de la investigación de Muñoz García (2020):

Los métodos actuales de comunicación en la industria AEC (arquitectura, ingeniería y construcción) siguen siendo fragmentados y dependen en gran medida de la transferencia de información plasmada en papel. Las interacciones entre los diversos actores se dan mediante múltiples archivos que requieren de una revisión rigurosa de enormes documentos, dibujos técnicos y contratos legales para las órdenes de compras, permisos, solicitudes de cotizaciones, honorarios y demás (p. 46).

La intercomunicación es uno de los aspectos que más destacan en el uso de BIM, esto, gracias a la amplia existencia de softwares disponibles que inciden y se ponen en práctica al momento de modelar, presupuestar y monitorear la obra en cuestión, por lo que a

su vez es necesaria la compatibilidad con todos los softwares, siendo de manera crucial que el proceso sea incluido en un proceso IFC, haciendo efectiva la colaboración entre las distintas disciplinas que den uso en cualquier etapa de la obra. (Trejo Carvajal, 2018)

El uso de una metodología BIM tiene como idea principal la colaboración entre profesionales, siendo posible intercomunicar la información obtenida mediante un recurso IFC, siendo necesario a su vez, el realizar la obra bajo una configuración minuciosa que permita la adaptación de la información obtenida y que la misma pueda ser importada en su totalidad de forma eficiente. (Trejo Carvajal, 2018)

La interoperabilidad permite a su vez, identificar inconsistencias dentro del modelo sobre el cual se está trabajando, destacando al momento de su importación a diferentes softwares a forma de superposición las inconsistencias que existen dentro del proyecto, facilitando su detección y corrección instantánea.

1.1.4 Niveles de detalle y desarrollo LOD

1.1.4.1 Niveles de detalle LOD. *De acuerdo a la investigación hecha por Trejo Carvajal (2018) sobre el impacto que tiene la aplicación de una metodología BIM en la fase de planificación y gestión de proyectos, se tiene que:*

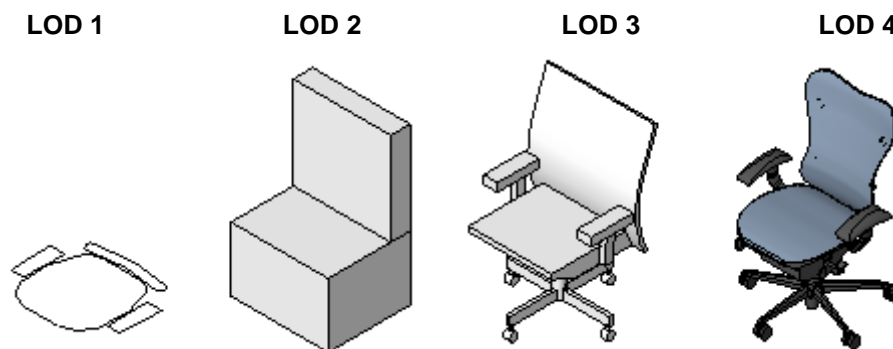
Los niveles de detalle LOD o Level Of Definition, según sus siglas en inglés, corresponden a la calidad y cantidad lineal de información que contiene el detalle de un objeto constructivo dentro de la obra. Se refieren a una técnica utilizada en la expresión gráfica para representar objetos en entornos virtuales de manera eficiente. Los objetos 3D en un entorno virtual suelen tener diferentes niveles de detalle dependiendo de la distancia desde la cual son observados por el usuario (p. 17).

El detallamiento y su calificación bajo niveles se contextualiza según el proporcionamiento de datos geométricos y visuales que se utiliza para representar un objeto en función de su proximidad al observador, por lo que a medida que un objeto se aleja del punto de vista del usuario, se puede reducir su nivel de detalle para ahorrar recursos computacionales y mejorar el rendimiento.

- LOD 1: Demuestra el esquema del elemento.
- LOD 2: Identifica requerimientos claves como el volumen conceptual del elemento. Proporciona ayuda para la colocación espacial dentro de un área.
- LOD 3: Representa el elemento de manera técnica definida para su coordinación espacial completa.
- LOD 4: Representa el elemento de manera completa dentro del diseño, con su definición del espacio actual.

Figura 1.

Ejemplo de nivel de detalle LOD



Nota: adaptado de *Lanmar Services*. (2014, 9 junio). *LOD - Level of Development or Detail*

<https://lanmarservices.com/2014/05/14/lod-in-scan-to-bim/>

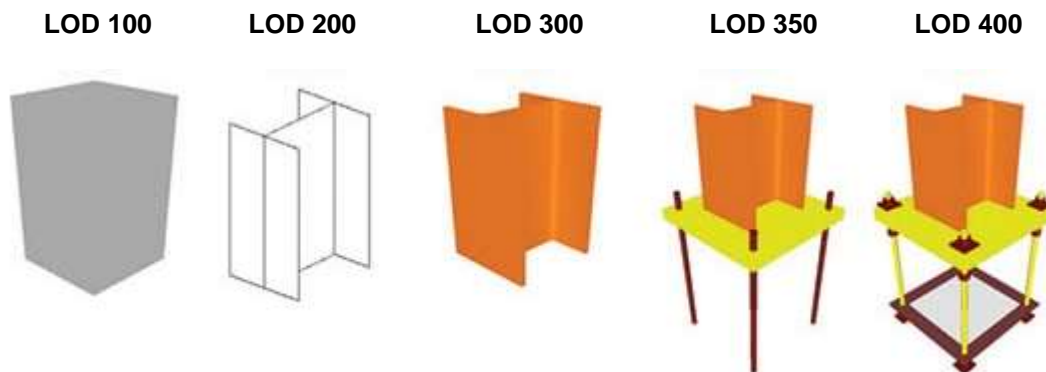
1.1.4.2 Niveles de desarrollo LOD. Al ensayar la investigación propuesta por Trejo Carvajal, (2018) podemos decir que el nivel de desarrollo LOD o Level of Development acorde a sus siglas, es el nivel de desarrollo de información que posee un elemento dentro del modelo sobre el cual se está trabajando. Son una forma de categorizar y comunicar el grado de detalle y precisión de la información en un modelo de información de construcción. Se utilizan comúnmente en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) para establecer los estándares y expectativas en cuanto al nivel de información y detalle de los elementos del modelo que debe tener un modelo a presentar (p. 19).

Los niveles de desarrollo LOD se definen en una escala del 100 al 500, representando cada uno un nivel incremental de detalle y desarrollo en el modelado de los elementos, por lo que a medida que se incrementa el nivel LOD, se espera que el modelo contenga más información específica y precisa, lo que permite una mejor comprensión y coordinación en todas las fases del proyecto.

- LOD 100: Representa elementos conceptuales de manera gráfica aproximada, muestra la existencia del objeto y su geometría, más no su tamaño o ubicación.
- LOD 200: El elemento se expresa de manera genérica de manera aproximada, especificando de mejor manera el volumen y el espacio que ocupa.
- LOD 300: Se muestra a manera de sistema de objetos que lo componen, se especifican las dimensiones, orientación y forma determinada del elemento.
- LOD 350: Se añaden representaciones vinculadas con los demás elementos del elemento, incluyendo conexiones y demás componentes existentes.
- LOD 400: Añade la representación de detalles precisos que son necesarios para la fabricación e instalación completa del objeto.
- LOD 500: Representa el elemento como construido o instalado de manera real en el espacio. Se incluye la vinculación en conjunto de otros objetos.

Figura 2.

Ejemplo de niveles de desarrollo LOD



Nota: adaptado de *Lanmar Services*. (2014, 9 junio). *LOD - Level of Development or Detail* <https://lanmarservices.com/2014/05/14/lod-in-scan-to-bim/>

Los niveles LOD ayudan a los profesionales de la AEC a comprender qué esperar de los modelos BIM y a coordinar eficientemente los procesos de diseño, construcción y mantenimiento. Al establecer un nivel LOD específico para cada elemento del modelo, se promueve la consistencia y la calidad de la información en todas las etapas del proyecto.

1.1.5 IFC (Industry Foundation Classes)

Se denomina así al formato de exportación universal de archivos dentro del entorno BIM, permitiendo de esta manera el intercambio de información entre una vasta existencia de softwares que respaldan su uso, facilitando la importación común de datos entre distintos formatos posibles a usar dentro del manejo de un proyecto. Se lo reconoce como un estándar abierto que proporciona una estructura y lenguaje neutro que permite a los actores dentro de un proyecto de organización de obra, el colaborar eficientemente compartiendo datos en los que se trabaja sin importar el software específico usado.

Según Compadre del Río, (2018) en su investigación guía para la redacción de un BEP para el desarrollo de un proyecto en BIM denomina a IFC como:

Es un formato de datos de especificación abierta. Pretende convertirse en un estándar que facilite la interoperabilidad entre programas del sector de la construcción. Contiene información geométrica y alfanumérica que permite que los programas de software que soportan este formato la puedan leer, editar e intercambiarla con otros programas (p. 37).

Nace en los años 70-80 por la necesidad de enfrentar la incompatibilidad existente al momento de trabajar con archivos de diferentes versiones, año de creación y generación, imposibilitando la lectura adecuada de los mismos ya sea en un software distinto o en su defecto en una versión distinta del mismo. Gracias a esto, se crea el formato IFC, abriendo la capacidad de crear diferentes maneras de manipular los proyectos, teniendo en cuenta los parámetros del mismo. El intercambio de datos se restringe a las regulaciones prescritas de las empresas productoras y distribuidoras de los programas que se utilizan y sus licencias. (Sabogal Morales & González Pineda, 2021).

El objetivo de BIM es realizar la gestión de las edificaciones, desde su diseño hasta su construcción y su vida útil, lo que conlleva su geometría hasta las propiedades de los componentes, incluso la información de costos y recursos consumidos por el mismo proyecto, siendo necesaria la integración de esta información en cada parte del proceso de su representación. Las herramientas CAD tradicionales, dejan al margen el resto de elementos que constituyen la estructuración del proyecto, si bien se puede diseñar planos de edificación, no es posible especificar la materialidad de sus paredes o la determinación del coste de obra. Por lo que, el formato IFC, pretende resolver este problema con el uso de un único formato estandarizado para todas las herramientas que contribuyen a la creación del proyecto, siendo posible interpretar, importar y extraer datos almacenados entre aplicaciones que soporten este formato, logrando su interoperabilidad (Pedraza Aguilar, 2017).

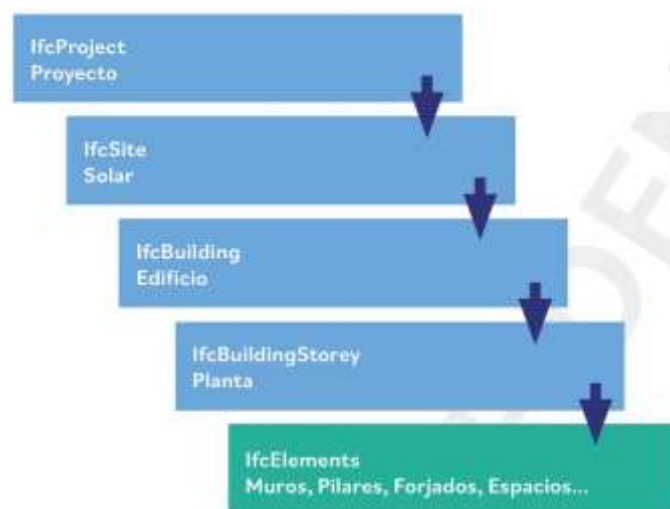
Una de las características principales por las que se define este formato es la facilidad de interoperabilidad que supone, evitando sobreesfuerzos y costos organizacionales. Esta estructura sirve de forma en la que se tenga una mejor realización del proyecto dentro del

equipo de diseño, organizando el proyecto con base afín a habilidades y conocimientos y no al uso de un software único, dejando la dependencia de formatos. (Pedraza Aguilar, 2017)

Además del formato IFC, existen estándares y protocolos que también contribuyen y aportan a la interoperabilidad dentro del uso de proyectos BIM, como el Construction Operations Building Information Exchange (COBIE), que se enfoca en la gestión de información para el mantenimiento y la operación de edificios, y el Open BIM, que promueve la colaboración abierta y la integración de diferentes disciplinas en un proyecto.

Figura 3.

Esquema de estructuración de modelo de edificación según estándar IFC



Nota: adaptado de *European BIM Summit Barcelona (2020, noviembre)*.

IFC EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.

1.1.6 Gestión de Proyectos

1.1.6.1 BIM en Gestión de Proyectos. *Históricamente, la colaboración en el sector de la construcción entre diversas disciplinas, como arquitectura, ingeniería, empresas y entidades gubernamentales, ha sido principalmente a través del intercambio de dibujos y documentos en dos dimensiones. Sin embargo, esta forma de trabajar presenta desafíos, ya que cada disciplina crea representaciones independientes del mismo proyecto, lo que impide que las modificaciones realizadas en un componente se reflejen en el resto del proyecto (González Guzmán, 2014).*

La diferencia de la industria de la construcción es que se caracteriza por que el proceso de creación de nuevos productos siempre son in situ, y a la final todos los proyectos constructivos son diferentes en todos los sentidos. Dejando esto de lado, hay numerosas herramientas y precursoras a las mismas capaces de aumentar la eficiencia y la productividad del sector, como lo es la metodología BIM, el caso arquitectónico y civil.

Desde el inicio hasta el final del proyecto, los procesos y metodología de trabajo BIM permiten que el director del proyecto ejerza de manera efectiva el trabajo de coordinación y control sobre cada una de las partes involucradas e interesadas. Esto y a que se abre la posibilidad de dar una orientación hacia el desarrollo de sus funciones de una manera más interdependiente basada en un sistema de información único y eficiente.

Al aumentar la eficiencia operativa interna a favor del cliente y validar los compromisos del ejecutor con el cliente a lo largo del ciclo de vida de la inversión, BIM ofrece un proceso de mejora para la realización del proyecto tanto en cuestión de tiempo y de dinero. Esto agrega valor al cliente durante el ciclo de vida de la inversión; Muñoz García (2020) nos dice que existen varias áreas del proceso constructivo y de diseño donde el BIM puede agilizar el trabajo, la coordinación, revisión del proyecto, medición de presupuesto, planificación y control de ejecución son ejemplos de estas áreas. Todas estas ramas de la construcción juntas son lo que conocemos como Gestión de Proyectos que son generalmente ejecutadas por empresas de alto desempeño.

De acuerdo a estudios sobre la interoperabilidad en el entorno BIM, en el marco de la estrategia del BIM según García Muñoz (2020) se considera:

Desarrollar la metodología BIM y las herramientas informáticas que la integran; conocer los principios básicos y de uso de las principales herramientas de modelado BIM; conocer los principales modelos de datos BIM y su interoperabilidad; conocer los estándares, normas y protocolos de actuación en el entorno BIM; definir procesos de trabajo que permitan incrementar la eficacia de los sujetos, participantes y partes interesadas en el proyecto; establecer flujos de información que aseguren la trazabilidad en la toma de decisiones; dotar de conocimientos, habilidades y herramientas para incrementar la capacidad de control sobre el desarrollo del proyecto (coordinación y revisión de modelos) y conocer la funcionalidad de herramientas que permiten el trabajo colaborativo entre los operadores BIM implicados en el proyecto.

Por estas razones, BIM destaca como una alternativa capaz y efectiva ya que facilita la optimización y comunicación durante todo el proceso proyecto, construcción, y finalización del proyecto, ofreciendo una mayor seguridad al inversionista gracias a su capacidad de control de obra. Dependiendo del enfoque proyectual, es posible conceptualizar los objetivos del BIM a diferentes áreas del modelo, por ejemplo:

- Colaboración mejorada: El BIM promueve la colaboración y la comunicación entre todos los participantes en un proyecto de construcción, incluyendo arquitectos, ingenieros, contratistas y propietarios. Al utilizar un modelo centralizado y compartido, todos los interesados pueden acceder a la misma información actualizada, lo que mejora la toma de decisiones y evita errores y conflictos.
- Coordinación y detección de conflictos: El uso del BIM permite identificar y resolver posibles conflictos entre distintos elementos de un proyecto antes de que se lleve a cabo la construcción física. Al integrar información detallada sobre diseño, estructuras, instalaciones y otros aspectos, es posible detectar interferencias y solucionarlas de manera anticipada, lo que reduce los costos y los retrasos en la construcción.

- Mejora de la planificación y programación: El BIM facilita la creación de planes y cronogramas detallados del proyecto. Al contar con una representación virtual precisa de todos los elementos y actividades, se pueden realizar simulaciones y análisis para optimizar la secuencia de trabajo, asignar recursos adecuadamente y prever posibles problemas antes de que ocurran.
- Gestión de costos y presupuestos: Mediante el uso del BIM, es posible obtener estimaciones de costos más precisas y actualizadas a medida que se desarrolla el proyecto. Al vincular la información del modelo con bases de datos de precios y cantidades, se puede realizar un seguimiento detallado de los costos y presupuestos, identificar desviaciones y tomar medidas correctivas oportunas.
- Mejora en la operación y mantenimiento: El BIM no solo se limita a la fase de diseño y construcción, sino que también ofrece beneficios en la etapa de operación y mantenimiento de los edificios e infraestructuras. Al contar con un modelo digital completo y preciso, se facilita la gestión y el mantenimiento de activos a lo largo de su ciclo de vida, lo que permite un uso más eficiente de los recursos y una mayor durabilidad de las construcciones.

1.1.7 BEP

Las siglas (BEP) hacen referencia a su denominación en inglés, (BIM Execution Plan), traduciéndose al español como Plan de Ejecución BIM. Hace referencia a las guías de metodología BIM que un plan de ejecución lleva a cabo. Según Compadre del Rio (2018) el BEP lo podemos definir como: "Un plan de ejecución de proyecto BIM (en lo sucesivo, el "Plan BIM") describe la visión general junto con los detalles de implementación para que el equipo siga a lo largo del proyecto" (p. 11).

El plan BIM debe crearse al principio del ciclo de vida del proyecto, actualizarse continuamente a medida que se incorporan nuevos participantes y revisarse según sea necesario durante la fase de implementación del proyecto (Compadre del Rio, 2018).

Un plan de proyecto debe tener en sí, partes fundamentales de información para que tenga un orden y sea regulado el proceso por el que se va a trabajar (Compadre del Rio, 2018).

Primero tenemos el estado de la misión que es la parte principal del proyecto porque es el momento en el que se define el estado del área en la que vamos a intervenir, se visualizan potencialidades y posibles desventajas, se plantean misiones y empieza el proyecto. Segundo tenemos el alcance, aquí definimos que tanto alcance nuestro proyecto va a tener y a quien vamos a llegar con nuestro trabajo. Después viene la etapa identificación y mitigación de riesgo.

En esta etapa, una vez habiendo definido las potencialidades del proyecto y el alcance que vamos a tener, podemos enfocarnos ya en si plantear soluciones a los problemas que tengamos. Ahora viene la parte donde ya se definieron las estrategias. En esta parte tenemos como principal los controles de proyectos, la planificación de recursos, el enfoque de ejecución, y el plan de diseño. Esta es una de las etapas más largas de toda la planificación y es la parte donde más suelen aparecer los problemas o imprevistos.

Una vez finalizada toda esta etapa tenemos como punto final el plan de construcción y la puesta en marcha y la validación del plan.

1.1.8 Modelo Lean-BIM

El modelo Lean-BIM hace referencia al término (LEAN) que se refiere a un modelo de construcción donde se minimizan los desperdicios de forma que la construcción sea amigable con el medio ambiente y sustentable en el tiempo de vida que tenga la misma. La integración de los modelos BIM en conjunto de la presente metodología ha conllevado a la realización de varias investigaciones, por lo que existe gran variedad de definiciones detrás del modelo Lean-BIM.

Se evalúa bajo un enfoque Lean, el impacto de lo que se establece como Herramientas Informáticas Avanzadas para la Visualización o por sus siglas en inglés CAVT, resaltando la capacidad de cooperación de ambas, donde a su vez se conjuga la

implementación del Lean Project Delivery System (LPDS) junto al uso de Virtual Design and Construction (VDC), donde se pudo determinar que el uso en conjunto de Lean con BIM resulta beneficioso, obteniendo mejores resultados expresados al momento de realizar trabajos en conjunto sobre proyectos de diseño gráfico y estructural (Latorre Uriz et al., 2019).

Gracias a la amplia y diversa existencia de estudios hechos en los últimos años por diversos autores se han facilitado diversas características de interacción entre LC y BIM. Ambos pueden usarse para impulsar la productividad de la industria, pero hacerlo también requiere un cambio en la mentalidad y las prácticas laborales.

Algo importante a tener en cuenta es que Lean y BIM no son dependientes el uno del otro, de hecho, es más común que funciones de forma separada en el momento de la construcción que juntos. A manera de alcanzar su potencial total, es necesario su acción compartida, por eso es recomendable y factible trabajar con estas dos metodologías de la misma manera. A manera de marcar progreso según la productividad en redacción de proyectos de edificación, se realizó una lista con los puntos más favorables al momento de utilizar esta metodología (Latorre Uriz et al., 2019).

Tales puntos son la reducción de los re-trabajos, que exista una sola fuente de información del proyecto, aumentar la integración del proyecto, aumentar lo que es la productividad, incrementar la participación y colaboración, reducir el tiempo de duración del proyecto, incrementar el valor entregado, perfeccionamiento de la vista previa proyectual, reducción de conflictos y la eliminación de pérdidas (Latorre Uriz et al., 2019).

1.1.9 Planificación de Proyecto

Un proyecto es un concepto o idea que desea consolidar en términos de tiempo, costo y otros factores, utilizando el proceso adecuado y las herramientas adecuadas para realizar el trabajo. El inicio de un proyecto se considera la concepción de la idea, y su finalización es cuando se han logrado todos sus objetivos primarios y secundarios.

Es crucial especificar que los proyectos están incluidos en la definición propuesta para que un proyecto que vale miles de millones de soles y uno que vale unos cientos de soles se

entiendan de la misma manera. Al usar la analogía de la cantidad, es posible configurarla de igual manera en el tiempo; por lo tanto, cualquier proyecto que tenga una duración de diez días o diez años será referido como de diez días de duración.

De acuerdo a Sabogal Morales (2021) y su investigación sobre la implementación de una metodología de gestión proyectual aplicada a empresas destinadas a las ramas de arquitectura e ingeniería:

Para que una organización tenga éxito en sus proyectos requiere conocer las mejores prácticas en la gestión de proyectos, con el fin de minimizar riesgos, obtener mejores resultados, facilitar la toma de decisiones del Project Management, así como la implementación de una metodología que organice los procesos de la Empresa (p.32).

De igual manera, Sabogal Morales (2021), considera las siguientes prácticas en la gestión de proyectos:

Como primer punto, es importante definir antes de iniciar un proyecto los participantes capaces de cumplir con sus directrices para la ejecución del proyecto y sus respectivas responsabilidades; de igual manera, es necesario la creación de una gestión de proyecto que conste de sus pasos a seguir; es importante clarificar la razón del trabajo y su gestión para lograr la concesión del resultado conforme las etapas existentes dentro del mismo; fijar las condiciones para el correcto manejo del trabajo, dando a conocer la organización del mismo, esclareciendo las necesidades a alcanzar por parte de los colaboradores en conjunto de los instrumentos dispuestos (Sabogal Morales & González Pineda, 2021). También es importante reconocer los precedentes existentes y gracias a estos, evaluar las características tanto presupuestarias como de riesgos puestas a dar acción en el proyecto propuesto; dar supervisión a las actividades que forman parte del trabajo como los consumos y tarifas propuestas para su cumplimiento; dentro de ciertas circunstancias, se da la obligación de dar cambios a las actividades, siendo necesario el procedimiento para dar solución a las mismas con los planificadores del proyecto; prever situaciones comprometedoras que puedan arriesgar el cumplimiento del objetivo, gracias a la creación de un plan de riesgos; por último, es necesario dar solución en menor tiempo a impedimentos que se den a lo largo del proyecto,

eludiendo la detención del proyecto y a su vez la disconformidad del contratante (Sabogal Morales & González Pineda, 2021).

Si bien todos estos puntos son fundamentales en la realización del proyecto, cada uno de ellos tiene que tener su propio seguimiento y control en cada una de las áreas del mismo. Previamente se pensaba que el éxito del proyecto dependía del costo, el alcance y requisitos, sin embargo, con el paso del tiempo y con ayuda de nuevas investigaciones podemos darnos cuentas que hay un sinnúmero de factores que influyen en el resultado final de nuestro proyecto (Sabogal Morales & González Pineda, 2021). La efectividad en la planificación de proyectos debería responder a 3 puntos específicamente que Sabogal Morales & González Pineda (2021) definen en su investigación:

- Cumplimiento de expectativas
- Satisfacción del equipo del proyecto
- Logro de compromisos

Capítulo dos

Metodología

El objetivo general de esta investigación fue crear un cuadro comparativo donde se pueda observar los beneficios que la metodología BIM tiene frente otros sistemas constructivos que existen tradicionalmente en la ciudad de Loja-Ecuador, a razón del caso de estudio, teniendo un enfoque mixto, en parte cuantitativo y cualitativo. En la parte cuantitativa se planteó realizar una comparación directa en cuestión de materialidad y su ejecución en obra entre el diseño ya propuesto del caso de estudio y desde el otro punto de vista, con el proceso de metodología BIM, para esto, se utilizó un software BIM el cual en este caso fue ArchiCAD el mismo que, junto a ciertos parámetros establecidos, facilitó la emisión de información en tiempo real sobre el uso exacto de material dependiendo de las dimensiones del mismo. En la parte cualitativa, se observó en que puntos específicos del proceso constructivo, la metodología BIM resultó más eficiente dentro de la gestión de proyecto. Se planteó aplicar el análisis en el proceso constructivo del caso de estudio, dentro de su fase estructural, comparando la materialidad propuesta gracias a los planos estructurales, el volumen actual usado en obra y el volumen propuesto en el software BIM. La presente investigación se realizó de manera metódica y organizada, siguiendo una planificación que se ha fundamentado en objetivos específicos.

2.1.1 Recolección de datos

A manera de obtener los datos específicos de cantidades de obra y su aprovechamiento al aplicar una metodología que apoya la gestión de proyectos, se dio la implementación de un software de modelado como lo es ArchiCAD, el cual, una vez completa la representación de la edificación según el caso de estudio, proveyó con la expresión tabulada de datos gracias sus características de resultados paramétricos.

2.1.2 Comparación de datos

En cuanto a los objetivos específicos, se planteó realizar una investigación metódica específica sobre el nivel de información y como se encuentra en la actualidad el sistema de metodología BIM en la ciudad de Loja. Para esto se realizó una recopilación de datos según el caso de estudio, el planteamiento del proyecto en conjunto de sus informes de investigación al igual que la materialidad usada dentro del mismo. Para comprobar la factibilidad de la propuesta sobre la implementación y promoción de un modelo BIM acorde a una guía práctica sobre el uso de una metodología tradicional, fue necesario llevar a cabo la recopilación de datos sobre la efectividad y acercamiento que tiene en este caso, los cálculos estructurales y el modelo BIM, frente al estado actual de la obra. Para esto, se propuso como estrategia el análisis y comparación de datos, dentro del cual se analizó el proceso de ejecución y programación de la obra según los volúmenes de materialidad usados, validando así la propuesta sobre las ventajas que brinda la implementación de un modelo BIM dentro de la gestión y fase constructiva de un proyecto, esto acompañado de los datos cuantitativos brindados por el modelo llevado a cabo en relación al modelo proyectado según la metodología tradicional. Dentro de la investigación consta el manejo de materiales dentro del proyecto, el uso de software para su ejecución y cronogramas de actividades, esto como la programación de la obra en su totalidad.

Una vez extraída la información gracias al libro de obra que se lleva a cabo en la misma, además de distintas visitas técnicas para toma de datos del lugar, se procedió a definir las características de cantidades de obra con el uso del software de modelado Achicad, creando una tabla comparativa entre los resultados obtenidos con el uso del software BIM y los planos estructurales que implicaron el uso de una metodología tradicional, frente a las cantidades obtenidas según el caso de estudio, comparando y evidenciando así la precisión que se puede obtener mediante el uso de esta metodología.

2.1.3 Determinación de datos a recoger

A manera de verificación de las ventajas que propone el uso de una metodología BIM, se dio uso de softwares que apoyan el modelado 3D de la edificación, dentro del cual se dio la caracterización del uso de elementos estructurales que la componen, esto, posteriormente se representó a manera de datos cuantitativos que se identificaron dentro de cuadros comparativos que condensan los datos recogidos, exponiendo las ventajas propuestas por el diseño empleando la metodología BIM y los datos previamente usados en el diseño según el método tradicional CAD. Mientras que, por el lado cualitativo de investigación, se reconoce los datos necesarios para conocer la información que adjudique de forma justificada la implementación de una metodología BIM sobre una tradicional, por lo que la comparativa de datos se dio sobre las estructuras de carga existentes hasta la condición actual de la obra, contando con muros de calzada, zapatas, losas, escaleras, rampas, vigas y columnas para su comparación de volúmenes.

2.1.4 Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos se dio el uso del libro de obra actual, tomando los datos desde su primera semana hasta la semana trigésima primera de ejecución, ya que se dan características tangibles para comparar en conjunto con la finalización de la fundición de columnas del primer piso. De esta manera fue posible expresar los datos exactos en las tablas comparativas, determinando las estructuras existentes y su volumen de hormigón capaz de ser comprobado al igual que en el modelo BIM y los planos estructurales. Se definió como instrumento para lograr el cumplimiento de los objetivos del trabajo propuesto, la recolección de datos mediante el uso de software de modelado 3D BIM como lo es ArchiCAD, expresando el cálculo de volúmenes netos según el tipo de estructura, al momento de comparar las cantidades de obra existentes con el modelado que se propuso y su documentación de acuerdo con el proceso de construcción en obra in situ, esto además de la comparación con la definición de volúmenes de hormigón prevista en los planos estructurales, demostrando y expresando así el porcentaje de eficiencia que el modelo BIM debe tener sobre estos.

Capítulo tres

Análisis y Comparación de datos

El motivo del presente capítulo es exponer y analizar los datos recolectados acerca de los volúmenes de materiales, específicamente del hormigón estructural programado utilizado según la proyección usada dentro del modelo digital, en comparación a cantidades de referencia expuestas en los planos estructurales del proyecto y a su vez en los datos actuales de construcción según el libro de obra, exponiendo así la fortaleza de implementación un software de modelado que aproxima de manera más exacta las cantidades de obra.

3.1 Consultorios médicos 18 de noviembre

3.1.1 Área de intervención

La edificación de base de estudio se localiza en el área urbana central de la ciudad de Loja, específicamente en la calle 18 de noviembre, entre las intersecciones de las calles Lourdes y Alonso de Mercadillo, ubicándose en un predio previamente consolidado contando con un área de 279,04m² de terreno para su respectiva demolición e intervención posterior.

Tabla 1.

Definición de áreas

Cuadro de Áreas	
Descripción	Área (m²)
Terreno	279,04
Subsuelo	279,04
Primer Piso	244,37
Segundo Piso	244,37
Tercer Piso	244,37
Cuarto Piso	244,37
Quinto Piso	203,91
Sexto Piso	203,91
Terraza Accesible	32,16
Área total	1696,5
Volúmen de derrocamiento	135
Volúmen de excavación	725,4

Nota: Extraído del libro de obra caso de estudio.

3.2 Localización del caso de estudio

La intervención edificada a realizar se caracteriza por la zona céntrica en la que se ubica, siendo proyectada una construcción de ocho pisos incluyendo el subsuelo. La edificación se distingue por la inclusión de muros de calzadura de cuatro (4) metros de profundidad en la cimentación, teniendo un desfase de 20cm cada metro del mismo. Esto gracias a que una de las edificaciones adyacentes a la construcción cuenta con deficiencias en su cimiento, aumentando la posibilidad de un derrumbe gracias a la debilidad estructural del mismo. Por esto, se realiza la intervención de muros de calzadura, manteniendo y rigidizando la estructura no solo del edificio a construir, sino que también de los colindantes existentes. Gracias a su ubicación cercana a una fuente de agua como lo es el río Malacatos ubicado a menos de cien metros de la construcción, fue necesaria la implementación de bombas de agua al momento de su construcción, esto gracias a que canales subterráneos provenientes del río daban salida en la parte inferior del subsuelo de la edificación.

Figura 4.

Foto aérea del predio a intervenir



Nota: Imagen extraída de Google Earth.

3.2 Visitas técnicas

De acuerdo al inicio de obra, la primera visita se dio el día 20 de Julio, iniciando con la demolición y excavación del terreno a intervenir, siguiendo con dichas visitas en lapsos de dos semanas. Dentro de las mismas caben destacar algunos de los puntos cruciales en la construcción del edificio, teniendo, así como fechas precursoras, el 20 de septiembre, día en el que se dio por finalizado el armado de estribos y varillas para la posterior fundición de zapatas corridas y columnas en conjunto del armado de encofrado de las mismas.

Figura 5.

Armado de varillas



Nota: Imágenes tomadas por los autores Puertas y Cueva (2023).

Posterior a su armado, se definieron visitas nocturnas para la documentación del regado de hormigón, esto gracias a ordenanzas municipales que dictan la prohibición de circulación vehicular para camiones de más de dos ejes como lo es la hormigonera, antes de las 20h00 en el área céntrica de la ciudad. Se observó el proceso de fundición del hormigón para la cimentación de zapatas, muros, losas en conjunto de vigas y columnas que conforman la parte del subsuelo de la edificación.

Figura 6.

Fundición de zapatas y columnas



Nota: Imágenes tomadas por los autores Puertas y Cueva (2023).

Una vez finalizada la fundición de las articulaciones previamente destacadas, se dio una visita mostrando los resultados de dicha fundición en la que se denota no solo el despoje del encofrado de los muros y zapatas, sino que también la añadidura del relleno de tierra compacta previa a la fundición de la losa que conformará la planta del subsuelo.

Figura 7.

Desencofrado y relleno



Nota: Imágenes tomadas por los autores Puertas y Cueva (2023).

Las posteriores visitas, destacan el armado de la losa alivianada junto a las cajonetas que la componen, además del armado de estructura de la escalera del subsuelo, esto previo a su fundición. De igual manera al encofrado de las columnas del primer piso en conjunto de su fundición.

Figura 8.*Armado de estructura y fundación*

Nota: Imágenes tomadas por los autores Puertas y Cueva (2023).

3.3 Actividades en obra

Gracias a las visitas técnicas y el libro de obra actualizado, se crea una tabla crítica resumiendo las actividades propuestas según las fechas previstas, sobre las cuales se da descripción y orden semanalmente según la construcción de la obra y a su vez, se identifican y extraen los volúmenes de materiales ocupados en cada elemento, específicamente el uso de hormigón en cada etapa y estructura existente en la construcción de la obra hasta su estado actual para su posterior comparación y verificación.

Tabla 2.

Resumen de actividades según libro de obra y visitas técnicas

Actividades en Obra		
Fechas	Semanas	Descrpición
8/5/2023	#1	*Desmontaje cubierta fibrocemento+estructura metálica *Desmontaje de yeso y teja+chonta
15/5/2023	#2	*Desmontaje de puertas+piso de madera+tumbado de madera+cielo raso (plywood) *Derrocamiento de paredes de bahareque

22/5/2023	#3	Bloque 1: *Desmontaje lavamanos+sanitario, derrocamiento paredes de ladrillo Bloque 2: *Derrocamiento paredes adobe+paredes tapial, desmontaje estructuras de madera
29/5/2023	#4	Bloque 2: *Derrocamiento tapial Bloque 3: *Desmontaje puertas de madera+mampara de vidrio+ventanas *Desmontaje cielo raso gypsum+plywood, sanitarios, lavamanos, inst. eléctricas
5/6/2023	#5	Bloque 1: *Derrocamiento de tapial Bloque 3:*Desmontaje de teja+estructura, tumbado de duela
12/6/2023	#6	*Derrocamiento Bloque 3 (nocturno) *Desmontaje de puertas enrollables *Derrocamiento de tapial+paredes de ladrillo
19/6/2023	#7	*Entrega materiales : (grava 12m ³ , arena 12m ³ , piedra 12m ³) *Entrega maquinaria: concretera, carretilla, sierras *Derrocamiento paredes de ladrillo, tapial *Excavación para muros
26/6/2023	#8	*Fundición de muros *Desalojo de materiales *Entrega de materiales: (grava 12m ³ , arena 12m ³ , piedra 7m ³)
3/7/2023	#9	*Desalojo de materiales total de 245m ³ *Trabajo de maquinaria total a 20 horas *Entrega materiales petreos (grava 18m ³ , arena 18m ³ , piedra 9m ³), sacos de cemento (28u) y aditivos (1u)
10/7/2023	#10	*Materiales petreos (arena 6m ³ , grava 3m ³ , piedra 9m ³) *Trabajo de maquinaria total a 30,5 horas *Desalojo de materiales total a 132m ³
17/7/2023	#11	*Materiales petreos (arena 15m ³ , grava 15m ³ , piedra 15m ³) *Trabajo de maquinaria total a 17 horas *Desalojo de materiales total a 105m ³

24/7/2023	#12	<p>*Materiales petreos (arena 12m³, grava 12m³, piedra 9m³)</p> <p>*Trabajo de maquinaria total a 13,5 horas</p> <p>*Entrega de varillas 10mm total a 500 unidades</p>
31/7/2023	#13	<p>*Materiales petreos (arena 9m³, grava 6m³, piedra 6m³)</p> <p>*Trabajo de maquinaria total a 30,1 horas</p> <p>*Desalojo de materiales total a 360m³</p>
7/8/2023	#14	<p>*Materiales petreos (arena 17m³, grava 14m³, piedra 14m³)</p> <p>*Trabajo de maquinaria total a 32 1/2 horas</p> <p>*Desalojo de materiales total a 234m³</p>
14/8/2023	#15	<p>*Entrega de hierro desde bodega: estribos y puentes</p> <p>*Entrega de varillas 10Ø25, 20Ø20, 20Ø18, 100Ø16, 13Ø14, 50Ø12, 100Ø10, 200Ø8</p> <p>*Armado de muro zapata posterior</p> <p>*Armado de zapatas y vigas de cimentación</p> <p>*Replanteo</p>
21/8/2023	#16	<p>*Armado de columnas, muros y zapatas según ejes</p> <p>*Alquiler de andamios</p> <p>*Armado de hierro en zapatas según ejes</p> <p>*Preparación de hierro para muros</p>
28/8/2023	#17	<p>*Excavación a mano para replanteo y cimentación</p> <p>*Fundición de replanteo</p> <p>*Limpieza de área de trabajo</p> <p>*Preparación de hierro armado de zapatas según ejes</p> <p>*Armado de vigas de cimentación y zapatas según ejes</p> <p>*Armado de hierro y zapatas con estribos</p> <p>*Amarrado de estribos en columnas y zapatas según ejes</p>
4/9/2023	#18	<p>*Armado de zapatas según ejes</p> <p>*Armado de columnas según ejes</p> <p>*Armado de muros según ejes</p>
11/9/2023	#19	<p>*Armado de viga central</p> <p>*Armado de vigas según ejes</p> <p>*Armado de hierro para muros y ascensor</p> <p>*Armado de muros, columnas y muros según ejes</p> <p>*Armado de estructura para ascensor</p> <p>*Colocación de estribos desde muro posterior</p>

		<ul style="list-style-type: none"> *Centrado de columnas y encofrado *Encofrado de zapatas
18/9/2023	#20	<ul style="list-style-type: none"> *Desencofrado de zapatas *Encofrado de vigas y muros *Alquiler de encofrado metálico *Compra de listones y puntales de madera *Armado de tableros de madera
25/9/2023	#21	<ul style="list-style-type: none"> *Encofrado de vigas y muros *Fundición de vigas y muros *Amarrado de hierro en muros *Amarrado de estribos en columnas
2/10/2023	#22	<ul style="list-style-type: none"> *Desencofrado y armado de muro *Amarrado de hierro y encofrado de muro *Encofrado metálico en zapata *Encofrado en vigas
9/10/2023	#23	<ul style="list-style-type: none"> *Encofrado de columnas y muros *Amarrado de hierro en muro *Apuntalamiento de muros *Fundición de muros y columnas *Encofrado de muros
16/10/2023	#24	<ul style="list-style-type: none"> *Encofrado de columnas y muros *Relleno y compactado con material de mejoramiento *Fundición de columnas *Amarrado de hierro para rampa
23/10/2023	#25	<ul style="list-style-type: none"> *Excavación para cisterna *Relleno y compactado con material de mejoramiento *Apuntalamiento de muro *Limpieza de obra *Fundido de cisterna *Elaboración de andamios para fundición *Elaboración de cajas de revisión
30/10/2023	#26	<ul style="list-style-type: none"> *Fundición de muros *Relleno y compactado con materiales de mejoramiento *Retiro de puntales *Desencofrado de muros y columnas

06/11/2023	#27	<ul style="list-style-type: none"> *Entrega de encofrado metálico *Armado de rampa de acceso *Encofrado de rampa de acceso *Armado de vigas *Fundición de rampa de acceso
13/11/2023	#28	<ul style="list-style-type: none"> *Encofrado de vigas para losa *Armado de estribos para losas *Armado de viga central *Armado de vigas transversales según ejes *Elaboración de estribos para vigas
20/11/2023	#29	<ul style="list-style-type: none"> *Armado de vigas laterales y perimetrales *Armado de vigas en losa *Encofrado de losa *Colocación de forros en vigas *Preparación y tendido de hierro en losa
27/11/2023	#30	<ul style="list-style-type: none"> *Armado de hierro para escalera *Armado de grada y preparación de hierro *Armado y colocación de refuerzos en losa *Colocación de forros *Amarrado de hierro en losa *Colocación de malla electrosoldada *Control de encofrado *Armado de columnas *Fundición de escalera y losa
04/12/2023	#31	<ul style="list-style-type: none"> *Armado de estribos para columnas *Armado de columnas *Elaboración de estribos *Encofrado de columnas *Fundición de columnas

Nota: Extraído de libro de obra de caso de estudio.

3.3 Extracción de volúmenes

Una vez recopiladas las actividades manifestadas en el libro de obra y visitas técnicas, fue posible la creación una tabla resumen donde se limitaron los días y acciones específicas en las que se dio fundición de elementos de hormigón en conjunto de los metros cúbicos que dicha fundición consistió, esto a manera de verificar el volumen de obra actual, en comparación al libro de obra existente. De esta manera fue posible cuantificar en datos exactos los volúmenes de hormigón usado de acuerdo a los elementos existentes, comprobando la exactitud de dichos volúmenes expresados, para esto, los tramos fundidos dentro del muro de calzada fueron identificados con una numeración específica según el eje y altura en la que se encontraba, identificando letras A y B como primer tramo; C y D como segundo; E y F como tercero, además de su tramo frontal opuesto prima (') y M como los remanentes de los mismos.

Tabla 3.

Resumen de volumen de hormigón fundido

Fundición de Hormigón		
Fecha	Tramo	Fundición (m³)
Semana 7		
23/6/2023	X	6,91
	Total	6,91
Total Semanal		6,91
Semana 8		
26/6/2023	A1/A'1	0,85
	A3/A'3	0,84
	Total	1,69
27/6/2023	B1/B'1	0,46
	A5/A'5	1,03
	A'9/A9	1,10
	B2/B'2	1,97
	Total	4,56
28/6/2023	A0/A'0	0,62
	A2/A'2	1,48
	B3/B'3	1,54
	A7/A'7	1,51
	Total	5,15

	A10/A'10	0,78
	A8/A'8	1,62
29/6/2023	A6/A'6	1,49
	A4/A'4	1,58
	D1/D'1	0,45
	Total	5,92
30/6/2023	C6/C'6	2,16
	C4/C'4	2,16
	Total	4,32
1/7/2023	C2/C'2	2,16
	D2/D'2	1,26
	Total	3,42
Total Semanal		19,14
Semana 9		
3/7/2023	D3/D'3	4,07
	Total	4,07
4/7/2023	C7/C'7	1,10
	C5/C'5	1,40
	C8/C'8	1,19
	A'2	1,98
	Total	5,67
5/7/2023	C9/C'9	4,85
	C3/C'3	2,11
	Total	6,96
6/7/2023	C1/C'1	2,40
	C10/C'10	2,35
	Total	4,75
7/7/2023	E10/E'10	2,02
	E9/E'9	2,48
	Total	4,50
Total Semanal		25,95
Semana 10		
10/7/2023	E8/E'8	4,41
	Total	4,41
11/7/2023	E7/E'7	2,81
	Total	2,81
12/7/2023	E6/E'6	1,76
	E5/E'5	1,76
13/7/2023	E4/E'4	5,71
	Total	5,71
14/7/2023	E3/E'3	3,69
	Total	3,19
Total Semanal		17,88

Semana 11

17/7/2023	E2/E'2	3,10
	M1	1,89
	Total	4,99
18/7/2023	E1/E'1	3,11
	E0/E'0	2,15
	Total	5,26
19/7/2023	X	1,20
	M2	1,05
	M3	5,98
	Total	8,23
20/7/2023	F3/F'3	1,88
	F2/F'2	2,81
	F1/F'1	1,68
	Total	6,37
21/7/2023	M4	1,89
	M5	1,68
	M6	2,30
	Total	5,87
Total Semanal		30,72

Semana 12

24/7/2023	M7	1,87
	M8	1,15
	M9	1,74
	Total	4,76
25/7/2023	M10	2,10
	M11	2,39
	Total	4,49
26/7/2023	M12	0,98
	M13	4,84
	Total	5,82
27/7/2023	M14	2,45
	M15	1,98
	M16	2,07
	Total	6,50
28/7/2023	M17	0,96
	Total	0,96
Total Semanal		22,53

Semana 13

31/7/2023	M18	2,47
	M19	2,07
	Total	4,54
1/8/2023	M20	2,69
	M21	2,58

	Total	5,27
2/8/2023	M22	2,30
	M23	3,70
	Total	6,00
4/8/2023	M24	1,81
	M25	2,31
	Total	4,12
Total Semanal		19,93

Semana 15

16/8/2023	ZAP POST	12,64
	Total	12,64
16/8/2023	ZAP FRON	11,22
	Total	11,22
16/8/2023	ZAP LAT	24,65
	Total	24,65
16/8/2023	ZAP LAT	26,80
	Total	26,80
16/8/2023	ZAP CENT	48,10
	Total	48,10
Total Semanal		123,41

Semana 17

30/8/2023	REPL	8,75
	Total	8,75
Total Semanal		8,75

Semana 21

26/9/2023	Vigas Sub	12,6
	Total	12,6
Total Semanal		12,6

Semana 24

16/10/2023	Colum. Sub	14,80
	Total	14,80
18/10/2023	Cisterna	3,80
	Total	3,80
Total Semanal		18,60

Semana 27

8/10/2023	Rampa Pea.	3,12
	Total	3,12
Total Semanal		3,12

Semana 30

27/11/2023	Losa 1er	44,92
	Total	44,92
28/11/2023	Escalera	4,06
	Total	4,24

30/11/2023	Rampa Vehi	9,91
	Total	9,91
Total Semanal		59,07
Semana 31		
4/12/2023	Colum. 1er	18,5
	Total	18,5
Total Semanal		18,5
TOTAL		387,11

Nota: Extraído de libro de obra de caso de estudio.

3.3.1 Extracción de volúmenes según estado actual de la obra

Específicamente, es posible dividir la tabla expuesta en los elementos previamente expuestos y definidos para su comparación, teniendo así:

Tabla 4.

Síntesis total de fundición de hormigón según estado de obra actual

Libro de Obra	
Volumen Columnas (Subsuelo)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	14,80
Volumen Columnas (Primer Piso)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	18,50
Volumen Muros Calzadura	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	139,95
Volumen Zapatas	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	118,39
Volumen Vigas (Subsuelo)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	12,60
Volumen Rampa Peatonal	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	3,12
Volumen Rampa Vehicular	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	9,91

Volumen Escaleras	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	4,06
Volumen Losa Primer Piso	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	43,60
Volumen Losa Subsuelo	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	22,18
TOTAL	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	387,11

Nota: Extraído de libro de obra de caso de estudio.

De esta manera se compara y se verifica que efectivamente los volúmenes de hormigón fundido tanto en el libro de obra como en sus elementos estructurales a comparar, son correctos con un volumen de 387,11m³.

3.4 Recopilación de datos

En orden de saber las cantidades de obra para su correcta evaluación y posterior comparación, es necesario utilizar el modelo gráfico creado dentro del software. Para este análisis se da la creación de diferentes esquemas según la estructura a analizar, dentro de las cuales se obtiene cálculos de volúmenes netos de muros de calzadura, zapatas, losas, vigas, rampas, escaleras y columnas que serán comparadas a los cálculos estructurales ya existentes, definiendo de esta manera la exactitud existente según el modelo de la edificación en un software BIM y cálculos hechos según el ingeniero estructural de la obra.

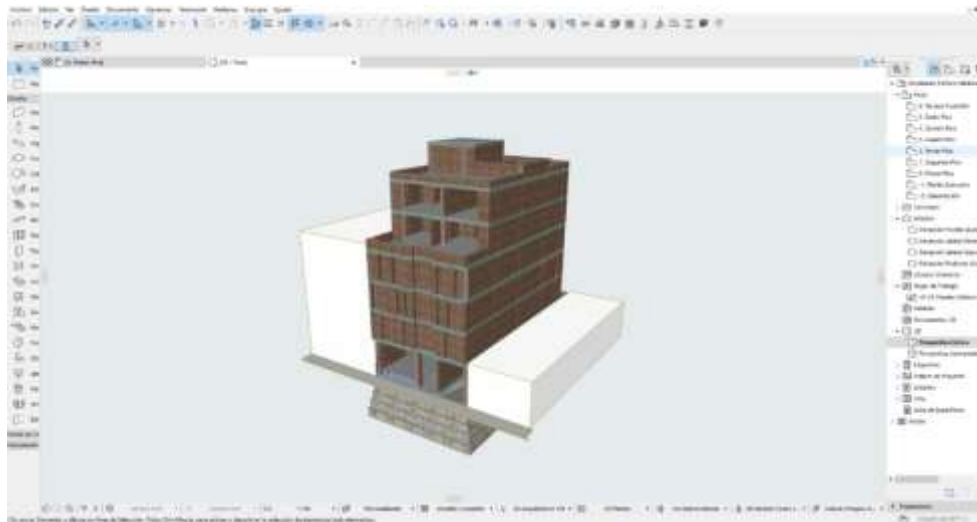
3.4.1 Modelo 3D

Gracias a los planos facilitados por el arquitecto proyectista y aspectos principales de la obra establecidos gracias a las visitas técnicas previamente analizadas, es posible el establecimiento de ciertos parámetros iniciales que se deben tener en cuenta para la creación del modelo digital dando el uso de un software BIM como lo es ArchiCAD, gracias a esto se

da la concreta finalización del mismo, usando parámetros dentro de las estructuras que facilitan su creación, asemejándose al resultado final de la edificación.

Figura 9.

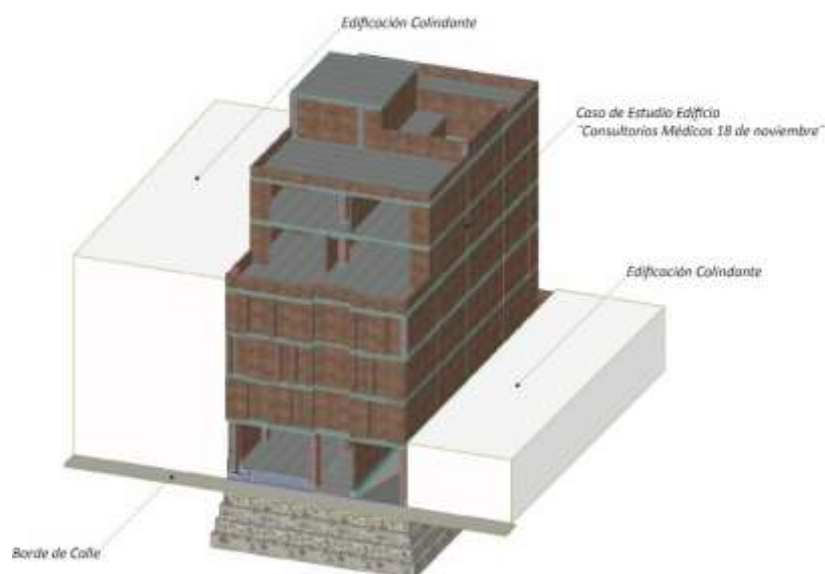
Modelo según caso de estudio dentro del software ArchiCAD



Nota: Modelo desarrollado por los autores en el software ArchiCAD.

Figura 10.

Modelo 3D finalizado



Nota: Modelo tridimensional de caso de estudio realizado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 11.

Modelo 3D estado actual de núcleos de carga

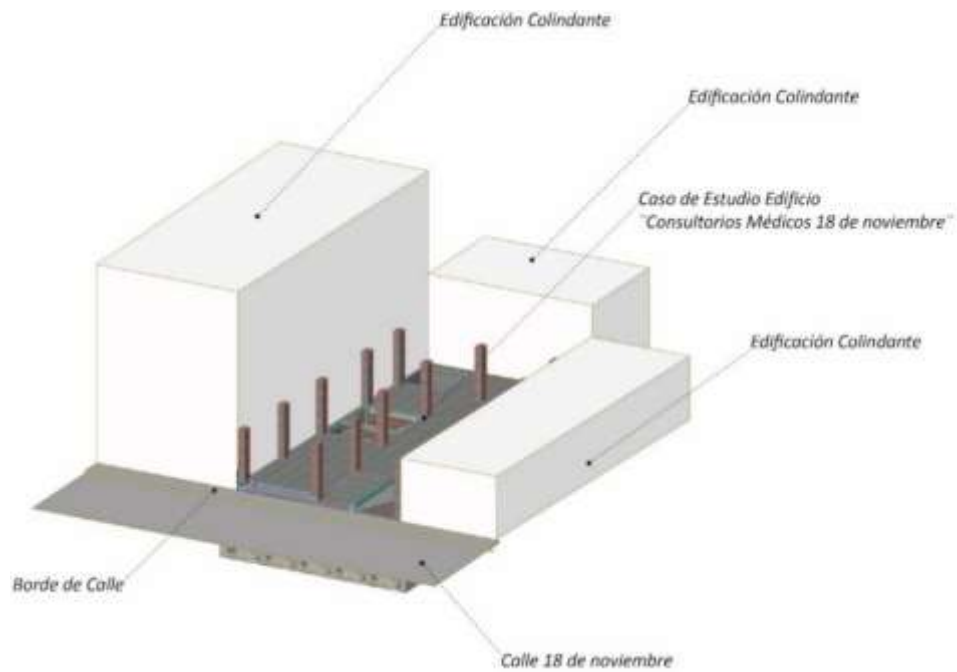
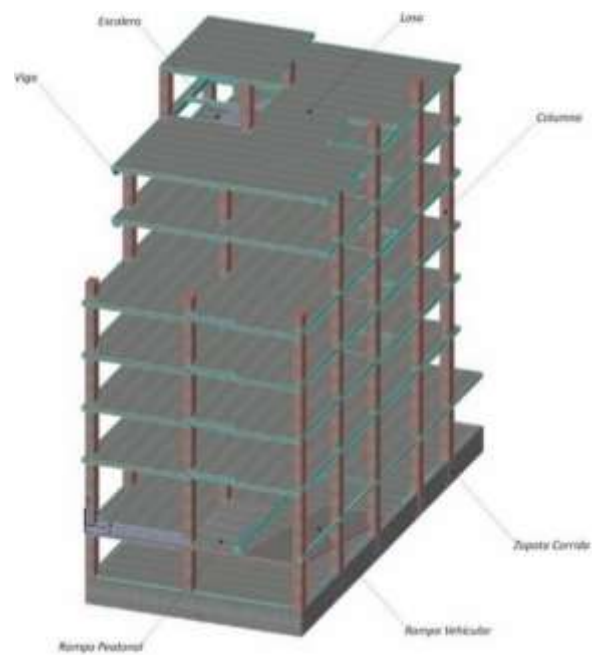


Figura 12.

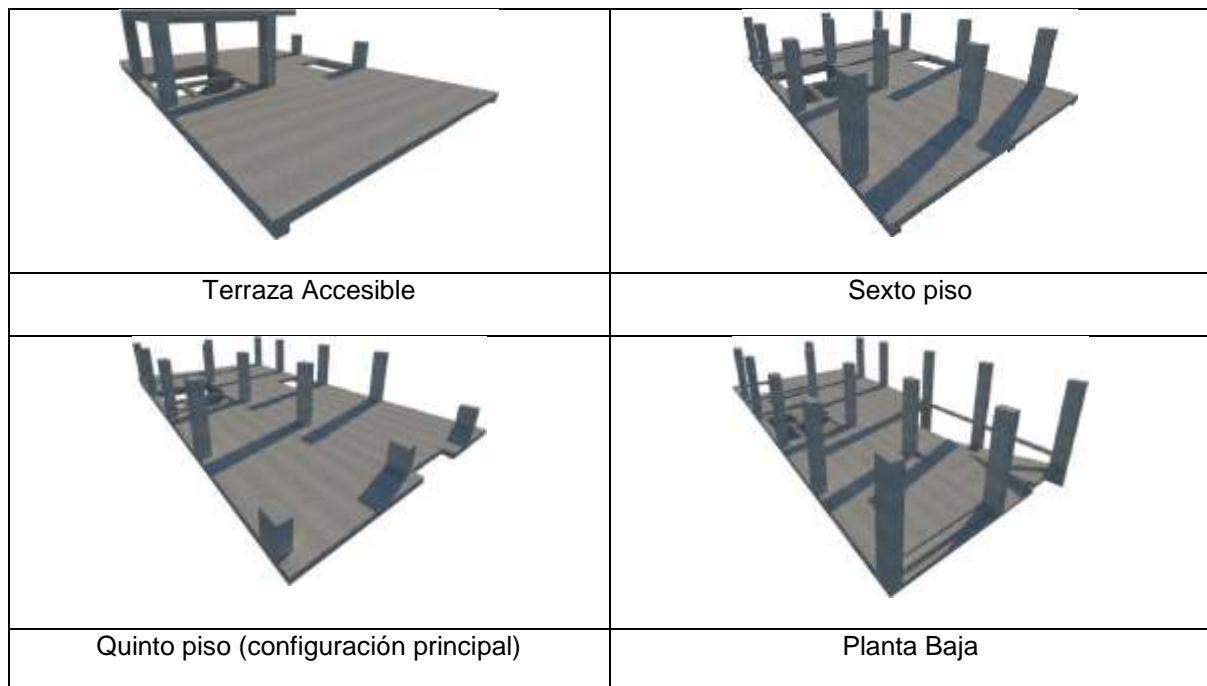
Modelo representativo de elementos de núcleo de carga



Nota: Volumen extraído desde software ArchiCAD por autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 13.

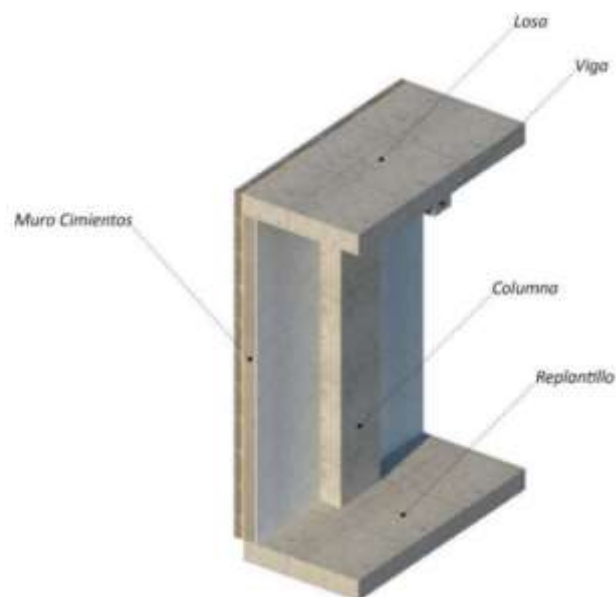
Esquemas principales de configuración de plantas según edificación



Nota: Figuras extraídas desde software de modelado Sketchup por autores Puertas y Cueva (2023)

Figura 14.

Detalle constructivo columna-losa



Nota: Estructura extraída desde software de renderizado V-Ray por autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 15.

Sección longitudinal del modelo según caso de estudio



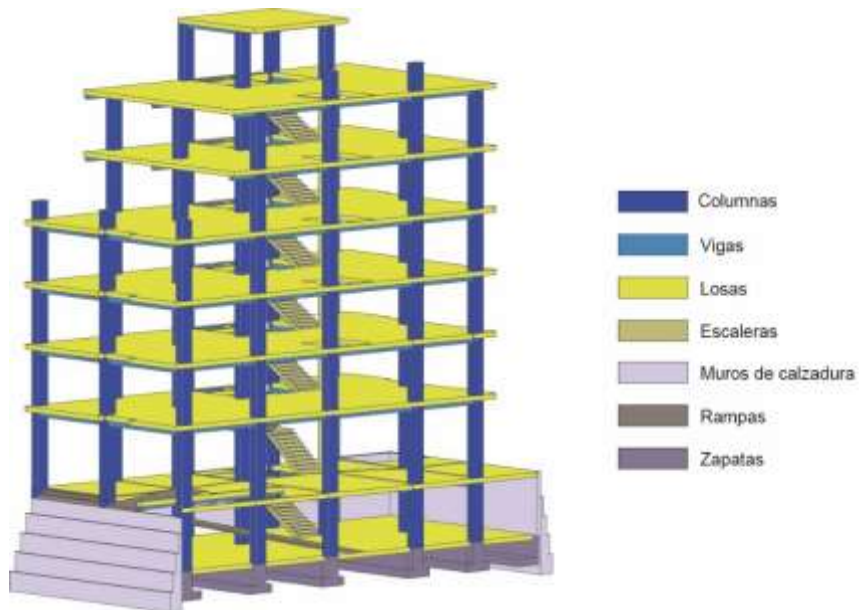
Nota: Estructura extraída desde software de renderizado V-Ray por autores Puertas y Cueva (2023).

3.4.2 Extracción de volúmenes dentro del software

A manera de tener volúmenes de comparación, una vez creado el modelo BIM tridimensional, nos es posible detectar según los elementos estructurales deseados, su identificación y propiedades específicas adjudicadas con los distintos parámetros; los elementos que se desea calcular según el modelo 3D del estado actual de la obra, siendo posible sumar criterios para la clasificación de los elementos que se requieren identificar y a su vez, añadir campos según los cuales dichos elementos serán sometidos a su cálculo.

Figura 16.

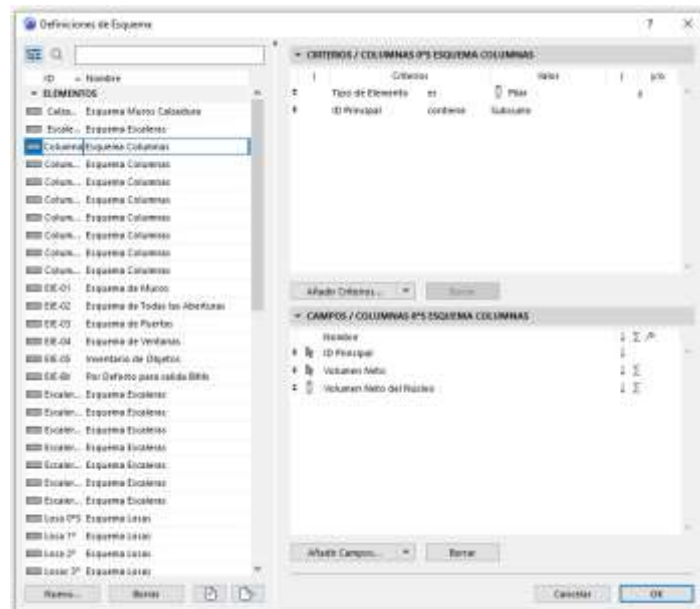
Representación de elementos para la extracción de volúmenes



Nota: Ilustración realizada por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 17.

Definiciones de esquemas para la obtención de volúmenes



Nota: Ventana extraída desde software ArchiCAD.

Tabla 5.

Síntesis total de hormigón según estado actual de obra en modelo BIM

BIM	
Volumen Columnas (Subsuelo)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	15,60
Volumen Columnas (Primer Piso)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	18,90
Volumen Muros Calzadura	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	147,66
Volumen Zapatas	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	116,16
Volumen Vigas (Subsuelo)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	8,24
Volumen Rampa Peatonal	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	2,77
Volumen Rampa Vehicular	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	8,97
Volumen Escaleras	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	3,02
Volumen Losa Primer Piso	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	57,43
Volumen Losa Subsuelo	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	20,81
TOTAL	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	399,56
	399,56-18,77(Cajonetas losa)
Total	381,68

Nota: Extraído desde software de modelado ArchiCAD según caso de estudio por los autores Puertas y Cueva (2023).

3.4.3 Extracción de volúmenes según planos estructurales

Al igual que con los previos datos analizados, es necesario no solo extraer, sino que también hacer el cálculo divisor de hormigón en este caso de columnas ya que los planos estructurales expresan el volumen de los mismos como la obra final; por lo que es necesario, según dichos cálculos totales expresados, crear una división que exprese el volumen de hormigón a usar solamente hasta el estado actual de la obra, por lo que se dan los siguientes cálculos.

Tabla 6.

Cálculo de columnas según planos estructurales de edificación

Cálculo Columnas Planos Estructurales Total			
Tipo I			
Cimiento			
0,50*0,75*1,50	0,56	*3	1,67
Estructura			
0,45*0,7*16,8	15,88	*3	15,88
Tipo II			
Cimiento			
0,50*0,75*1,50	0,56	*8	4,4
Estructura			
0,45*0,7*23,2	7,31	*8	58,35
Tipo III			
Cimiento			
0,50*0,75*1,50	0,56	*4	2,15
Estructura			
0,45*0,7*27,4	8,31	*4	32,16
Tipo IV			
Estructura			
0,50*0,35*24,7= 3,7 0,25*0,20*24,7= 1,24	4,94	*3	14,72
0,50*0,25*24,7= 3,08 0,25*0,25*24,7= 1,54	4,62	*3	13,79
Total			143,1

Nota: Datos extraídos de planos estructurales según caso de estudio.

Según los cálculos expresados, se justifica la exactitud con la que se trabaja ya que el valor de 143,1m³ es el expresado como volumen total de hormigón en columnas en los planos estructurales, además, nos es posible crear una división de los elementos de columna según los trayectos de las mismas, difiriendo únicamente en su altura, expresándose así.

Tabla 7.

Cálculo de columnas según planos estructurales del estado actual

Cálculo Columnas Planos Estructurales Actual			
Tipo I			
	Cimiento		
0,50*0,75*1,50		0,56 *3	1,67
	Estructura		
0,45*0,7*7,20		2,268 *3	6,81
Tipo II			
	Cimiento		
0,50*0,75*1,50		0,56 *8	4,4
	Estructura		
0,45*0,7*7,20		2,268 *8	18,16
Tipo III			
	Cimiento		
0,50*0,75*1,50		0,56 *4	2,15
	Estructura		
0,45*0,7*7,20		2,268 *4	9,08
Tipo IV			
Estructura			
0,50*0,25*1,50= 0,19		0,28 *3	0,85
0,25*0,25*1,50= 0,09			
Total			43,12

Nota: Datos extraídos de planos estructurales según caso de estudio.

De esta manera se justifica los valores que serán expresados próximos a calcular frente a la comparación total, teniendo como valores de columna en subsuelo 18,17m³ y como valor de hormigón en las columnas del primer piso 24,85m³, teniendo un total de 43,0m³, expresándose así en la tabla de extracción de volúmenes.

Tabla 8.

Síntesis de hormigón usado en obra según planos estructurales

Planos Estructurales	
Volumen Columnas (Subsuelo)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	18,17
Volumen Columnas (Primer Piso)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	24,85
Volumen Muros Calzadura	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	105,00
Volumen Zapatas	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	92,00
Volumen Vigas (Subsuelo)	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	9,41
Volumen Rampa Peatonal	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	1,36
Volumen Rampa Vehicular	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	8,30
Volumen Escaleras	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	3,13
Volumen Losa Primer Piso	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	27,72
Volumen Losa Subsuelo	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	13,43
TOTAL	
	Volumen neto hormigón (m ³)
Total	303,37

Nota: Datos extraídos de planos estructurales según caso de estudio por los autores Puertas y Cueva (2023).

3.5 Comparación

Una vez que los datos de los elementos estructurales de la edificación actual, modelo BIM y planos estructurales son extraídos, es posible hacer la comparación de los mismos con el proceso actual de construcción.

Tabla 9.

Comparación de volúmenes de hormigón según el estado actual de la obra

Comparación de Datos Volumen Hormigón Actual (m³)						
Estructura	Planos Estructurales	%	Modelo BIM	%	Estado Actual	%
Columnas	43,02	14%	34,50	9%	33,30	9%
Vigas	9,41	3%	8,24	2%	12,60	3%
Rampas	9,66	3%	11,74	3%	13,03	3%
Losas	41,15	14%	60,36	16%	65,78	17%
Escaleras	3,13	1%	3,02	1%	4,06	1%
Zapatas	92,00	30%	116,16	30%	118,39	31%
Calzadura	105,00	35%	147,66	39%	139,95	36%
Total	303,37	100%	381,68	100%	387,11	100%
Porcentaje		78,36		98,60		100,00
Divergencia	83,74m³	21,64%	5,43m³	1,40%	x	x

Nota: Datos extraídos según tablas de cálculos por los autores Puertas y Cueva (2023).

Los datos de la tabla muestran los volúmenes de cada elemento empleado para su comparación en conjunto del porcentaje que estos significan dentro de su totalidad. De esta manera se verifica de manera veraz la exactitud comparativa entre el uso de una metodología BIM, teniendo un margen de error dentro del uso de hormigón en la estructura de la edificación de 1,40% (5,43m³), mientras que los planos estructurales, que usan un método tradicional de modelado y planteamiento de proyecto a través del uso de diferentes softwares de modelado, tiene un margen de error de 21,64% (83,74m³). Se justifica que el uso de metodología BIM, al momento de modelar y proyectar una edificación, tiene una veracidad de datos más próxima que al momento de dar uso una metodología CAD tradicional. De esta manera se puede mejorar no solo la ejecución del proyecto, sino que también la gestión del mismo, siendo posible expandir dicho trabajo a obras estatales, proyectos de rehabilitación y/o

reforma, industriales y proyectos dependientes de la gestión del presupuesto y a su vez de la materialidad, facilitando la documentación de los volúmenes y de cada elemento existente que se proponga en el proyecto.

Capítulo cuatro

Discusión de resultados

Una vez obtenido el cuadro comparativo sobre los volúmenes de obra y de donde provienen estos, es posible comprobar de manera efectiva según cada estructura analizada, la divergencia y aporte dentro de cada una tanto en porcentaje como en volumen de los mismos frente a la estructura actual de la obra (ver tabla 9) donde se destaca la discrepancia existente en los volúmenes proyectados en estructuras de losa, zapatas y muros de calzada con una media de diferencia de $14\text{m},74^3$ entre los planos estructurales y el estado actual de obra, mientras que por otro lado, existe una media de diferencia de $3,32\text{m}^3$ entre el modelo BIM y el estado actual de la obra, demostrando así la precisión que tiene el uso de una metodología BIM al momento de diseño y control de obras sobre el uso de la metodología tradicional.

4.1 Implementación del modelado BIM

Gracias a que la ejecución de la metodología BIM se da sobre un caso de estudio en curso, fue necesario la creación e interpretación del mismo dentro de un software capaz de traducir y acogerse a los parámetros ya establecidos por los arquitectos diseñadores de la edificación, como lo es ArchiCAD. El modelo creado en el software permite personalizar parámetros como la clasificación, propiedades y función estructural que debe realizar cada elemento; gracias a esto, es posible determinar y categorizar los mismos según la identificación que se le asigne a cada uno.

En este caso, para su identificación y posterior división acorde a las estructuras existentes dirigidas a los cuadros comparativos, se categorizan y dividen los elementos según la tipología de estructura; muro de calzada, zapata, losa, escalera, rampa, viga y columna, el número de piso y eje en el que se encuentren, identificando como los mismos: cimentación, planta subsuelo, primer piso, segundo piso, tercer piso, cuarto piso, sexto piso y terraza accesible, contando con ejes verticales 1-5 y horizontales A-E.

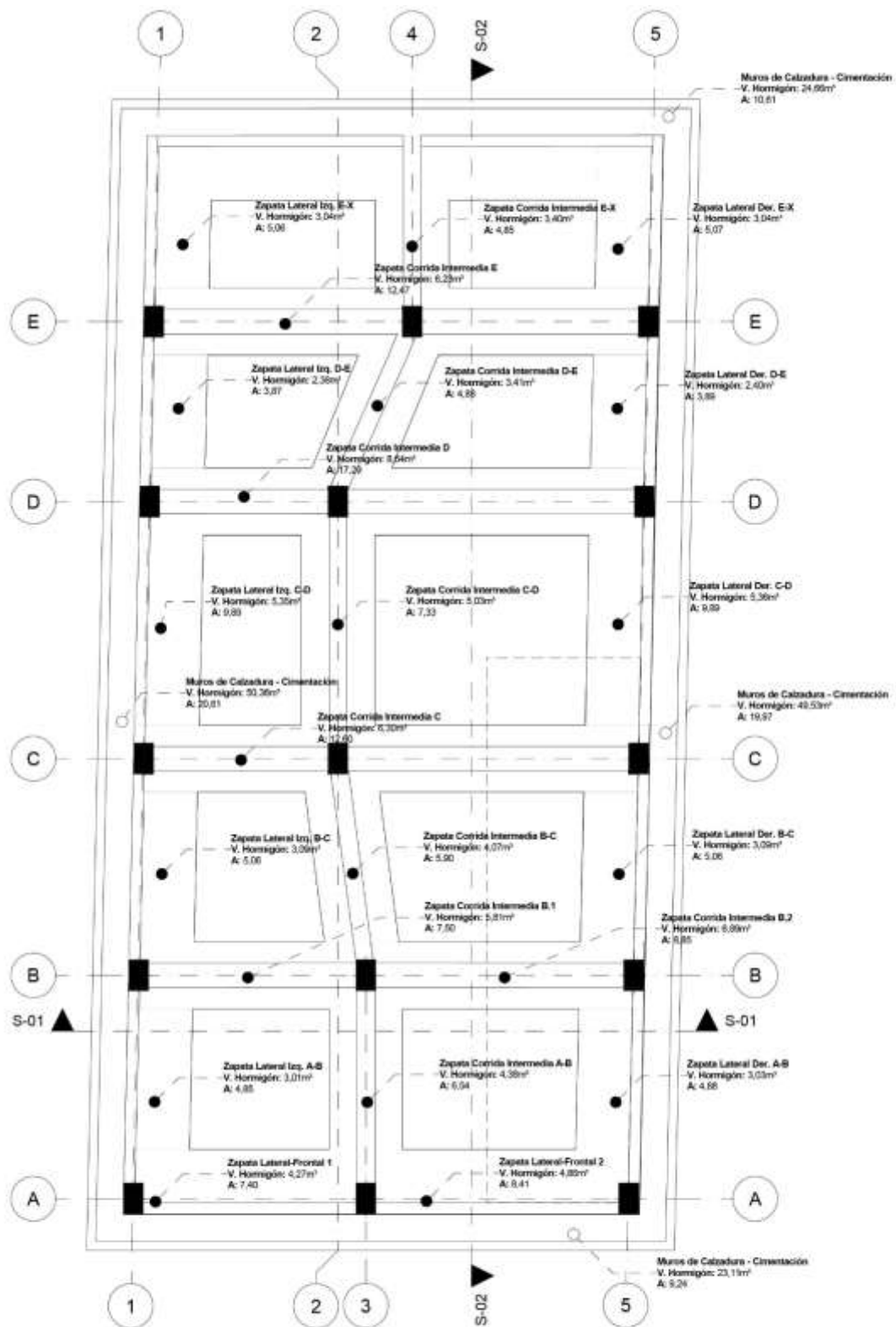
Mediante la categorización de los elementos y su caracterización propia designada, es posible crear esquemas dentro del software que identifiquen estos elementos con su etiqueta única según los parámetros y criterios previamente numerados, resultando en su emparejamiento y relación según el tipo de elemento que sea con ayuda de campos previamente establecidos dentro del software, distinguiendo en este caso la identificación designada y el volumen neto del material que dicha estructura constituya, que en este caso es hormigón. Una vez modelada la edificación, con ayuda de los esquemas, habilita el proceso de sumatoria de volúmenes y categorización de elementos para su posterior comparación (ver tabla 5). Según esto, se crean los planos identificando cada elemento.

4.1.1. Planos BIM según caso de estudio

A manera de exponer las características de diseño, además de las propiedades de reconocimiento de elementos usada dentro del presente trabajo de investigación, se crean las diferentes planimetrías existentes según el modelado final del caso de estudio, adjudicando a cada estructura puesta a ser comparada, su precisa etiqueta, la cual contiene su identificación según el tipo de elemento y ejes a los que pertenece, el volumen de hormigón que se usa para su creación y el área que dicho elemento ocupa. De esta manera es posible visualizar con atributos existentes la capacidad del software ArchiCAD de implementar cálculos estructurales y que los mismos se vean reflejados según la identificación diferenciada que cada elemento sujeta, exhibiendo así un uso ventajoso que tiene el software y su competencia al ser llevado a cabo junto con una metodología de gestión de proyectos BIM, ya que tanto la identificación de elementos en conjunto de su análisis y cálculo de datos, contribuyen al aprovechamiento de recursos, reflejándose al momento de presupuestar obras y control de las mismas, siendo capaz de reconocer volúmenes y áreas específicas de elementos deseados.

Figura 18.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de cimentación

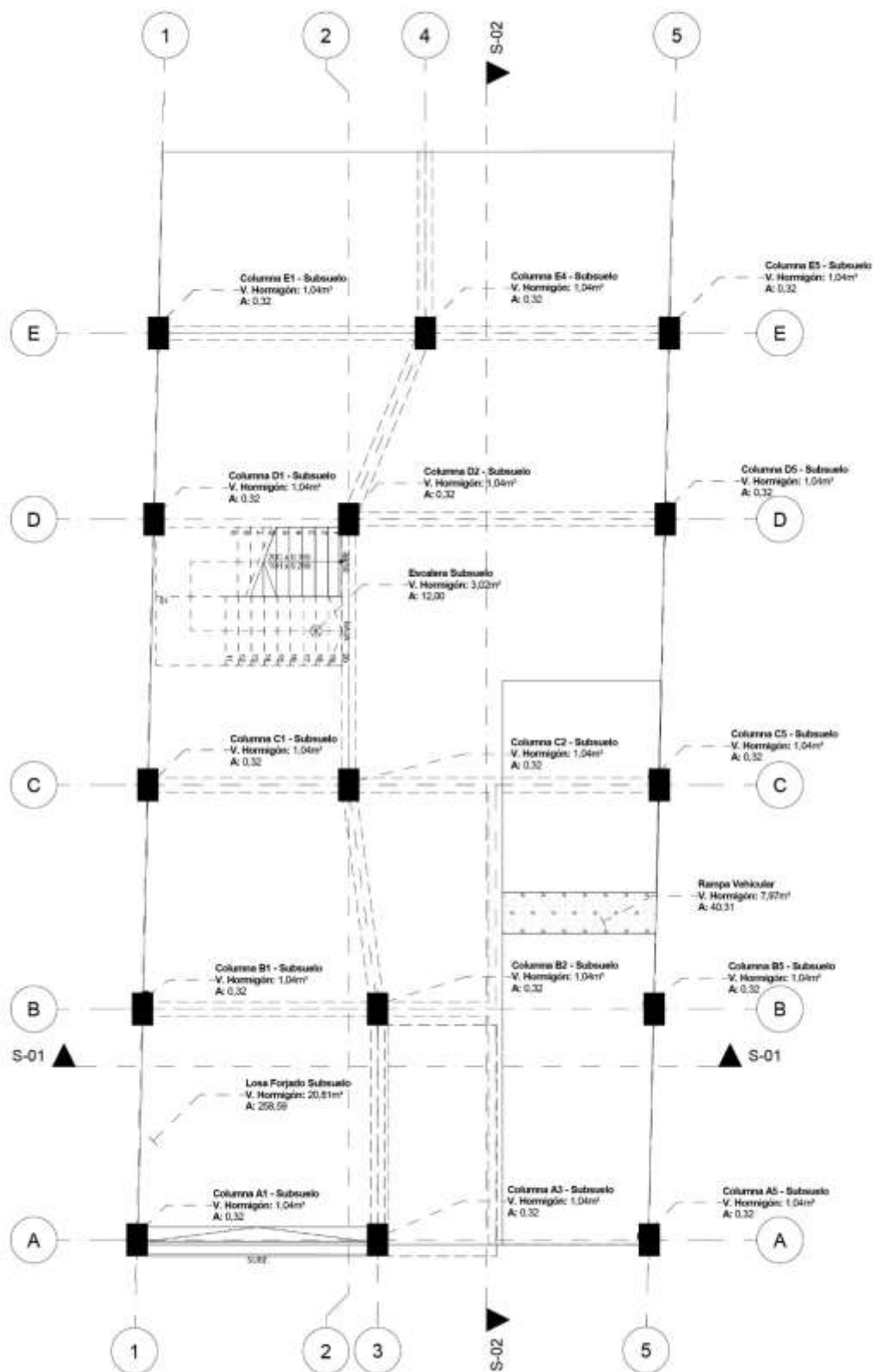


CIMENTACIÓN ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 19.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de subsuelo

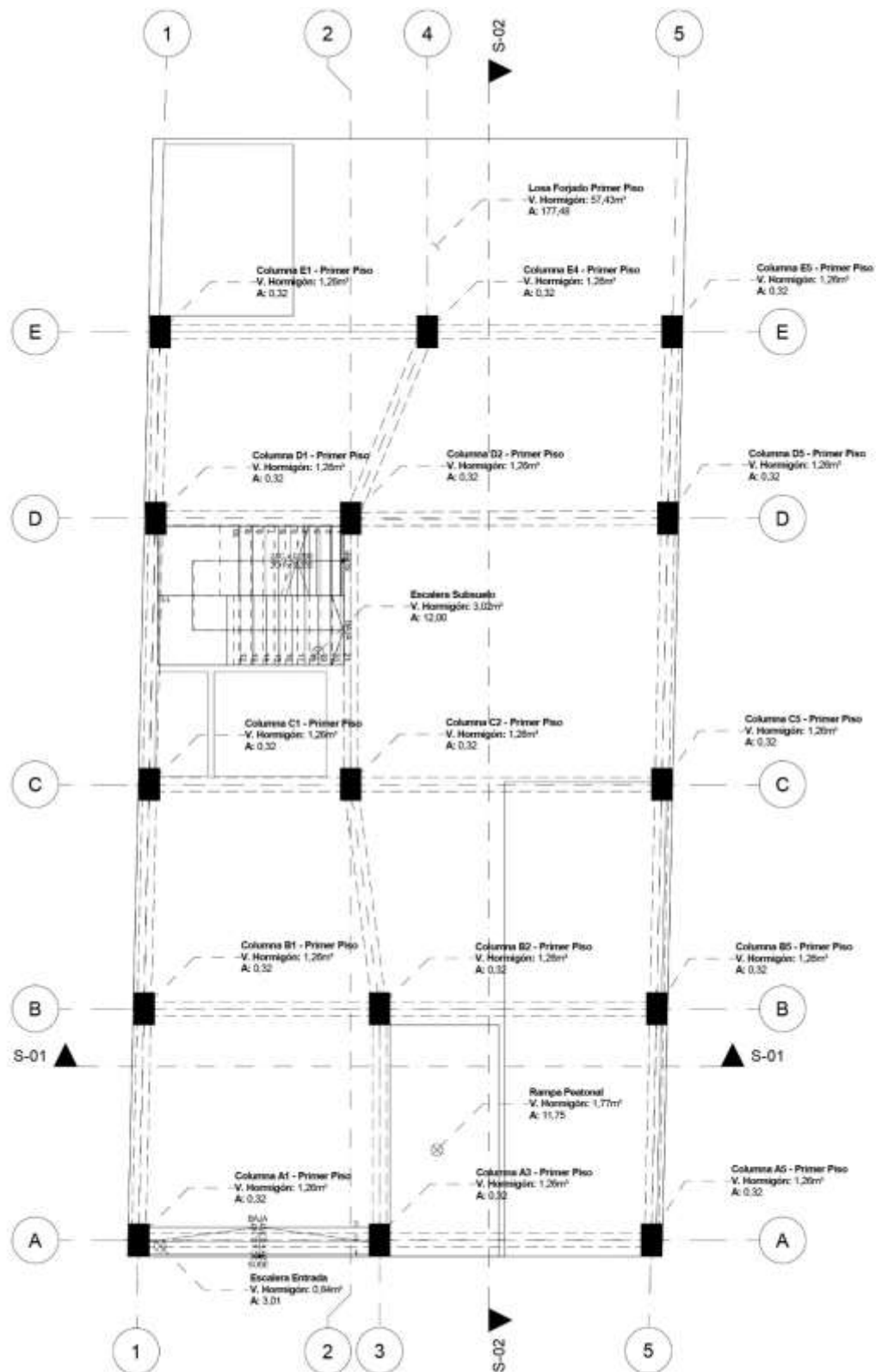


SUBSUELO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 20.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de primer piso

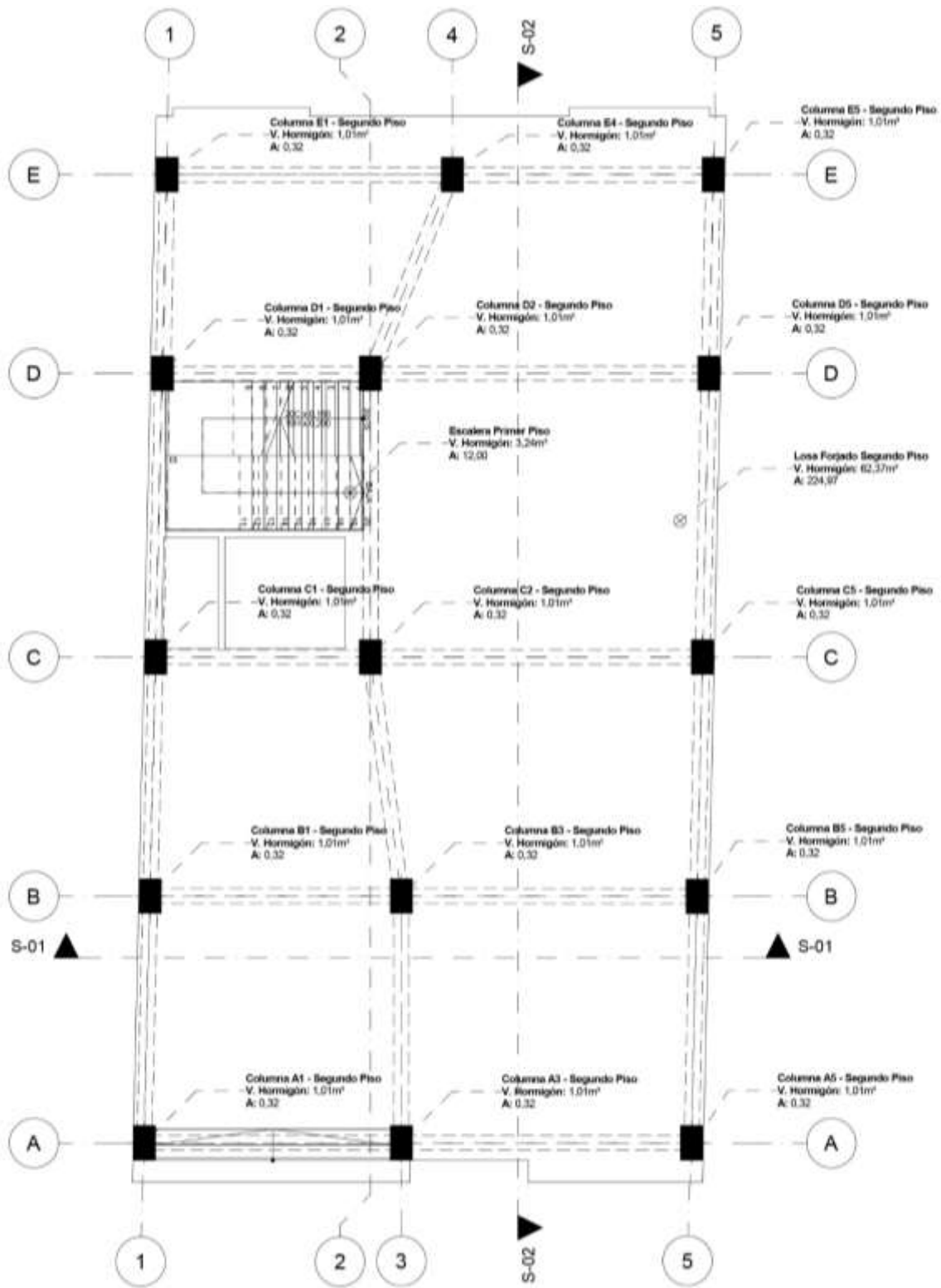


PRIMER PISO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 21.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de segundo piso

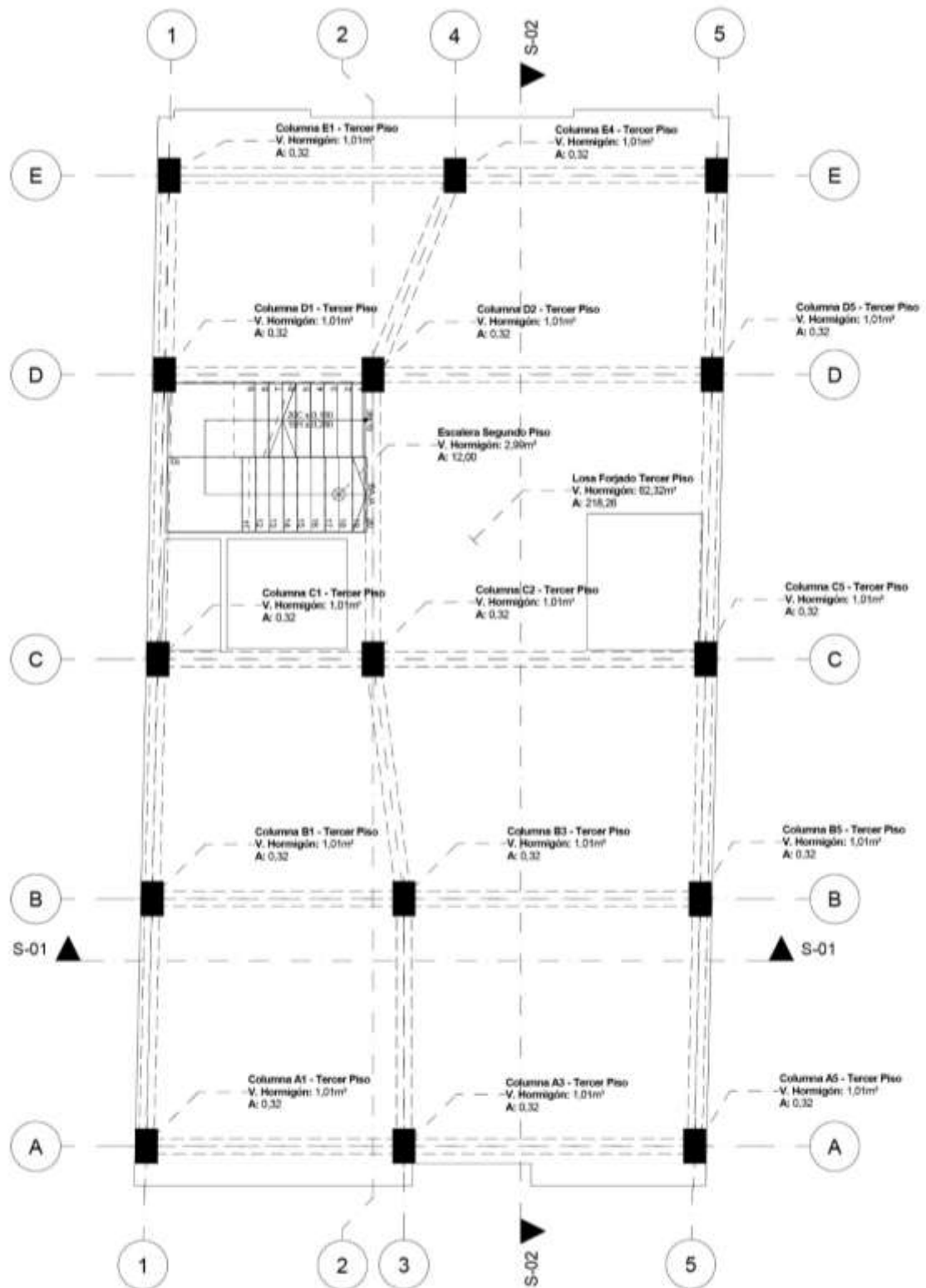


SEGUNDO PISO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 22.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de tercer piso

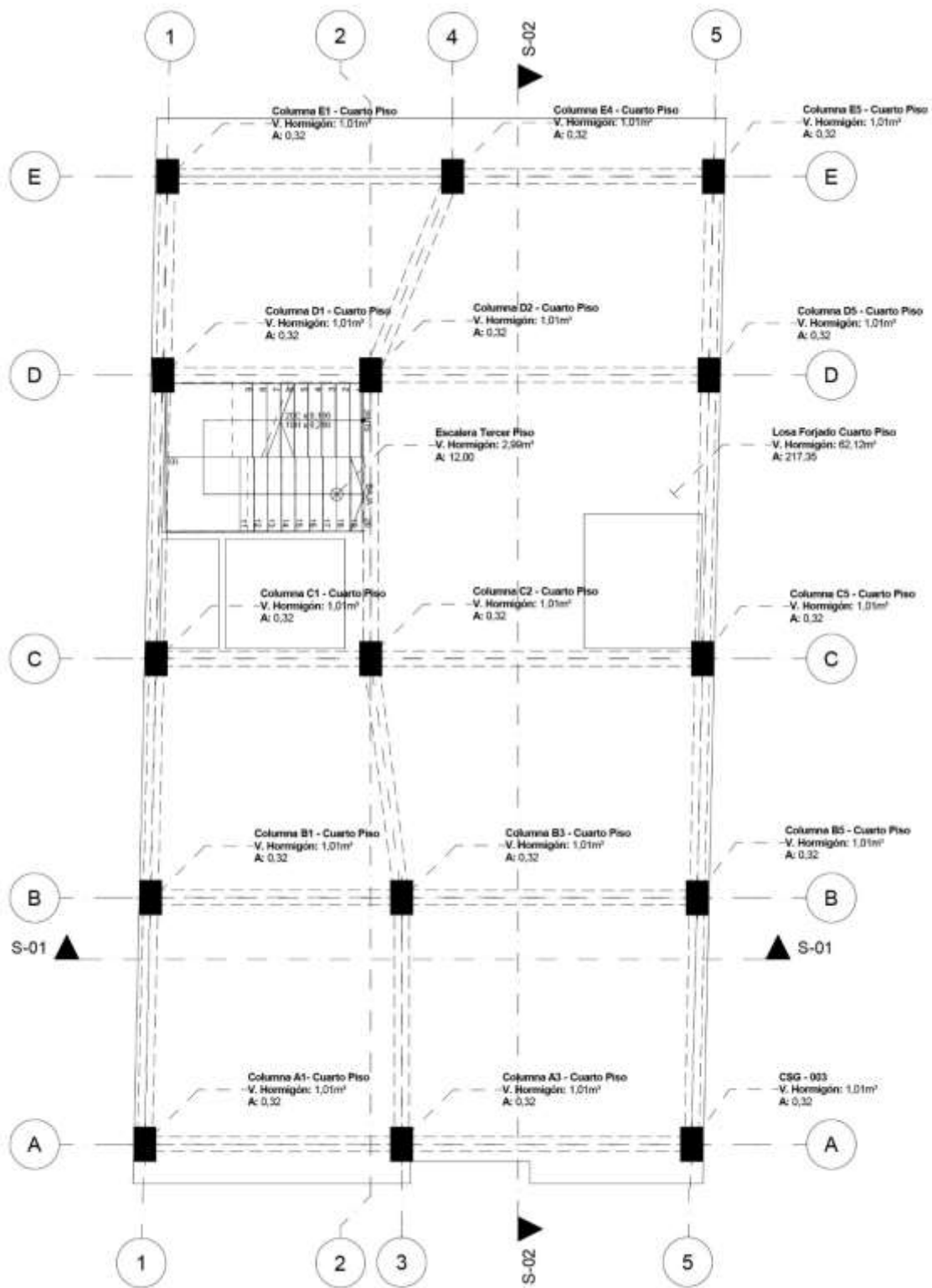


TERCER PISO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 23.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de cuarto piso

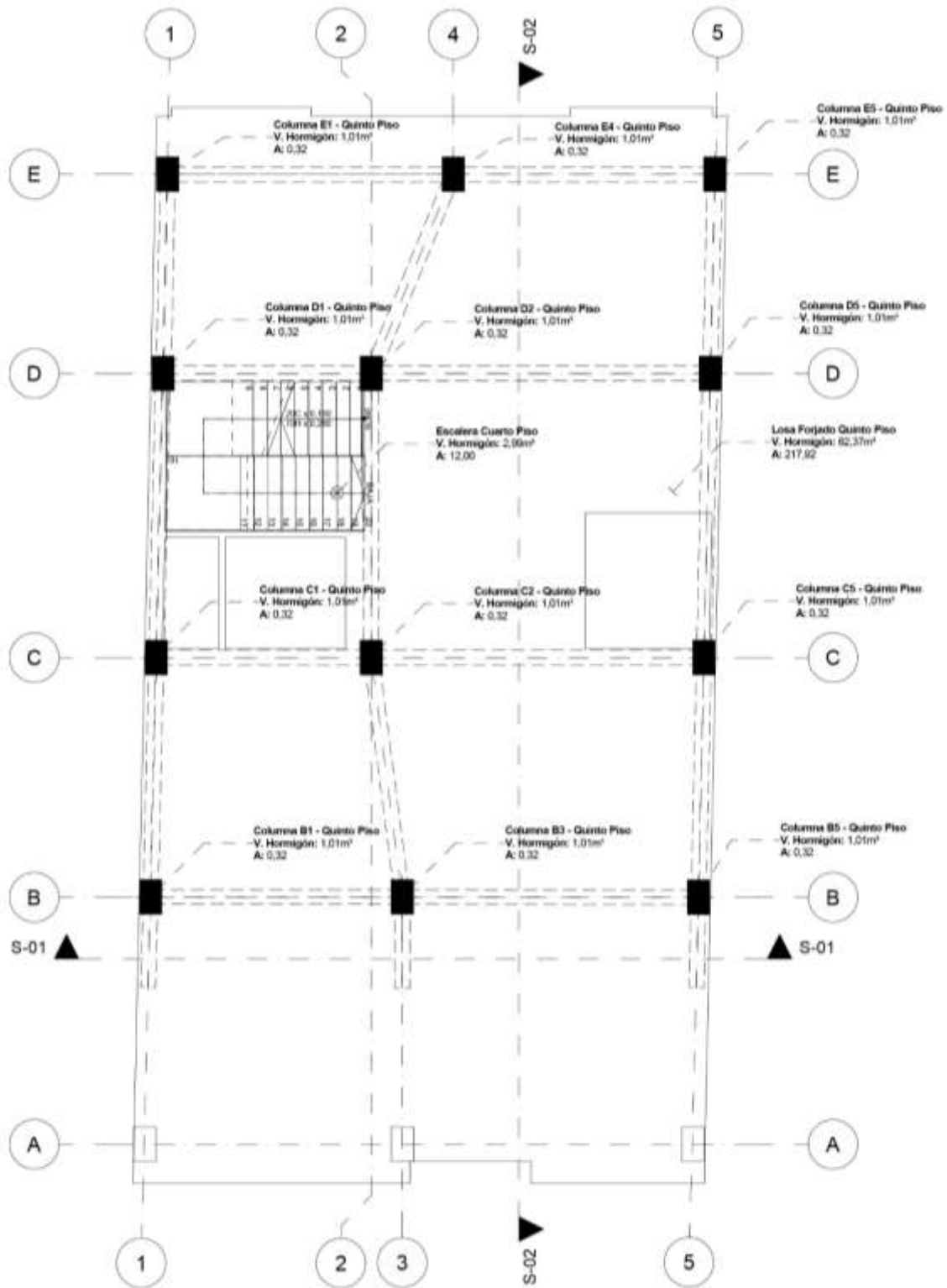


CUARTO PISO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 24.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de quinto piso

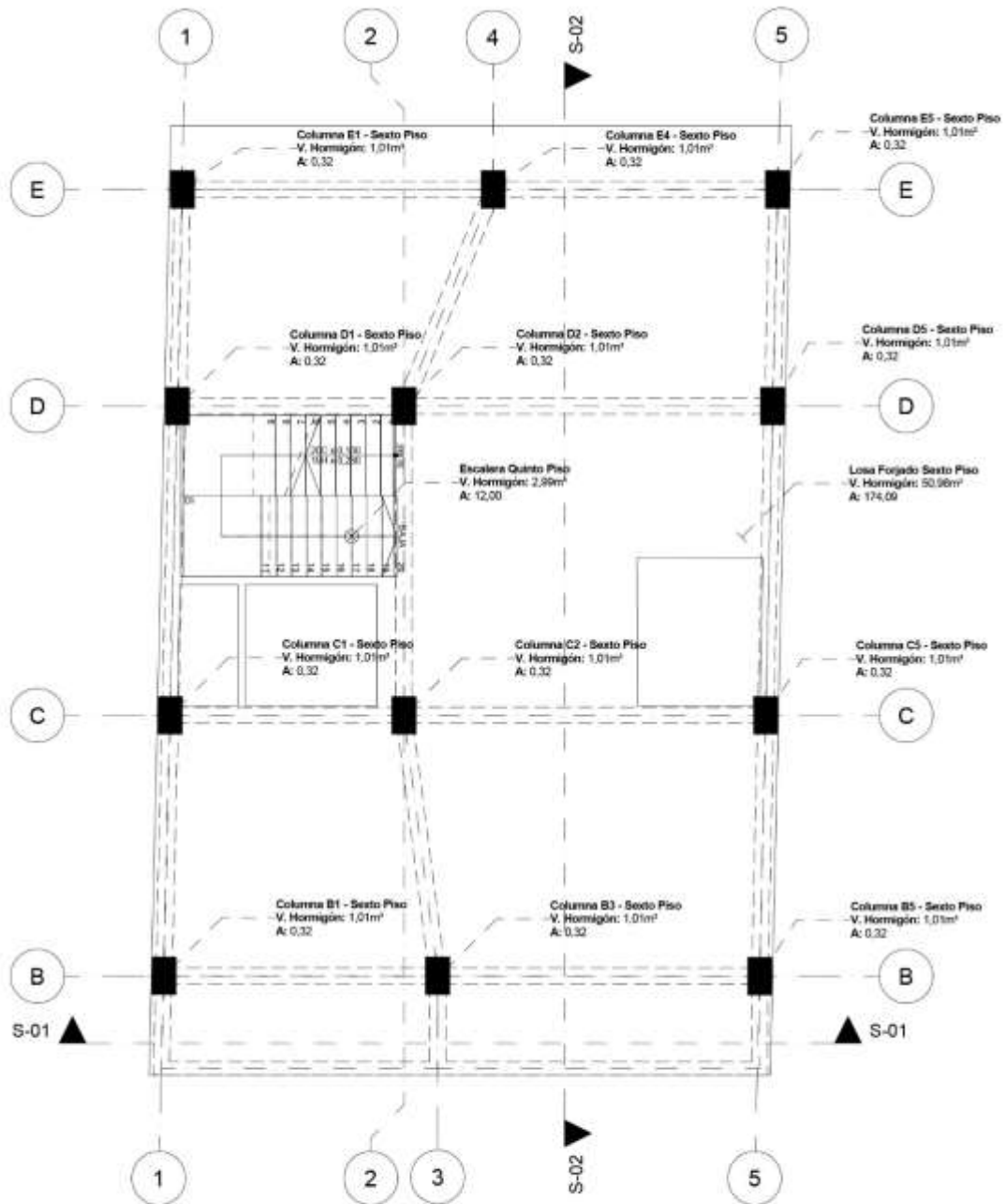


QUINTO PISO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 25.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de sexto piso

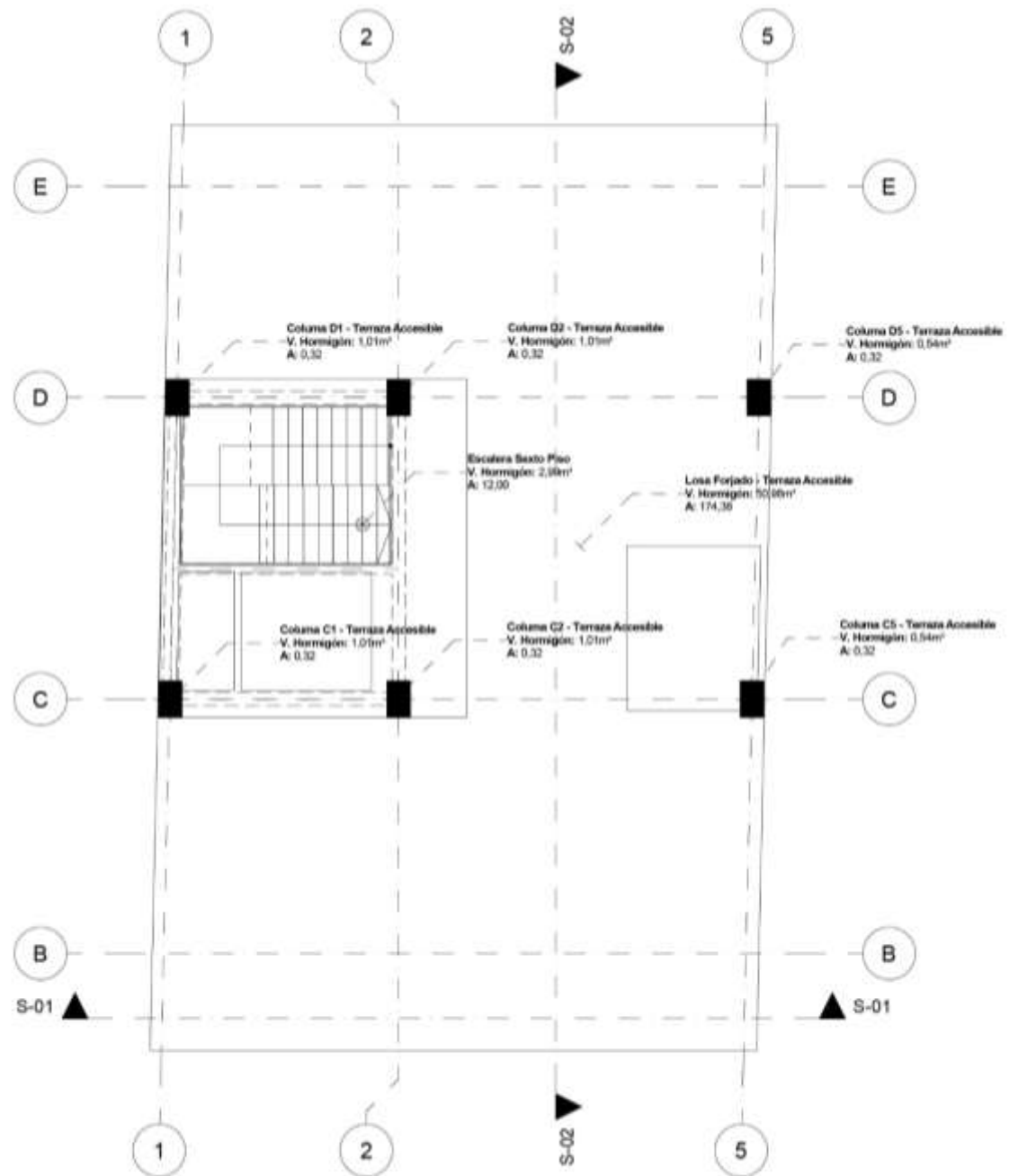


SEXTO PISO ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 26.

Planta y etiquetas de elementos según modelo BIM de terraza accesible

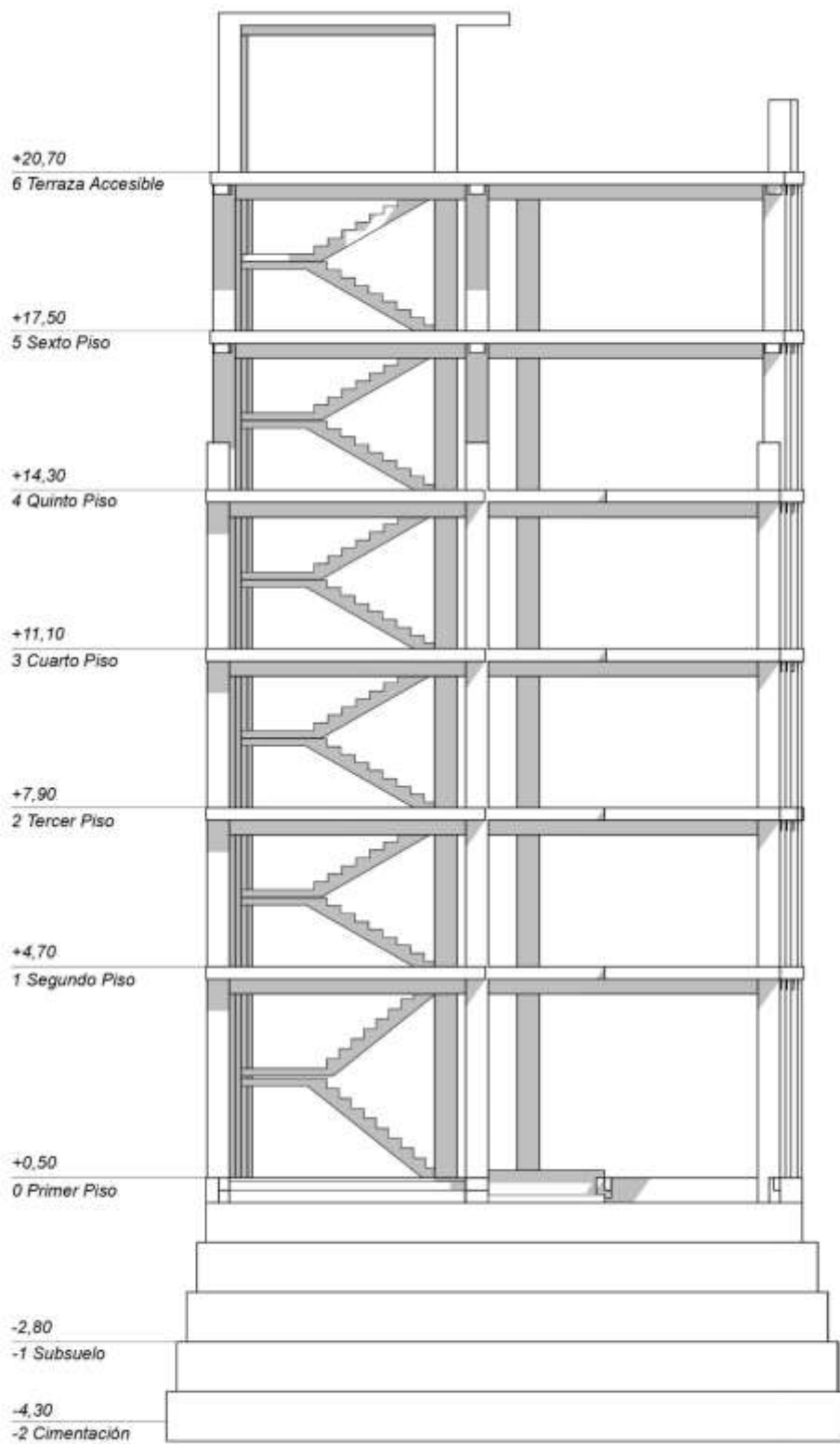


TERRAZA ACCESIBLE ESC 1:125

Nota: Plano extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 27.

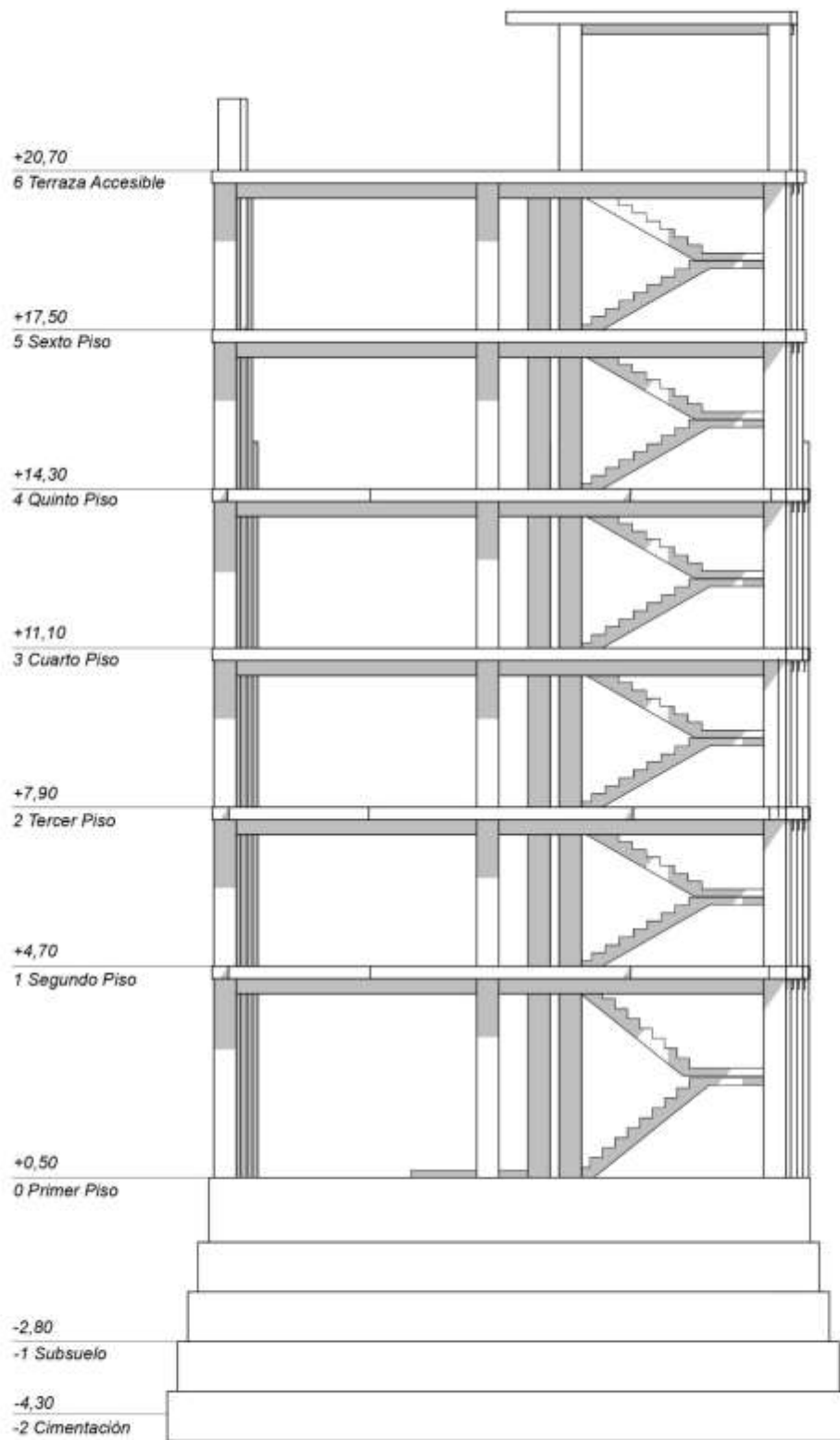
Elevación frontal según modelo BIM

**ELEVACIÓN FRONTAL** ESC 1:125

Nota: Volumen extraído desde software ArchiCAD creado por autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 28.

Elevación posterior según modelo BIM



ELEVACIÓN POSTERIOR ESC 1:125

Nota: Volumen extraído desde software ArchiCAD creado por los autores Puertas y Cueva (2023).

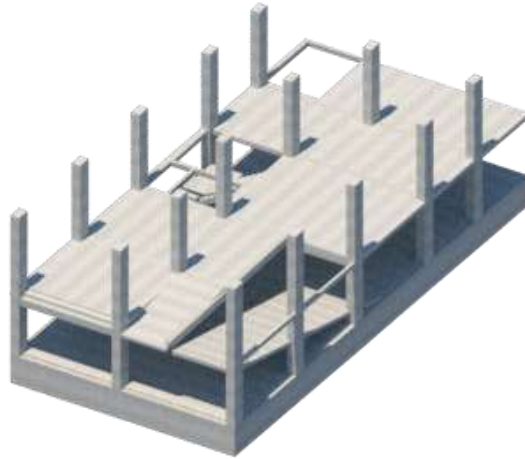
Dentro de los planos se detallan y destacan los diferentes elementos existentes, detallando su denominación característica a la vez que exhibe su volumen de hormigón usado según el área del mismo que se expresa continuamente. Se exhibe el dibujo y modelado del modelo entero del caso de estudio en conjunto de las etiquetas y subdivisiones de las estructuras de carga delimitadas para su comparación que en el caso de estudio y su estado actual se toman desde el nivel de cimentación hasta el primer piso (figura 18 – figura 20)

4.1.2 Modelado de edificación

En orden de conseguir los datos para la verificación del objetivo planteado, fue necesario como primer paso, el recrear no solo los planos, sino que también cada uno de los elementos a ser analizados, por lo que fue necesario el uso del software ArchiCAD. Para esto, se basa en los planos ejecutivos y estructurales de la edificación previamente diseñados y aprobados, esto a manera de conseguir un acercamiento preciso hacia el modelo supuesto a recrear. Para la realización del mismo, se dan indicaciones y recomendaciones a lo largo de la construcción del modelo por parte del arquitecto proyectista que a su vez supervisa el presente caso de estudio teniendo la correcta ejecución del modelo BIM del mismo, gracias a estas recomendaciones a lo largo del trabajo es que se llega a tener una correcta ejecución detallada del proyecto para su posterior análisis frente a la opuesta metodología tradicional y a su vez el recurrente estado de obra.

Figura 29.

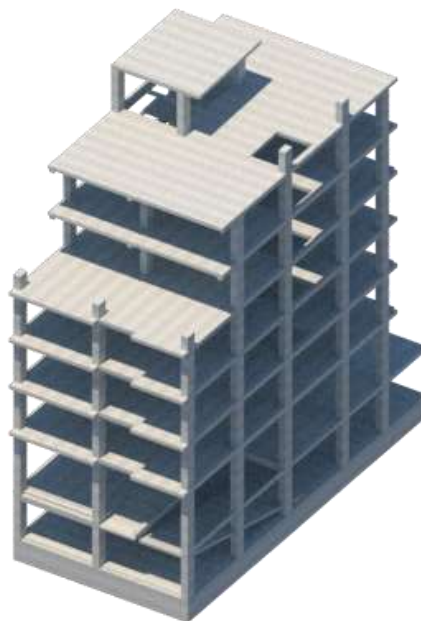
Vista axonométrica del estado actual de la edificación



Nota: Estructura extraída desde software de renderizado V-Ray por autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 30.

Vista axonométrica del estado final estructural de la edificación



Nota: Estructura extraída desde software de renderizado V-Ray por autores Puertas y Cueva (2023).

4.1.3 Interpretación de resultados

De esta manera, una vez se termina la definición de la estructura en conjunto de sus elementos, es posible, gracias a las definiciones de esquema existentes en el software, interpretar los datos de volúmenes según cada elemento, su área y materialidad, que en el caso de la investigación es específicamente el hormigón a usar (ver tabla 5). Es así que se condensan, tanto los datos obtenidos según el libro de obra del estado actual de la construcción como los de los planos estructurales previstos en conjunto de sus correctos cálculos y verificaciones al igual que los presentes según el modelo BIM creado. Se suman y sintetizan los volúmenes según la recolección de datos (ver tabla 8), obteniendo los resultados totales de cada uno según los cálculos específicos de uso de hormigón desde la semana primera hasta la 31, que es donde se define y se da el cierre de obtención de información, de esta manera se expresa que existe un porcentaje de divergencia mínimo (1,40%) en la proyección de uso de materiales entre la ejecución del proyecto mediante un software BIM frente al uso recurrente en la obra en su estado actual.

4.2 Uso de metodología BIM

En el caso de estudio y según la implementación del diseño del mismo a través de un software BIM, su involucración radica dentro de la fase estructural del proyecto, brindando vistas al igual que una manipulación detallada bidimensional y tridimensional que habilita la resolución de problemas y gestión de propiedades según los elementos insertados dentro del modelo que facilita la creación y control de características del mismo.

4.2.1 Software ArchiCAD

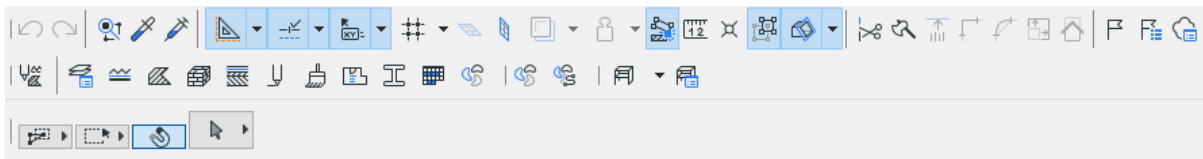
El estudio del caso y su modelado demanda el conocimiento del software ArchiCAD para su proyección por lo que es necesario mencionar algunas de las herramientas y ventanas distintivas del mismo que se dieron uso para su entendimiento. Este software facilita no solo la creación de tablas de volumen de material según la identificación de elementos, sino que también permite la creación de un modelo tridimensional con las medidas específicas

de acuerdo a los planos expuestos gracias al arquitecto diseñador del caso de estudio, detallando y teniendo un acercamiento acertado al mismo.

4.2.1.1 Barra de tareas. Dentro de la misma, en la parte superior, se concentran las herramientas de diseño, visualización, trazado, parametrización, entre otras. Estas están complementadas por instrumentos predeterminados de diseño que se clasifican según el elemento que se esté trabajando, por lo que la misma cambiará con las características posibles de diseño según los parámetros accesibles de la herramienta activa. Mientras que, por otro lado, existe una barra inferior que consta de formas de configuración y representación del modelo como la escala, zoom, entre otras.

Figura 31.

Barra de tareas dentro del software ArchiCAD



Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD.

Figura 32.

Barra de visualización dentro del software ArchiCAD



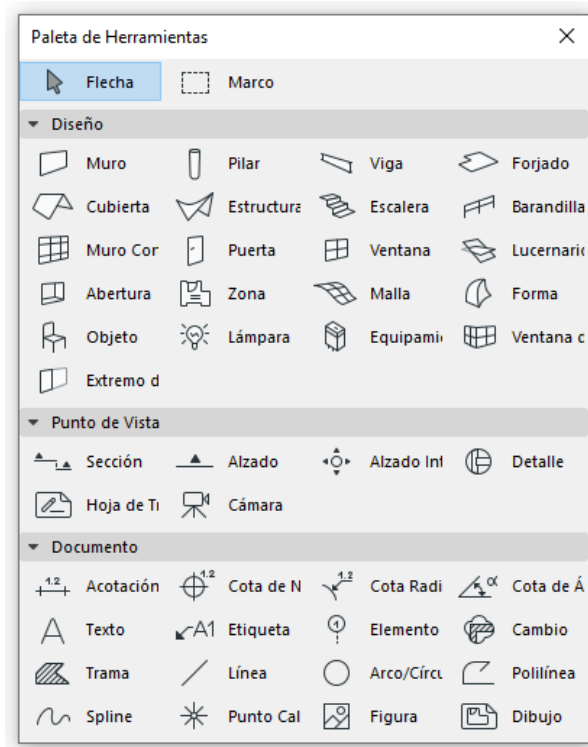
Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD.

4.2.1.2 Barra de herramientas. Se localiza en la zona izquierda del programa, dentro de ella se encuentran los distintos materiales de trabajo posibles a crear y modelar como paredes, columnas, vigas, forjados, entre otros; que serán representados en la hoja de trabajo central. Concentrado en esta, se encuentran tres pestañas, mostrando las herramientas de diseño, herramientas de punto de vista como cortes, elevaciones y vistas de cámaras. Por

último, se encuentra la herramienta de documentación donde se ubican instrumentos de acotación, texto, rellenos y dibujo en dos dimensiones.

Figura 33.

Barra de herramientas dentro del software ArchiCAD

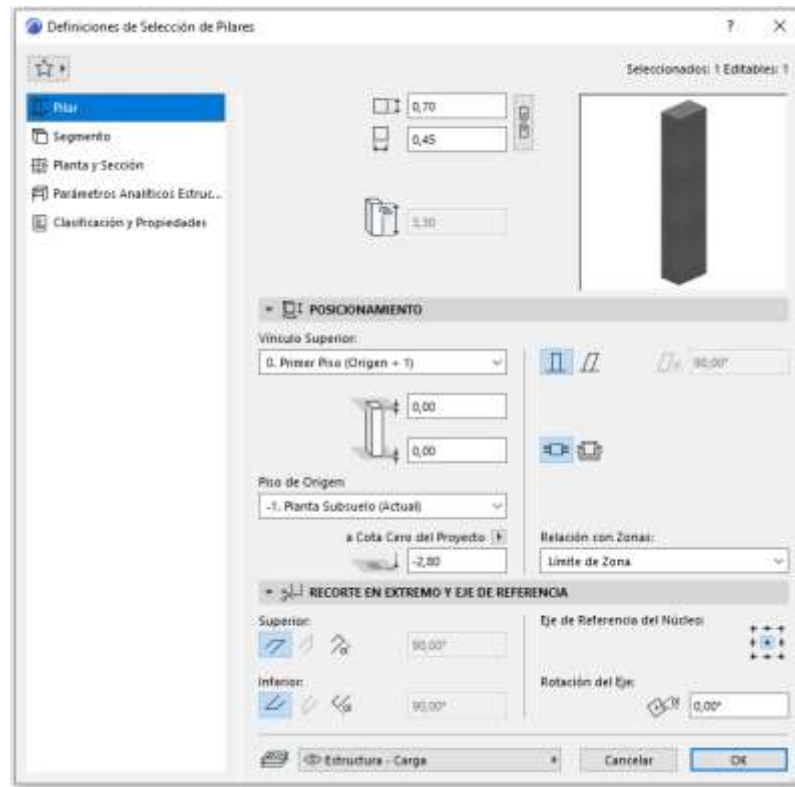


Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD.

4.2.1.3 Parámetros. Gracias a que ArchiCAD es un software paramétrico de diseño, su eficiencia destaca en las características que se le pueden dar a un elemento, siendo posible cambiar sus propiedades mediante la pestaña de definiciones que contiene cada elemento creado donde se exhiben sus propiedades y la posibilidad de moldear dicho elemento según las necesidades del diseñador, esto facilita la interacción entre el dibujante y el dibujo ya que el cambio de parámetros no requiere de acciones dentro del diseño exclusivamente, sino que también pueden ser modificadas mediante la selección de la estructura que se desee, definiendo así el tipo de material del elemento, sus medidas, ubicación dentro del plano tridimensional en el que se ubica, sus características estructurales, entre otras definiciones que se le pueden dar a las estructuras.

Figura 34.

Ventana de definiciones de parámetros de columna

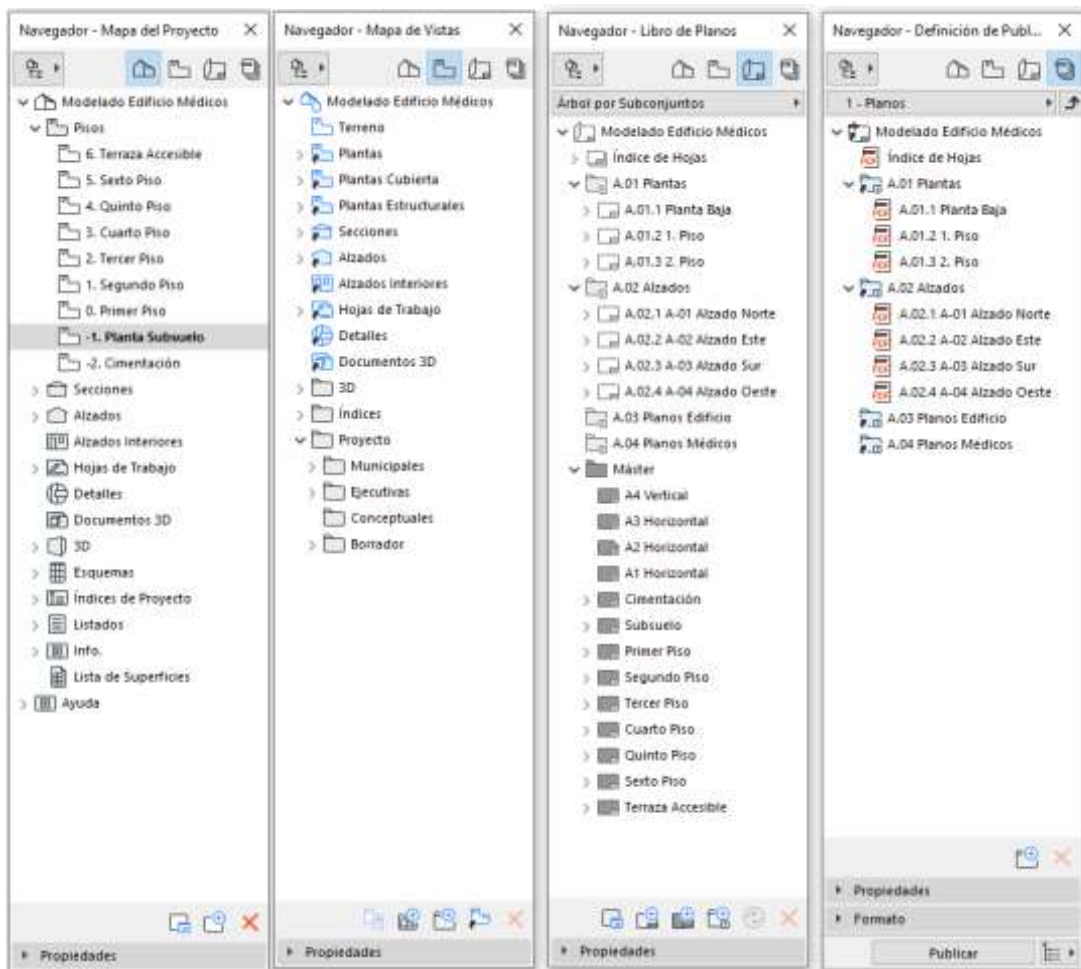


Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD.

4.2.1.4 Barra de navegación. Como otro punto principal destaca la existencia de una barra de navegación, la cual sirve como una pestaña de gestión del proyecto, dentro de la misma existen opciones de visualización del proyecto, incluyendo en ella; mapa de proyecto, mapa de vistas, libro de planos y grupo de publicación. En estas opciones de visualización se pueden observar y crear diferentes opciones para el proyecto en el que se esté trabajando, incluyendo plantas, alzados, esquemas, hojas de trabajo, índice y planos máster de hojas además de la ventana de grupo de publicación donde es posible la previsualización del formato a imprimir del proyecto que requiera.

Figura 35.

Barra de navegación del software ArchiCAD



Nota: Ventanas extraídas de software ArchiCAD.

4.2.2 Ventajas de uso de software ArchiCAD

Gracias a que el presente software destinado a la demostración de resultados usa una metodología BIM, sus características principales al momento de su uso se dan como resultado un manejo preciso y detallado de la edificación que se modela, proveyendo de características de diseño proyectual minuciosas que cooperan con la creación y las propiedades técnicas que se deseen añadir al proyecto para su modelado. Dentro de las cuales se han logrado identificar algunas sobre las cuales se ha apoyado para la conclusión del presente trabajo.

4.2.2.1 Esquemas y Criterios. Como se ha mencionado previamente, una de las características que destacan al momento de usar ArchiCAD, es su capacidad de exponer mediante parámetros según los elementos y su identificación que lo destaque, distintos criterios y campos de propiedades que se le han asignado a dicho elemento (ver figura 34). En este caso, la función de creación de esquemas resalta en su eficacia al momento de categorizar y dar resultados sobre el volumen neto del material del que se elija el elemento a estudiar que en este caso es el hormigón. De esta manera y según las etiquetas designadas según cada estructura, el software facilita la obtención de volúmenes de lo deseado que posteriormente se dan uso al momento de comparación de resultados.

Figura 36.

Resultados de volumen de columnas según esquemas de ArchiCAD

Esquema de Columnas		
ID Principal	Volumen Neto	Volumen Neto del Núcleo
Columna A1 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna A3 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna A5 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna B1 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna B2 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna B5 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna C1 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna C2 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna C5 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna D1 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna D2 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna D5 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna E1 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna E4 - Subsuelo	1,04	1,04
Columna E5 - Subsuelo	1,04	1,04
	15,60 m ³	15,60 m ³

Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD por los autores

Puertas y Cueva (2023).

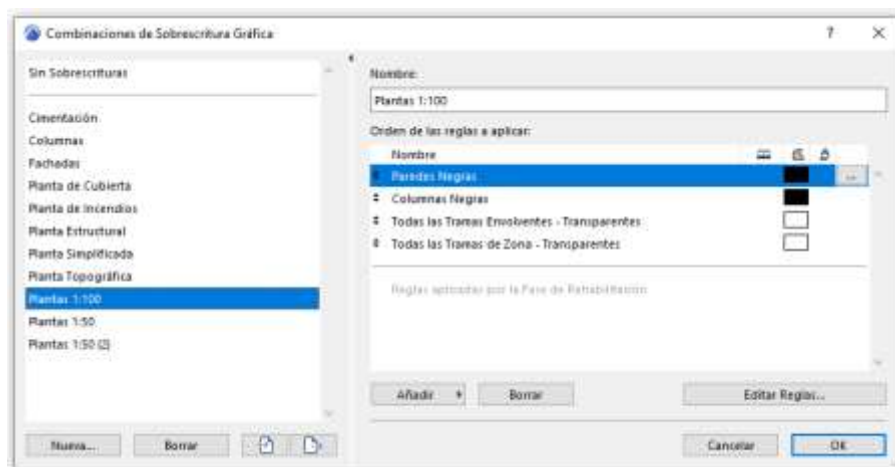
4.2.2.2 Actualización de parámetros en tiempo real. Una de las características más funcionalmente efectivas es el restablecimiento de las variables paramétricas a tiempo real dentro del software a medida que se trabaja, reflejando los diferentes cambios hechos dentro del plano de trabajo hacia las demás ventanas de definiciones de parámetros (ver figura 34) y viceversa. Esto significa una optimización tanto de trabajo como de tiempo ya que no es

necesario saltar entre ventanas para realizar cambios dentro de los datos del elemento o estructura en el que se esté trabajando, sino que gracias al trabajo paramétrico que facilita el software, estos datos se manifiestan en todas las pestañas y diferentes visualizaciones del modelo que se hayan creado, actualizando el modelo según los cambios hechos. De esta manera se facilita la creación de hojas de cálculo programadas, tabulación de datos directa y demás acciones que el uso de un software que ocupa una metodología BIM facilita, gracias a esta característica que permite la actualización de diferentes parámetros de forma general dentro del modelo.

4.2.2.3 Sobreescrituras gráficas. *Esta es la definición de visualización aplicada a los elementos de la vista de modelo dentro del plano en el que se trabaja conforme a parámetros preestablecidos o creados según conveniencia de la expresión gráfica que se desee obtener, siendo posible gestionar las definiciones del mismo dentro de un cuadro de dialogo donde es posible añadir o quitar las reglas por las cuales se define la sobreescritura deseada. Las reglas de una combinación de sobreescritura gráfica se aplican en el orden en el que se enlistan, por lo que es importante considerar dicho orden ya que las mismas afectarán a los elementos según la prioridad en la que esté enlistada, siendo posible conseguir diferentes formas de expresión gráfica.*

Figura 37.

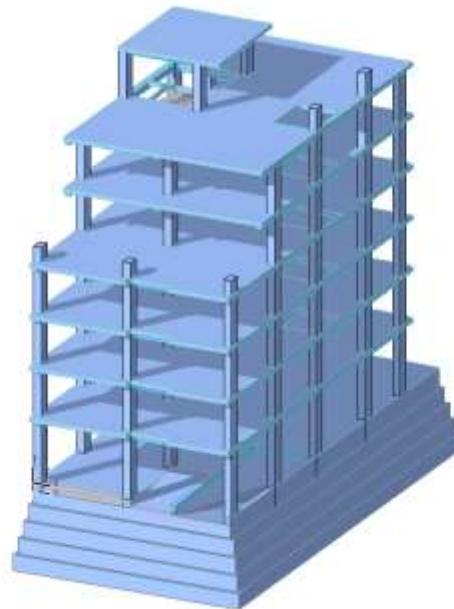
Barra de navegación del software ArchiCAD



Nota: Ventana de configuración extraída de software ArchiCAD.

Figura 38.

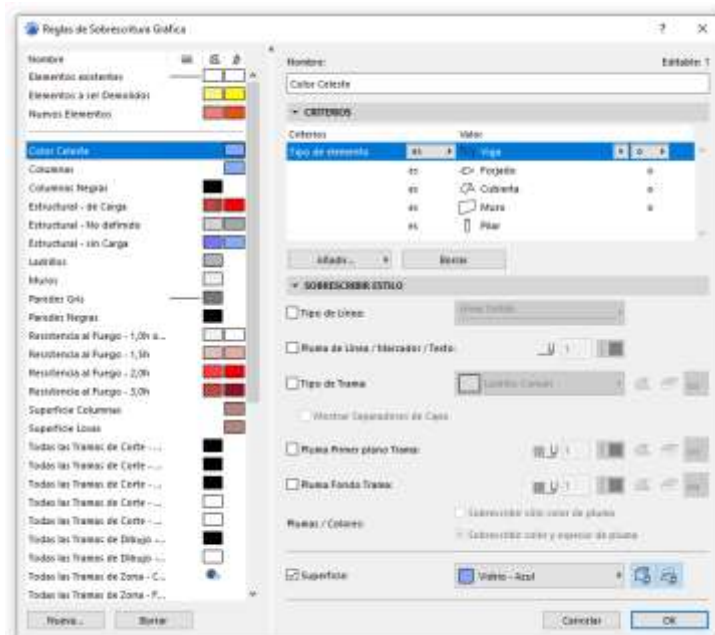
Ejemplo de modelo impuesto bajo sobreescrituras gráficas



Nota: Modelo extraído de software ArchiCAD por los autores Puertas y Cueva (2023).

Figura 39.

Ventana de edición de reglas de sobreescritura gráfica



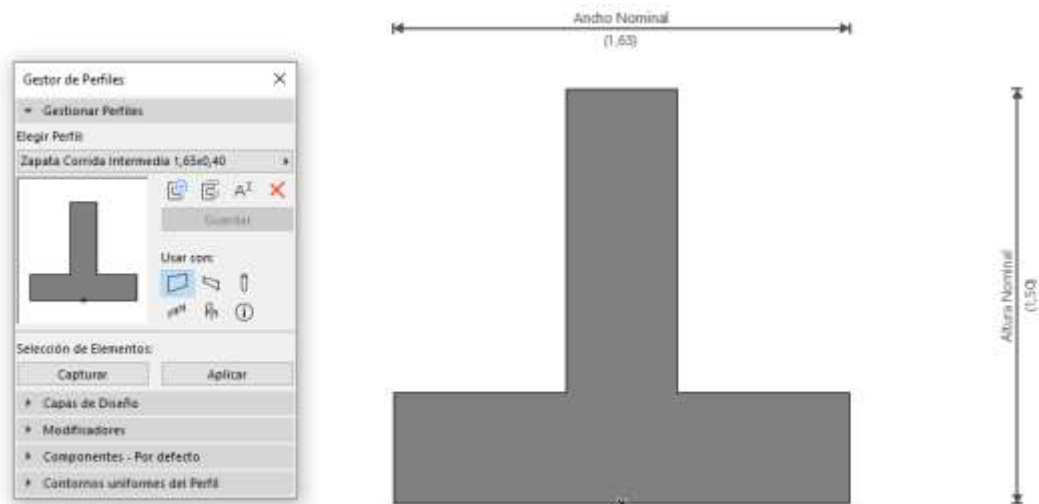
Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD.

4.2.2.4 Propiedades de elementos. *Esto se define como la disposición que tienen los elementos que se seleccionen para ser editados y trabajados según sus características paramétricas, siendo posible cambiar las mismas desde la ventana de definiciones, sincronizándose con su modelo bidimensional y tridimensional para obtener el resultado que se desee obtener sin la necesidad de tener que trabajar desde el modelo en sí, enfocándose en sus cambios de propiedades según los parámetros posibles sujetos a cambio. Dentro de las definiciones de los elementos creados en el modelo que se trabaja, es posible determinar de igual manera características según parámetros creados fuera de la edición de los mismos, esto se refiere a que estos elementos trabajan según variables establecidas bajo las hojas de trabajo como niveles de pisos y sus alturas, tipo de modelo, entre otras, siendo necesaria la correcta identificación y posicionamiento de las estructuras para su correcta identificación.*

4.2.2.5 Creación y gestión de perfiles. *Esta herramienta simplifica la creación de elementos que no se encuentran predeterminados dentro del software. Es posible crear como su nombre lo indica, perfiles de elementos, a los que se les atribuye los parámetros de una herramienta existente a medida de las características que se necesite. Para esto, es necesario conocer las dimensiones bidimensionales existentes del objeto que se necesite crear, para su digitalización, asignando posteriormente a su diseño los parámetros bajo los cuales se va a regir el elemento creado, configurando una nueva identificación única. Una vez creado, se puede encontrar el perfil creado dentro del apartado de elementos compuestos bajo la herramienta seleccionada para su representación, facilitando así su representación en la hoja de trabajo bidimensional y a su vez la interpretación de la misma dentro del modelo tridimensional que se esté trabajando.*

Figura 40.

Creación de perfil usando gestor de perfiles en ArchiCAD

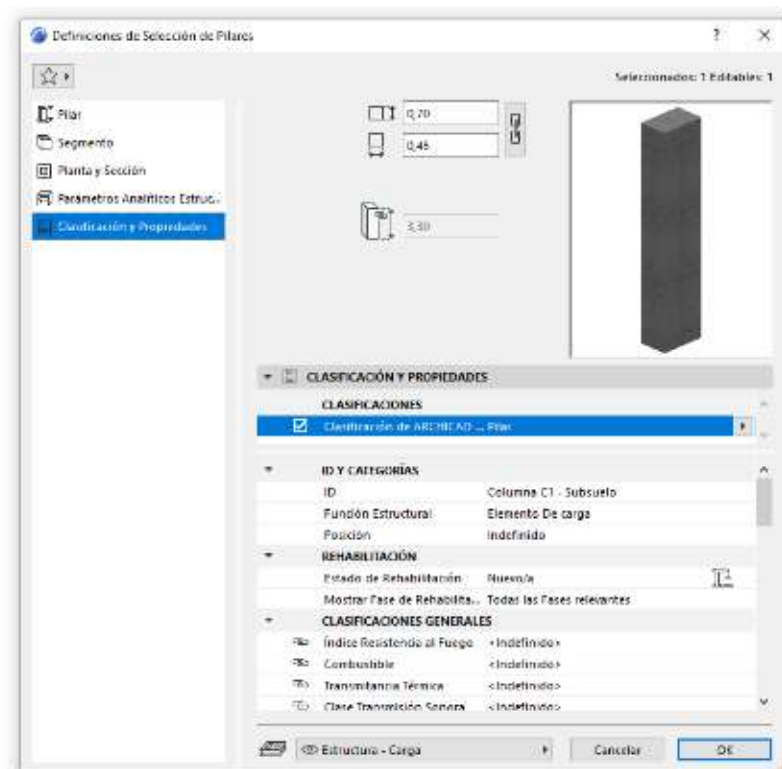


Nota: Ventana de configuración extraída de software ArchiCAD por los autores Puertas y Cueva (2023).

4.2.2.6 Identificación de elementos. *Esta característica, aunque es básica para la referencia de los elementos, es sumamente necesaria para la identificación de los mismos. La herramienta que se expresa, asiste al momento de tener que distribuir los elementos según su identificación única, por lo que, si se desea, como lo es en el caso de la presente investigación, definir y expresar las características de las estructuras en conjunto de sus parámetros, la identificación general o individual de los objetos en los que se trabaja, es necesaria para una correcta subdivisión y reconocimiento de dichos objetos según los parámetros o denominaciones que se les atribuye.*

Figura 41.

Clasificación de identificación de elementos en ArchiCAD



Nota: Ventana extraída de software ArchiCAD.

Conclusiones

Como punto final es acertado el confirmar que la metodología BIM está a la vanguardia del diseño tanto arquitectónico como ingeniero, permitiendo gracias a su sistema de parametrización de elementos, la creación de proyectos tanto estéticos como funcionales que demuestran una facilidad añadida al momento de manejo y diseño de proyectos gracias a las características previamente descritas en el documento. Esto hace que el uso de un software BIM se caracterice como una alternativa más viable en cuanto a gestión de proyectos gracias a que es posible mantener un orden de cálculos y datos más preciso ya que los mismos se mantienen y se trabajan dentro del software BIM en el que se esté destinado a crear un diseño, como lo puede ser ArchiCAD. Gracias al correcto modelado según el caso de estudio, es posible aseverar que el uso de una metodología BIM es más efectiva que el uso de una metodología tradicional CAD, esto gracias a la comparativa de eficiencia y asertividad designada en este documento en el que demuestra la veracidad del uso de un software que maneja un entorno virtual BIM sobre los volúmenes de obra, con una precisión errada de un mínimo 1,40% frente al amplio 21,64% margen de error vinculado a la metodología CAD.

Se concluye que la metodología BIM es mucho más eficiente, facilitando el modelado de edificaciones gracias a su distintivo uso de parámetros en el diseño, siendo posible crear diseños bidimensionales que a su vez se proyectan de manera efectiva en un entorno tridimensional de modelado basándose en la actualización del diseño según los factores establecidos de los elementos en los que se trabaja. Es positivo y necesario el cambio a una metodología de trabajo BIM en la ciudad de Loja ya que como se ha demostrado bajo el caso de estudio, la misma muestra una eficacia superior al momento de la extracción de volúmenes de materiales en obra que se refleja al momento de cálculos presupuestarios, en los que puede existir una eficacia mayor si se da el uso de softwares en los que se maneje esta metodología, además de facilitar el diseño y visualización del mismo.

Recomendaciones

Es necesario establecer los parámetros bajo los cuales se va a trabajar, definiendo previamente los elementos a utilizar al momento de comenzar un diseño, esto al igual que sus dimensiones y las funciones que dichos elementos desempeñarán dentro del modelo por crear. Esto, definiendo de manera correcta y precisa según los cálculos realizados, previo al comienzo de un trabajo, por lo que es considerable la escritura por separado de los datos que se vayan a expresar. Se aconseja el previo estudio del software ArchiCAD o de cualquier software de modelado BIM antes de empezar a proyectar un redibujo o un diseño nuevo, ya que de esta manera se facilita el uso de proyecciones de modelo, esto ya que al ser un software que utiliza diferentes parámetros para las definiciones de los elementos a usar dentro del proyecto, se dificulta la expresión de los mismos al no tener conocimiento de cómo manejar dicho software. Es de suma importancia conocer las características de los elementos y sus propiedades, ya que esto tuvo un rol importante dentro del trabajo planteado gracias a la capacidad no solo de cálculo estructural, sino que también fue posible ordenar y etiquetar dichos elementos para su correcta identificación, exponiendo la ventaja del uso de metodología BIM.

Es recomendado llevar a cabo un análisis exhaustivo, ordenado y correcto al momento de modelar cualquier estructura, esto es necesario ya que al ser varios los elementos que contienen distintos parámetros puede ocurrir un intercambio de información errónea que llegaría a resultados indeseados, por lo que plantear la reescritura de la información obtenida mediante el software es un punto que se debe tener en cuenta. Llevar un orden al momento de diseñar y proyectar parámetros a los elementos dentro del software, de esta manera se facilita la identificación de los mismos evitando pérdidas de información o de tiempo al momento de crear nuevos recursos por la falta de otros.

Referencias

- Aponte Sierra, X. L. (2016). *Gestión de proyectos de construcción con metodología BIM “Building Information Modeling”* [Universidad Militar Nueva Granada].
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/14970>
- Baldeón Mendoza, E. L. (2020). *Aplicación de la metodología BIM para la etapa de planificación y control de obra bajo lineamientos Lean Construction en proyectos multifamiliares* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654792>
- Blanco-Diazgranados, M. A. (2018). *Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM* [Universidad Católica de Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/0fcae846-3ef6-44c0-902c-5f7e4e6eaa2d>
- Compadre del Río, C. (2018). *Guía para la redacción de un BEP para el desarrollo de un proyecto en BIM. Aplicación para un proyecto de instalaciones en un edificio inteligente* [Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/29455>
- García Muñoz, A. G. (2020). *Interoperabilidad en el entorno BIM: Mejoramiento de los procesos de diseño y comunicación a partir de la implementación del concepto OpenBIM* [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79163>
- Guzmán González, P. F. (2014). *Beneficios de la coordinación de proyectos BIM en edificios habitacionales* [Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116294>

- Horn, R., Ebertshäuser, S., Di Bari, R., Jorgji, O., Traunspurger, R., & Both, P. von. (2020). The BIM2LCA approach: An Industry Foundation Classes (IFC)-based interface to integrate life cycle assessment in integral planning. *Sustainability*, 12(16).
<https://doi.org/10.3390/su12166558>
- Latorre Uriz, A., Sanz, C., & Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes de la Construcción*, 71(556), 313. <https://doi.org/10.3989/ic.67222>
- Marin, N., Correa, L., & Marín, R. (2021). Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una revisión. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), 29–42.
<http://190.119.95.85/index.php/pakamuros/article/view/180>
- Ogbamwen, J. (2016). *Gestión de proyectos de construcción mediante Building Information Modeling (BIM) e Integrated Project Delivery (IPD). Análisis y estudio de dos casos en EE.UU* [Universidad Politécnica de Valencia].
<https://riunet.upv.es/handle/10251/73989>
- Oussouboure, G., & Victore, R. D. (2017). La asignación de recursos en la Gestión de Proyectos orientada a la metodología BIM. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 11(1).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6450734>
- Paguay Monteros, F. M., & Reyes Cruz, J. D. (2020). *Interacciones entre BIM y LEAN para la innovación de procesos de construcción en Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21056>
- Pedraza Aguilar, H. (2017). *Modelo de datos eficiente adaptado a la metodología OpenBIM y el estándar IFC* [Universidad de la Laguna].
<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/6214>

Sabogal Morales, A., & González Pineda, J. B. (2021). *Plan de implementación de una metodología para la gestión de proyectos para una empresa proyectada en el área de la ingeniería y arquitectura* [Escuela de Administración de Negocios].

<https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/10906>

Silva Saldías, R. O. L. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM* [Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103904>

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* [Universidad de

Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168599>

Vizcarra Apaza, A. J. (2015). *Aplicación de metodología BIM para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna* [Universidad Nacional Jorge Basadre

Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2816>