



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**METODOLOGÍA BIM PARA MITIGAR SOBRECOSTOS
EN LA CONSTRUCCIÓN.**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ARQ. ERIKA GABRIELA RIVERA PERALTA

Asesor de tesis:

M.I. CARLOS BUSTOS MOTA

Puebla, Pue.

junio 2021



Oficio No. SIEP0339/2021

C. Erika Gabriela Rivera Peralta
Matrícula 219470122
Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Construcción
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema titulado: **Metodología BIM para mitigar sobrecostos en la construcción**, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Construcción, asignándose como Director al M.I. Carlos Bustos Mota.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Zaragoza, febrero 15 de 2021.

M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director

C.c.p. M.I. Carlos bustos Mota, director del Tema de Tests

C.c.p. Archivo

AEPS/sco*

Facultad
de Ingeniería

Dvd. Voltequillo y Av. San Claudio
s/n, Edif. ING 6, Col. San Manuel
Ciudad Universitaria
Puebla, Pua. C.P. 72570
222 229 65 C3 Ext. 7610

M.I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería, BUAP
Presente.

El que suscribe, maestro en ingeniería Carlos Bustos Mota, en calidad de director de la presente Tesis titulada: "METODOLOGÍA BIM PARA MITIGAR SOBRECOSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN", para obtener el Grado de Ingeniería con Opción Terminal en Construcción, que presenta la arquitecta Erika Gabriela Rivera Peralta; no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la Tesis citada, al cumplir con las revisiones necesarias para su terminación.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos académicos a que haya lugar y sin más por el momento, me despido de usted.

Atentamente,
H. Puebla de Zaragoza, a 14 de junio de 2021


M.I. Carlos Bustos Mota
Director de Tesis

C.c.p. Interesado

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi hija Camila por haberme apoyado durante este tiempo, su amor incondicional es mi principal motivación para seguir superándome.

Te amo bebé.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi esposo Marcelino por estar siempre pendiente de mis estudios, por sus consejos, palabras de aliento y aportes a este trabajo.

A mis Padres y hermanos por todo el apoyo que me brindaron al cuidar a mi bebé cuando era necesario.

Al Ing. Jorge Velázquez López por permitir que usara su proyecto para el desarrollo de este trabajo.

A mi director de Tesis M.I. Carlos Bustos Mota por compartir sus conocimientos para la realización de este proyecto.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| Lista de Figuras | VIII |
| Resumen | XII |
| Introducción..... | XIII |
| | |
| 1.- EL PROCESO DE ADMINISTRACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN | 01 |
| 1.1 Antecedentes de la Administración | 02 |
| 1.2 Conceptos de Administración de Proyectos | 06 |
| 1.3 <i>Project Management Institute</i> (PMI)..... | 09 |
| 1.4 La planeación en los proyectos de construcción | 13 |
| | |
| 2.- METODOLOGIAS PARA LA PLANEACION EN LA CONSTRUCCION | 19 |
| 2.1 Diagramas de Gantt | 20 |
| 2.2 Método de la Ruta Critica (<i>CMP Critical Path Method</i>) | 21 |
| 2.3 <i>Program Evaluation and Review Technique</i> (<i>PERT</i>)..... | 26 |
| 2.4 <i>Lean Construction</i> | 30 |
| | |
| 3.- METODOLOGIAS BIM PARA LA PLANEACION EN LA CONSTRUCCION | 34 |
| 3.1 Antecedentes..... | 35 |
| 3.2 Descripción de la metodología BIM..... | 36 |
| 3.3 Metodología BIM en México | 54 |

| | |
|--|------------|
| 4.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGIAS BIM | 61 |
| 4.1 Descripción del proyecto | 62 |
| 4.2 Modelo BIM | 65 |
| 4.3 Formato IFC | 84 |
| | |
| Conclusiones | 111 |
| Recomendaciones | 113 |
| Bibliografía | 114 |
| Referencias | 117 |
| Anexos | 118 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| 1.- EL PROCESO DE ADMINISTRACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN | 01 |
| Figura I.1 División del enfoque clásico. Chiavenato,2006..... | 02 |
| Figura I.2. Las seis funciones básicas de una empresa, según Fayol. Chiavenato,2006..... | 04 |
| Figura I.3. Principios básicos de la teoría de Fayol (Chiavenato,2006) | 05 |
| Figura I.4. Restricción triple, Lledó, Rivarola, 2007..... | 09 |
| Figura I.5. Correcta Dirección de Proyectos. (PMI, 2017)..... | 10 |
| Figura I.6 Dirección deficiente. (PMI, 2017) | 11 |
| Figura I.7.Descripcion General de la Planeación. (PMI, 2017)..... | 12 |
| Figura I.8. Etapas de la Administración (Quijano Valdez, 2012)..... | 13 |
| Figura I.9. Participantes en un Proyecto de Construcción. (Serpell & Alarcón, 2015) | 14 |
| Figura I.10. Ciclo de vida de un Proyecto de Construcción. ((Serpell & Alarcón, 2015) | 15 |
| Figura I.11. Impacto de las Variables en el Tiempo (PMI, 2017) | 15 |
| Figura I.12. Curva <i>MacLeamy</i> . (BuildingSMART, 2020)..... | 16 |
| Figura I.13. Grupo de Procesos de la Planeación (PMI, 2017)..... | 16 |
| | |
| 2.- METODOLOGIAS PARA LA PLANEACION EN LA CONSTRUCCION | 19 |
| Figura II.1. Metodologías para la Planeación de Proyectos..... | 20 |
| Figura II.2. Diagrama de Gantt. (Serpell & Alarcón, 2015)..... | 20 |
| Figura II.3. Representación de red de flechas. (Hernández, 1997)..... | 22 |
| Figura II.4. Formato de dibujo de los diagramas de flechas. (Serpell & Alarcón, 2015) | 22 |
| Figura II.5. Red de flechas y Ruta crítica. (Serpell & Alarcón, 2015) | 25 |
| Figura II.6. Método PERT. (Salazar, 2019)..... | 26 |
| Figura II.7. Diagrama de Red (duración optimista, pesimista y más probable). (Serpell & Alarcón, 2015)..... | 28 |
| Figura II.8. Diagrama de Red (varianza y Tiempo Estimado). (Serpell & Alarcón, 2015) | 29 |
| Figura II.9. Diagrama de Red (Ruta Crítica). (Serpell & Alarcón, 2015) | 30 |
| Figura II.10. Sistema de Planeación (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014)..... | 32 |
| Figura II.11 Esquema de trabajo tradicional. (Zaje, BIM :Modelos de Información para la Construcción, 2011) | 33 |
| | |
| Tabla II.1 Lista de Actividades y tabla de secuencias (Suárez Salazar, 2007) | 24 |
| Tabla II.2. Tabla de tiempos del Método PERT. (Salazar, 2019) | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 3.- METODOLOGIAS BIM PARA LA PLANEACION EN LA CONSTRUCCION | 34 |
| Figura III.1 Vista 3D de un modelo BIM cortesía de CREA Soluciones Inteligentes (BuildingSMART, 2020) | 35 |
| Figura III.2. Modelo realizado en Archicad (Graphisoft, s.f.)..... | 36 |
| Figura III.3. Ciclo de Vida de la Metodología BIM (Matías,2016)..... | 37 |
| Figura III.4. Mapa de Implementación BIM 2016 (BuildingSMART, 2021) | 38 |
| Figura III.5. Modelo de madurez BIM <i>Bew-Richards</i> (Melo Jimenez)..... | 39 |
| Figura III.6. Las dimensiones y usos del BIM. (BuildingSMART, 2020) | 40 |
| Figura III.7. Tipos de Modelos BIM. (PLANBIM, 2019) | 41 |
| Figura III.8. Guías uBIM (Spain, 2012) | 43 |
| Figura III.9. Estándar de Chile para proyectos BIM. (PLANBIM, 2019)..... | 44 |
| Figura III.10. BIM e Interoperabilidad. (BibLus, 2021)..... | 45 |
| Figura III.11. IFC (BibLus, 2021) | 46 |
| Figura III.12. Nivel de Información Gráfica (LOD) (BuildingSMART, 2020)..... | 47 |
| Figura III.13. Niveles de Información (NDI) (PLANBIM, 2019)..... | 48 |
| Figura III.14. Niveles de Información de entidades (NDI) (PLANBIM, 2019) | 49 |
| Figura III.15 LOD 350 Muros (Autoría propia) | 50 |
| Figura III.16. Modelo BIM completo. (Poo & Rodríguez, 2017)..... | 52 |
| Figura III.17. Modelo en Revit (Picó, 2008) | 52 |
| Figura III.18. Elaboración de Proyecto Ejecutivo BIM (Melo Jimenez)..... | 53 |
| Tabla III.19. Dimensiones BIM y Software (Wilmer, 2019)..... | 54 |
| Figura III.20. Declaratoria de Vigencia. DOF: 12/07/2017..... | 57 |
| Figura III.21. Tratados y Acuerdos Internacionales (SHCP, 2019)..... | 57 |
| Figura III.22. Proyectos MIC México (SHCP, 2019)..... | 58 |
| Figura III.23. Fases MIC México (SHCP, 2019)..... | 58 |
| Figura III.24. BIM. (Zaje & Autodesk, 2011) | 59 |
| | |
| Gráfica III.1 Curva del Esfuerzo productivo (curva MacLeamy) (González, Gámez, & Severino, 2014)..... | 38 |
| Gráfica III.2 Número de empleados (Llerena & Bigurra, 2019) | 55 |
| Gráfica III.3. Actividad Económica (Llerena & Bigurra, 2019)..... | 56 |
| Gráfica III.4. Costos de la Implementación BIM (Llerena & Bigurra, 2019) | 56 |
| | |
| Tabla III.1 <i>Estándares Internacionales (PLANBIM, 2019)</i> | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 4.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGIAS BIM | 61 |
| Figura IV.1. Proyecto (Casas JIE Y Asociados). 61..... | 61 |
| Figura IV.2. Torre 1 (Casas JIE Y Asociados). 62..... | 62 |
| Figura IV.3. Presupuesto del Proyecto (Casas JIE Y Asociados). 63..... | 63 |
| Figura IV.4. Programa de Obra Torre 1 (autoría propia). 64..... | 64 |
| Figura IV.5 Nivel de Información Gráfica (LOD) (BuildingSMART, 2020). 65 | 65 |
| Figura IV.6. Modelo Arquitectónico Torre 1 (Autoría propia). 65 | 65 |
| Figura IV.7 Zonificación de Planta 1er, 2do y 3er nivel (Autoría propia).66..... | 66 |
| Figura IV.8 Vista 3D 1er, 2do y 3er nivel (Autoría propia).66 | 66 |
| Figura IV.9 Fachada Principal (Autoría propia). 67 | 67 |
| Figura IV.10. Modelo Estructural Torre 1 (Autoría propia).67 | 67 |
| Figura IV.11. Modelo Estructural- cimentación (Autoría propia).68..... | 68 |
| Figura IV.12. LOD 350 Zapata Z-1 (Autoría propia).69..... | 69 |
| Figura IV.13. LOD 350 Zapatas (Autoría propia). 71 | 71 |
| Figura IV.14. Modelo Estructural-contratraves (Autoría propia). 72..... | 72 |
| Figura IV.15. Detalle Estructural Contratrabe Ct-1 (Autoría propia). 72..... | 72 |
| Figura IV.16. LOD 350 Contratrabe Ct-1(eje 1 / A-E) (Autoría propia). 73..... | 73 |
| Figura IV.17. Modelo Estructural Columnas (Autoría propia).73..... | 73 |
| Figura IV.18. Detalle Estructural Zapata-Contratrabe-Columna (Autoría propia). 74..... | 74 |
| Figura IV.19. Modelo Estructural- Isométrico Trabes (Autoría propia). | 74 |
| Figura IV.20 LOD 350 Columna-Trabe (Autoría propia). 75 | 75 |
| Figura IV.21. Losas de la Torre 1 (Autoría propia).76..... | 76 |
| Figura IV.22. LOD 350 de Losa en Torre 1 (Autoría propia). 78 | 78 |
| Figura IV.23. LOD 350 de Muros mampostería en Torre 1 (Autoría propia).78 | 78 |
| Figura IV.24 Presupuesto del Proyecto (Casas JIE y Asociados). 82 | 82 |
| Figura IV.25 Comparación entre cantidades de presupuesto, generadores y Modelo BIM (Autoría propia). 83..... | 83 |
| Figura IV.26. Software certificado. (BuildingSMART, 2021) 85..... | 85 |
| Figura IV.27 Estructura de árbol de IFC (AUTODESK, 2018).85 | 85 |
| Figura IV.28 Creación de archivo IFC (Autoría propia). 86 | 86 |
| Figura IV.29. Estructura de información en archivo IFC en diferentes softwares (Autoría propia). 87..... | 87 |
| Figura IV.30. Parámetros nativos que se exportan a un archivo IFC (PlanBIM, 2021) .88 | 88 |
| Figura IV.31. Matriz de información de entidades (PlanBIM, 2021) . 89..... | 89 |
| Figura IV.32. Zapata Z-4, archivo nativo (Autoría propia).90 | 90 |
| Figura IV.33. Zapata Z-4, archivo IFC - BIM Vision (Autoría propia). 91 | 91 |
| Figura IV.34. Zapata Z-4, archivo IFC - BIM Collab (Autoría propia). 92 | 92 |
| Figura IV.35. Zapata Z-4, archivo IFC - Solibri (Autoría propia). 93..... | 93 |
| Figura IV.36. Zapata Z-4, archivo IFC - usBIM (Autoría propia).95..... | 95 |

| | |
|---|----|
| Figura IV.37. Elementos estructurales, archivo nativo (Autoría propia). 96..... | 96 |
| Figura IV.38. Formato de incidencia, software BIM Collab (Autoría propia). 96 | 96 |
| Figura IV.39. Área de muro – BIM vision (Autoría propia). 97 | 97 |
| Figura IV.40. Selección de una categoría – us BIM (Autoría propia). 98 | 98 |
| Figura IV.41. Selección de una categoría – BIM vision (Autoría propia). 98..... | 98 |
| Figura IV.42. Vistas por niveles (Autoría propia). 99 | 99 |
| Figura IV.43. Archivo IFC - Archicad (Autoría propia). | 99 |

RESUMEN

En la industria de la construcción un tema que se presenta con frecuencia son los sobrecostos ocasionados principalmente por iniciar los trabajos de construcción sin contar con los proyectos completos. Es justo esa directriz la que sigue el presente trabajo, en la implementación de la metodología BIM para detectar y corregir errores en la planeación del proyecto. El presente trabajo consiste en un estudio de caso, la base es una investigación documental, transcriptiva y descriptiva. La investigación demuestra que se pueden mitigar sobrecostos cuando implementa la metodología BIM en la etapa de planeación. Siendo el estándar IFC el más adecuado para compartir la información.

ABSTRACT

In the construction industry, a frequently occurring issue is cost overruns caused mainly by starting construction works without having complete projects. It is exactly this guideline that this work follows, in the implementation of the BIM methodology to detect and correct errors in the project planning. The present work consists of a case study, the basis is a documentary, transcriptive and descriptive research. The research demonstrates that cost overruns can be mitigated when implementing BIM methodology in the planning stage. The IFC standard is the most suitable for information sharing.

INTRODUCCIÓN

Los ingenieros Frederick Winslow Taylor y Henry Fayol desarrollaron las bases de la administración, cada uno presentó una serie de postulados que más adelante fueron retomados por los representantes del enfoque neoclásico. Los primeros enfoques hablaban de cómo hacer procesos más eficientes y ahorrar tiempos de producción, actualmente se conservan esas ideas, pero tomando en cuenta las habilidades de los trabajadores y la especialización para realizar mejor los procesos.

La administración general se define como el conjunto de actividades que permiten aprovechar los recursos para cumplir con un objetivo, esas actividades consisten en planear, organizar, dirigir y controlar esos recursos que pueden ser mano de obra, materiales, tiempo, etcétera. En la industria de la construcción se trabaja con proyectos, al contar con un tiempo límite para su desarrollo es importante administrar de forma eficiente los recursos para cumplir con los objetivos. Los proyectos que han tenido una administración deficiente han presentado problemas como sobrecostos, retrabajos, calidad deficiente, incumplimiento de plazos, entre otros.

El proceso de administración comienza con la etapa de planeación, en ella se plantean los objetivos, se definen los alcances y se desarrolla el proyecto. Con la ayuda de diferentes metodologías como Barras de Gantt, Método de la Ruta Crítica (CPM), *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), *Lean Construction* o *Building Information Modeling (BIM)*, se pueden simular diferentes escenarios y pensar en posibles soluciones; en general cada una aporta ventajas si se utilizan de forma correcta.

En México, un problema recurrente en los proyectos de construcción son los sobrecostos, el interés de abordar este tema fue para encontrar una metodología que permitiera hacer más eficiente la etapa de planeación, evitar retrabajos y mitigar sobrecostos; Los países que han utilizado nuevas herramientas para gestionar proyectos han reportado que al utilizar la metodología BIM, han tenido resultados satisfactorios; por esta razón se eligió BIM como metodología para el estudio de caso.

El objetivo de la metodología BIM es la interoperabilidad, esto se refiere al intercambio de información de forma libre entre los involucrados en el proyecto. Es común que las empresas trabajen con distintos softwares, esto depende de la especialidad a la que se dediquen, esto genera problemas para la revisión de los proyectos ya que las empresas se ven en la necesidad de adquirir una gran cantidad de softwares. Para garantizar que la información sea compartida de forma libre,

se han creado estándares abiertos que permiten revisar la información sin necesidad de contar con softwares nativos. Uno de los formatos es el IFC (*Industry Foundation Classes*), registrado como estándar internacional ISO 16739:2013. Con un IFC se pueden realizar revisiones de proyecto para detectar incidencias, obtener cantidades para presupuestos, intercambiar información, etcétera.

El capítulo I, El proceso de administración en la construcción, inicia con los antecedentes de la administración, se mencionan los principales autores, así como sus postulados. Posteriormente se habla de la administración aplicada a los proyectos de construcción y las etapas que lo integran, en particular se habla de la importancia de la etapa de planeación. En México la mayoría de los proyectos presentan sobrecostos, entre las causas más recurrentes tienen que ver con la mala o nula planeación de estas.

El capítulo II, Metodologías para la planeación en la construcción, describe cuatro metodologías que se utilizan actualmente en la administración de los proyectos. Los métodos son: Diagramas de Gantt, el cual consiste en realizar una lista de actividades y determinar cuáles son las principales y asignarles una duración; El Método de la Ruta Crítica (*CMP Critical Path Method*), esta metodología utiliza diagramas lógicos para representar sus análisis, es uno de los métodos más utilizados en México; *Program Evaluation and Review Technique (PERT)*, es un método probabilístico que permite identificar las actividades que representan el mayor riesgo, las tres posibilidades que considera son óptimo, probable y pésimo ; *Lean Construction* es una filosofía que se aplica a los proyectos de construcción con el objetivo de optimizar los recursos y así evitar pérdidas durante su desarrollo.

El Capítulo III, Metodología BIM para la planeación en la construcción, describe en que consiste la aplicación de la metodología a los proyectos. La industria de la construcción, a diferencia de otras industrias como la automotriz, no ha tenido un crecimiento en la aplicación de herramientas tecnológicas, con este tipo de metodologías se busca optimizar los procesos para tener un mejor control de los insumos. La implementación comienza con el desarrollo de un modelo 3D el cual contiene la información necesaria para su construcción, el nivel de detalle de cada elemento (LOD) depende de las especificaciones del proyecto. Para garantizar el flujo de la información, se usan estándares abiertos como el IFC, este formato permite guardar los datos del archivo nativo para que pueda visualizarse de forma libre sin pérdida de información en la exportación. El archivo es

compatible con softwares que permiten revisar o editar la información, aun teniendo diferentes softwares de trabajo, de esta forma se logra la interoperabilidad de la información.

El Capítulo IV, Aplicación de la Metodología BIM, muestra un ejemplo de cómo se puede implementar la metodología BIM a un proyecto de vivienda, ubicado en la ciudad de Puebla. El proyecto está integrado por tres torres de departamentos, la torre 1 fue construida, la información obtenida se toma como base en el desarrollo del estudio de caso. El flujo de trabajo comienza con el desarrollo de un modelo 3D con el software REVIT de Autodesk, el nivel de desarrollo utilizado en los elementos estructurales es LOD 350; la interoperabilidad se logra cuando la información del modelo es compartida mediante estándares abiertos, la información de los elementos estructurales es revisada en cuatro softwares, verificando que se puede realizar este proceso sin pérdida de información.

CAPITULO I

EL PROCESO DE ADMINISTRACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.

*"El arquitecto es el hombre sintético,
el que es capaz de ver las cosas en conjunto antes de que estén hechas".*

Antoni Gaudí

Los proyectos que se desarrollan en la industria de la construcción son complejos, con características específicas. Variables como la ubicación, influyen en otros rubros como son mano de obra o materiales, por lo que los responsables de las construcciones requieren de conocimientos sobre procesos constructivos y al mismo tiempo sobre administración, ya que eso determinará el cumplimiento de los objetivos. En este capítulo se describen los conceptos básicos sobre el tema de administración general, la administración de proyectos y la importancia que tiene en la construcción.

1.1 ANTECEDENTES DE LA ADMINISTRACIÓN.

La etapa de la administración moderna comienza después de la revolución industrial, esta etapa se caracterizó por el uso de nuevas tecnologías, comenzaron a surgir empresas con sistemas de producción automatizados. Es así como se desarrollaron nuevas formas de administrar y con ello dos enfoques: Administración científica y Teoría clásica (figura I.1).

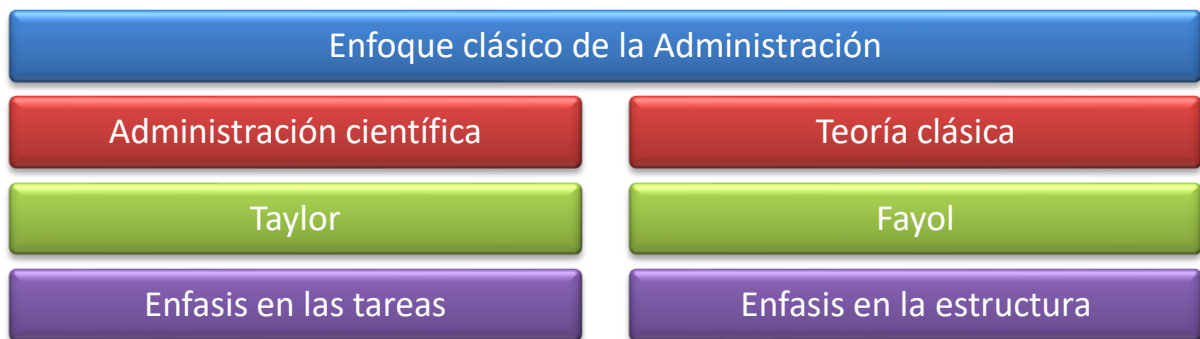


Figura I.1 División del enfoque clásico (Chiavenato,2006).

La administración científica fue desarrollada por el ingeniero estadounidense Frederick Winslow Taylor (1856-1915), este enfoque se basa en las tareas, lo que se busca es elevar la eficiencia en los procesos industriales para evitar desperdicios y pérdidas en las empresas. Una atribución de la

administración científica fue la administración funcional, la cual consistía en la división y especialización de los trabajos.

Para cumplir con los objetivos de la empresa, Taylor determina los siguientes principios:

1. Principio de planeación.

Sustituir el criterio individual, la improvisación y la actuación empírico-práctica del operario en el trabajo por los métodos basados en procedimientos científicos.

2. Principio de preparación.

Seleccionar científicamente los trabajadores de acuerdo con sus aptitudes, prepararlos y entrenarlos para producir más y mejor, en concordancia con el método planeado.

3. Principio de control.

Controlar el trabajo para cerciorarse de que está ejecutándose de acuerdo con las normas establecidas y según el plan previsto. La gerencia debe cooperar con los empleados para que la ejecución sea la mejor posible.

4. Principio de ejecución.

Asignar atribuciones y responsabilidades para que el trabajo se realice con disciplina.

La teoría clásica surge en Francia en 1916 con el ingeniero Henry Fayol (1841-1925), a diferencia de la administración científica de Taylor, este enfoque busca la eficiencia a través de la estructura de las empresas, no por la racionalización del trabajo.

Destaca que todas las empresas deben de cumplir con seis funciones básicas:

1. Funciones técnicas.

Relacionadas con la producción de bienes o servicios de la empresa.

2. Funciones comerciales.

Relacionadas con la compra, la venta o el intercambio.

3. Funciones financieras.

Relacionadas con la búsqueda y gestión de capitales.

4. Funciones de seguridad.

Relacionadas con la protección y preservación de los bienes y las personas.

5. Funciones contables.

Relacionadas con los inventarios, los registros, los balances, los costos y las estadísticas.

6. Funciones administrativas.

Relacionadas con la integración de las otras cinco funciones de la dirección. Las funciones administrativas coordinan y sincronizan las demás funciones de la empresa, y están siempre por encima de ellas.

Las funciones administrativas (figura I.2) a su vez las divide en:

1. Planeación.

Avizorar el futuro y trazar el programa de acción.

2. Organización.

Construir las estructuras material y social de la empresa.

3. Dirección.

Guiar y orientar al personal.

4. Coordinación.

Enlazar, unir y armonizar todos los actos y esfuerzos colectivos.

5. Control.

Verificar que todo suceda de acuerdo con las reglas establecidas y las órdenes dadas.



Figura I.2. Las seis funciones básicas de una empresa, según Fayol (Chiavenato,2006).

Como parte de la teoría clásica, Fayol define los principios generales de la administración en los que fundamenta su enfoque, considera que son universales y se adaptan a cualquier tiempo y cualquier circunstancia porque son flexibles. En la figura I.3 se muestran los 14 principios básicos a los que se refiere Fayol.

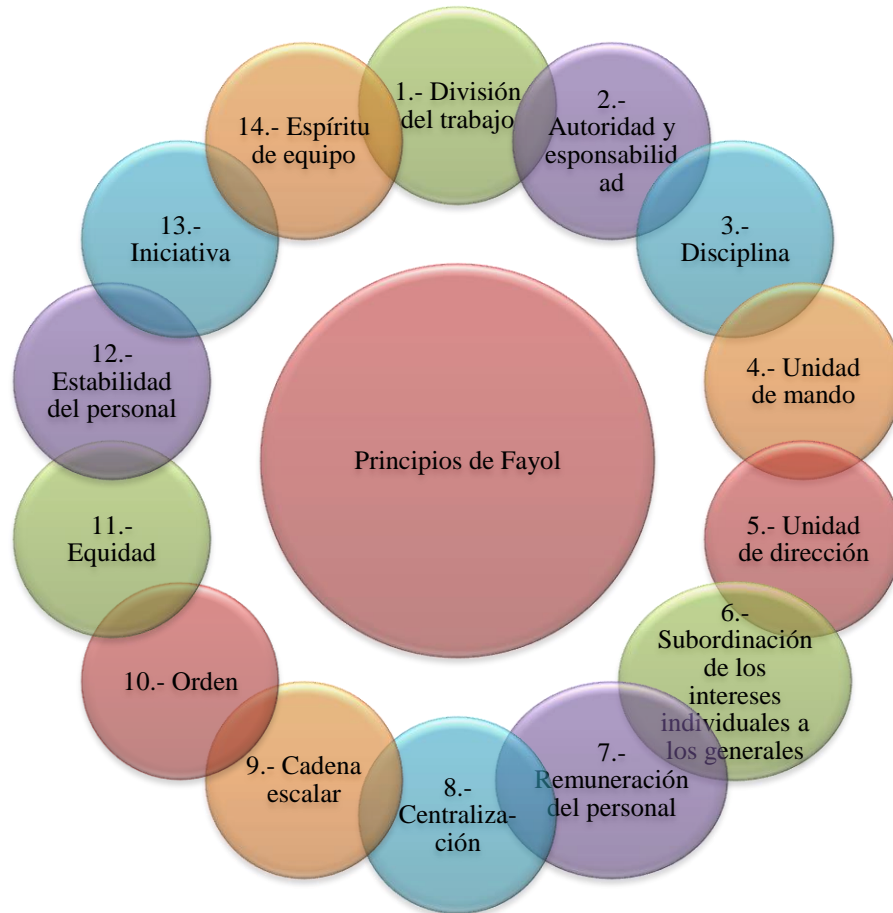


Figura I.3. Principios básicos de la teoría de Fayol (Chiavenato,2006).

Fayol hace énfasis en el trabajo de equipo para que la empresa cumpla con los objetivos, si los empleados trabajan en un ambiente de armonía, con sueldos de acuerdo con la capacitación y especialización de los trabajos que realizan se tendrá más eficiencia en su producción.

En la segunda década del siglo XX surge el Enfoque Humanista de la Administración, durante este periodo se deja de ver a la empresa como un conjunto y se le da la importancia a las personas y a los grupos sociales. Se enfoca principalmente en la psicología del trabajo.

Algunos autores de este enfoque son:

1. Hugo Münsterberg (1863-1916). Introduce la Psicología aplicada a las organizaciones y el empleo de los test para selección de personal.
2. Ordmy Tead (1860-1933). Pionero en tratar la orientación democrática en la administración.

3. Maro Parker Follett (1868-1933). Promueve la corriente Psicológica en la Administración.
4. Chester Barnard (1886-1961). Se enfoca en la teoría de la cooperación en la organización.

El objetivo de este enfoque era humanizar a las empresas, que los dueños se preocuparan por sus trabajadores, demostrando que el bienestar emocional y psicológico generaba mejores resultados, mayor productividad y por lo tanto mayores ganancias a los empresarios. El lenguaje cambió, se comenzó a hablar de motivación, liderazgo, comunicación, etcétera.

A comienzos de la década de 1950, Peter Drucker retoma los postulados de Taylor y Fayol, y nace el enfoque Neoclásico de la administración (Chiavenato, 2006). Este nuevo enfoque se basa en los siguientes fundamentos:

1. La administración es un proceso operacional, compuesto de funciones como planeación, organización, dirección y control.
2. Dado que la administración abarca diversas situaciones empresariales, requiere fundamentarse en principios de valor predictivo.
3. La administración es una ciencia que, como la medicina o la ingeniería, debe apoyarse en principios universales.
4. Los principios de la administración son verdaderos, al igual que los de las ciencias lógicas y físicas.
5. La cultura y el universo físico y biológico afectan el ambiente del administrado.

1.2 CONCEPTOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

El término administración admite varias definiciones, depende del enfoque que tome el autor, sin embargo, todas tienen puntos en común, a continuación, se presentan algunas (Quijano,2012):

1. Fayol: La administración como el acto de planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar. (Chiavenato, 2006).
2. Idalberto Chiavenato: La administración es el proceso de planear, organizar, dirigir y controlar el uso de los recursos para lograr los objetivos organizacionales (Chiavenato, 2004).

3. Robbins y Coulter: La administración es la coordinación de las actividades de trabajo de modo que se realicen de manera eficiente y eficaz con otras personas y a través de ellas (Robbins y Coulter, 2005).
4. Hitt, Black y Porter: La administración como el proceso de estructurar y utilizar conjuntos de recursos orientados hacia el logro de metas, para llevar a cabo las tareas en un entorno organizacional (Hiit, Black y Porter,2006).
5. Reinaldo O. Da Silva: La administración es un conjunto de actividades dirigido a aprovechar los recursos de manera eficiente y eficaz con el propósito de alcanzar uno o varios objetivos o metas de la organización (Da Silva, 2002).
6. Jorge Quijano Valdez: Es el proceso de planificar, organizar, dirigir y controlar el uso de recursos y las actividades de trabajo con el propósito de lograr los objetivos o metas de la organización de manera eficiente y eficaz (Quijano, 2012).

Los autores coinciden en que el proceso de administrar se divide en cinco partes fundamentales:

1. Proceso de planear, organizar, dirigir y controlar:
 - a. Planificación
 - b. Organización
 - c. Dirección
 - d. Control
2. Uso de recursos
3. Actividades de trabajo
4. Logro de objetivos o metas
5. Eficiencia y eficacia.

El objetivo de la administración general es realizar una tarea, con el menor consumo de recursos (materiales, costos, mano de obra, etc.), en cambio la administración de proyectos se orienta a gestionar emprendimientos de carácter finito y con objetivos específicos, los que una vez cumplidos determinan su finalización (Lledó, P., & Rivarola, G., 2007).

En la industria de la construcción se trabaja con proyectos, por lo que es importante comenzar con describir a que se refiere un proyecto.

1. Un proyecto se define como un esfuerzo para lograr un objetivo en específico por medio de una serie particular de tareas interrelacionadas y el uso eficaz de los recursos (Gido, J. & Clements, J.).
2. Un proyecto como esfuerzo complejo, usualmente de duración menos a tres años, hechos de tareas interrelacionadas y ejecutado por varias organizaciones funcionales, con un objetivo, un calendario y un presupuesto bien definidos (Archibald, 2003).
3. Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único (PMI, 2017).

Los autores coinciden en que un proyecto es temporal, es decir, tiene una fecha de inicio y una de término, por esta razón la administración es muy importante para poder cumplir con los objetivos del proyecto. El proceso de administración comienza con la etapa de planeación, y una de las primeras actividades que se realizan es redactar las especificaciones o alcances que tendrá el proyecto ya que en ellos establecen los acuerdos de la calidad del producto final, cuando no se tiene claro este punto se pueden tener ambigüedades.

Todo proyecto tiene tres restricciones, el administrador determinará que variable tendrá más importancia dentro del proceso, teniendo en cuenta que afectará en positivo o negativo a las demás (Figura I.4) cuando los alcances no se definen, generalmente los costos se incrementan al realizar cambios o retrabajos, afectando directamente en el tiempo de entrega que se tenía programado.

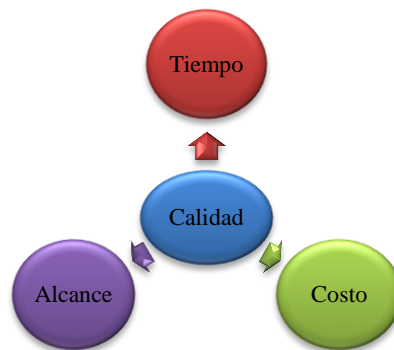


Figura I.4. Restricción triple (Lledó, Rivarola, 2007).

1.3. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI).

Project Management Institute (PMI) es una organización sin fines de lucro fundada en 1966 con el propósito de promover la práctica, la ciencia y la profesión de la Gerencia de Dirección de

Proyectos. *PMI* desarrolló y publicó la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del *PMBOK*), en ella se describen prácticas tradicionales e innovadoras, las cuales pueden adaptarse a casi cualquier tipo de proyecto. No es considerada una metodología, si no un conjunto de herramientas que sirven para desarrollar una serie de metodologías a partir de las prácticas que describen.

Los proyectos son considerados únicos, en algunas ocasiones se utiliza un proyecto para desarrollarlo más de una vez, sin embargo, existen factores como el clima, la topografía del lugar, ubicación del proyecto, entre otros, que hacen que el proyecto tenga modificaciones para poder ser funcional. Por esta razón es importante desarrollar una correcta dirección del proyecto, ya que con la ayuda de herramientas que menciona el *PMI*, se implementan estrategias que ayudan a cumplir con los objetivos. Con base a la Guía *PMBOK* una correcta Dirección en los Proyectos nos presenta los siguientes beneficios (Figura I.5).

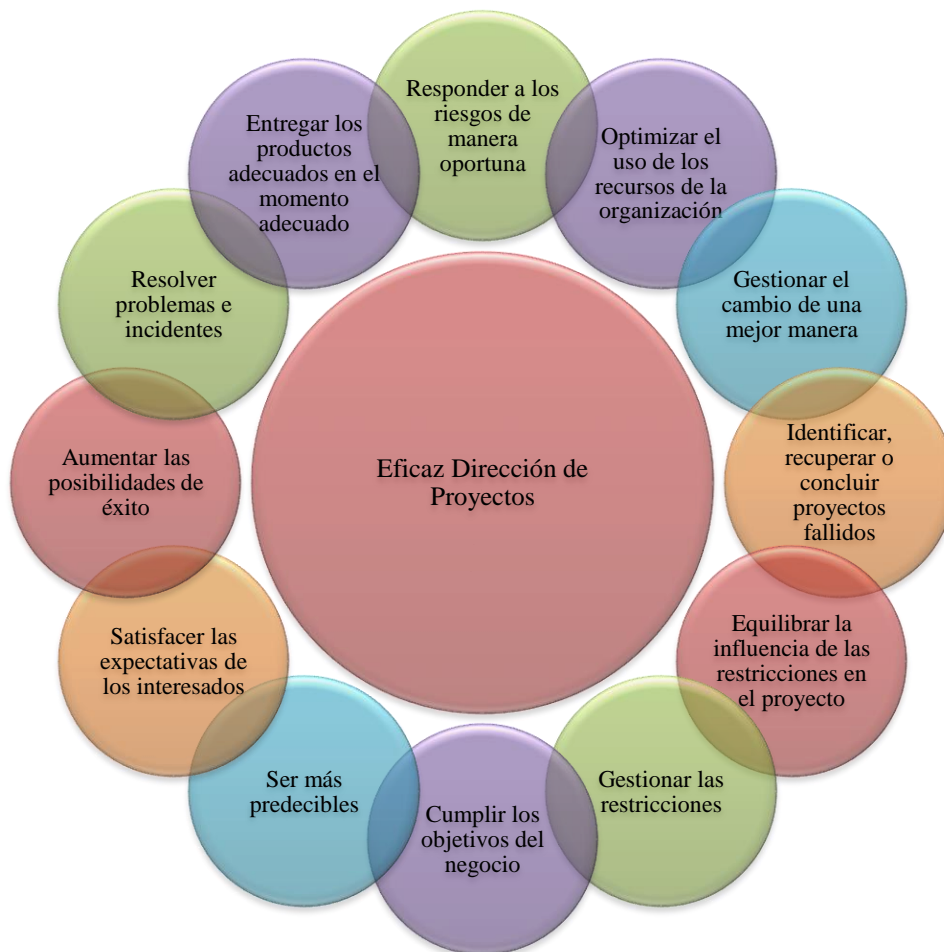


Figura I.5. Correcta Dirección de Proyectos (*PMI*, 2017).

En caso contrario, cuando la dirección es deficiente o no existe, los objetivos y alcances descritos en la etapa de planeación, difícilmente se alcanzan (Figura I.6). Los errores que se presentan con más frecuencia son:

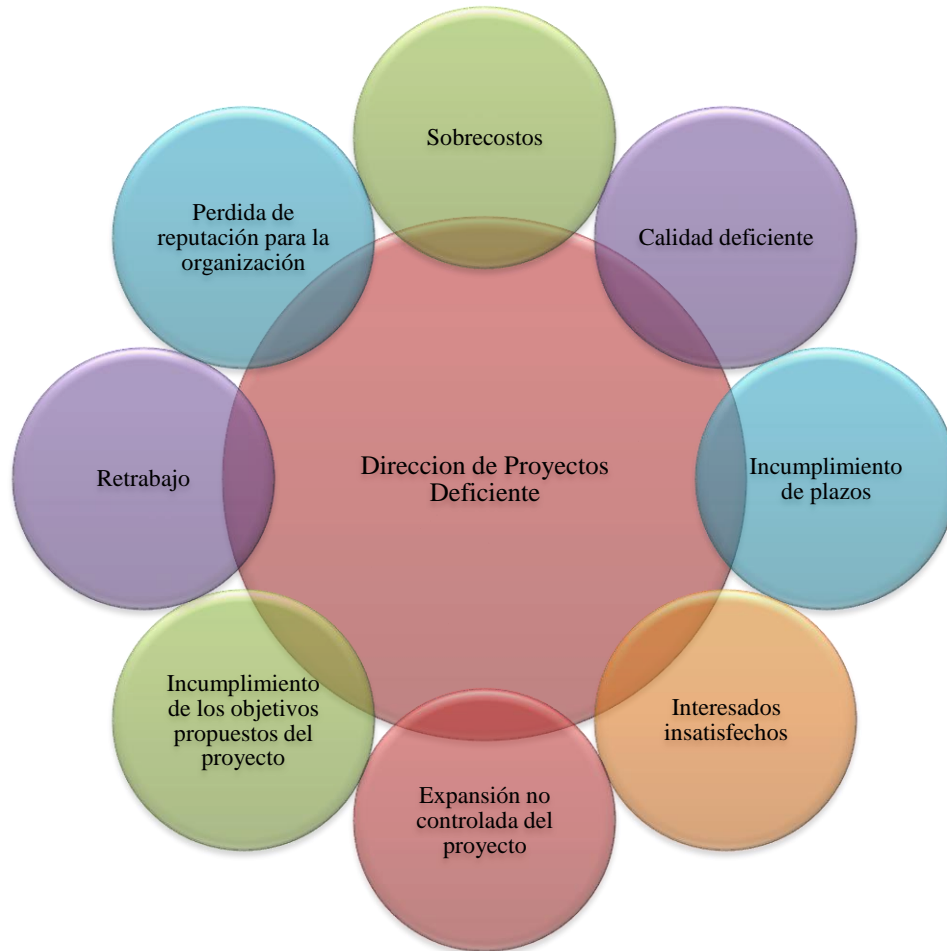


Figura I.6 Dirección deficiente (PMI, 2017).

La administración comienza con el desarrollo de un cronograma de proyecto, el cual está integrado por otras actividades, una de ellas es la etapa de planeación en donde se identifican los trabajos que se van a realizar y los recursos que va a consumir cada una de las actividades. Metodologías como CPM, Gantt, PERT, etcétera, son utilizadas en esta etapa, cada una de ellas ofrece herramientas que facilitan el manejo de información (figura I.7), las metodologías ofrecen grandes ventajas, sin embargo, la experiencia y conocimientos que tenga el responsable del proyecto serán un factor importante en el desarrollo de las estrategias.

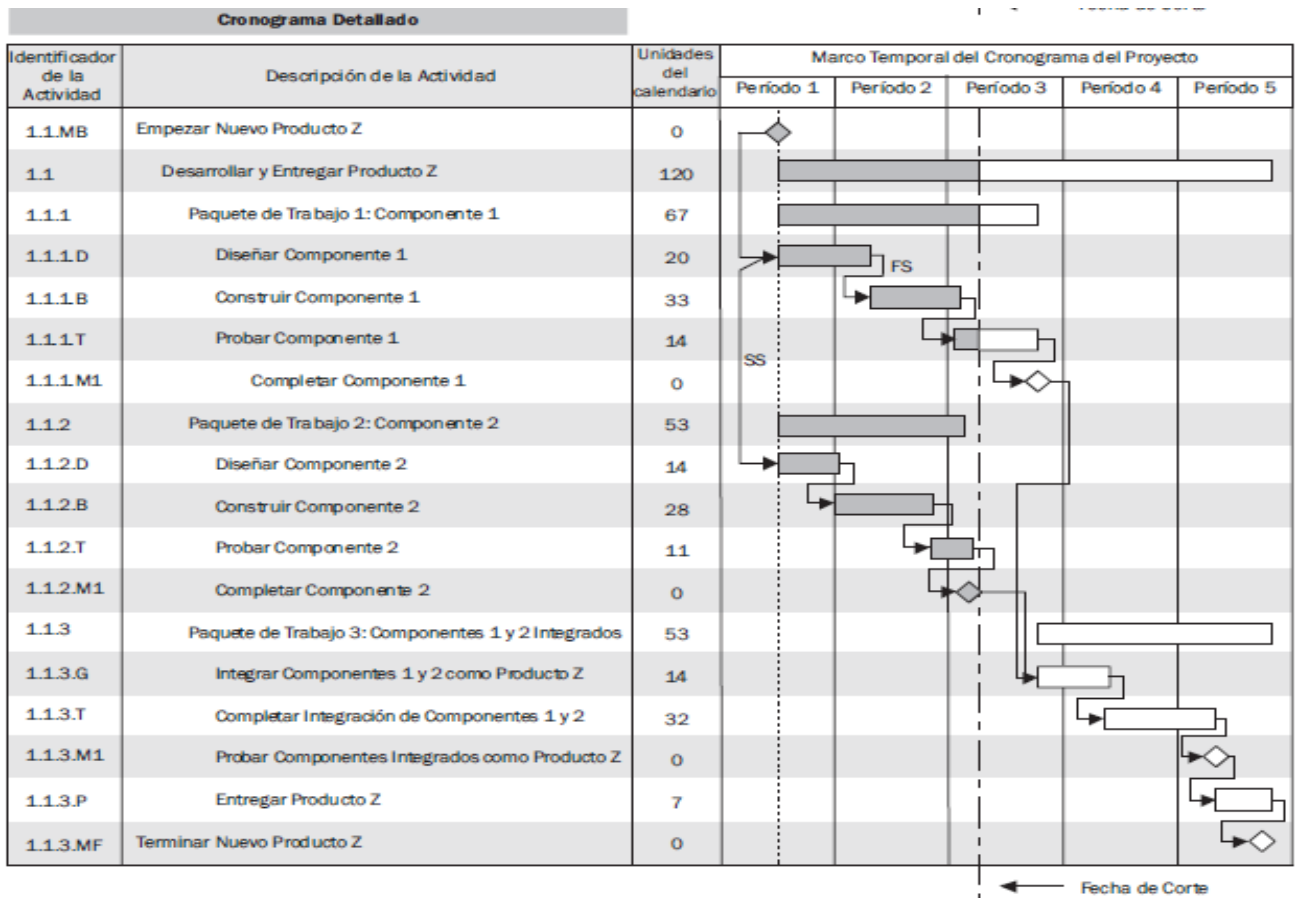
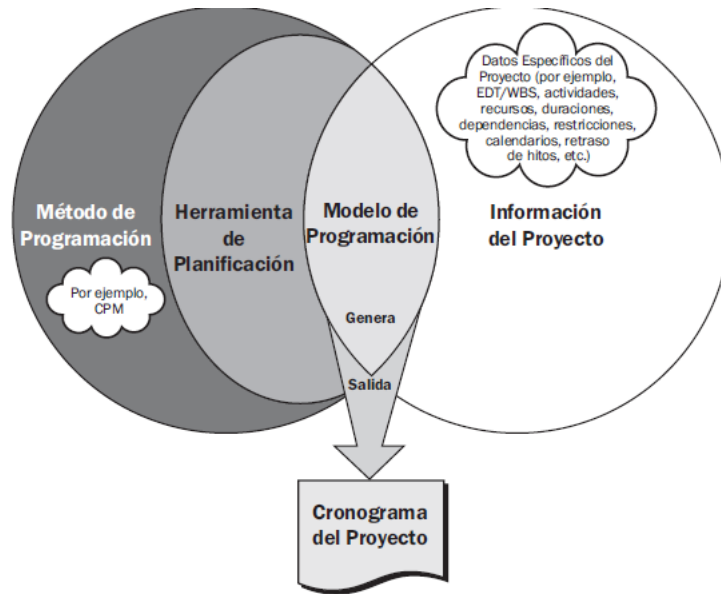


Figura I.7.Descripción General de la Planeación (PMI, 2017).

1.4. LA PLANEACIÓN EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

El proceso de administración de proyectos consta de varias etapas (figura I.8), la primera es la etapa de planeación, es de las más importantes debido a que de ella depende en gran medida el éxito o fracaso de un proyecto.

En la industria de la construcción se tienen proyectos para construcción de viviendas, puentes, hospitales, drenajes, etcétera, la diversidad y complejidad de cada uno de ellos hacen indispensable el control adecuado de los recursos para cumplir con los objetivos que se hayan planteado.

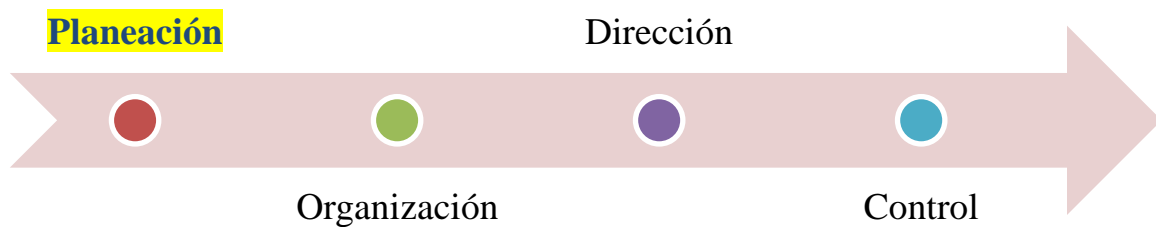


Figura I.7. Etapas de la Administración (Quijano Valdez, 2012).

Durante esta etapa se toman decisiones anticipadas, el administrador debe de pensar en los trabajos y posibles problemas que se pueden presentar, con base a su experiencia puede dar soluciones. Este proceso debe actualizarse conforme va avanzando el proyecto, es decir, se adapta a las necesidades que surgen durante la construcción.

A lo largo de la historia de la administración se han desarrollado herramientas y metodologías que ayudan en el proceso de planeación, algunas de ellas son:

1. Barras de Gantt
2. Método de la Ruta Crítica (CPM)
3. *Program Evaluation and Review Technique* (PERT)
4. *Lean Construction*
5. *Building Information Modeling* (BIM)

Las metodologías ofrecen a los administradores estrategias que ayudan a desarrollar una adecuada planeación, algunas ofrecen herramientas que permiten mostrar la información de una forma simple y fácil de entender, en cambio otras ayudan a tener un mejor control de los recursos, por esta razón es muy común encontrar proyectos en los que se utiliza más de una metodología, sin embargo, en México pocas empresas las utilizan, algunas por desconocimiento, otras argumentan que es una pérdida de tiempo.

Para que la etapa de planeación sea eficiente, el administrador se debe de hacer una serie de preguntas:

1. ¿Qué se debe hacer?: Alcance, entregables.
2. ¿Cómo se hará?: Actividades, secuencia.
3. ¿Quién lo va a hacer?: Recursos, responsabilidad.
4. ¿Cuánto tiempo tomará hacerlo?: Duración, programa.
5. ¿Cuánto dinero costará?: Presupuesto
6. ¿Cuáles son los riesgos?: Identificar fuentes de riesgo.

El plantearse este tipo de preguntas, se piensa en todos los aspectos que incluyen el desarrollo de un proyecto. Al tener conocimiento de todas las actividades que integran el mismo, es más fácil poder coordinar a proveedores, contratistas, materiales, etcétera. En la Figura I.9 se plantea un ejemplo de las áreas que participan en el desarrollo de un proyecto, cuando alguna de las áreas tiene retraso en la ejecución de sus trabajos, afectará directamente a las demás.

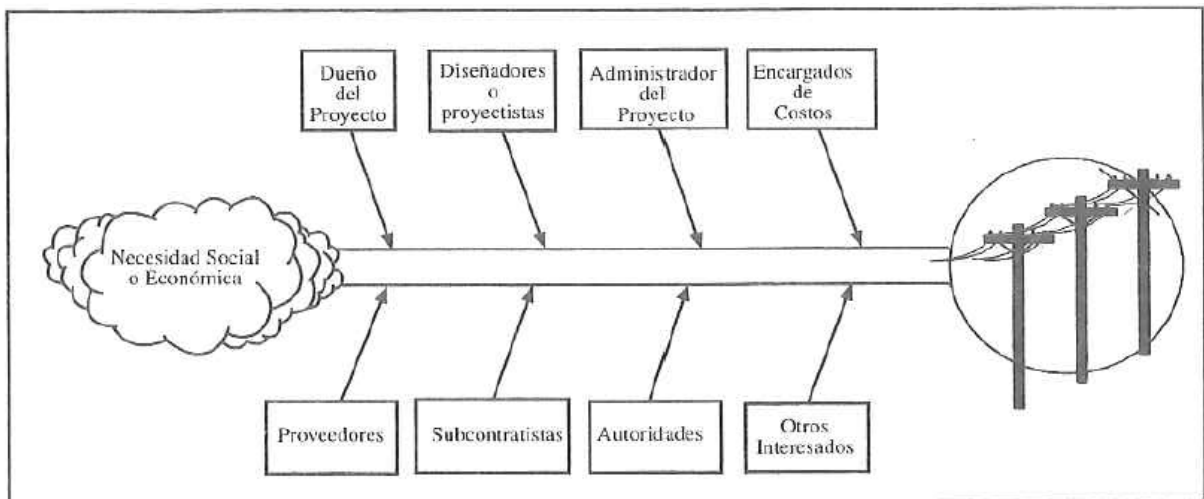


Figura I.9. Participantes en un Proyecto de Construcción (Serpell & Alarcón, 2015).

Todos los proyectos tienen un ciclo de vida (figura I.10), que son una serie de fases que se integran por diferentes actividades. Antes de iniciar un proyecto es necesario hacer un estudio de factibilidad para garantizar que su construcción no tendrá restricciones, una vez aprobado el proyecto, se desarrolla la etapa de planeación, posteriormente su construcción y termina con la entrega del proyecto.

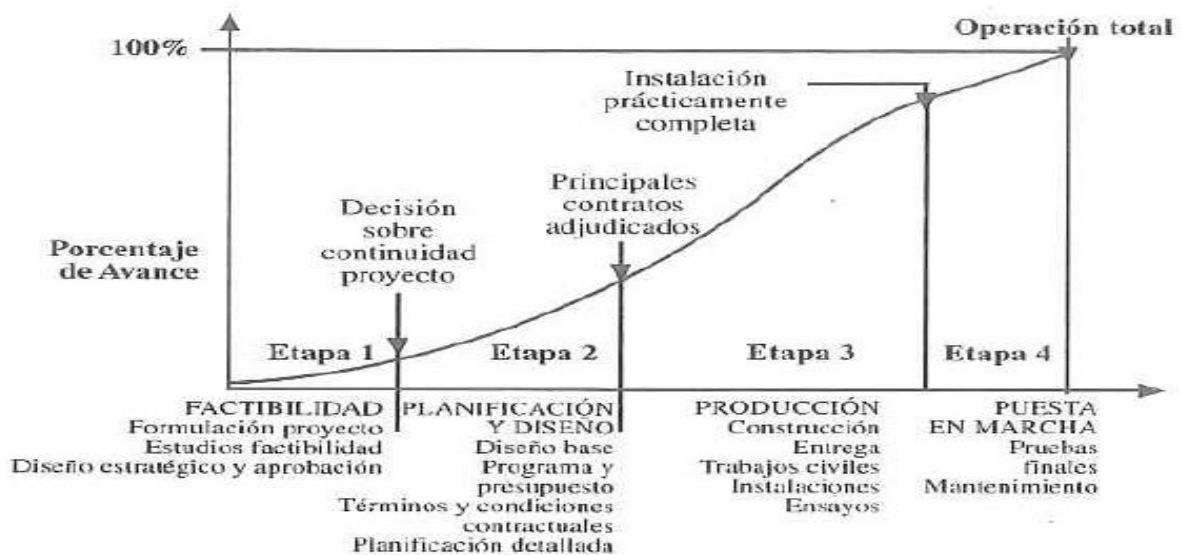


Figura I.10. Ciclo de vida de un Proyecto de Construcción (Serpell & Alarcón, 2015).

Cada proyecto cuenta con una cantidad de recursos limitados, estos dependen de los alcances y especificaciones del proyecto, por lo que, es importante desarrollar una planeación de los trabajos antes de comenzar con la construcción, los entregables de esta etapa son: proyecto completo, presupuestos, calendarios de utilización de recursos, permisos, etcétera.

La siguiente etapa es la construcción del proyecto, la correcta ejecución dependerá de la cantidad de información que se haya entregado en la etapa previa, cuando los cambios de proyecto se realizan en esta etapa, tendrán un mayor costo que los cambios realizados en la planeación. En la figura I.11 se muestran dos líneas, una de ellas representa el riesgo y la otra línea representa el costo de los cambios que se realizan en la etapa de construcción, algunas observaciones son:

- Los cambios que se desarrollen al proyecto en etapas tempranas tendrán un menor costo, en comparación a los cambios que se realicen en las etapas finales.

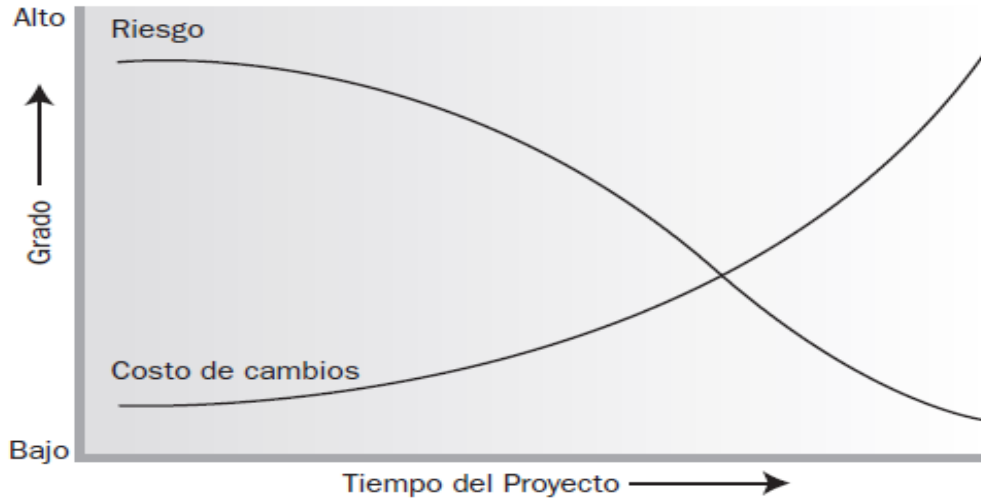


Figura I.11. Impacto de las Variables en el Tiempo (PMI, 2017).

- Los riesgos que se toman en etapas tempranas son altos, ya que se basa en la experiencia del administrador, en cómo piensa que se va a desarrollar el proyecto. Esos riesgos disminuyen conforme avanza el proyecto y se van cumpliendo metas de acuerdo a lo programado (figura I.12).

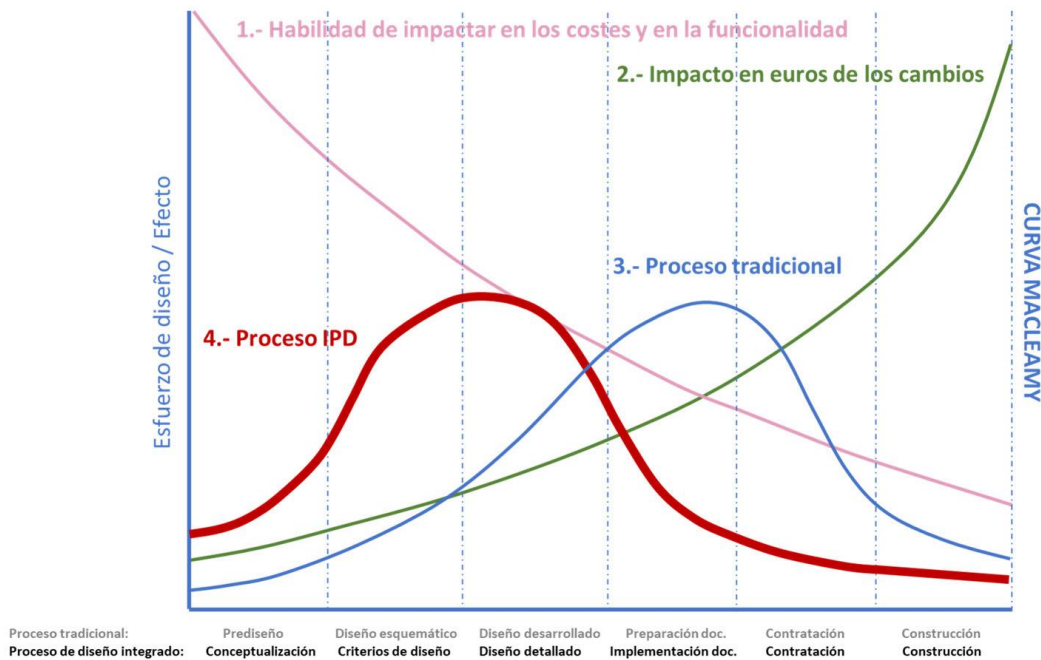


Figura I.12. Curva *MacLeamy* (BuildingSMART, 2020).

La planeación de proyectos se basa en un conjunto de procesos que se relacionan entre sí para cumplir las metas que se plantean en cada proyecto. La Guía de PMBOK divide los procesos en

cinco rubros: Gestión de alcance, cronograma, costos, riesgos y recursos (figura I.13). Cada una de las etapas tiene un entregable que sirve para generar la información del siguiente proceso hasta completar los cinco rubros. En algunos proyectos se ha detectado que no se cumplen todos los procesos, por lo que la información presentada está incompleta.



Figura I.13. Grupo de Procesos de la Planeación (PMI, 2017).

✚ PLANEACIÓN DE PROYECTOS EN MÉXICO

Un estudio realizado en Yucatán, México (González, J.A.; Solís, R.; Alcudia, C., 2010) reportó que muchas empresas ejecutan sus obras con deficiente planeación. El 78% de las empresas realiza trabajos de planeación dentro de sus actividades y solo el 39% de estas indico que tienen un grupo especializado para la planeación de proyectos.

Las empresas que no cuentan con ese grupo especializado, los trabajos de planeación son realizados por el gerente general o el encargado de la ejecución de los trabajos. Otro dato que surgió del estudio es que muchas de las empresas que realizan planeación, lo hacen con diagramas de barras, un método que no considera tiempos, ni consumo de recursos en las diferentes etapas.

El tema de los sobrecostos en las obras es recurrente y los factores son muchos, sin embargo, se ha demostrado que cuando se lleva una planeación eficiente, los sobrecostos se pueden mitigar. Por eso la importancia de tomarse el tiempo para desarrollar la etapa de planeación en donde lo importante es tener un proyecto completo, en donde los alcances se hayan definido, esto ayudará a evitar retrabajos por cambio de proyecto, es importante tener en cuenta la curva MacLeamy (figura I.12), en donde está claro el alto costo que representan estos cambios.

Recapitulando, la administración general se basa en la dirección de todas las actividades que tienen que ver con una organización, actividades que permiten el correcto funcionamiento de la misma. Las actividades se realizan de forma continua, el proceso se aplica a cualquier empresa, sin importar el giro al que pertenezca, estas actividades permiten llevar un control de la empresa, medir resultados y proporcionar información necesaria para la toma de decisiones.

Es importante tener en cuenta que la administración de proyectos se basa en los fundamentos de la administración general: Planeación, organización, dirección y control. La diferencia radica en que un proyecto tiene un tiempo determinado para ser entregado, por lo que cada una de las etapas se aplica para cumplir con el objetivo de entregar a tiempo, con la calidad indicada en las especificaciones y con el menor gasto de recursos.

El presente trabajo se enfoca en la administración de proyectos en la construcción y específicamente en la etapa de planeación, se considera que es la base para que los objetivos se cumplan ya que es en este proceso en donde se establecen los objetivos, para que estos se cumplan es indispensable que los alcances sean claros y así evitar cambios en la etapa de construcción que generen sobrecostos.

En el capítulo II se hace una descripción de las metodologías más utilizadas en la industria de la construcción, cada uno cuenta con herramientas que facilitan el proceso de administrar un proyecto, algunas de estas metodologías son:

1. Diagramas de Gantt,
2. CMP,
3. PERT,
4. Pareto,
5. *LEAN Construction*

CAPITULO II

METODOLOGÍAS PARA LA PLANEACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.

“La Tecnología, como el arte, es un ejercicio altísimo de la imaginación humana”

Daniel Bell

A través del tiempo se han desarrollado metodologías que permiten llevar de una manera más efectiva el proceso de administración de proyectos, los primeros que se utilizaron identificaban las actividades de los procesos, organizaban la información y la mostraban por medio de barras, de esta forma era fácil de entender, con el paso del tiempo, las metodologías desarrollaron herramientas que permitieron llevar un mejor control de los insumos, las actividades ya contaban con información de costo y tiempo de ejecución, actualmente se han desarrollado metodologías que se apoyan en herramientas tecnológicas y filosofías que permiten optimizar los procesos. El desarrollo de metodologías ha evolucionado, haciendo más eficientes los procesos de administración en la construcción (Figura II.1).

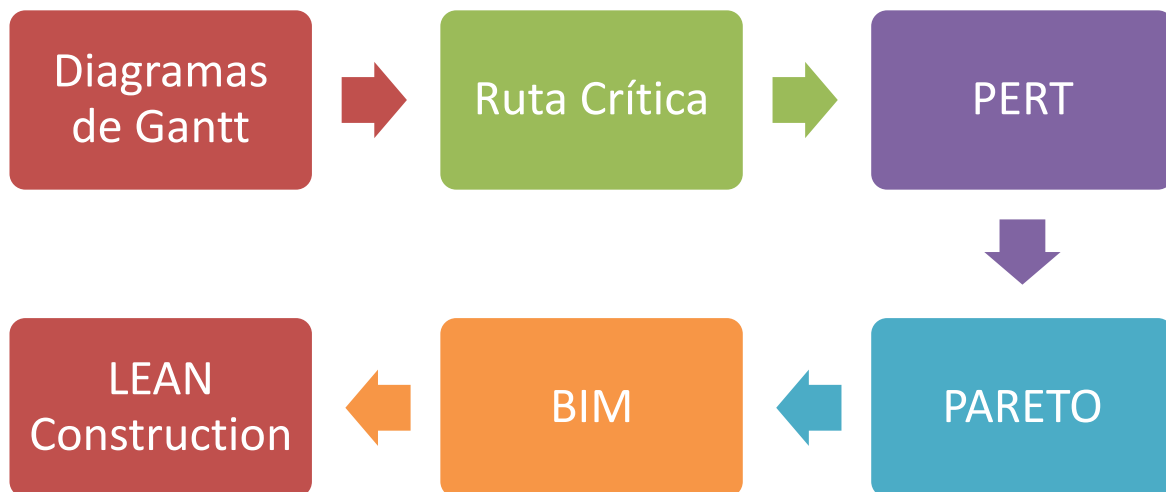


Figura II.1. Metodologías para la planeación de proyectos (Autoría propia).

2.1 DIAGRAMAS DE GANTT

Esta metodología fue desarrollada por Henry Gantt en el año 1900, consiste en realizar una lista de actividades, identificar cuáles son las principales y finalmente asignarles una duración. La información obtenida se representa por medio de barras cuya longitud depende de la duración de

2.2 MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA (CPM, *CRITICAL PATH METHOD*)

El método de Ruta Crítica (CPM) es un sistema de programación y control que permite conocer las actividades que definen la duración de un proceso productivo (Suárez, 2002). Esta metodología utiliza diagramas lógicos para representar sus análisis, característica similar a metodologías como PDM (*Precedence Diagramming Method*) y el PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). En México *el Critical Path Method* (CMP) ha sido usado desde 1961 por la Secretaría de Obras Públicas para la construcción de edificios, y desde 1962 por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para controlar las grandes obras de electrificación que se realizan en el país.

Uno de los diagramas utilizados en este método, es el conocido como red de flechas (figura II.3), cada una de las flechas indican las actividades involucradas y apuntan hacia el objetivo, esta red también es conocida como red de mallas o red de actividades.

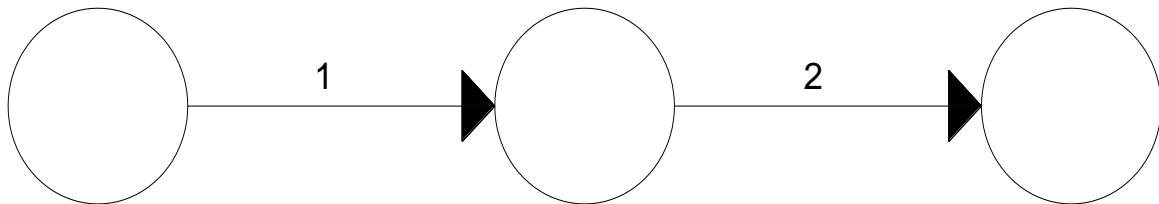


Figura II.3. Representación de red de flechas. (Hernández, 1997)

Las actividades que se representan, son los trabajos o tareas desarrolladas en el proceso constructivo, es decir, son todas aquellas que consumen insumos (materiales, obra de mano, maquinaria y herramienta) y desgaste de equipo. La longitud de la flecha no es proporcional con la duración, por lo que todas pueden ser del mismo tamaño y la nomenclatura es la que cambia (figura II.4).

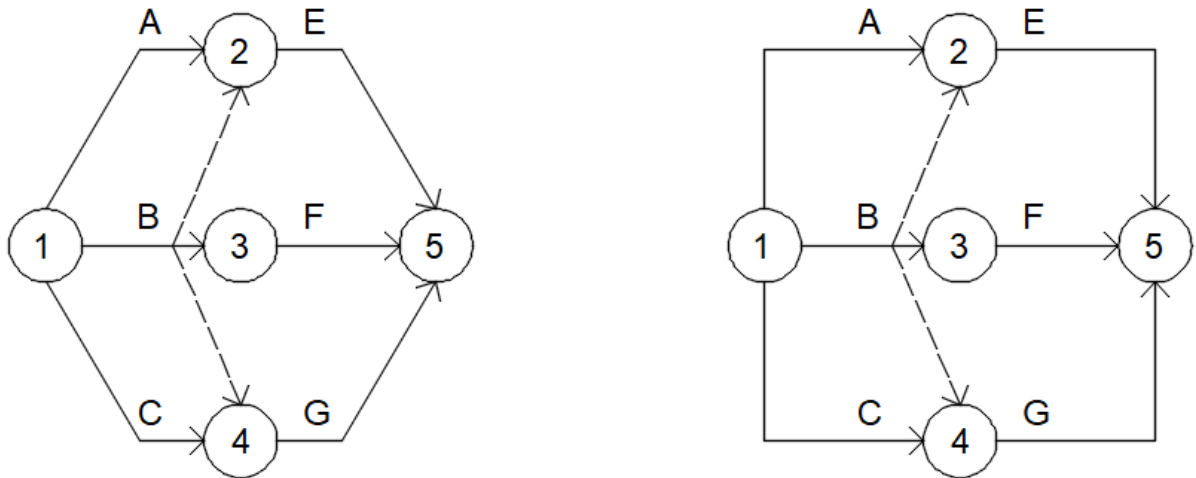


Figura II.4. Formato de dibujo de los diagramas de flechas (Serpell & Alarcón, 2015).

Dentro de la red se encuentran actividades que se desarrollan de forma simultánea, por lo que es necesario representar actividades fantasmas, las cuales ayudan a unir las a un nodo y así poder cerrar la red. Estas actividades no consumen ningún tipo de recurso y se representan por medio de líneas punteadas, se pueden utilizar en los siguientes casos:

- Cuando hay concurrencia de dos o más actividades con eventos comunes, provocan confusión de su identidad.
- Consiste en la liberación de una actividad que se aparta del proceso y solamente se puede expresar utilizando la actividad fantasma, algunos autores la llaman el ajustador lógico.

Los círculos de la red representan los eventos, que son puntos de partida y llegada de una actividad o bien de los tiempos límite, también conocidos como nodos. Cuando se le ha asignado la duración a cada actividad del proceso, se analiza el tiempo que consume cada una, aquellas que necesiten mayor lapso de tiempo para llegar hacia la meta, se le designa Ruta Crítica. La metodología CMP interviene en todo el proceso de administración de proyectos, principalmente en las etapas de planeación, programación y control.

La etapa de planeación consiste en describir las actividades que intervienen en la ejecución del proyecto, representando los resultados mediante redes lógicas. El procedimiento es el siguiente:

1. Lista de Actividades: Se debe de realizar una lista de todas las actividades involucradas en el proceso, haciendo caso omiso de la secuencia de ejecución, lo importante es que no falten actividades (tabla II.1).

2. Tabla o matriz de secuencias: Es una forma tabular donde se indica la secuencia y terminación de un proceso, se determina la secuencia lógica de las actividades tomando en cuenta las siguientes consideraciones.
 - a) Limitación de espacio.
 - b) Limitación de recursos.
 - c) Limitación de responsables.
 - d) Inmediata anterior.
 - e) Simultánea.
 - f) Inmediata posterior.

3. Dibujo de diagramas.
 - a) Actividades reales.
 - b) Actividades ficticias

Tabla II.1

Lista de Actividades y tabla de secuencias (Suárez Salazar, 2007)

| No. | Actividad | Anterior | Simultánea | Posterior |
|-----|-----------|----------|------------|-----------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Posteriormente se lleva a cabo el proceso de programación, con la información presentada en los diagramas, se elaboran gráficas o tablas en donde se indican los tiempos de inicio y terminación de cada actividad (figura II.5).

1. Valuación de tiempos (Tabla de tiempos). - puede ser por jornadas, días, horas, etcétera.
2. Obtención de la ruta crítica (Tabla de holguras). - Se determina con las actividades cuyas holguras son 0 (cero).
3. Análisis y reducciones. - Las actividades que tienen Holguras (Total, libre, independiente) permiten hacer modificaciones.

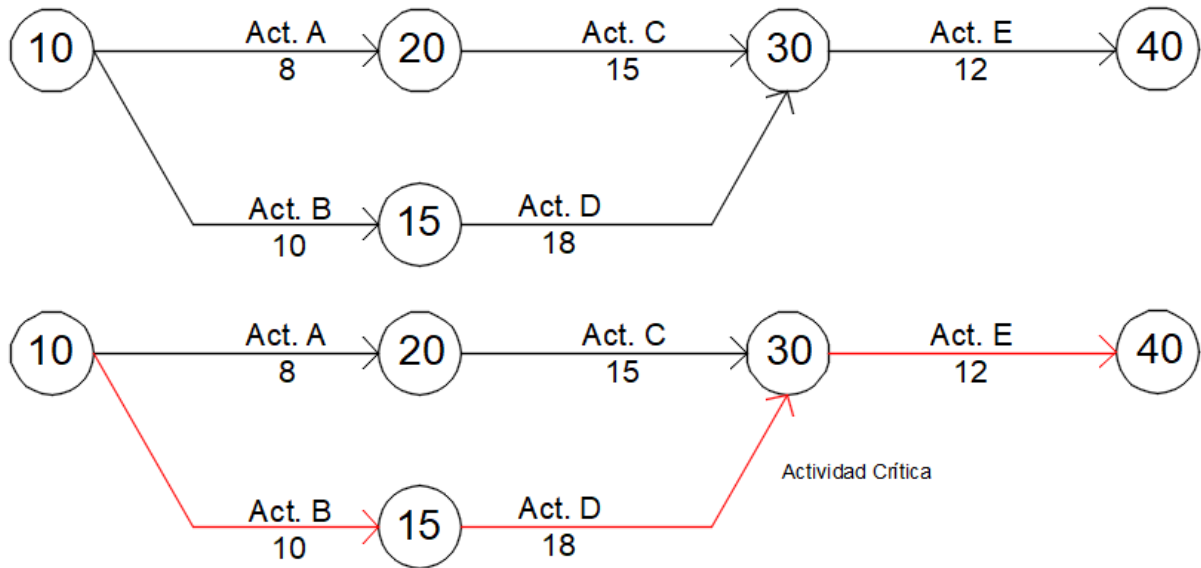


Figura II.5. Red de flechas y Ruta crítica (Serpell & Alarcón, 2015).

Durante la etapa de construcción del proyecto, el control se lleva a cabo con la ayuda de las tablas o gráficas desarrolladas en la etapa de programación, las actividades que se retrasan o adelantan pueden tener consecuencias, si el control es adecuado permite tomar decisiones sobre la ejecución de los trabajos. La etapa de planeación es fundamental, ya que en ella se analiza el proyecto, alcances y especificaciones claras, a partir de ellas se puede determinar la lista de actividades.

Entre las ventajas de la metodología CMP se encuentran:

1. Analizar los recursos disponibles para realizar las actividades y con base en esa información se determinan las duraciones.
2. El cálculo de Holguras permite identificar con exactitud las actividades críticas y las que pueden retrasar su inicio sin afectar la duración total de la obra.


La desventaja que se puede encontrar es que el desarrollo depende de la experiencia del administrador o responsable del proyecto, los rendimientos que se proponen para la realización de cada actividad, determinan las duraciones de la ruta crítica.

2.3 PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE (PERT)

Existen proyectos que al realizar la planeación se identifica que cuenta con incertidumbre, en estos casos es necesario utilizar un método probabilístico, con los cuales se obtendrán mejores resultados. Entre los principales se tiene el PERT (*Program Evaluation Review Technique*), GERT (*Graphical Evaluation Review Technique*) y el Método de Simulación. Estos métodos permiten identificar las actividades que representan el mayor riesgo. Es un método apropiado para proyectos que cuentan con actividades sujetas a variación en sus duraciones, es decir, que hay incertidumbre en la realización de las mismas (figura II.6).



Figura II.6. Método PERT (Salazar, 2019)

 **Lista de actividades**

El método PERT se basa en análisis lógico de mallas, que tiene alguna similitud con el método de la ruta crítica (CPM) y el método de procedencia (tabla II.2). Para su desarrollo se consideran tres probabilidades de duración de cada actividad:

➤ **Duración Optimista**

Duración que tendría una actividad si al realizarse las condiciones fueran favorables, es decir, cuando se realiza en el menor tiempo posible.

➤ **Duración Pesimista**

Duración que tendría una actividad si al realizarse las condiciones fueran desfavorables, esto provocaría retrasos.

➤ **Duración más Probable**

Duración que ocurre cuando el desarrollo de la actividad transcurre de forma normal, generalmente esta duración es la que se toma para el desarrollo de las actividades (figura II.7).

Tabla II.2.

Tabla de tiempos del Método PERT. (Salazar, 2019)

| Actividad | Tiempo optimista (a) | Tiempo más probable (m) | Tiempo pesimista (b) | Actividad Precedente |
|-----------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

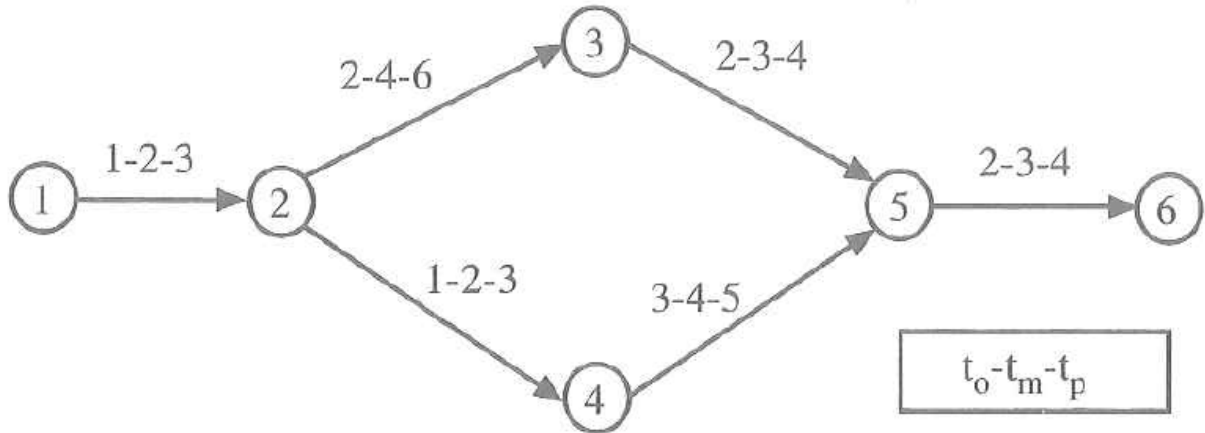


Figura II.7. Diagrama de red (duración optimista, pesimista y más probable) (Serpell & Alarcón, 2015).

🚧 Cálculo de tiempo estimado y varianza

Por ser un método probabilístico, es necesario conocer dos valores: tiempo estimado y varianza (figura II.8), los cuales se obtienen mediante las siguientes fórmulas.

- ✓ Cálculo de tiempo estimado (Duración promedio) y la varianza.

$$Te = \frac{(a+4m+b)}{6} \dots\dots\dots 1$$

Donde:

Te. - Tiempo estimado

a.- Tiempo optimista

m.-Tiempo más probable

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \dots\dots\dots 2$$

Donde:

σ^2 . - Varianza

a.- Tiempo optimista

b.-Tiempo pesimista

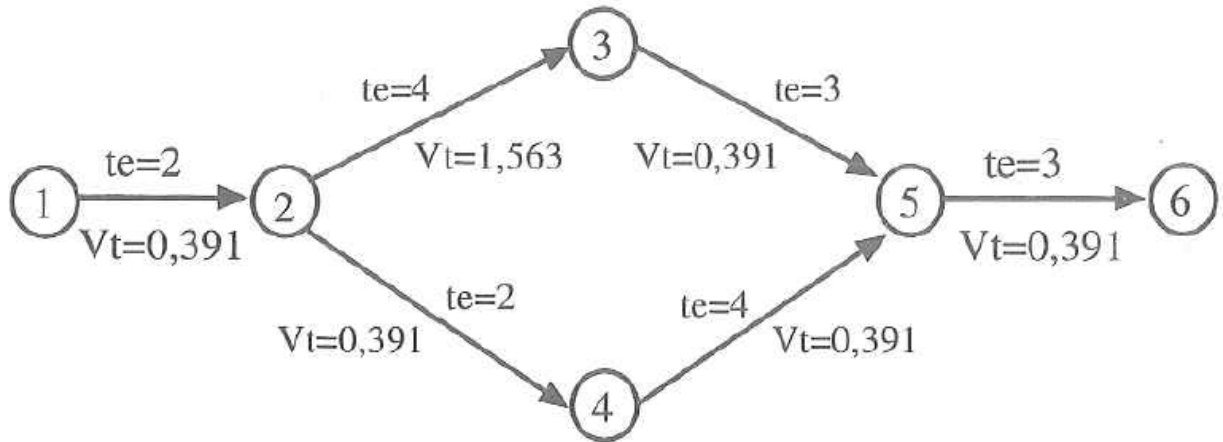


Figura II.8. Diagrama de Red (varianza y Tiempo Estimado) (Serpell & Alarcón, 2015)

Diagrama y cálculo de red

Después de realizarse los cálculos de varianza y tiempo estimado, se traza en el diagrama la ruta crítica (figura II.9), es decir, las actividades que tienen holgura 0, las cuales representan la máxima duración estimada en los trabajos.

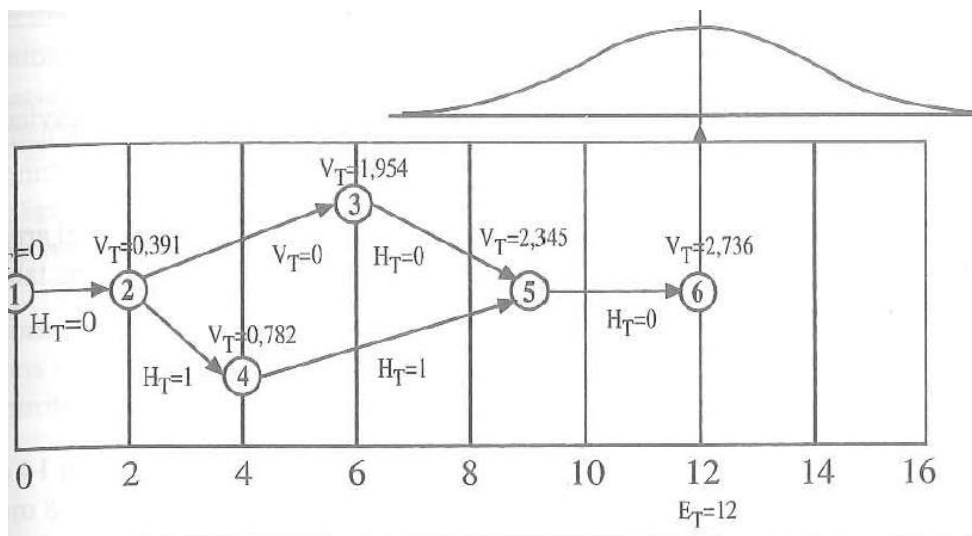


Figura II.9. Diagrama de Red (Ruta Crítica) (Serpell & Alarcón, 2015)

✚ Cálculo de varianza, desviación estándar y probabilidades

Una vez determinada la ruta crítica, se puede calcular la probabilidad de cada una de las actividades que la forman, para ellos se realiza un análisis probabilístico.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \dots\dots\dots 3$$

Donde:

σ .- Desviación estándar

σ^2 . - varianza

2.4 LEAN CONSTRUCTION

El término *Lean* surgió en Japón en la década de 1950, fue empleada por primera vez por los ingenieros de la empresa Toyota Motor. El propósito era eliminar pérdidas y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles. En 1992 Lauri Koskela retoma esta filosofía y la implementa en la industria de la construcción, menciona que no se tiene un correcto control de las actividades y los recursos que ocupan. En 1997 se crea el *Lean Construction Institute (ILC)* por Glenn Ballard y Greg Howell.

El ILC define *Lean Construction* como una filosofía que se aplica a los proyectos de Construcción con el objetivo de optimizar los recursos y así evitar pérdidas durante su desarrollo. De acuerdo con los fundamentos de esta forma de trabajo, es posible disminuir los residuos en las obras. Se considera como un residuo todo aquello que no aporta valor al proyecto y se clasifican en siete categorías:

- Defectos
- Demoras
- Excesos de procesado
- Exceso de producción
- Inventarios excesivos

- Transporte innecesario
- Movimiento no útil de personas

El Doctor Flavio Picchi desarrollo una tesis en donde plantea que en una edificación normal el porcentaje de pérdida es del 30% (tabla II.3).

Tabla II.3.

Estimación de desperdicios en obras de edificación. (Porrás Diaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014)

| Descripción | % |
|---|------|
| Restos de Material | 5% |
| Espesores adicionales de mortero. | 5% |
| Dosificaciones no optimizadas | 2% |
| Reparaciones y retrabajos no computados en el resto de materiales | 2% |
| Proyectos no optimizados | 6% |
| Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad | 3.5% |
| Costos debidos a atrasos | 1.5% |
| Costos en obras entregadas | 5% |
| Total | 30% |

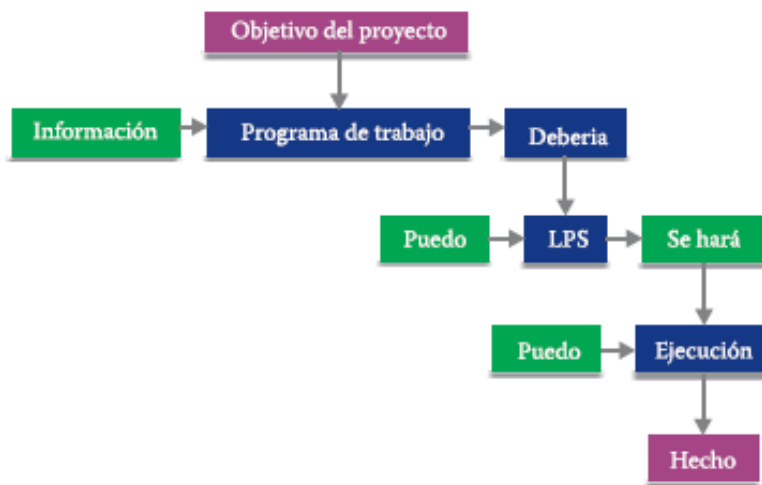
Para cumplir con los objetivos, la filosofía *Last Planner* utiliza una serie de herramientas que permiten poner en práctica la parte teórica.

1. Sistema del ultimo planificador- SUP (*Last Planner System*)

Desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell, esta herramienta permite tener un mayor control de las actividades y así reducir la incertidumbre durante el proceso. En la etapa de planeación se generan los grupos de trabajo que van a intervenir en cada proceso, de esta manera se agrega más información a la ruta crítica. En la figura II.10 se presenta el comparativo entre proceso de planeación actual y el proceso utilizando *Last Planner System*.



a) Sistema de Planeación actual



b) Sistema de Planeación Lean

Figura II.10. Sistema de Planeación (Porras Diaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Last Planner es un gran aporte en el proceso de planeación de los proyectos de construcción, no solo son pasos a seguir, sino una serie de herramientas que comienzan con el cambio en la forma de pensar de los administradores, el objetivo es tener la menor cantidad de desperdicios lo que se verá reflejado en el costo final de la obra. Cada vez más empresas adoptan este tipo de filosofías, los beneficios no solo se ven reflejados en los costos de la obra, sino en la forma que interactúan los trabajadores.

Recapitulando, la administración de Proyectos se compone de cuatro etapas: Planeación, organización, dirección y control. La etapa de planeación comienza con la concepción de la idea del proyecto, para su desarrollo encontrados diferentes metodologías como son Diagrama de Gantt, CPM, PERT y *Lean Construction*. En los proyectos se pueden utilizar más de una metodología,

todas tienen ventajas y desventajas, es responsabilidad del administrador conocerlas y elegir la mejor opción para el desarrollo de su proyecto.

En el Capítulo III se abordará el tema de la metodología *BIM*, actualmente existen países que han adoptado esta forma de trabajo, principalmente en el área de obras públicas, los resultados han sido satisfactorios. Es importante conocer los estándares internacionales, los cuales sirven de mucho apoyo a empresas que comienzan con el cambio de Cad a BIM.



Figura II.11 Esquema de trabajo tradicional (Zaje, BIM :Modelos de Información para la Construcción, 2011).

CAPITULO III

METODOLOGÍA BIM PARA PLANEACION DE PROYECTOS.

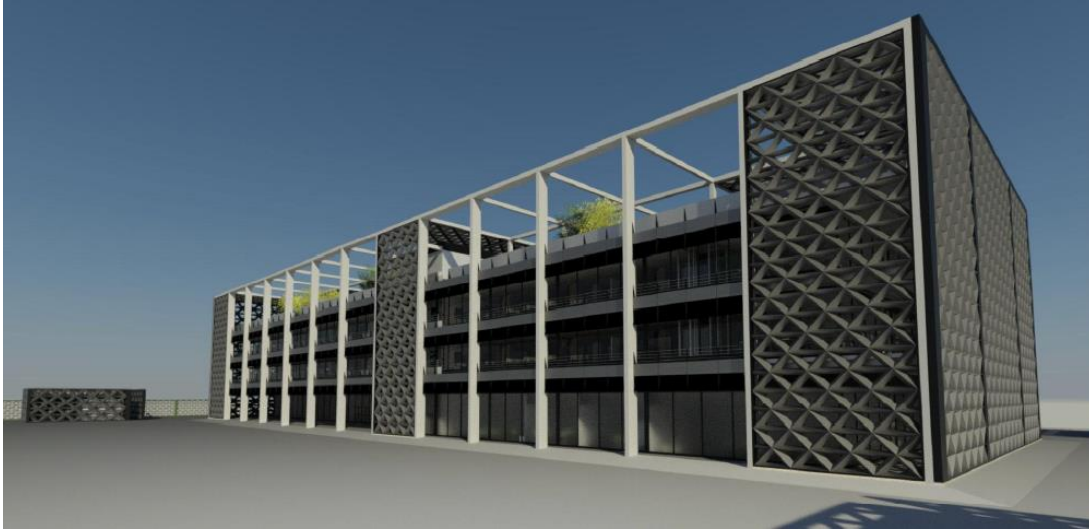


Figura III.1. Vista 3D de un modelo BIM cortesía de CREA Soluciones Inteligentes (BuildingSMART, 2020).

En la etapa de planeación de proyectos se generan muchos datos, entre ellos está la programación de recursos: materiales, mano de obra, equipo, presupuestos, planos, etcétera. Cada uno de ellos forma un conjunto de información que pocas veces se vincula entre sí y los cambios realizados durante la etapa de planeación no siempre se actualiza en todos los documentos, esto provoca que se generen más documentos de los necesarios y sobre todo que no todos los involucrados en el proyecto estén enterados de los cambios que se realizan. Con la metodología BIM (*Building Information Modeling*) los responsables de generar la información tienen interacción, por lo tanto, los cambios realizados pueden ser revisados por todos los demás en tiempo real facilitando la toma de decisiones.

3.1 ANTECEDENTES

Charles M. Eastman es considerado el padre de la metodología BIM, en su publicación *The use of computers instead of drawings in building design* (C. Eastman. AIA Journal, March 1975, EE. UU) habla sobre el concepto del modelo del edificio donde las secciones y plantas podrían derivarse del modelo 3D gracias al uso de ordenadores (González, Gámez, & Severino, 2014).

El uso de la computadora ayudó a sistematizar el proceso de representación de los proyectos, reduciendo las tareas repetitivas mediante el uso de *layers* (capas). De esta manera se tenían menos errores y a tener la información más actualizada, se trabajaban modelos 2D únicamente. Gábor Bojár fundador de la compañía *Graphisoft* desarrolla el software *Archicad* en 1987 (figura III.2) y crea el concepto de edificio virtual (*Virtual Building*). El diseño en 3D fue un gran avance para el desarrollo de proyectos, a partir de la década de 1990 se comenzó a popularizar su uso ya que permitía crear formas más complejas, con mayor precisión y calidad.

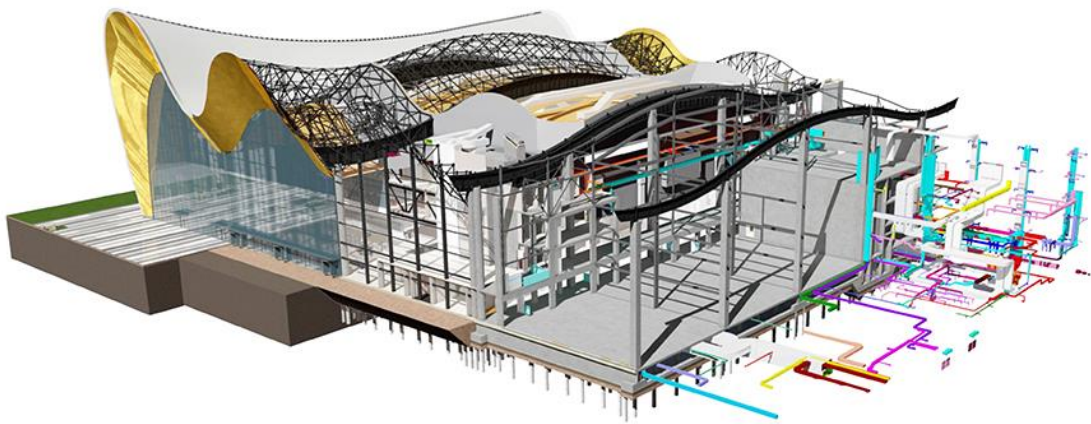


Figura III.2. Modelo realizado en Archicad (Graphisoft, s.f.).

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM

El *Building Information Modelling Task Group* del Reino Unido, publicó lo siguiente:

- ✚ BIM es esencialmente la creación de valor mediante la colaboración a lo largo de todo el ciclo de vida de un activo, apoyado en la creación, validación e intercambio de modelos 3D compartidos y con datos inteligentes y estructurados asociados a ellos.

El uso de modelos 3D es la base de la metodología, en ellos se integra toda la información necesaria para el desarrollar cada una de las etapas del proyecto (figura III.3), cada uno de los especialistas

puede trabajar su modelo, posteriormente pasará con la persona encargada de la revisión de la información, de esta forma el flujo de trabajo se hace de forma más eficiente.

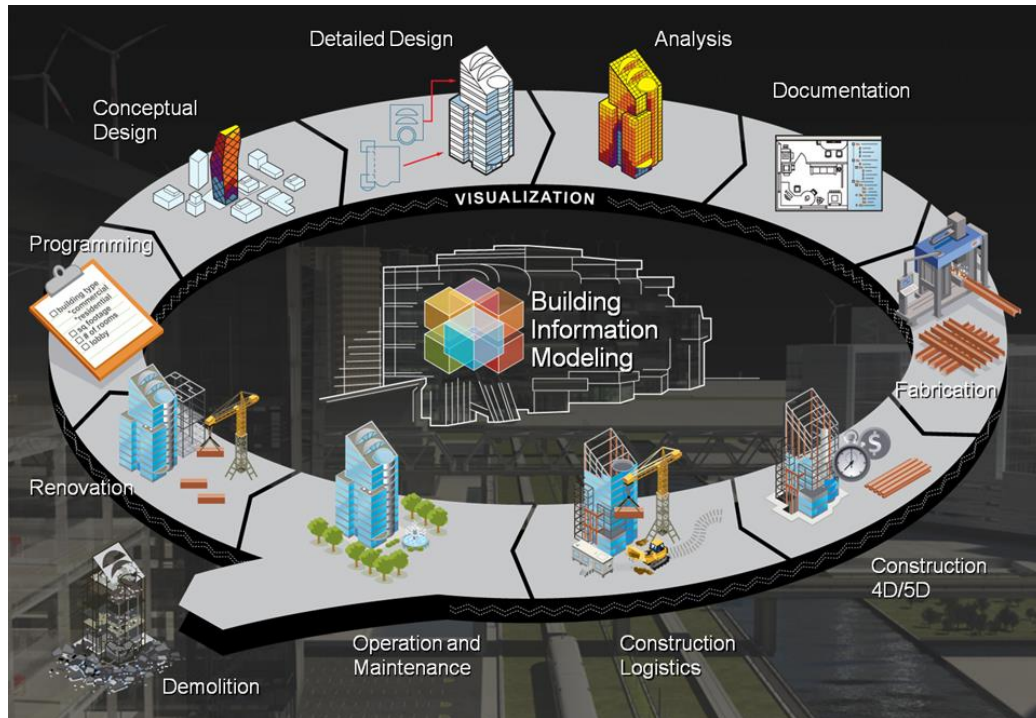
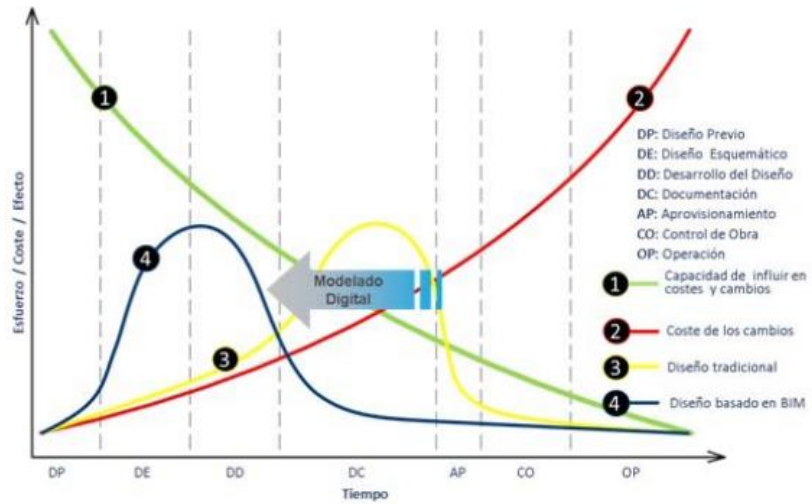


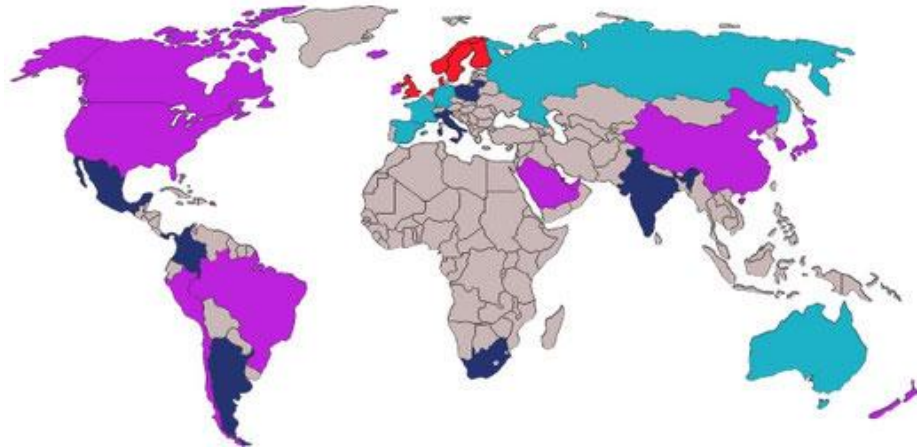
Figura III.3. Ciclo de Vida de la Metodología BIM (Matías,2016).

Uno de los objetivos al utilizar esta metodología es conservar la información, no perderla como suele pasar actualmente con la mayoría de los proyectos CAD, en ocasiones la información que se genera no es la que se necesita o está incompleta. Cuando los errores son detectados en la etapa de construcción, se generan sobrecostos, retrabajos, retrasos en la ejecución de trabajos, etcétera. En la curva *MacLeamy* (gráfica III.1), nombrada así en honor a su creador Patrick MacLeamy, muestra la importancia que tiene contar con la información en etapas tempranas del desarrollo de un proyecto. La curva 3 de la gráfica hace referencia a la forma en que actualmente se desarrollan la mayoría de los proyectos, en ella se observa que la mayoría de la documentación se genera una vez iniciados los trabajos de construcción; la curva 4 muestra la forma de trabajo con metodología BIM, en ella se observa que la mayor cantidad de documentación se realiza antes comenzar la etapa de construcción, por lo que los errores se detectan y resuelven en etapas tempranas.



Gráfica III.1. Curva del esfuerzo productivo (curva MacLeamy) (González, Gámez, & Severino, 2014).

El uso de nuevas tecnologías y metodologías que permitan el desarrollo de procesos más eficientes se ha implementado en todo el mundo. El objetivo es optimizar procesos lo que genera un ahorro en los costos de producción, como se observa en la gráfica MacLeamy. La experiencia de países que han utilizado estas metodologías desde hace varios años (figura III.4), ha permitido crear estándares que han sido de apoyo a gobiernos y empresas que han iniciado el proceso de digitalización de proyectos. También se pueden encontrar guías basadas en experiencias de estos países en el tema de modelos BIM.



Uso BIM obligatorio en proyectos públicos, uso obligatorio previsto en proyectos públicos, uso habitual de BIM, uso incipiente de BIM.

Figura III.4. Mapa de Implementación BIM 2016 (BuildingSMART, 2021).

Reino Unido es uno de los gobiernos que más avance tiene en el tema de metodología BIM aplicada a sus proyectos. A partir de 2016, todos los proyectos públicos con monto superior a 5 millones de libras son desarrollados con BIM, es obligación de las empresas constructoras que participan en licitaciones gubernamentales acreditar el nivel 2 de madurez BIM. La madurez BIM se refiere a la cantidad de información que presenta el modelo, actualmente existen tres niveles de desarrollo (figura III.5).

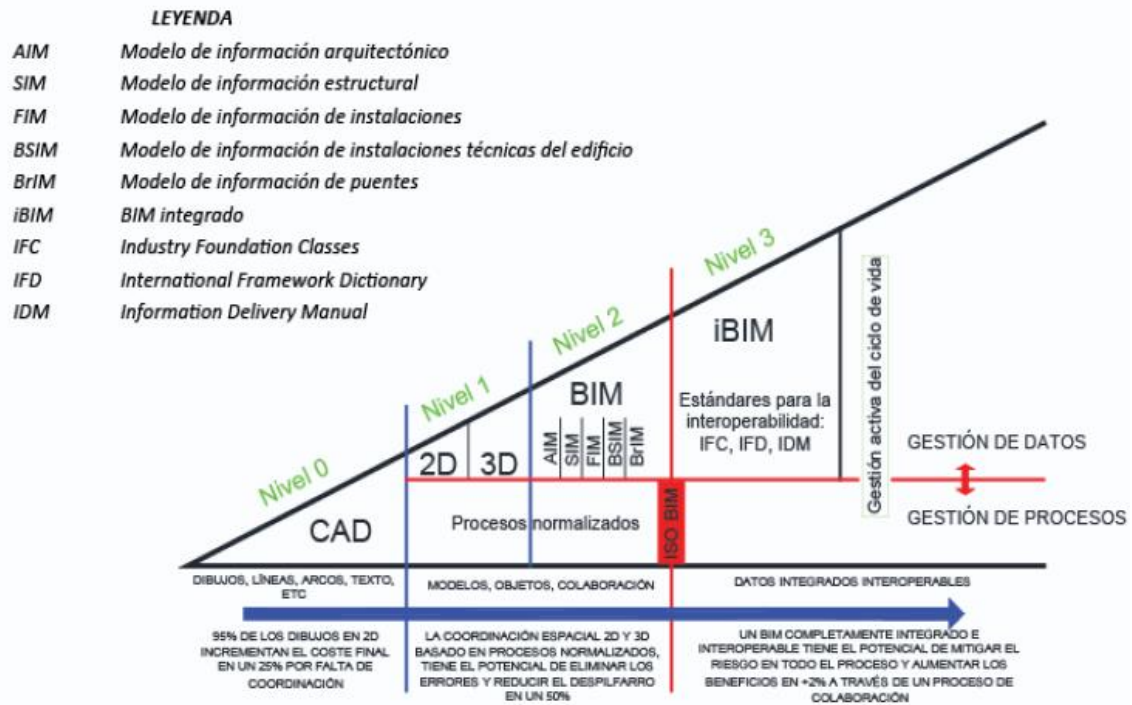


Figura III.5. Modelo de madurez BIM Bew-Richards (Melo Jimenez).

➤ Nivel 0:

El trabajo se basa en la utilización de software para crear planos y detalles constructivos en 2D

➤ Nivel 1:

Uso del 3D para el diseño conceptual, Uso del 2D para generar la documentación de proyecto.

➤ Nivel 2:

Aparece el flujo de trabajo colaborativo, cada una de las partes involucradas tiene su propio modelo 3D y comparte la información a través de archivos de formato común.

➤ Nivel 3:

Trabajo integrado entre todas las partes implicadas mediante el uso de un único modelo alojado en el CDE (Entorno Común de Datos), todos trabajan en ese modelo único, de modo que se eliminan los riesgos de aparición de conflictos en el mismo. Trabajar con estándares abiertos que permitan el intercambio de información de forma libre, es lo que se conoce como Open BIM. La cantidad de información del modelo también determina la dimensión en la que se trabaja, el objetivo es llegar a modelos 10D, es decir, llegar a la industrialización de la construcción, sin embargo, actualmente se ha estandarizado el uso del 6D en los proyectos (figura III.6).

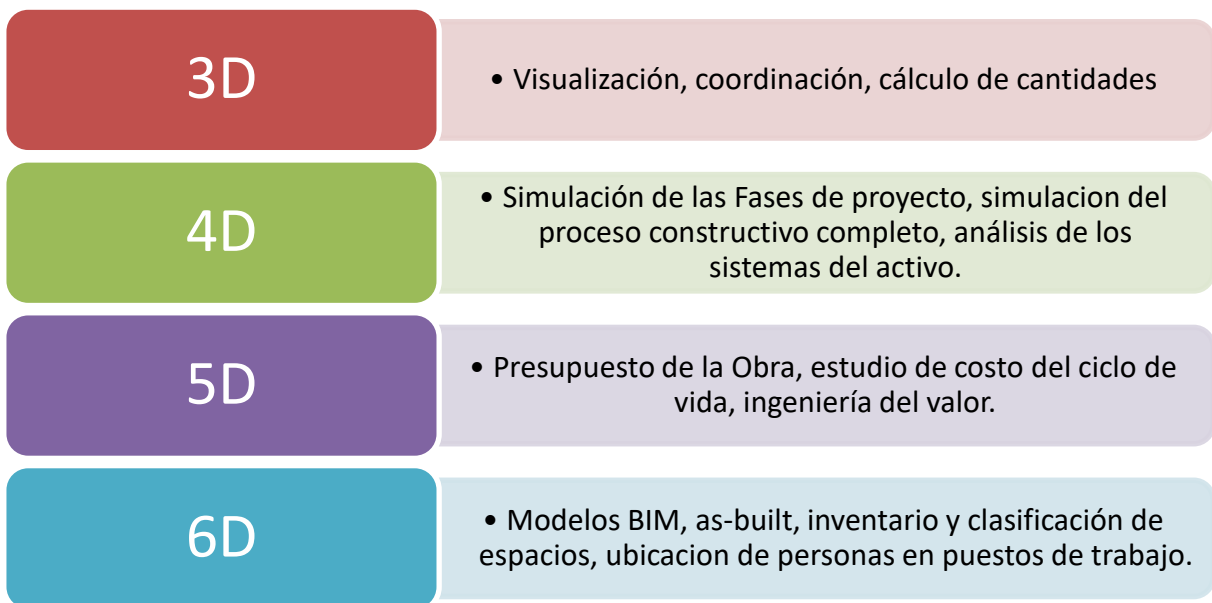


Figura III.6. Las dimensiones y usos del BIM (BuildingSMART, 2020).

En la mayoría de los proyectos que se trabajan en CAD, se va perdiendo información y el control de cambios en el proyecto es menos eficiente; al trabajar con modelos virtuales (figura III.7), la información que contiene puede compartirse por medio de formatos estandarizados, lo que evita la pérdida de información en el proceso de intercambio. Los entregables como planos, se obtienen de las vistas del modelo, de esta forma, cuando se realizan cambios en algún elemento, se actualizarán las vistas automáticamente, por lo tanto, el tiempo que se destinaba a realizar cambios en planos es menor.



















| Modelo BIM | Edificación | Infraestructura |
|---|---|---|
| Sitio |  |  |
| Volumétrico |  |  |
| Arquitectura o Diseño de Infraestructura |  |  |
| Estructura |  |  |
| Mecánico Eléctrico Sanitario (MEP por sus siglas en inglés) |  |  |
| Coordinación (**) |  |  |
| Construcción (***) |  |  |
| As-Built |  |  |
| Operación |  |  |

Figura III.7. Tipos de Modelos BIM (PLANBIM, 2019).

Los modelos BIM deben de cumplir con ciertos estándares, los países más adelantados en la utilización de esta metodología han sido de gran ayuda al compartir sus experiencias y manuales para que otros países las puedan utilizar. La *International Organization for Standardization (ISO)* define un estándar como un documento, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que entrega para usos comunes y repetidos, reglas y directrices o características para actividades o sus resultados, ayudando a la obtención de un grado óptimo de ordenamiento en un contexto dado (PLANBIM, 2019).

En la tabla III.1 se muestran los estándares internacionales relacionados con la implementación de la metodología BIM.

Tabla III.1

Estándares internacionales (PLANBIM, 2019)

| TIPO | NOMBRE | ESTÁNDAR | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|--|---|
| Base Tecnológica | IDM <i>Information Delivery Manual</i> | ISO 29481-1: 2016 ISO 29481-2: 2012 | Describe Procesos |
| | IFC <i>Industry Foundation Class</i> | ISO 16739-1:2018 | Transporta información / datos |
| | BCF <i>BIM Collaboration Format</i> | buildingSMART BCF | Cambios para la Coordinación |
| | IFD <i>International Framework for Dictionaries</i> | ISO 12006-3: 2007 buildingSMART DataDictionary | Diccionario de términos |
| | MVD <i>Model View Definition</i> | buildingSMART MVD | Traduce procesos en requisitos Técnicos |
| | COBie <i>Construction Operations Building information Exchange</i> | BS 1192-4: 2014 | Transporta información / datos para operación |
| General | ISO BIM 1 <i>Organization of information about construction works. Information management using building information modelling.</i> | ISO19650-1: 2018 | Describe los conceptos y principios de BIM |
| | ISO BIM 2 <i>Organization of information about construction works. Information management using building information modelling.</i> | ISO19650-2: 2018 | Describe la fase de entrega de los activos |
| Base de Conceptos | <i>Project Building Information Protocol Form</i> | AIA Document G202-2013 | Define cinco Niveles de Desarrollo (LOD) |
| | <i>Level of Development Specification</i> | Level of Development Specification BIM Forum USA | Define seis Niveles de Desarrollo LOD |
| | <i>Project Execution Planning Guide version 2.1</i> | BIM Planning at Penn State | Define veinticinco Usos BIM |
| | <i>Matriz de Elementos/Objetos del US Veterans Affairs VA BIM Guide Define Tipos de Informacion para cada Entidad</i> | VA BIM Guide | Define Tipos de Información para cada Entidad |
| | <i>Manual Básico de Entrega de Informacion (MEI)</i> | BIM Basic Information Delivery Manual - version 1.0 | Define 12 pasos para intercambiar información de manera estructurada. |
| | <i>Collaborative production of architectural, engineering and construction information - code of practice</i> | BS 1192:2007 | Define las convenciones de nomenclaturas de archivos y carpetas. |

Organismos como IAI (*International Alliance for Interoperability*), ahora denominado *BuildingSMART*, impulsan la transformación digital de la industria de la construcción y promueven el uso de los estándares internacionales para el uso de *BIM*. En España la asociación *buildingSMART Spanish Chapter*, publicó en 2014 una serie de guías para usuarios BIM (figura III.8), el objetivo es apoyar a las empresas españolas en la transición de digitalización de sus proyectos. Se basan en la información del COBIM finlandés (*Common BIM Requirements*) elaborada en 2012 por *BuildingSmart*,

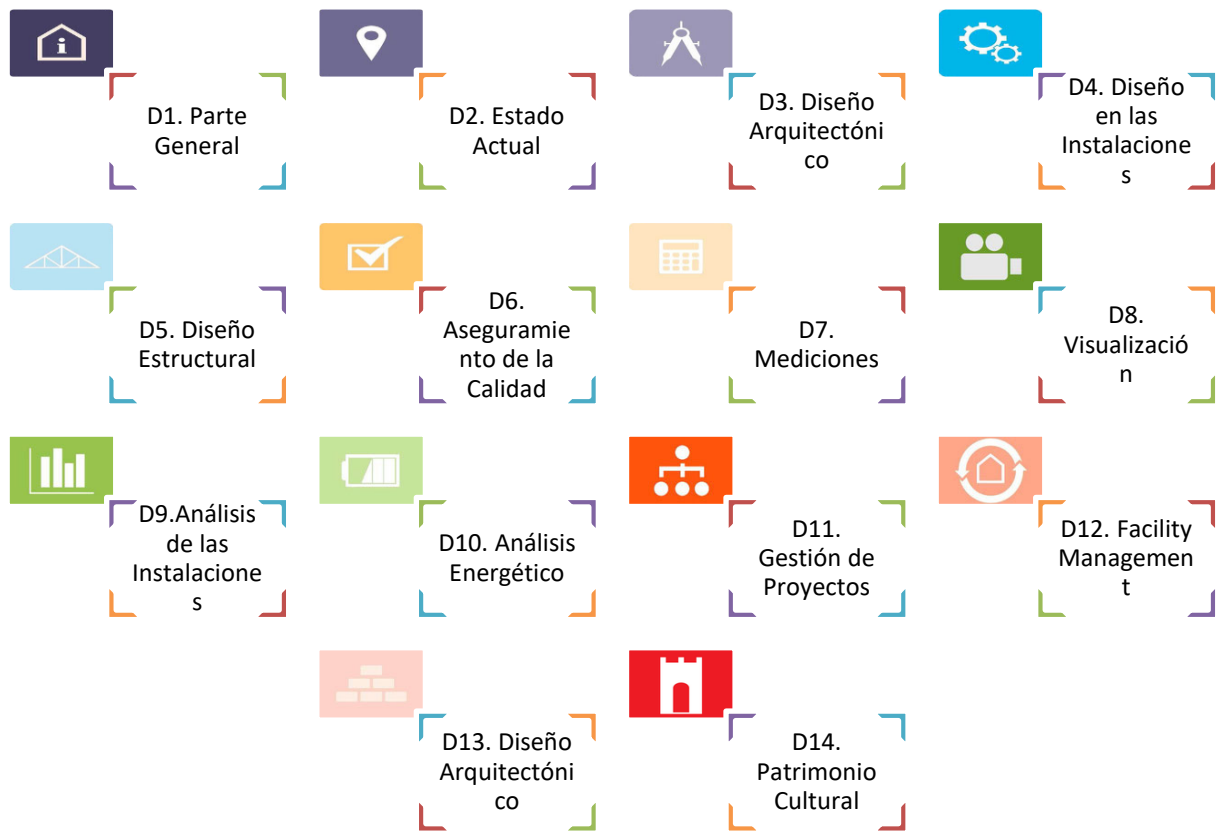


Figura III.8. Guías uBIM (Spain, 2012).

Uno de los países Latinoamericanos que ha creado estándares BIM para proyectos públicos es Chile, su estándar se denomina PlanBIM (figura III.9) y está basado en normativas, estándares y protocolos BIM internacionales.



Figura III.9. Estándar de Chile para proyectos BIM (PLANBIM, 2019).

Para garantizar la interoperabilidad en los proyectos, *building SMART* desarrolló el estándar *openBIM*, el cual se basa en estándares abiertos que permitan el flujo de la información creada en el modelo BIM, de esta forma no se obliga al uso de un software en especial. Los formatos IFC son un estándar que permite esta función, hay diferentes softwares gratuitos que sirven como visores de proyectos, algunos permiten hacer notas de errores o cambios de proyecto.

FORMATOS IFC (ISO 16739-1:2018)

En los estándares BIM se pueden encontrar los requisitos que deben de cumplir los modelos de acuerdo al nivel de madurez solicitado, también hace referencia a cómo se debe presentar dicha información y para eso es necesario conocer los tipos de formatos aceptados internacionalmente para este propósito. La presentación de la información en formatos IFC (*Industry Foundation*

Classes) garantiza la interoperabilidad BIM, ya que todos tienen acceso a ella sin necesidad de contar con todos los programas en donde se generaron los archivos (figura III.10).

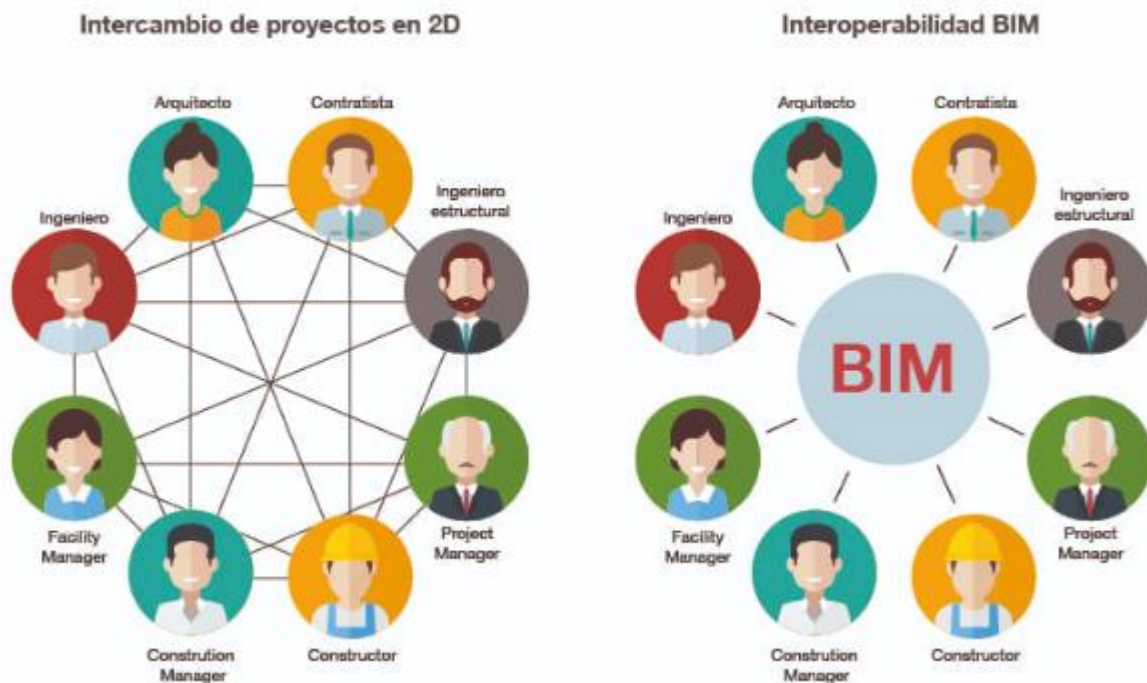


Figura III.10. BIM e Interoperabilidad (BibLus, 2021).

Existen tres tipos de formatos IFC, los responsables de coordinar cada proyecto deben de identificar que formato es el solicitado para evitar errores en la entrega de los documentos, a continuación, se hace una breve descripción de cada uno de ellos (figura III.11):

- ✚ . ifc: Formato estándar basado en la norma para el intercambio de datos de modelo del producto (STEP, por sus siglas en inglés).
- ✚ . ifcZIP: Archivo IFC comprimido con un tamaño mucho menor; pueden leerlo la mayoría de las aplicaciones de software compatibles con IFC. Se puede descomprimir para mostrar el archivo IFC.
- ✚ . ifcXML: Representación de datos IFC basada en XML, requerida por algunos programas de cálculo.

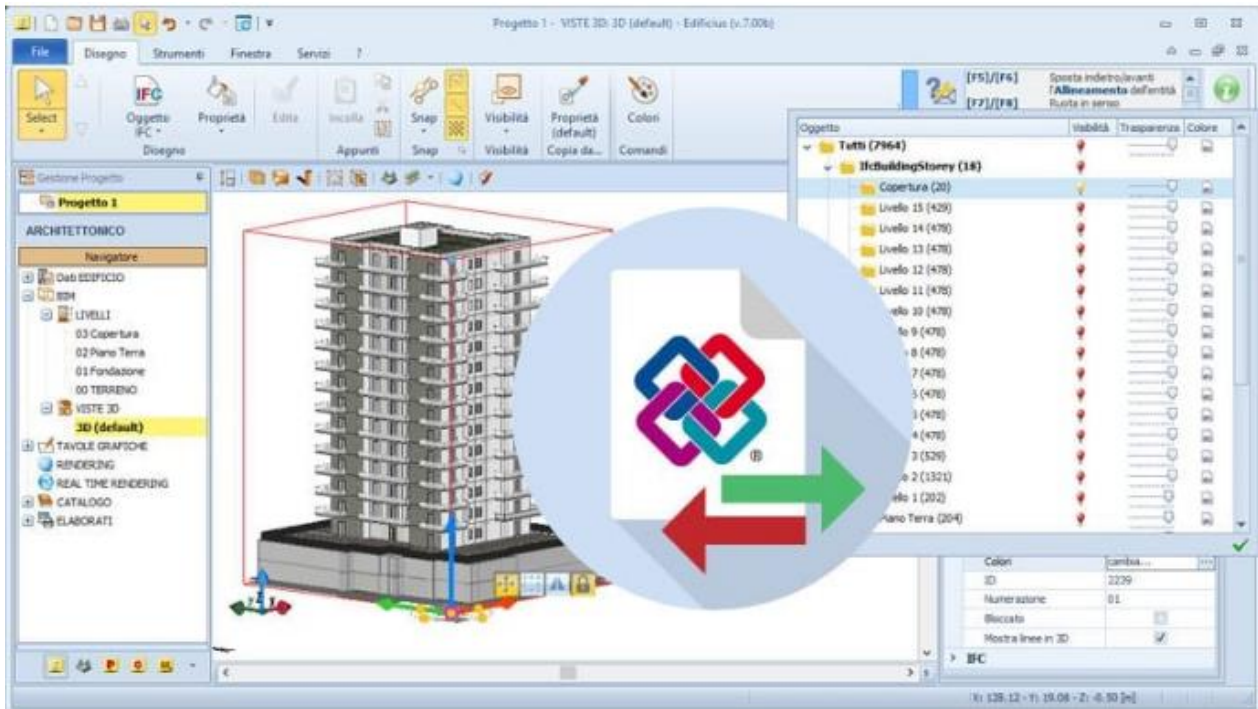


Figura III.11. IFC (BibLus, 2021).

Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluida la modelización de la información sobre edificios (BIM) (ISO 19650-2).

Un modelo está integrado por elementos o entidades, en las especificaciones de proyecto se indica la cantidad de información que requiere cada elemento. El nivel de detalle es conocido como LOD (*Level Of Detail*) en Reino Unido y Estados Unidos (figura III.12) y como Nivel de Información (NDI) en Chile (figura III.13).

| LOD | 100 | 200 | 300 | 350 | 400 | 500 |
|---------|-----------|------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| | SIMBÓLICA | CONCEPTUAL | GENÉRICA | ESPECÍFICA (CON SUS CONEXIONES) | PARA CONSTRUCCIÓN O FABRICACIÓN | AS BUILT O CONSTRUIDA |
| NDG | 1 | 2 | 3 | 3+ | 4 | 5 |
| EJEMPLO | | | | | | |
| | | | | | | LOD 300 NDG 3 LOD 350 NDG 3+ LOD 400 NDG 4 CONSTRUIDO |

| EJEMPLO DE LOD | NIVEL DE INFORMACIÓN GRÁFICO | EXPLICACIÓN DEL NIVEL DE INFORMACIÓN GRÁFICO (@CREASI) |
|---|---|--|
|  | SIMBÓLICO (LOD 100) | No son representaciones geométricas. Algunos ejemplos son la información adjunta a otros elementos del modelo o símbolos que muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación exacta. |
|  | CONCEPTUAL (LOD 200) | El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto genérico con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximadas . Se emplea para obtener ratios nunca mediciones de los elementos. |
|  | GENÉRICO (LOD 300) | El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del mismo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación del elemento diseñado puede medirse directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada como notas o llamadas de dimensiones. |
|  | ESPECÍFICO (LOD 350) | El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del mismo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaces con otros sistemas de construcción. Se modelan las partes necesarias para la coordinación del elemento con otros elementos cercanos o adjuntos. Estas partes incluirán elementos tales como soportes y conexiones. La cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación del elemento tal y como está diseñado puede medirse directamente desde el modelo, sin necesidad de hacer referencia a información no modelada como notas o llamadas de dimensiones. <i>NOTA: En el PEB deberá definirse si este nivel de detalle se incorpora al modelo 3D general o es suficiente en una vista de detalle constructivo para no sobrecargar el archivo BIM.</i> |
|  | CONSTRUCCIÓN ó FABRICACIÓN (LOD 400) | El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del mismo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con información detallada, fabricación, ensamblaje e instalación. Un elemento LOD 400 se modela con suficiente detalle y precisión para la fabricación o construcción in situ. La cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación del elemento tal y como está diseñado puede medirse directamente desde el modelo sin necesidad de hacer referencia a información no modelada como notas o llamadas de dimensiones. <i>NOTA: En el PEB deberá definirse si este nivel de detalle se incorpora al modelo 3D general o es suficiente en una vista de detalle constructivo para no sobrecargar el archivo BIM.</i> |
|  | AS BUILT "Tal como se ha construido" (LOD 500) | El elemento del modelo es una representación de campo verificada en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación. El LOD 500 no supone una progresión de nivel gráfico superior al nivel anterior definido. Simplemente es el as-built, tal y cómo se ha construido. <i>NOTA: El LOD 500 recoge las modificaciones realizadas en la construcción y que han cambiado respecto al proyecto de ejecución. El LOD 500 nunca debe ser interpretado por un nivel 1:1.</i> |

Figura III.12. Nivel de Información Gráfica (LOD) (BuildingSMART, 2020).

Tabla 08. Niveles de Información

En la siguiente tabla se presenta una descripción de cada uno de los Niveles de Información (NDI):

| Concepto | Descripción |
|---|--|
|  NDI-1 Información inicial general | Información inicial, que puede ser estimativa, acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales. |
|  NDI-2 Información básica aproximada | Información básica del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje. |
|  NDI-3 Información detallada | Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos. |
|  NDI-4 Información detallada y coordinada | Información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico. |
|  NDI-5 Información detallada de la fabricación y montaje | Información detallada de la fabricación y montaje, considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre los elementos. |
|  NDI-6 Información detallada de lo construido y su puesta en marcha | Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos construidos. |

Elaborada por Planbim, basado en G202-2013 - Project Building Information Modeling Protocol Form de AIA y en el Level of Development Specification de BIMForum USA

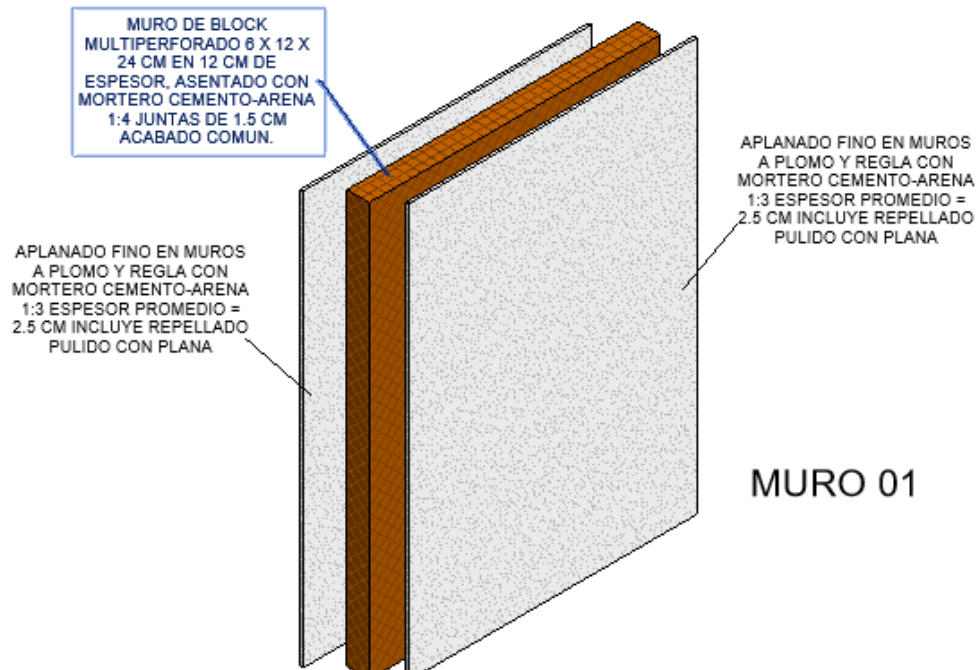
Figura III.13. Niveles de Información (NDI) (PLANBIM, 2019).

En un modelo BIM no todas las entidades necesitan tener el mismo nivel de detalle, esto depende de las características del modelo, es importante revisar los alcances y especificaciones del proyecto, y así evitar pérdida de tiempo en generar información que no es necesaria. La figura III.14 muestra los niveles de información para algunos modelos con base a la información presentada en el estándar PlanBIM de Chile.

| EAIM | Entidades de Modelos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|----------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|
| | Bloques (Revit) | Formas (Revit) | Elementos de línea (Revit/InRoads) | Elementos de superficie (Revit/InRoads) | Elementos de volumen (Revit/InRoads) | Zonas/Áreas (Revit/InRoads) | Elementos de conexión (Revit/InRoads) | Vigas (Revit/InRoads) | Losas/Panles (Revit/InRoads) | Aleros (Revit/InRoads) | Muros/Columnas (Revit/InRoads) | Ventanas (Revit/InRoads) | Puertas (Revit/InRoads) | Cubiertas (Revit/InRoads) | Clases Pisos/Placas (Revit/InRoads) | Elementos de conexión (Revit/InRoads) | Elementos de conexión (Revit/InRoads) | Elementos de conexión (Revit/InRoads) | Elementos de conexión (Revit/InRoads) | Elementos de conexión (Revit/InRoads) | | |
| Información de Planificación | DC Diseño Conceptual | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | |
| | DA Diseño Anteproyecto | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-1 | |
| | DB Diseño Básico | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-1 | NDI-1 | NDI-2 | NDI-2 |
| Información de diseño | DD Diseño de Detalle | NDI-3 | NDI-2 | NDI-3 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-2 | NDI-2 | NDI-3 | NDI-3 |
| | CC Coordinación de Construcción | NDI-3 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-3 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-4 |
| Información de construcción | CM Construcción, Manufactura y Montaje | NDI-3 | NDI-3 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-5 |
| | AB As-Built | NDI-3 | NDI-3 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 |
| Información de operación | PM Puesta en Marcha | NDI-3 | NDI-3 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-6 | NDI-6 |
| | GM Gestión y Mantenimiento del Activo | NDI-3 | NDI-3 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-6 | NDI-4 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-6 | NDI-6 | NDI-6 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-4 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-5 | NDI-6 | NDI-6 |

Figura III.14. Niveles de Información de Entidades (NDI) (PLANBIM, 2019).

En la figura III.15 encontramos tres ejemplos de LOD350 de muros, en este punto de detalle se identifica información del sistema constructivo, materiales y acabados; la información puede ser compartida mediante archivos abiertos como el IFC.



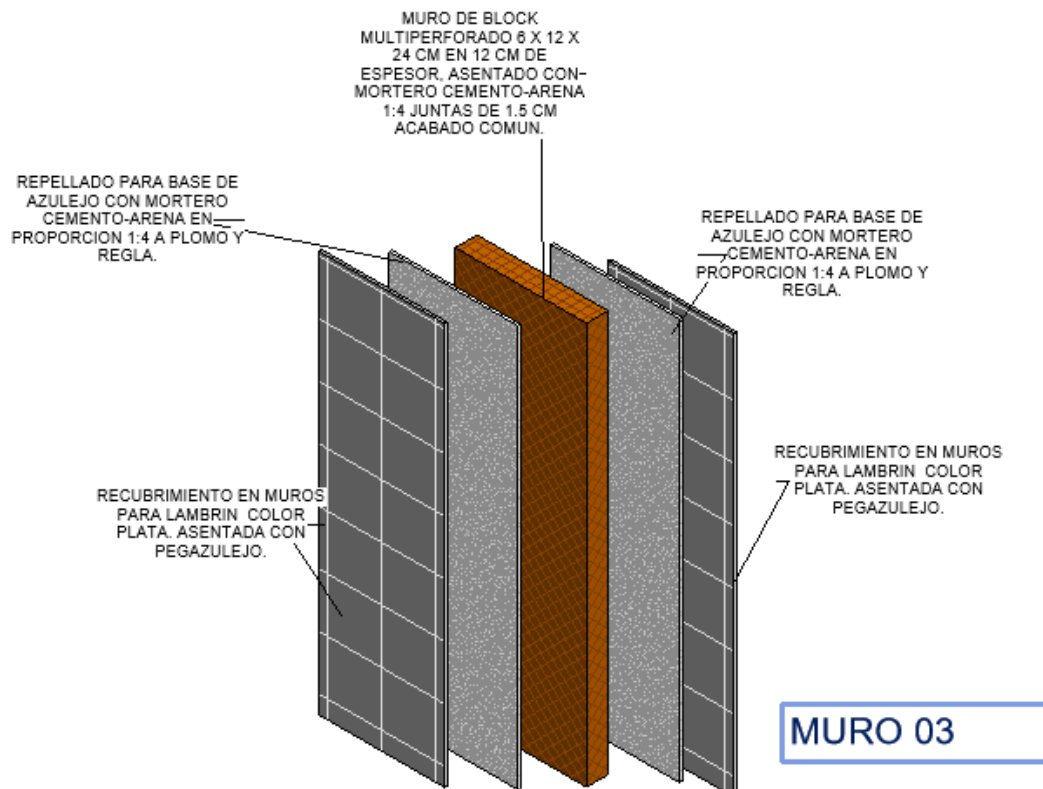
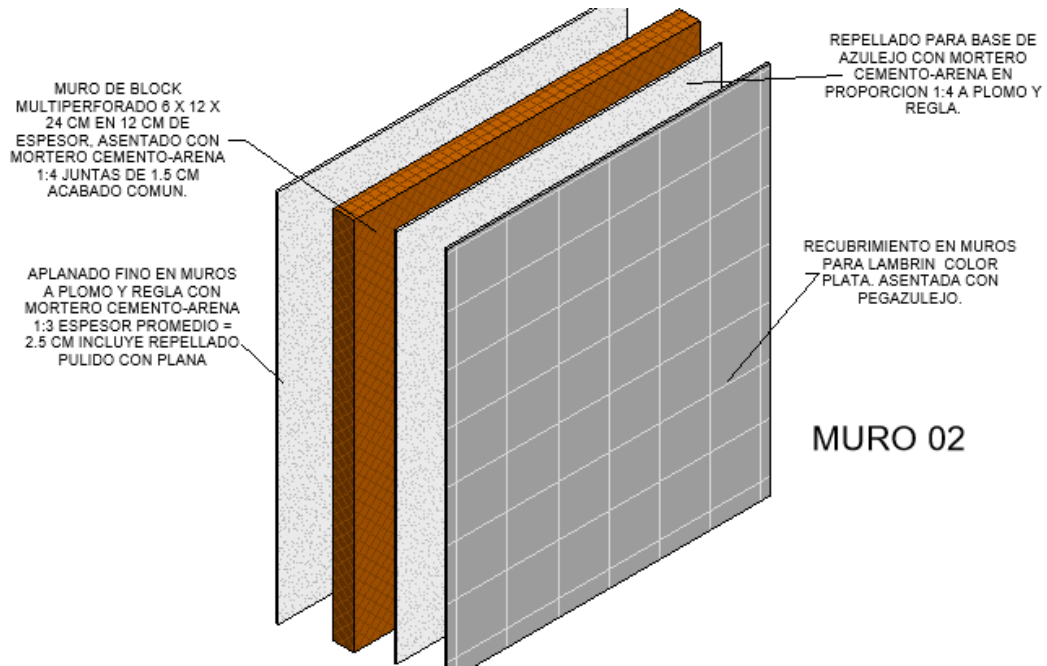


Figura III.15. LOD 350 Muros (Autoría propia).

PROGRAMAS PARA EL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA BIM

La metodología BIM se apoya en programas para desarrollar un proyecto integral, en donde todos los involucrados puedan aportar sus conocimientos y así cumplir con el objetivo de tener un modelo completo. La digitalización de los proyectos comenzó con el uso de los archivos CAD (*Computer-Aided Design*), esta tecnología sustituyó el dibujo manual a un proceso automatizado, los programas CAD permiten elaborar proyectos en 2D o 3D, estos proyectos se encuentran clasificados en el nivel 0 de Madurez BIM. El uso de software BIM permite tener mejor comunicación entre cliente y constructor (figura III.16), con base a la información presentada en el documento BIM en la construcción de la Universidad Autónoma Metropolitana, las principales ventajas son:

- a) Mejor Coordinación. - Cuando hay varios especialistas trabajando sobre un mismo proyecto, la coordinación no es difícil como con los dibujos en 2D o 3D. Un software de BIM puede destacar interferencias en rojo, inmediatamente.
- b) Aumento productividad, menos horas-hombre: Esto se traduce a menores costos o en mejores honorarios.
- c) Diseño y mejor calidad de detalle: Con este sistema se puede dedicar más tiempo al diseño ya que se reduce el tiempo en que hay que pasar los bosquejos iniciales a CAD. Además, este sistema exige pensar y diseñar todos los detalles, ya que, de no hacerlo, el modelo queda inconcluso.
- d) Control de la información del proyecto: La base de datos de BIM, cuando se utiliza de una forma óptima se convierte en la fuente central para toda la información del proyecto, dando costos, ubicaciones, etcétera.
- e) Abrir nuevos mercados para los arquitectos/ingenieros: La base de datos que en definitiva es el modelo da lugar a nuevos servicios que los arquitectos pueden aprovechar, como por ejemplo estimar costos de forma más detallada, programar la administración de la obra, o generar imágenes a partir de un solo modelo.
- f) Facilita la relación con el cliente: poder mostrarle al cliente cómo va avanzando el diseño de la obra en 3D sin duda es un valor agregado indiscutible.

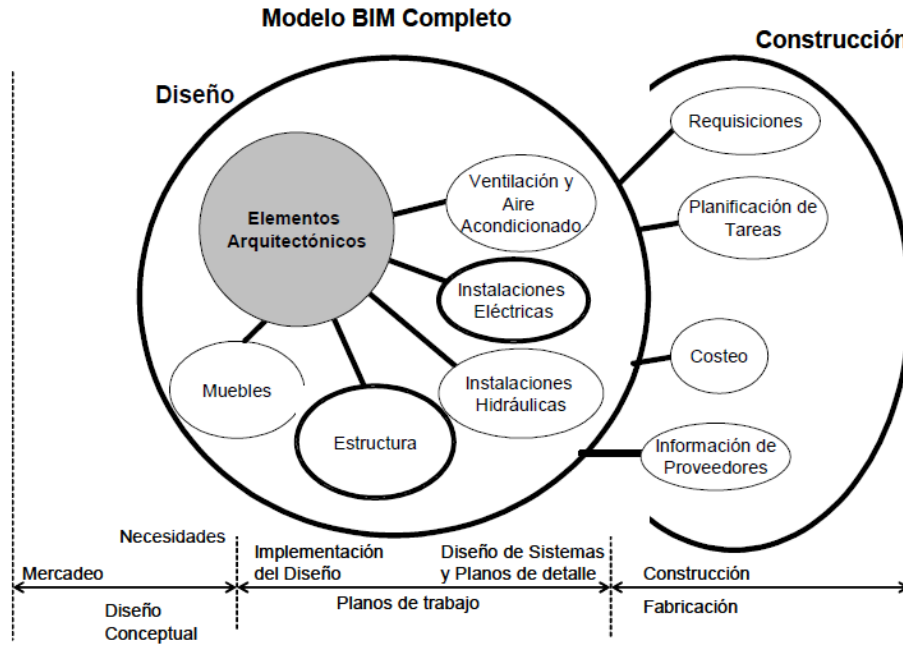


Figura III.16. Modelo BIM completo (Poo & Rodríguez, 2017).

Una de las empresas que ha desarrollado más software BIM, es Autodesk, uno de los programas más utilizados en la implementación de esta metodología, es Revit, este software fue creado por Irwin Jungreis y Leonid Raiz en 1997 para *Technology Corporation* y en 2002 fue adquirido por la compañía Autodesk (figura III.17).

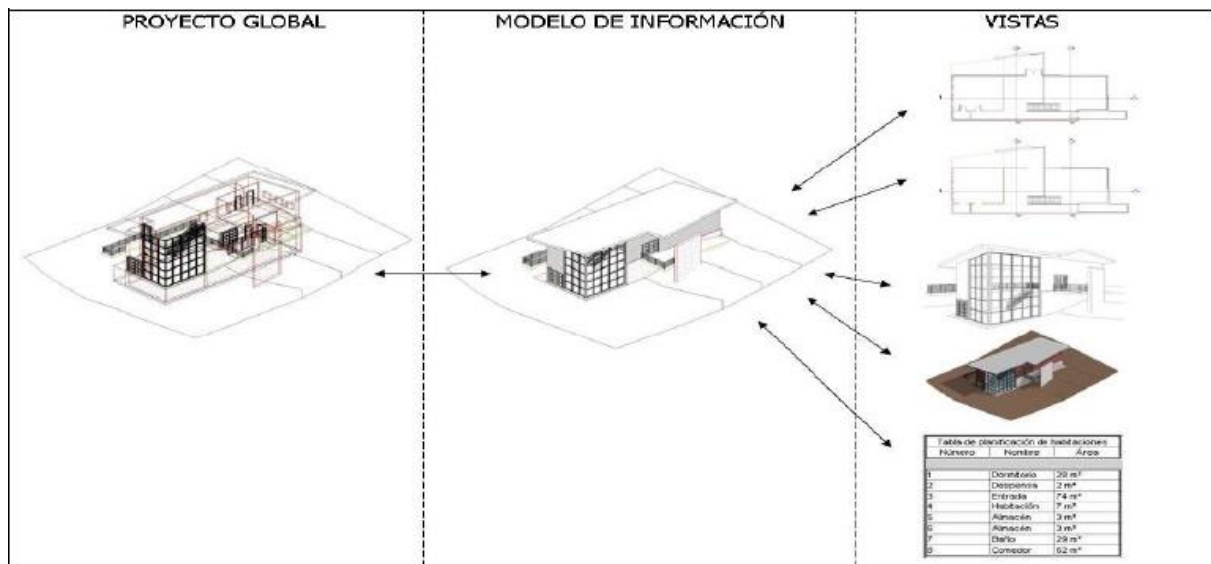


Figura III.17. Modelo en Revit (Picó, 2008).

Los modelos BIM facilitan el proceso de cuantificación de insumos, dato necesario para obtener los presupuestos del proyecto. Un presupuesto depende de la cantidad de información con que cuente el administrador, los alcances determinan la calidad de la obra que se entregará, por eso, el uso de LOD es de gran ayuda en esta etapa. Un proyecto que se desarrolla con la metodología BIM, requiere más tiempo para la planeación de los trabajos, sin embargo, estos tiempos disminuirán en la etapa de construcción (figura III.18).

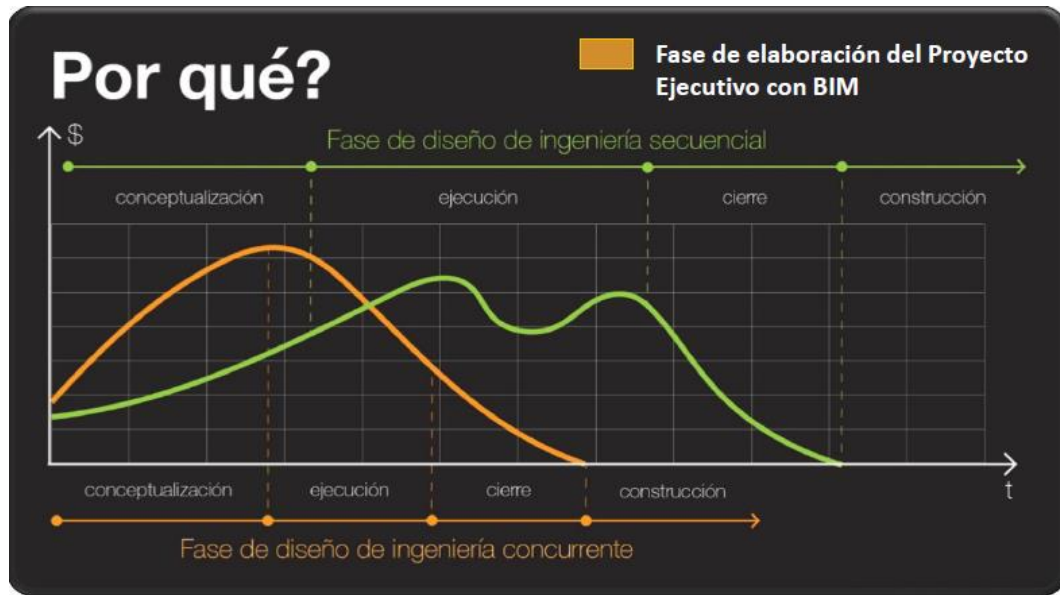


Figura III.18. Elaboración de Proyecto Ejecutivo BIM (Melo Jimenez).

La información que se genera en el modelo BIM en programas como Revit (figura III.19), se utiliza para el generar otro tipo de información como son programaciones, presupuestos y control de obra. Algunos programas de ayuda durante esta etapa son:

- Sinco. - Herramienta computacional para ingeniería de costos desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (FIUADY).
- Microsoft Excel. -Es una hoja de cálculo, tiene una amplia capacidad gráfica, y permite a los usuarios realizar la combinación de correspondencia.
- Microsoft Project. - Software de administración de proyectos diseñado, desarrollado y comercializado por Microsoft.
- Neodata. - Programa de precios unitarios, presupuestos y control de obra.

Es importante que cada empresa evalúe el tipo de proyectos que va a trabajar para que adquiera el software que le va a servir, uno de los errores que han cometido algunas empresas es tener demasiados programas lo que hace aún más costosa la transición a este tipo de metodologías, otro gran error es pensar que cuando se adquiere uno de estos softwares, ya se está implementando BIM. Como se ha descrito anteriormente, BIM no es un programa, es una serie de acciones que se apoyan con el uso de herramientas tecnológicas, en la tabla III.19 se presentan algunos softwares que se utilizan, depende de la fase de desarrollo que necesite el proyecto.

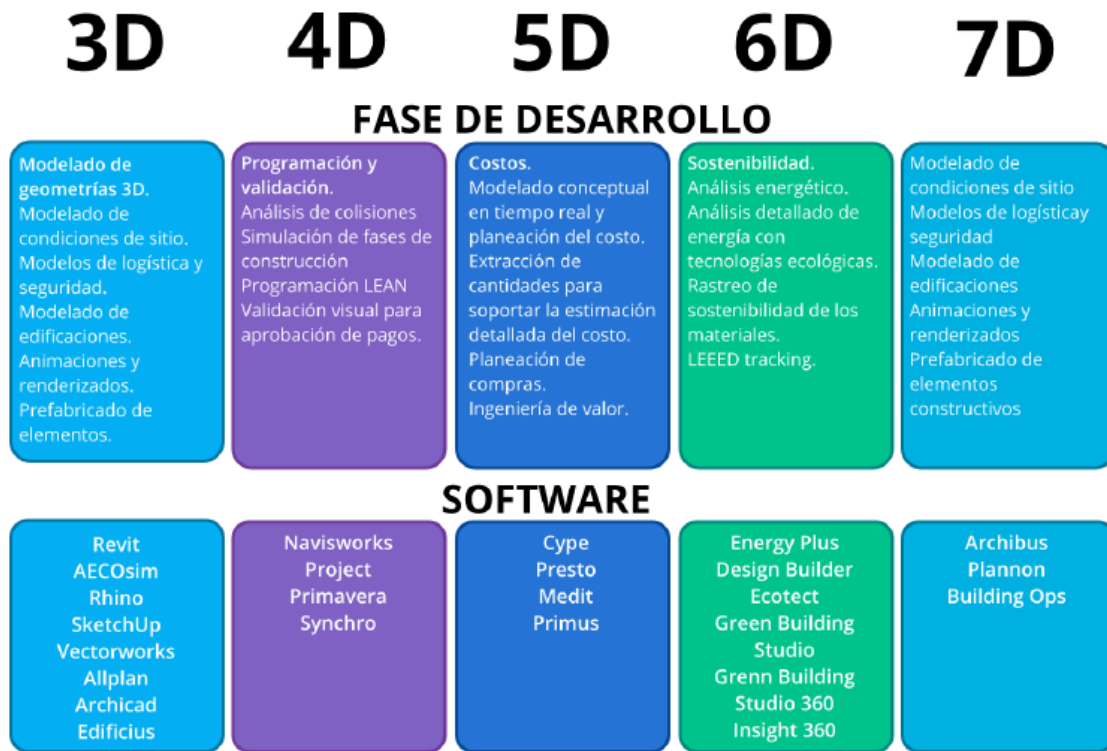


Tabla III.19. Dimensiones BIM y Software (Wilmer, 2019).

3.3 METODOLOGÍA BIM EN MÉXICO

Los beneficios de utilizar la metodología BIM en los proyectos son muchos, se han descrito algunos en este trabajo, sin embargo, ha penetrado de forma somera en la industria de la construcción en México, es una herramienta que se ha explotado muy poco. Las razones son muchas, entre ellas está el desconocimiento de los constructores sobre los beneficios de utilizar nuevas metodologías y herramientas tecnológicas en sus proyectos. Existen dos términos que suelen confundir a las empresas que están por incorporarse al sistema BIM, implementación y adopción. La

implementación BIM es el conjunto de actividades llevadas a cabo por una unidad organizacional para preparar el despliegue o la optimización de los flujos de trabajos BIM y sus entregables (servicios o productos). La implementación se divide en 3 fases que definen la disposición de adoptar la capacidad de ejecutar dicha disposición y la madurez alcanzada según su rendimiento a través del tiempo (Llerena & Bigurra, 2019).

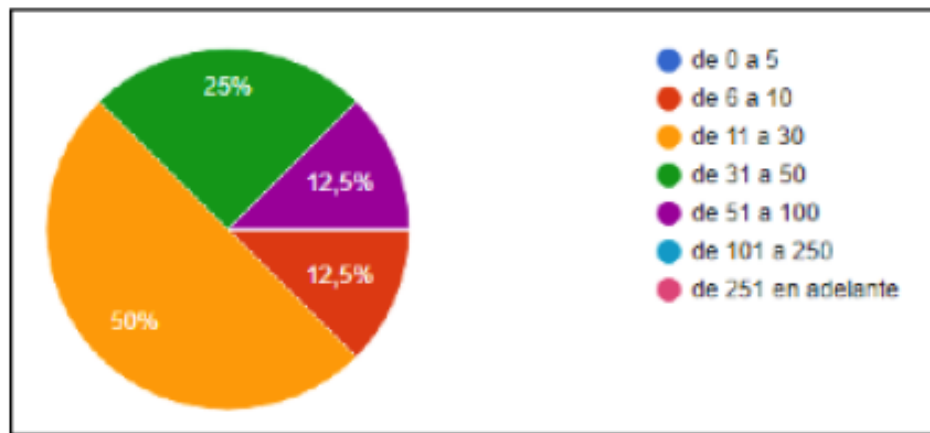
La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) realizó un estudio de las empresas que utilizan BIM, la muestra se limitó a empresas con sede en la ciudad de México (Llerena & Bigurra, 2019), se analizaron tres bases de datos:

- Bases de datos comerciales
- Base de datos del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM)
- Base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

La seleccionada fue la base de datos del INEGI, debido a mayor certeza en sus datos, un segundo filtro fue que las empresas tuvieran correo electrónico, el total de la muestra fueron 42 empresas.

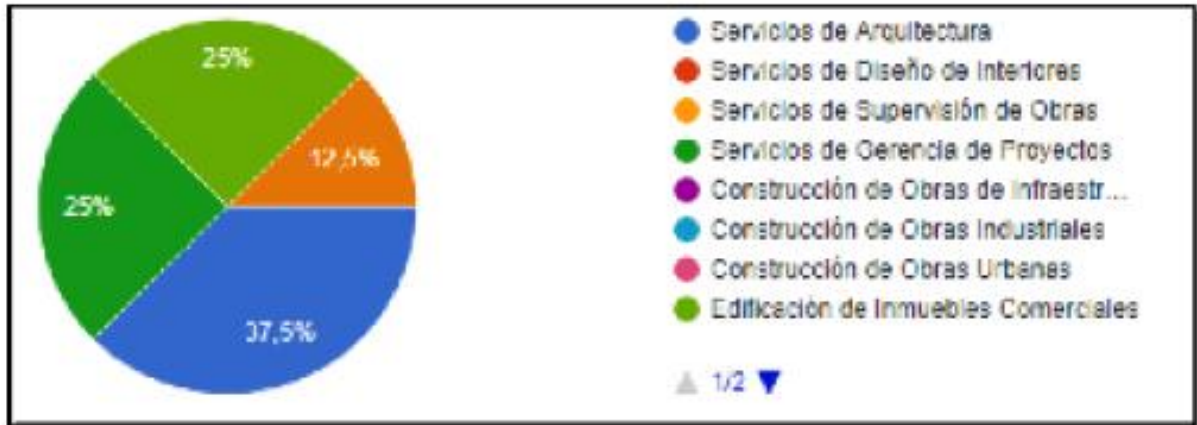
Los resultados que obtuvieron fueron los siguientes:

1. El total de las empresas clasifican como PYMES (pequeñas y medianas empresas), de ellas el 50% son consideradas como pequeñas empresas (gráfica III.2).



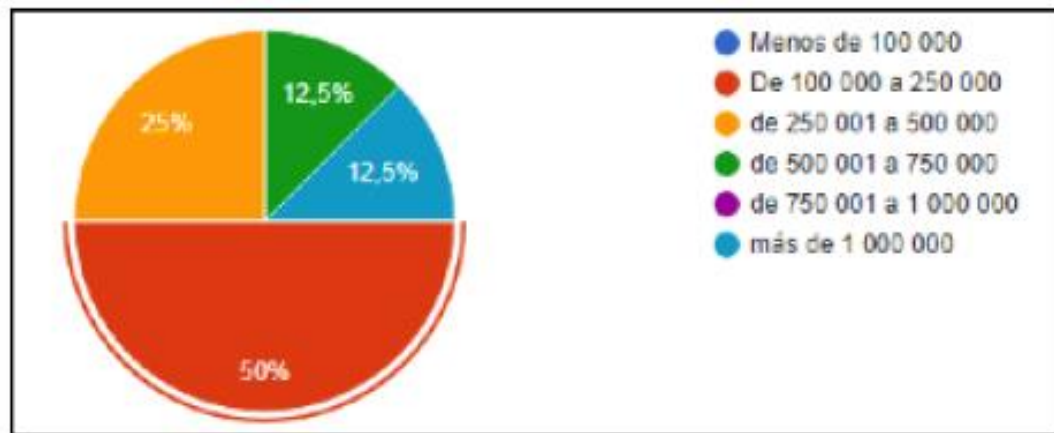
Gráfica III.2. Número de empleados (Llerena & Bigurra, 2019).

2. La actividad económica con mayor porcentaje, es de las empresas que se dedican a la Arquitectura virtual con un 37.5% (gráfica III.3).



Gráfica III.3. Actividad Económica (Llerena & Bigurra, 2019).

3. La empresa más longeva en la implementación de BIM comenzó en 2007 y las más jóvenes en 2014.
4. El costo que ha tenido la implementación de BIM en las empresas se sitúa entre \$100 000 y \$250 000 (gráfica III.4).



Gráfica III.4. Costos de la Implementación BIM (Llerena & Bigurra, 2019).

🇲🇽 LEGISLACION EN MÉXICO

El Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.(ONNCCE), publicó el 12 de julio de 2017 la Norma NMX-C-527-1-ONNCCE-2017: Modelado de información de la construcción (figura III.20).

| CLAVE O CÓDIGO | TÍTULO DE LA NORMA MEXICANA |
|--|---|
| NMX-C-527-1-ONNCCE-2017 | Industria de la Construcción-Modelado de Información de la Construcción-Especificaciones-Parte 1: Plan de Ejecución para Proyectos. |
| Objetivo y campo de aplicación | |
| Esta Norma Mexicana establece las especificaciones para implementar el modelado de información en proyectos a través de la elaboración y seguimiento de un plan de ejecución. Esta Norma Mexicana es aplicable a proyectos que implementen el modelado de información, ya sean de edificación o infraestructura, públicos o privados, y en cualquier etapa de su ciclo de vida. | |
| Concordancia con normas internacionales | |
| Esta Norma Mexicana no es equivalente (NEQ) con ninguna Norma Internacional por no existir esta última al momento de elaborar la Norma. | |

Figura III.20. Declaratoria de Vigencia (DOF: 12/07/2017).

En marzo de 2019 la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) publica un documento que lleva como título: Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción en México (MIC). En el documento se mencionan las estrategias que tiene planeado seguir el Gobierno de México para adaptarse a metodologías utilizadas en otros países (figura III.21).

| Estrategia internacional | Tema o compromiso | Contribución |
|--|---|---|
| Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030) | ODS9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. | Hacer uso de tecnología avanzada para incrementar la calidad de los proyectos, entre ellas modelos que incorporan representaciones 3D, tiempo y costo para simular los efectos de cambios en el proyecto y las condiciones ambientales en las que se desempeñará. |
| Declaración del Gobierno Abierto Open Government | C1. Aumentar la disponibilidad de información sobre las actividades gubernamentales. C4. Aumentar el acceso a las nuevas tecnologías para la apertura y la rendición de cuentas. | Implementar mecanismos para promover la transparencia y la eficiencia en del presupuesto público. |
| Plan de Gobierno Abierto- México | C9. Gasto abierto: obra pública C12. Infraestructura para todos C13. Sigue la obra pública | Desarrollar plataformas basadas en mecanismos y metodologías que provean información a los ciudadanos para dar seguimiento a los proyectos de infraestructura que se realizan con recursos públicos. |

Figura III.21. Tratados y acuerdos internacionales (SHCP, 2019).

La estrategia tiene un horizonte de ocho años para su implementación progresiva, iniciando por la obligatoriedad de establecer pilotos a partir de 2019. Con el propósito de que las dependencias

cuenten con el tiempo necesario para que en un plazo de tres años ya se establezca como obligatorio el uso de la metodología en proyectos públicos (figura III.22).



Figura III.22. Proyectos MIC México (SHCP, 2019).

Algunos de los objetivos del Gobierno Federal al presentar estas iniciativas es que la industria de construcción en México cuente con mayor competitividad global y presentar proyectos eficientes tanto en obras públicas como privadas. Se ha dividido en fases para que el cambio a esta metodología sea gradual (figura III.23).



Figura III.23. Fases MIC México (SHCP, 2020).

Para cumplir con los objetivos de implementación BIM en México, se han planteado algunas estrategias; En 2019 se fundó la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos, integrada por Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Perú y Uruguay (figura III.24), el objetivo de la organización es:

- Aumentar la productividad de la industria de la construcción a través de la transformación digital, acelerando los programas nacionales de implementación de BIM mediante el trabajo colaborativo que promueva lineamientos comunes y favorezca el intercambio comercial y de conocimiento en la región (Soto Ogueta, 2020).



Figura III.24. BIM GOB LATAM (Soto Ogueta, 2020).

El sector privado también se ha adaptado a estos cambios y nuevas metodologías, algunas organizaciones han realizado acciones en apoyo a la implementación de esta forma de trabajar (figura III.25), es necesario que tanto el sector público como el privado, estén involucrados en el tema para que la transición a esta forma de trabajo sea más fácil.



Figura III.25. BIM en el sector privado (SHCP, 2020).

Recapitulando, la metodología BIM consiste en una serie de acciones que permiten desarrollar la planeación de proyectos de una forma integral. El equipo de trabajo encargado de desarrollar el proyecto comparte información en un modelo 3D, los estándares internacionales fueron creados para facilitar el intercambio de Información que es útil para la toma de decisiones.

La etapa de planeación es la consume más recursos para su desarrollo, ya que obliga a que los proyectos estén completos para tener una construcción virtual del proyecto. Así es más fácil detectar errores de diseño que pueden modificarse en el modelo antes de su construcción.

El nivel de detalle de las entidades del proyecto facilita la extracción de datos para realizar los presupuestos de la obra, el modelo BIM puede tener diferentes niveles de LOD, es responsabilidad de los administradores revisar cuales son los que tienen mayor impacto en el presupuesto y así enfocarse en que tengan todas las especificaciones necesarias para su construcción.



Figura III.24. Etapas de un modelo BIM (Zaje & Autodesk, 2011).

CAPITULO IV

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA BIM.



Figura IV.1. Proyecto (Casas JIE y Asociados).

Para la aplicación de la metodología BIM se trabajó con un proyecto de departamentos construido en la ciudad de Puebla, el objetivo fue desarrollar un flujo de trabajo en la etapa de planeación que permita mitigar sobrecostos de la construcción.

El proyecto se desarrolló con el software Revit de Autodesk, con él se desarrollaron dos modelos: arquitectónico y estructural. El proyecto se basa principalmente en el análisis del modelo estructural, el alcance es la revisión de obra gris.

Los planos obtenidos de los modelos son:

- Planos Arquitectónicos (Anexo I):
 - Plantas, cortes, fachadas
- Plano Estructural (Anexo II):
 - Cimentación, entepiso, azotea.

Para la delimitación del proyecto se tomó en cuenta la Ley de Pareto, en donde se estima que los mayores costos se generan durante la construcción de la estructura, los insumos que se revisaron son concreto, acero, mampostería para muros y losa.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto denominado: Construcción de ocho departamentos en Régimen de Propiedad en Condominio está ubicado en la ciudad de Puebla (figura IV.1).



Figura IV.2. Torre 1 (Casas JIE y Asociados).

Es un edificio que se compone de 5 (cinco) niveles:

- Planta baja es el área de estacionamiento, se encuentran las bodegas de cada departamento y los cuartos de máquinas.
- Primer, segundo y tercer nivel tienen dos departamentos por planta, cada uno consta de sala, comedor, cocina, cuarto de servicio, 2 baños completos, medio baño y tres recámaras.
- Cuarto nivel cuenta con dos departamentos por planta y se componen de sala, comedor, cocina, cuarto de servicio, 2 baños completos y tres recámaras.

El proyecto completo consiste en la construcción de tres torres con un total de 26 departamentos, la etapa uno consistió en la construcción de la torre 1, en la figura IV.2 se muestra el presupuesto de esta primera etapa.

| JIRA DE COSTOS Y MARGEN | | | PRESTAMO | EGRESOS | INGRESOS |
|--|-------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|----------|
| | | | ene-18 | | |
| Terreno y urbanización | \$ 8.864.000,00 | 31,04% | \$ 5.969.033,00 | PAGO INETERES | |
| Estudios (Especiales) | \$ 16.900,00 | 0,06% | \$ 16.900,00 | PAGO INETERES | |
| Impuestos y Notario | \$ 174.000,00 | 0,61% | \$ 174.000,00 | PAGO INETERES | |
| Construcción | \$ 16.254.000,00 | 56,93% | \$ 2.031.750,00 | PAGO INETERES | |
| Licencias y Permisos | \$ 800.000,00 | 2,10% | \$ 150.000,00 | PAGO INETERES | |
| Gerencia del Proyecto | \$ 2.022.480,00 | 7,06% | 1° VALOR X MES | | |
| | | | VALOR/ENG/PAGO 1° MES | | |
| Comision Creditos | 0 | 0% | | | |
| IMSS SARE INFONAVIT | \$ 74.000,00 | 0,26% | PRESTAMO SEGUN RETIRO 6 | PAGO INTERES ASIMILADO | |
| Impuestos ISR | \$ 564.000,00 | 1,98% | | PAGO / MES 1 | |
| TOTAL INVERSION | \$ 28.552.480,00 | 100% | #¡VALOR! | #¡VALOR! | |
| PRECIO PREVENTA 2018 \$1,590,000.00 (26 UNIDADES) | | | | | |
| Total Ventas | \$ 41.340.000,00 | | | | |
| Margen Bruto | \$ 12.787.520,00 | 30,93% | | | |
| Comisiones x Ventas | \$ 1.446.900,00 | 3,50% | | | |
| Margen Antes de ISR | 11.340.620 | 27,43% | | | |






Figura IV.3. Presupuesto de Torre 1 (Casas JIE y Asociados).

Con base a la información presentada por la Gerencia, la torre 1 tendría una inversión de \$9,517,493.33, sin embargo, al realizar la construcción el costo fue de \$15,597,276.86, lo cual representa un incremento en el presupuesto del 64%; La duración de la Obra se proyectó a 6 meses (figura IV.4), la duración real fue de 24 meses lo que ocasionó sobrecostos principalmente por financiamiento.

| PROGRAMA DE OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--------------|-----|------------|-----|------------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| OBRA: | | CONSTRUCCION DE OCHO DEPARTAMENTOS EN REGIMEN DE PROPIEDAD EN CONDOMINIO | | | | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN: | | CAMINO A SAN JOSE XILOTZINGO 8767-1, COLONIA DE RANCHO DE SAN JOSE XILOTZINGO DEL MUNICIPIO DE PUEBLA. | | | | | | | | | | | | |
| LAVI | PARTIDAS | U. | FEBRERO 2018 | | MARZO 2018 | | ABRIL 2018 | | MAYO 2018 | | JUNIO 2018 | | JULIO 2018 | |
| | | | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM | SEM |
| CONSTRUCCION DE EDIFICIO DE 8 DEPARTAMENTOS | | | | | | | | | | | | | | |
| PA-1 PAVIMENTACION DE CALLE | | | | | | | | | | | | | | |
| | PAVIMENTACION, CONEXION DE SERVICIOS Y | PAR | | | | | | | | | | | | |
| PA-2 EDIFICIO | | | | | | | | | | | | | | |
| | CIMENTACION | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | ESTRUCTURA DE | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | ALBAÑILERIAS | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | CISTERNA | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | INSTALACIONES HIDROSANITARIAS | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | INSTALACION ELECTRICA | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | ACABADOS Y | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | HERRERIAS | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | INSTALACIONES | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | PINTURAS E IMPERMEABILIZANTES | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | CARPINTERIAS | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | ELEVADOR | PAR | | | | | | | | | | | | |
| | MOBILIARIO SANITARIO | PAR | | | | | | | | | | | | |

Página 1

***PAR = PARTIDA DE PROYECTO

Figura IV.4. Programa de obra de la Torre 1 (Casas JIE y Asociados).

La diferencia entre el presupuesto y los costos finales de la construcción pudo haber sido ocasionado por diferentes factores, el objetivo de este trabajo es utilizar una metodología diferente, y con la ayuda de herramientas tecnológicas buscar una forma más eficiente para el desarrollo del proceso de planeación, que permita detectar errores antes de comenzar con los trabajos en obra, y así poder mitigar sobrecostos. Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología BIM, esta metodología se aplica en todas las etapas de un proyecto, en este trabajo se desarrolló para la etapa de planeación.

Un problema que se presenta con frecuencia en las obras es que se comienza la construcción cuando aún no está completo el proyecto, generalmente la información se va desarrollando al mismo tiempo que se construye la obra ocasionando retraso en algunos trabajos, desafortunadamente es una práctica común, realizar retrabajos, ajustes a los presupuestos, solicitar prórrogas para entrega de obras, etcétera; en cambio, cuando se dedica el tiempo suficiente para planear los trabajos se puede llegar a anticipar posibles problemas, un factor importante es la experiencia del administrador.

Para desarrollar un proyecto es necesario contar con la mayor cantidad de información, eso ayuda a tomar decisiones, BIM es una metodología en donde este punto es básico, no se puede avanzar en las siguientes etapas si no se tienen los datos que se solicitan. La metodología BIM cuenta con estándares internacionales, algunos cuentan con certificación ISO; el primer estándar que se aplicó al proyecto es LOD (*Level Of Detail*), en él se especifican las características e información que requieren las entidades, la clasificación depende de la cantidad de información que contiene el elemento. En un proyecto las entidades que lo forman pueden tener diferentes niveles de desarrollo, esto va a depender de las especificaciones, en este proyecto los elementos estructurales se desarrollaron con detalles LOD 350 (figura IV.5), en este nivel es necesario que el elemento tenga información sobre materiales, geometría y conexión con otros elementos.



Figura IV.5. Nivel de Información Gráfica (LOD) (BuildingSMART, 2020).

4.2 MODELO BIM

Se desarrollaron dos modelos: arquitectónico y estructural, ambos se trabajaron con el programa Revit de Autodesk. Se desarrolló primero el modelo arquitectónico (figura IV.6), es importante mencionar que los modelos son para el intercambio de información que servirá durante la etapa de construcción y posterior mantenimiento de los proyectos, para realizar render o vistas de mejor calidad, existen programas especiales para ese fin.

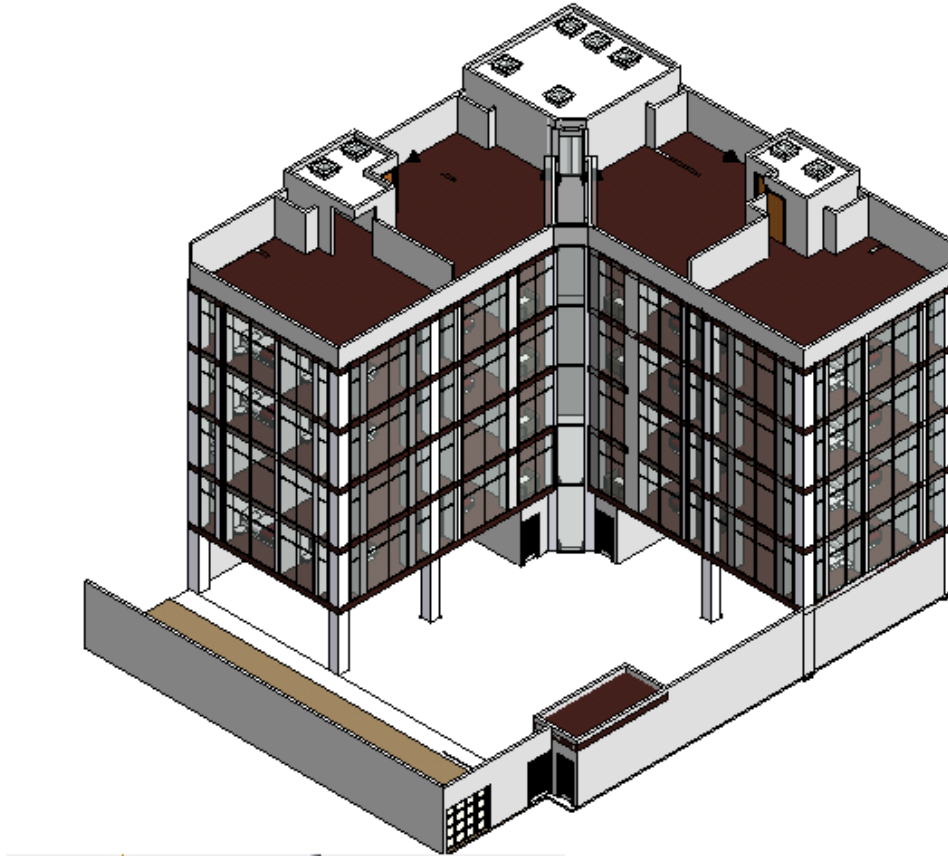


Figura IV.6. Modelo Arquitectónico Torre 1 (Autoría propia).

Los softwares CAD trabajan en 2D, en la mayoría de los casos los planos que se van desarrollando no tienen conexión entre ellos, por esta razón las correcciones o modificaciones a los proyectos no siempre se realizan en todos los documentos, esto provoca que haya vacíos de información. La forma en que se genera la información con un modelo virtual es completamente diferente, no se trabajan planos independientes, sino en vistas de un solo modelo. Esto permite actualizar la información de forma más eficiente y en menor tiempo, en las figuras IV.7, IV.8 y IV.9 se muestran algunas vistas que se obtuvieron del modelo arquitectónico.

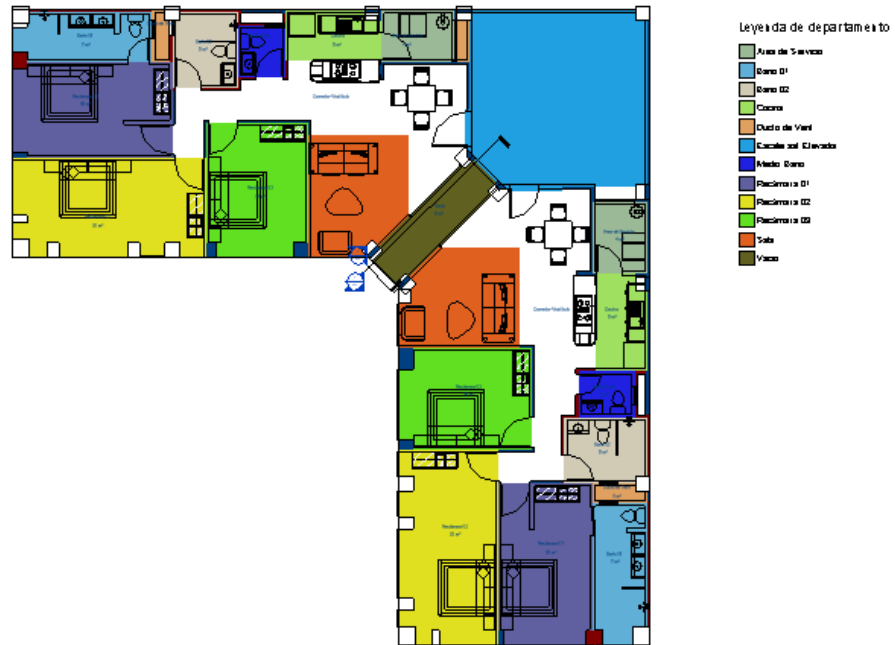


Figura IV.7. Zonificación 1er, 2do y 3er nivel (Autoría propia).

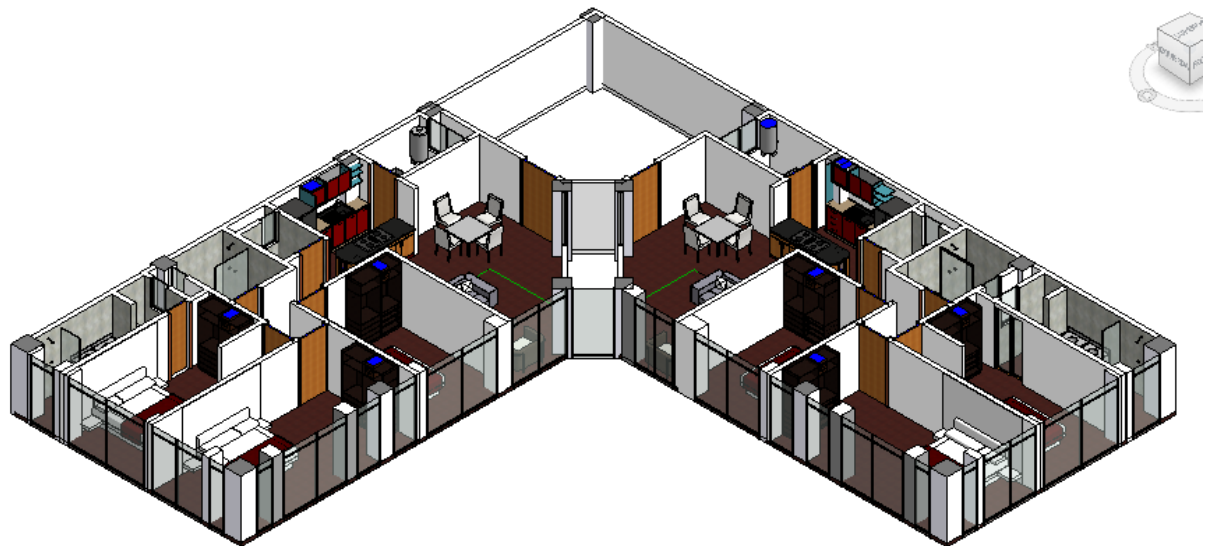


Figura IV.8. Vista 3D 1er, 2do y 3er nivel (Autoría propia).



Figura IV.9. Fachada Principal (Autoría propia).

En la segunda parte del proyecto, se desarrolló el modelo estructural (figura IV.10), Revit permite vincular los modelos para que se tomen como guía en la realización los modelos que se necesiten. Esta vinculación permite visualizar ambos modelos, de esta forma el trabajo de modelado resultó más fácil.

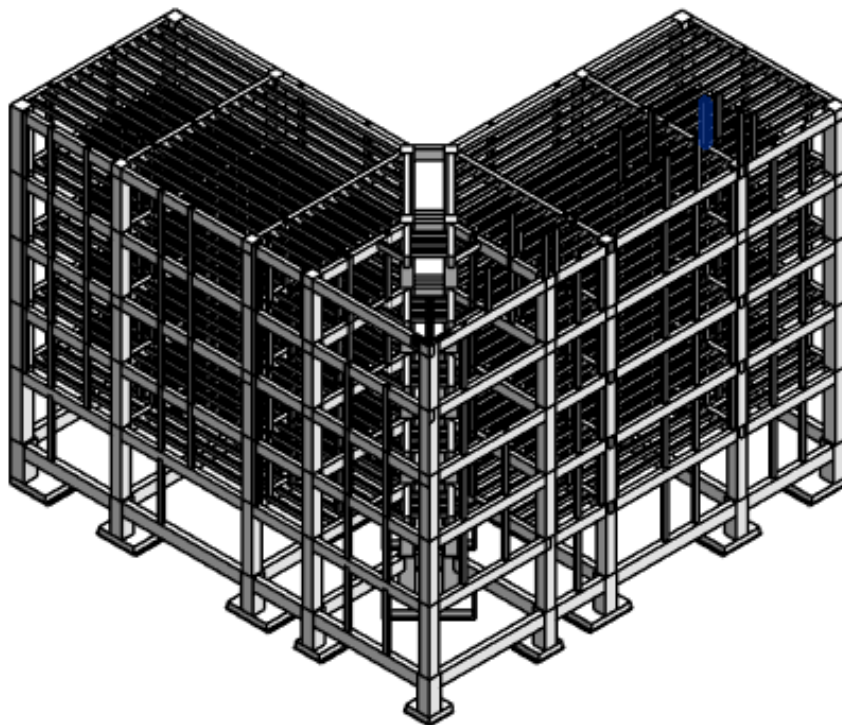


Figura IV.10. Modelo estructural de la Torre 1 (Autoría propia).

El modelo estructural está integrado por cimentación (zapatas, dados, contratraves), columnas, trabes, losas y muros; en esta sección se presentan los detalles de cada una de las entidades. Se comenzó con el desarrollo de la cimentación, el proyecto está integrado por 15 zapatas aisladas de diferentes dimensiones y armados, en la figura IV.11 se muestra la ubicación de cada una.

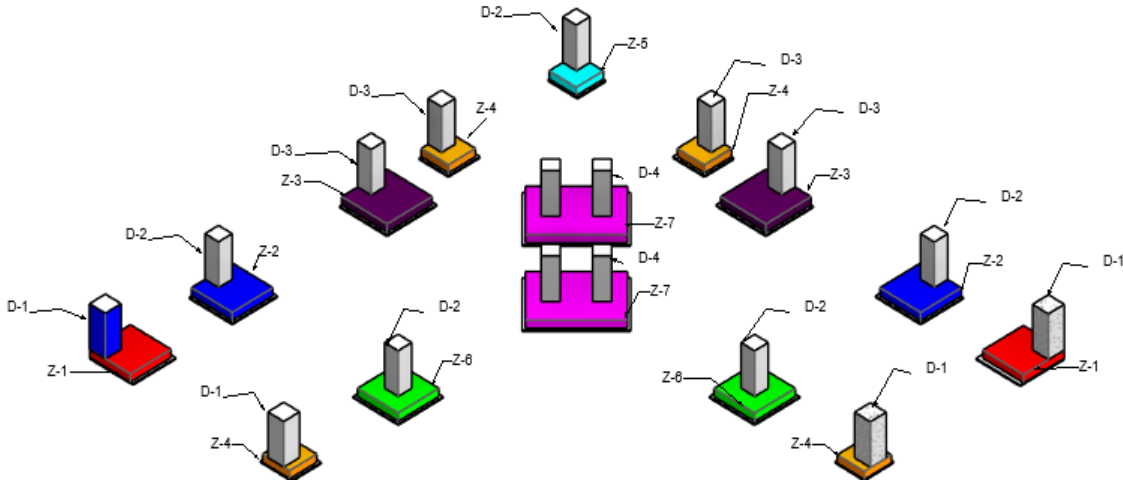
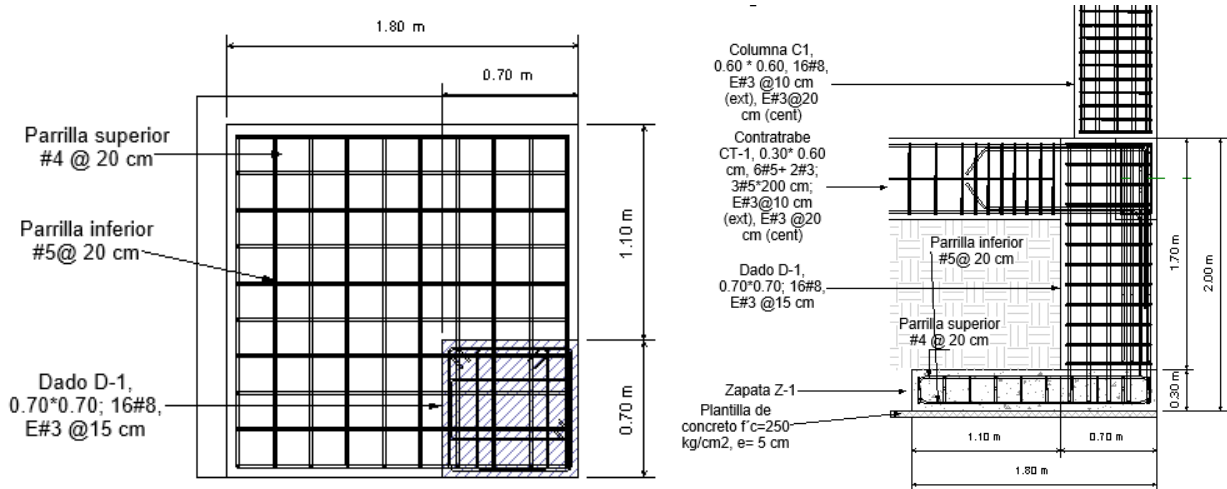


Figura IV.11. Modelo estructural (zapatas) (Autoría propia).

Una vez desarrollada la geometría de un elemento, se procede a alimentar el sistema con la información que servirá para su construcción, como son datos de materiales, armados, anclaje con otros elementos, etcétera. En la figura IV.12 se muestra el detalle de la zapata Z-1; la planta, alzado e isométrico comparten la información, esto quiere decir que, si se realiza el cambio en alguna de las vistas, las demás se actualizarán automáticamente.



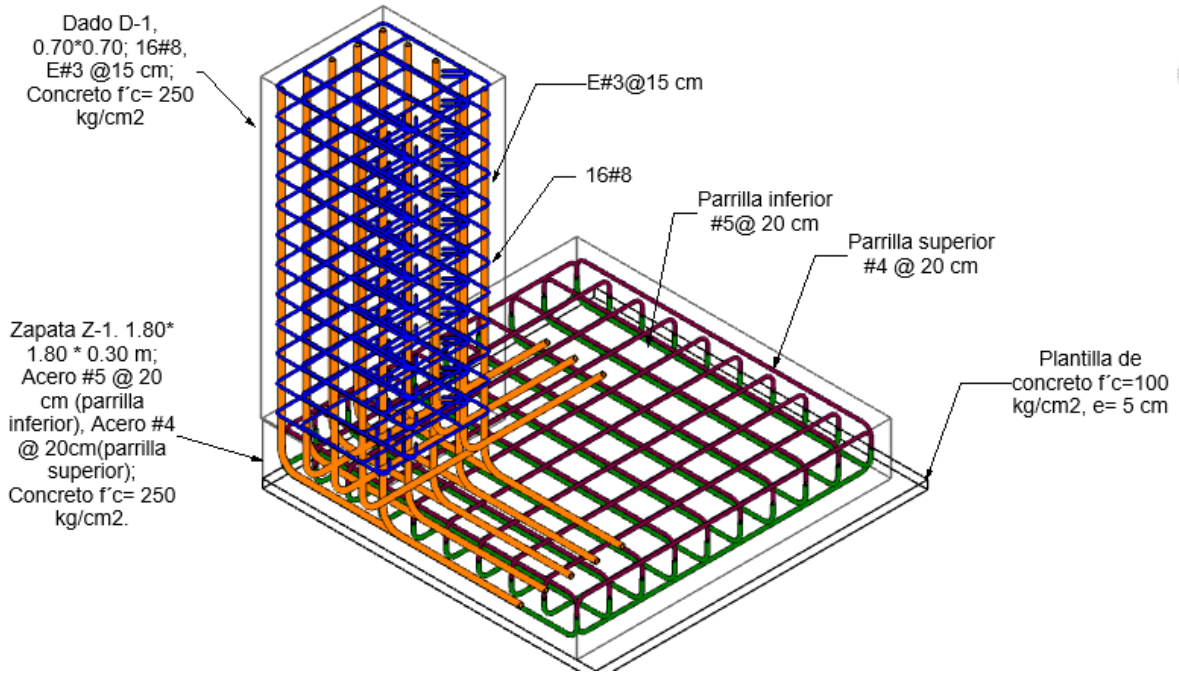
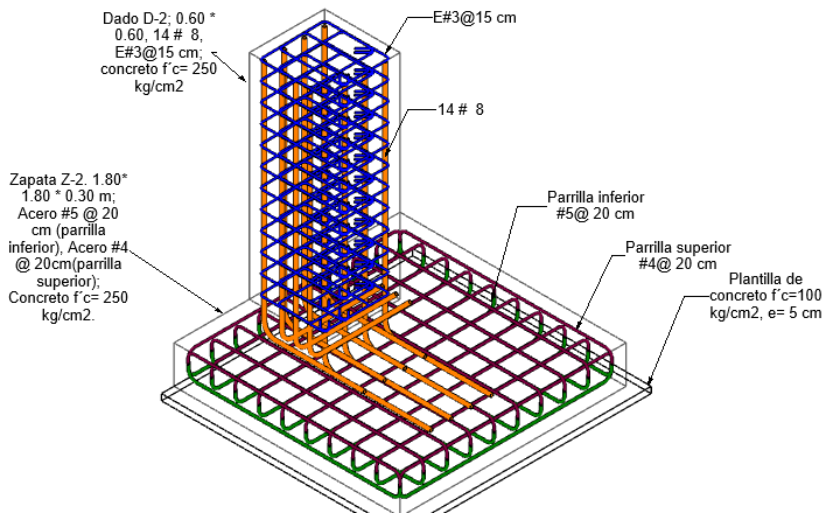
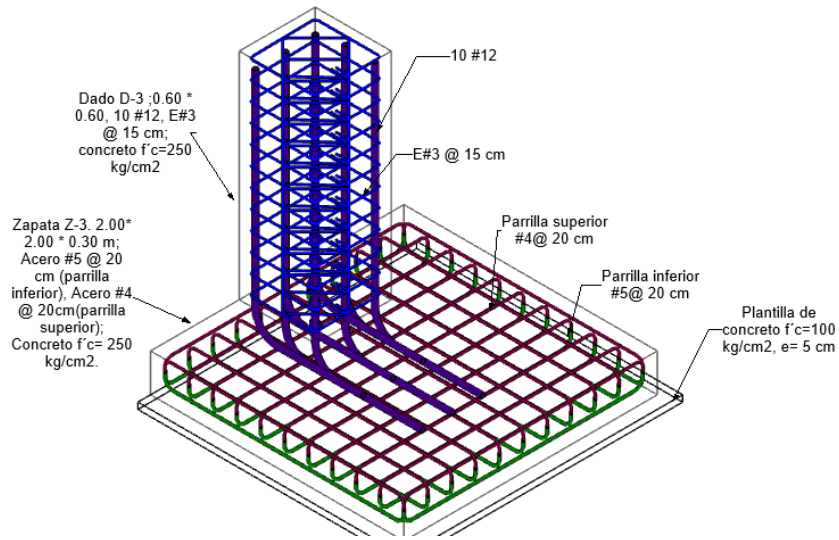


Figura IV.12. LOD 350 Zapata Z-1 (Autoría propia).

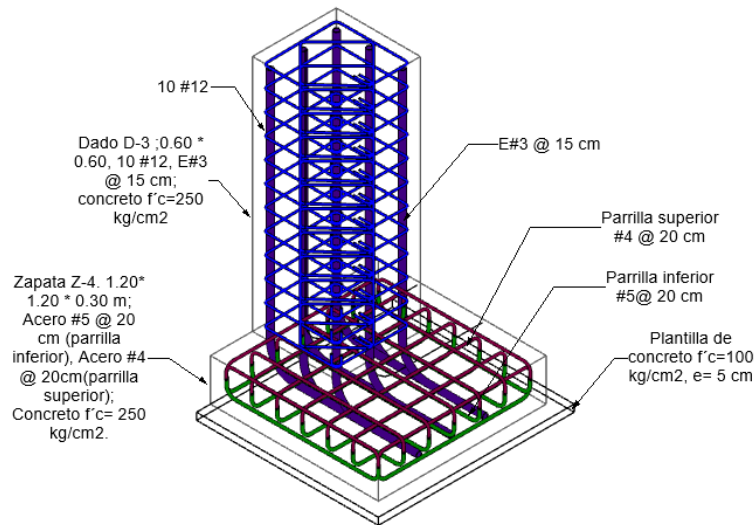
Trabajar con modelos hace más fácil la visualización de los elementos y sus características, las herramientas del programa permiten agregar diferentes colores en los detalles esto ayuda a tener menos errores durante el proceso de modelado. En la figura IV.13 se encuentran los detalles de los otros seis tipos de zapatas que tiene el proyecto, para el desarrollo de esta etapa del trabajo, fue necesario contar con la información del sistema constructivo y especificaciones de las zapatas y sus dados.



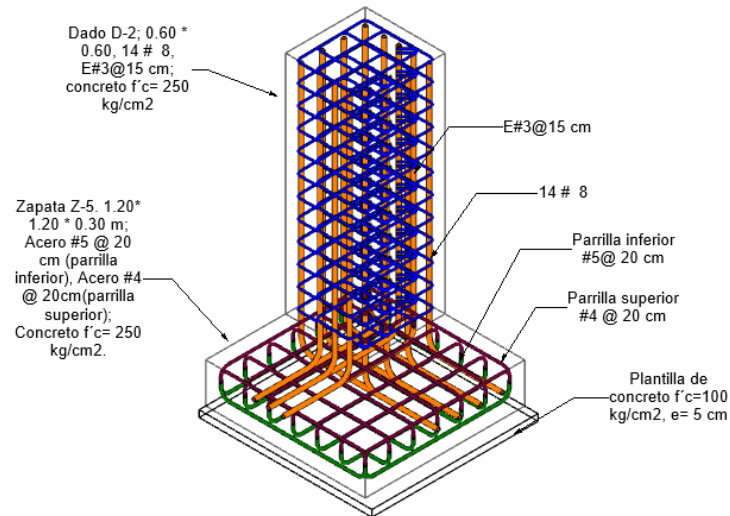
a. Zapata Z-2



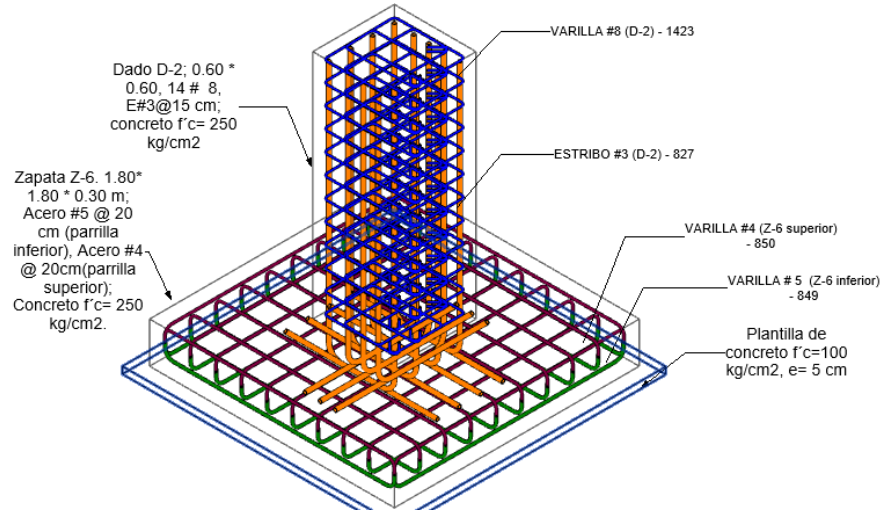
b. Zapata Z-3



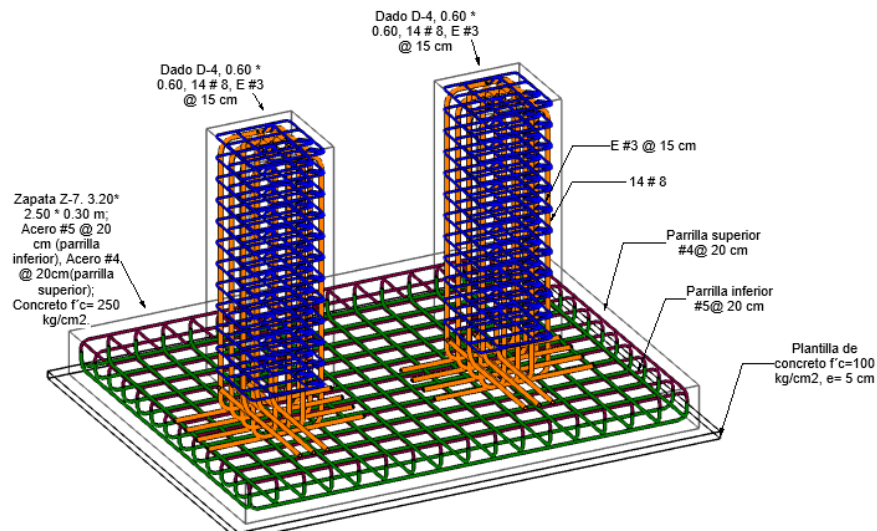
c. Zapata Z-4



d. Zapata Z-5



e) Zapata Z-6



f) Zapata Z-7

Figura IV.13. LOD 350 Zapatas (Autoría propia).

Después de realizar el modelado de las zapatas, se trabajó en los detalles de contratraves, el proyecto cuenta con cinco tipos, cada una se identificó con un color diferente esto facilita su ubicación en el modelo, en la figura IV.14 se puede observar la distribución de cimentación y contratraves en el proyecto.

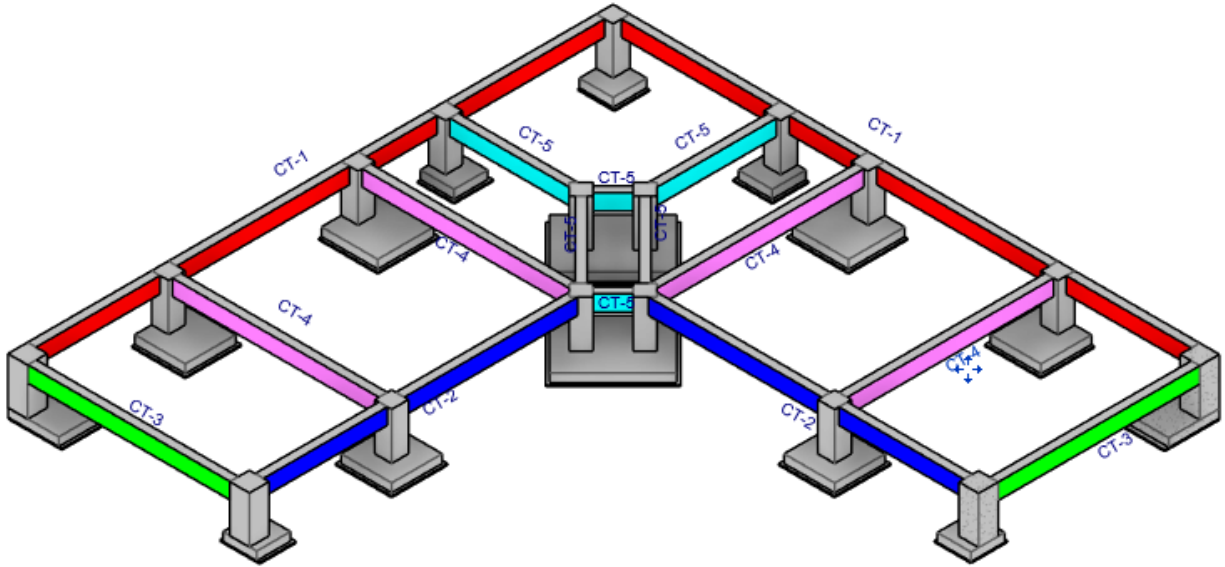


Figura IV.14. Modelo estructural - contratraves (Autoría propia).

En el caso de las contratraves se realizaron los detalles de la Ct-1, en el proyecto se encuentran dos, una está ubicada en el eje 1 / A-X y la otra en el eje X/ 1-30 (figura IV.15), el detalle LOD350 de la Ct-1 se puede observar en la figura IV.16, en este detalle se indican las especificaciones del armado del elemento en la sección 1/A-E; en el Anexo II se encuentran las especificaciones de las demás contratraves.

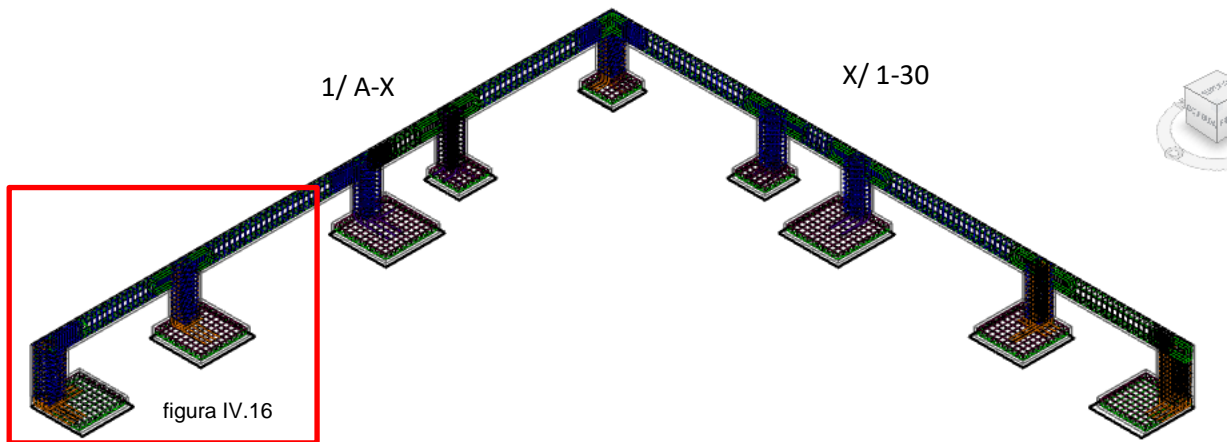


Figura IV.15. Detalle estructural contratrabe Ct-1 (Autoría propia).

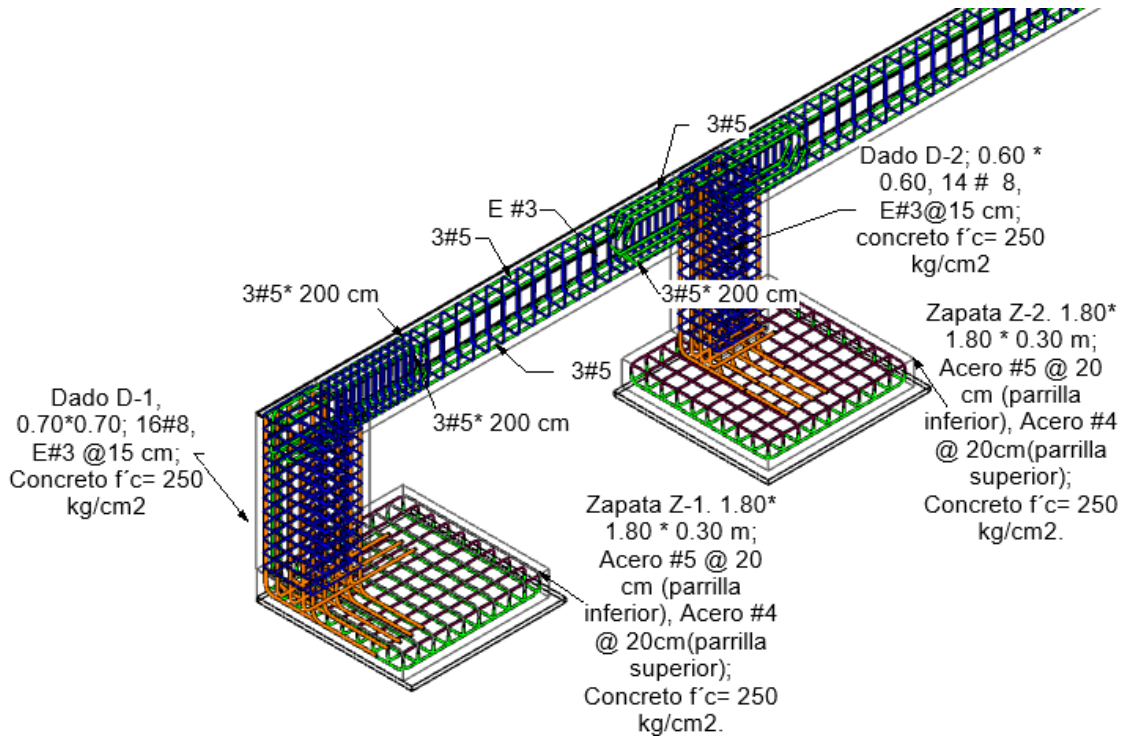


Figura IV.16. LOD 350 contratrabe Ct-1(eje 1 / A-E) (Autoría propia).

La siguiente sección corresponde a los detalles de columnas (figura IV.17), el proyecto está formado por cuatro C-1 (rojo), cuatro C-2 (amarillo), cuatro C-3 (azul) y cinco C-4 (verde); la figura IV.18 corresponde al LOD 350 de la columna C1 ubicada en el eje 1-A.

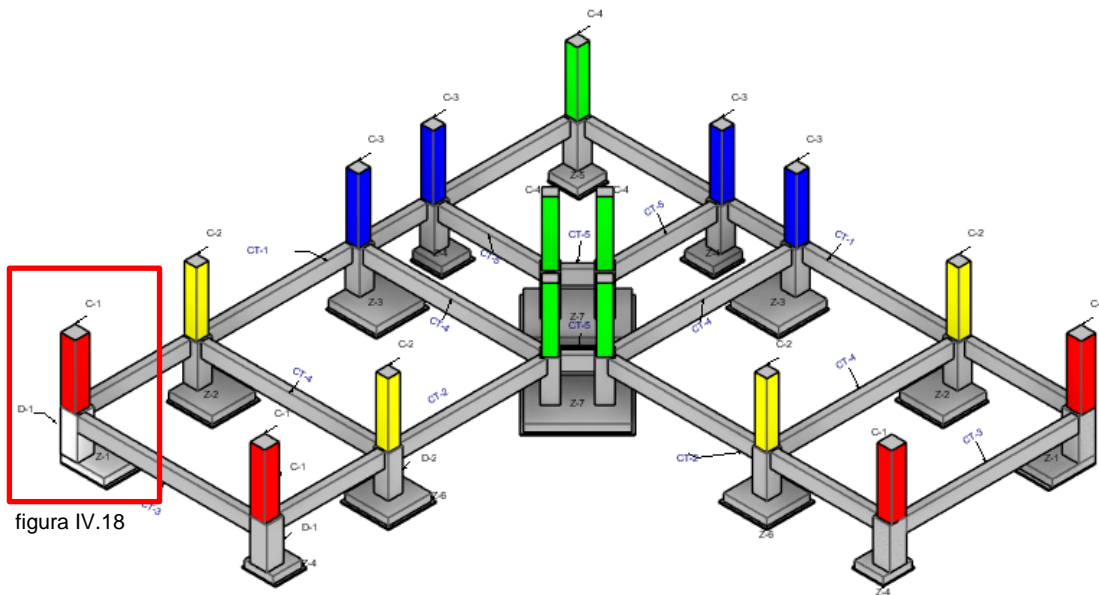


figura IV.18

Figura IV.17. Modelo estructural - columnas (Autoría propia).

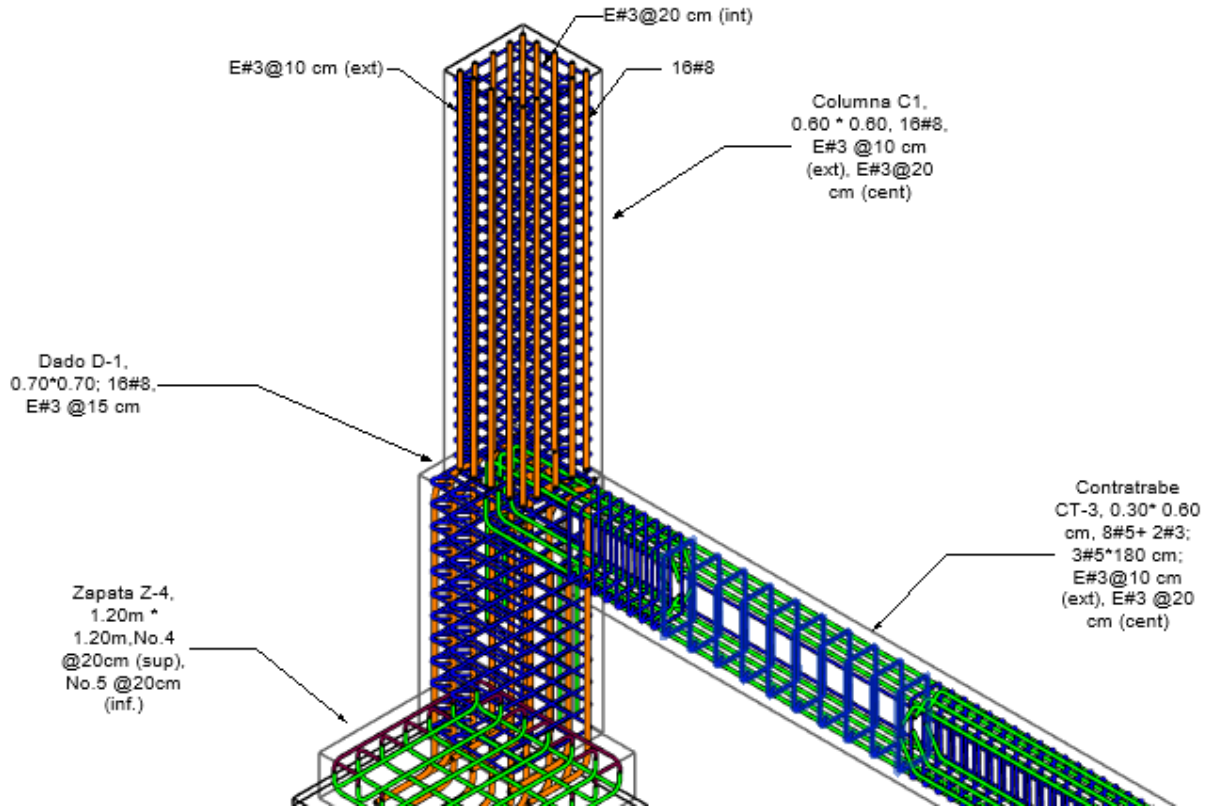


Figura IV.18. LOD 350 columna (Autoría propia).

La siguiente actividad corresponde al modelado de las traves (figura IV.19), el proyecto tiene cinco tipos diferentes, dos Ta-1 (rojo), dos Ta-2 (azul), dos Ta-3 (verde), cuatro Ta-4 (rosa) y seis Ta-5 (morado).

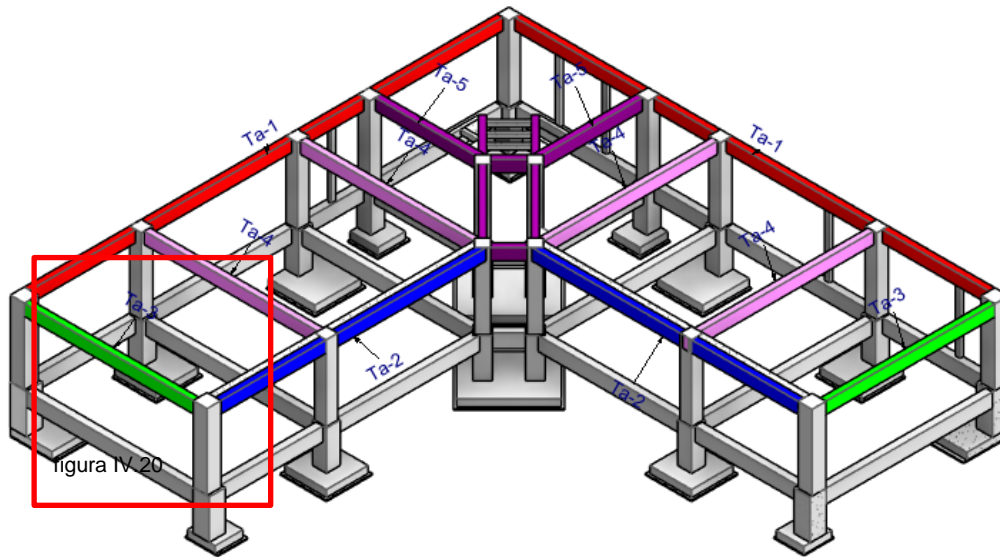


Figura IV.19. Modelo estructural - traves (Autoría propia).

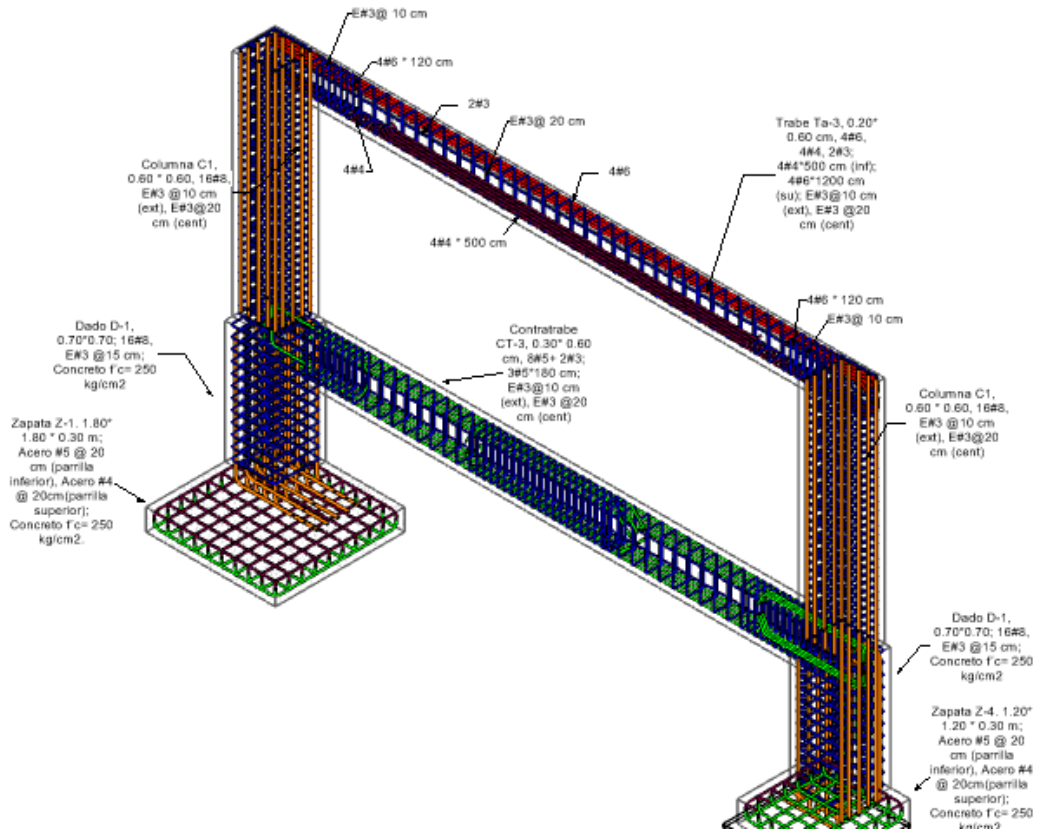


Figura IV.20. LOD 350 Columna-trabe (Autoría propia).

En esta etapa se trabajaron las losas, el sistema constructivo que se utilizó es de bovedillas de poliestireno Makros M-25, entre cada elemento se colocaron cadenas de 15 cm * 20 cm, armadas con cuatro varillas del No. 3 y estribos del No.2 a cada 20 cm. En la imagen IV.21 se muestra la distribución de las cinco losas que se modelaron para el proyecto y en la figura IV.22 se muestran algunas vistas de una losa, incluyendo el detalle LOD350.

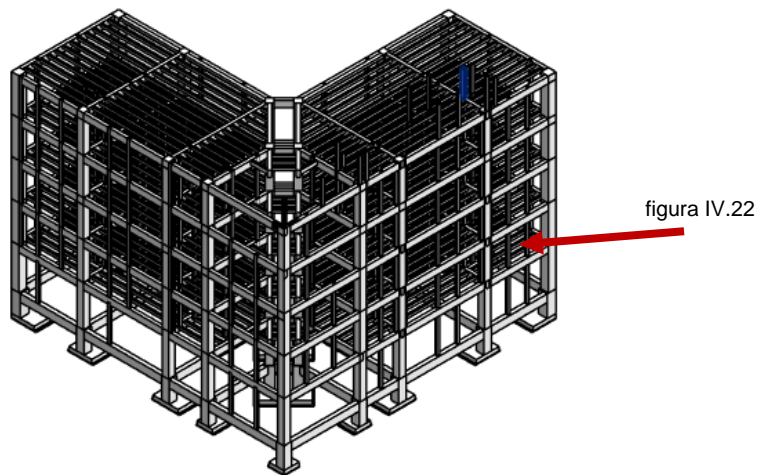


Figura IV.21. Losas de la Torre 1 (Autoría propia).

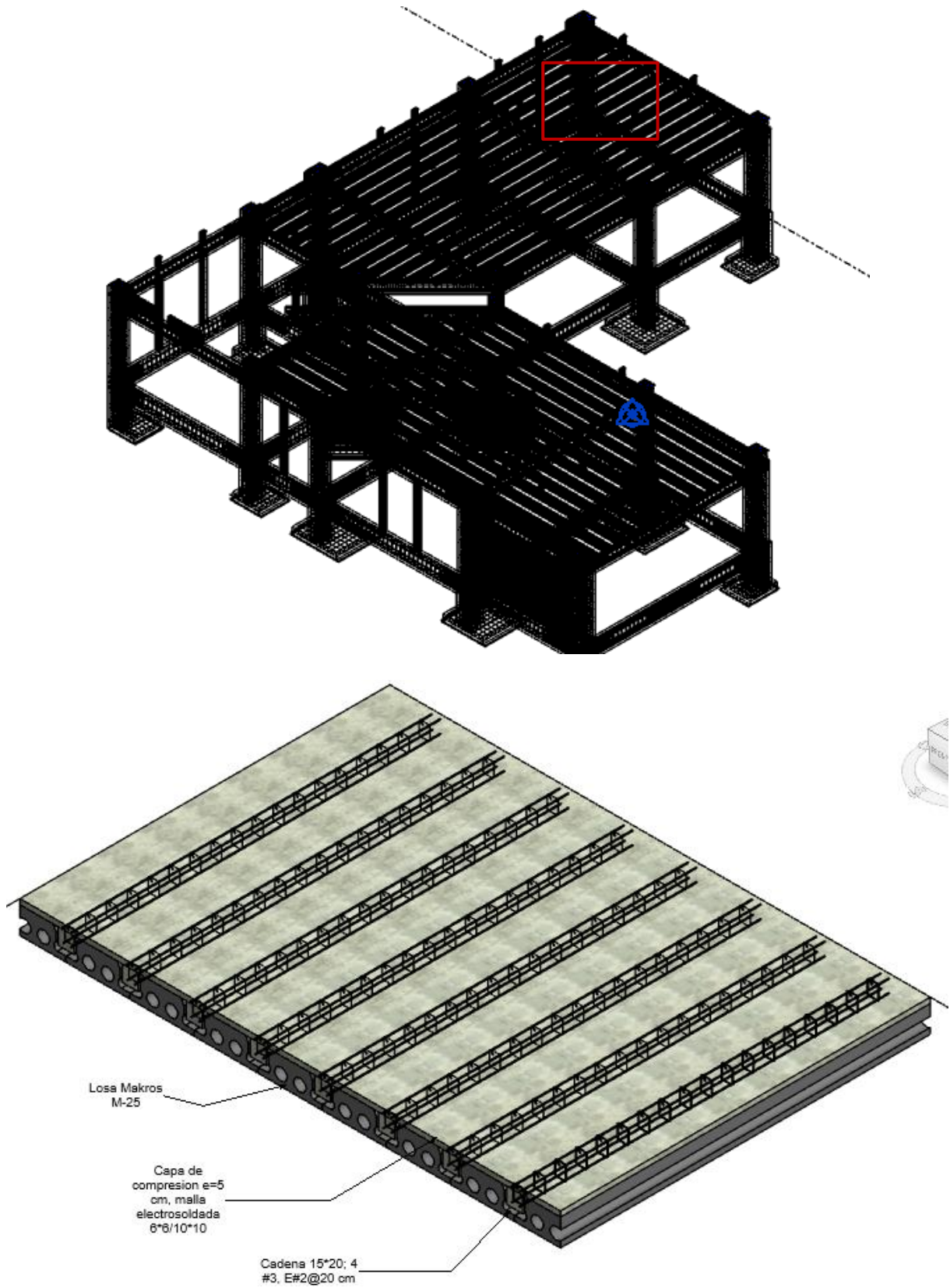


Figura IV.22. LOD 350 de losa en Torre 1 (Autoría propia).

El último elemento que se modeló en Revit, fue la mampostería para los muros (figura IV.23), la especificación menciona que se construyó con block multierforado de la marca TABIMEX, en el detalle se aprecia la colocación del material sin considerar acabados.

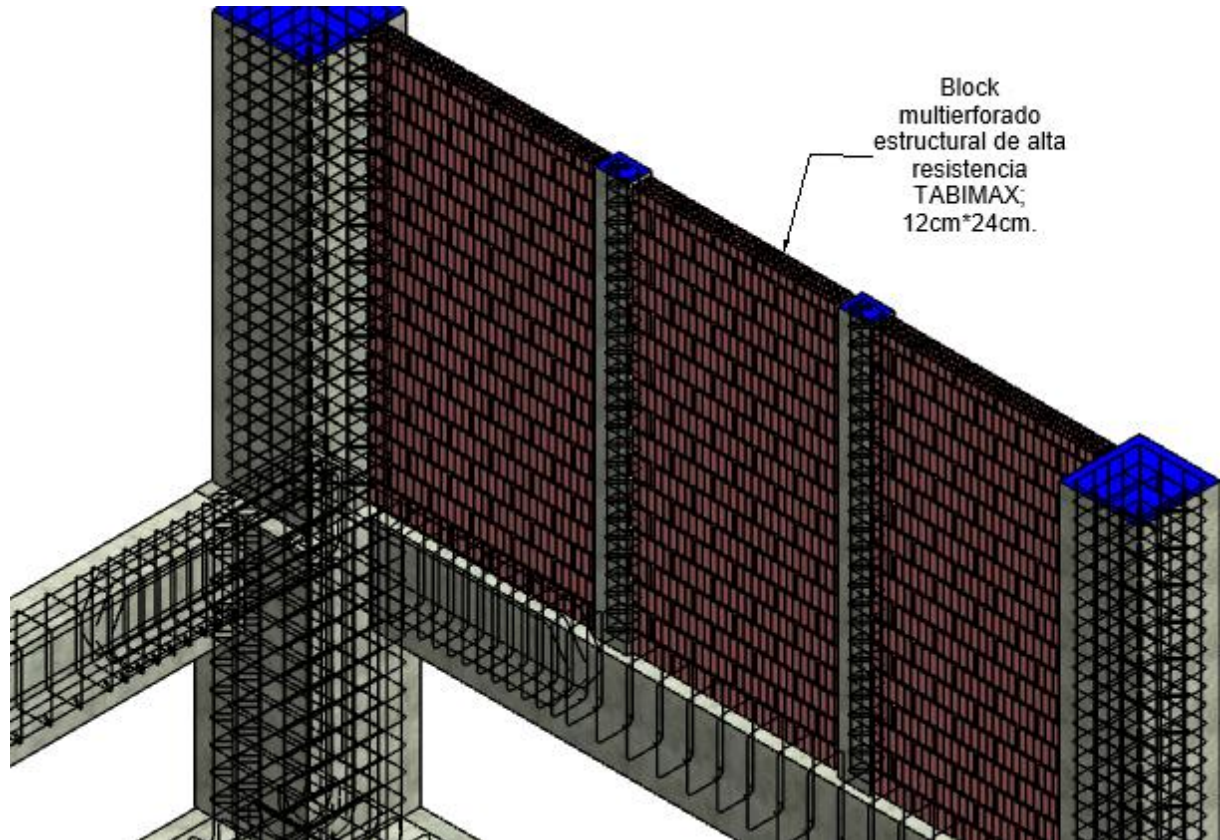


Figura IV.23. LOD 350 de Muros mampostería en Torre 1 (Autoría propia).

Para poder modelar los elementos fue necesario contar con la información completa del proyecto, sus alcances y especificaciones. El modelo arquitectónico se tomó como base para el modelo estructural, el software permite vincular los modelos, de esta forma se van detectando errores durante la etapa de modelado. El software cuenta con herramientas que indican cuando hay incidencias, como elementos duplicados, espacios no cerrados, etcétera.

La información almacenada en el modelo es útil para la toma de decisiones, por ejemplo, las cantidades de insumos como materiales que sirven para generar los presupuestos de obra y calendarios de suministros. A continuación, se presentan algunas tablas de datos que se obtuvieron del modelo estructural, el alcance de este proyecto es obra gris, por lo tanto, las cantidades corresponden a las partidas:

- a) Concreto en estructura
 - a. Zapatas y dados
 - b. Contratraves
 - c. Traves
 - d. Losa
 - e. Columnas

- b) Acero en estructura
 - a. Zapatas y dados
 - b. Contratraves
 - c. Traves
 - d. Losa
 - e. Columnas

c) Muros mampostería

d) Losa Makros M-25

Tabla IV.1

Cuantificación de concreto en cimentación (Zapatas) (Autoría propia).

| Concreto en cimentacion | | | | | |
|--------------------------------|----------|---------|----------|------------------|----------------------|
| Modelo | Recuento | Anchura | Longitud | Área | Volumen |
| Z-1 | 2 | 1.80 m | 1.80 m | 3 m ² | 1.94 m ³ |
| Z-2 | 2 | 1.80 m | 1.80 m | 3 m ² | 1.94 m ³ |
| Z-3 | 2 | 2.00 m | 2.00 m | 4 m ² | 2.40 m ³ |
| Z-4 | 4 | 1.20 m | 1.20 m | 1 m ² | 1.73 m ³ |
| Z-5 | 1 | 1.20 m | 1.20 m | 1 m ² | 0.43 m ³ |
| Z-6 | 2 | 1.80 m | 1.80 m | 3 m ² | 1.94 m ³ |
| Z-7 | 2 | 3.20 m | 2.50 m | 8 m ² | 4.80 m ³ |
| Total general: 15 | 15 | | | | 15.19 m ³ |

Tabla IV.2

Cuantificación de concreto en columnas (Autoría propia).

| Concreto en columnas | | | | | |
|----------------------|----------|------------|----------|------|-----------------------|
| Modelo | Longitud | Nivel base | Recuento | Tipo | Volumen |
| C-1 | 3.25 m | Nivel 1 | 4 | C-1 | 4.68 m ³ |
| C-2 | 3.25 m | Nivel 1 | 4 | C-2 | 3.25 m ³ |
| C-3 | 3.25 m | Nivel 1 | 4 | C-3 | 3.25 m ³ |
| C-4 | 3.25 m | Nivel 1 | 5 | C-4 | 4.06 m ³ |
| C-5 | 2.90 m | Nivel 2 | 4 | C-5 | 4.18 m ³ |
| C-6 | 2.90 m | Nivel 2 | 4 | C-6 | 2.90 m ³ |
| C-7 | 2.90 m | Nivel 2 | 4 | C-7 | 2.90 m ³ |
| C-8 | 2.90 m | Nivel 2 | 5 | C-8 | 3.63 m ³ |
| C-9 | 2.90 m | Nivel 3 | 4 | C-9 | 4.18 m ³ |
| C-10 | 2.90 m | Nivel 3 | 4 | C-10 | 2.90 m ³ |
| C-11 | 2.90 m | Nivel 3 | 4 | C-11 | 2.90 m ³ |
| C-12 | 2.90 m | Nivel 3 | 5 | C-12 | 3.63 m ³ |
| C-17 | 2.90 m | | 8 | C-17 | 8.35 m ³ |
| C-18 | 2.90 m | | 8 | C-18 | 5.80 m ³ |
| C-19 | 2.90 m | | 8 | C-19 | 5.80 m ³ |
| C-20 | 2.90 m | | 10 | C-20 | 7.25 m ³ |
| D-1 | 1.70 m | Nivel 1 | 4 | D-1 | 3.33 m ³ |
| D-2 | 1.70 m | Nivel 1 | 5 | D-2 | 3.06 m ³ |
| D-3 | 1.70 m | Nivel 1 | 4 | D-3 | 2.45 m ³ |
| D-4 | 1.70 m | Nivel 1 | 4 | D-4 | 2.45 m ³ |
| K-1 | | | 275 | K-1 | 23.55 m ³ |
| Total general: 377 | | | 377 | | 104.49 m ³ |

TABLA IV.3

Cuantificación de concreto en vigas (Autoría propia).

| Concreto en Vigas | | | | |
|--------------------|---------------------|----------|-----------|-----------------------|
| Modelo | Nivel de referencia | Recuento | Longitud | Volumen |
| | Nivel 1 | 16 | 137.86 m | 21.51 m ³ |
| | Nivel 2 | 48 | 532.08 m | 27.29 m ³ |
| | Nivel 3 | 49 | 532.84 m | 26.71 m ³ |
| | Nivel 4 | 49 | 532.84 m | 26.73 m ³ |
| | Nivel 5 | 49 | 532.51 m | 26.75 m ³ |
| | Nivel 6 | 49 | 532.51 m | 26.69 m ³ |
| Total general: 260 | | | 2800.64 m | 155.68 m ³ |

Tabla IV.4

Cuantificación Acero en estructura (Autoría propia).

| Total Acero en Estructuras | | | | |
|----------------------------|--------------|-------------------|------------|-------------|
| Diámetro de barra | Piezas (12m) | Peso acero (kg/m) | Total (m) | Total (kg) |
| 6 mm | 35.52 | 0.25 kg/m | 426.27 m | 106.99 kg |
| 10 mm | 605.14 | 0.56 kg/m | 7261.63 m | 4044.73 kg |
| 13 mm | 127.54 | 1.00 kg/m | 1530.47 m | 1524.35 kg |
| 16 mm | 66.83 | 1.56 kg/m | 802.00 m | 1251.12 kg |
| 19 mm | 61.12 | 2.25 kg/m | 733.44 m | 1650.24 kg |
| 25 mm | 190.41 | 3.98 kg/m | 2284.98 m | 9082.79 kg |
| 38 mm | 45.83 | 8.94 kg/m | 549.90 m | 4915.04 kg |
| Total general: | 1132.39 | | 13588.70 m | 22575.27 kg |
| 3999 | | | | |

Tabla IV.5

Cuantificación muros mampostería (Autoría propia).

| Cuantificacion Muros | | |
|----------------------|--------|------------------------|
| Tipo | Altura | Área |
| CANCEL BAÑO | 2.00 m | 30.84 m ² |
| CANCEL BAÑO: 16 | | 30.84 m ² |
| MURO 01 | | 1711.33 m ² |
| MURO 01: 238 | | 1711.33 m ² |
| MURO 02 | 2.90 m | 434.66 m ² |
| MURO 02: 82 | | 434.66 m ² |
| MURO 03 | 2.90 m | 56.14 m ² |
| MURO 03: 16 | | 56.14 m ² |
| MURO FACHADA | | 449.55 m ² |
| MURO FACHADA: 98 | | 449.55 m ² |
| Ventana | 1.40 m | 34.78 m ² |
| Ventana: 32 | | 34.78 m ² |
| Total general: 482 | | 2717.31 m ² |

En la figura IV.24 se muestra el presupuesto que sirvió de base para la construcción de la torre 1, el proyecto fue desarrollado en 2D con el software AutoCAD de Autodesk y los generadores se realizaron de forma tradicional, cuando se trabaja de esa forma el tiempo para la obtención de datos es mayor ya que generalmente el responsable de obtener generadores de obra no es quien diseña por lo que la interpretación de los planos puede ser diferente.

CAPITULO IV: APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM

| | | | | | |
|------------------------------|---|----|-------------|---|--------------|
| ACE019 | SUMINISTRO, HABILITADO, ARMADO Y COLOCADO DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURA RESISTENCIA NOMINAL FY=4200 KG/CM2 No. 3 DIAMETRO 3/8" | KG | 1,743.2500 | \$26.70 (* VEINTISEIS PESOS 70/100 M.N. *) | \$46,544.78 |
| ACE021 | SUMINISTRO, HABILITADO, ARMADO Y COLOCADO DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURA RESISTENCIA NOMINAL FY=4200 KG/CM2 DEL No. 4 Y 5 DIAMETRO 1/2" Y 5/8" | KG | 515.0000 | \$27.19 (* VEINTISIETE PESOS 19/100 M.N. *) | \$14,002.85 |
| ACE027 | SUMINISTRO, HABILITADO, ARMADO Y COLOCADO DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURA RESISTENCIA NOMINAL FY=4200 KG/CM2 No. 6 AL 12 DIAMETRO 3/4" A 1 1/2" | KG | 6,060.0000 | \$26.88 (* VEINTISEIS PESOS 88/100 M.N. *) | \$162,892.80 |
| 12012-A | CONCRETO PREMEZCLADO FC=2500KG/CM2 BOMBEADO EN CIMENTACION T.M.A 3/4", INCLUYE VACIADO, VIBRADO Y CURADO. A UNA ALTURA PROMEDIO DE BOMBA PLUMA DE HASTA 36 MTRS. | M3 | 48.2600 | \$2,180.22 (* DOS MIL CIENTO OCHENTA PESOS 22/100 M.N. *) | \$105,217.42 |
| RELL009 | RELLENO EN ZANJAS COMPACTADO AL 85% PROCTOR CON COMPACTADOR VIBRATORIO EN CAPAS DE 20 CM. MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACION, PRESENTANDO LA PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE LA COMPACTACION. | M3 | 180.0000 | \$416.06 (* CUATROCIENTOS DIECISEIS PESOS 06/100 M.N. *) | \$74,890.80 |
| ESTRUCTURA ESTRUCTURA | | | | | |
| ACE019 | SUMINISTRO, HABILITADO, ARMADO Y COLOCADO DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURA RESISTENCIA NOMINAL FY=4200 KG/CM2 No. 3 DIAMETRO 3/8" | KG | 12,544.3300 | \$26.70 (* VEINTISEIS PESOS 70/100 M.N. *) | \$334,933.61 |
| ACE021 | SUMINISTRO, HABILITADO, ARMADO Y COLOCADO DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURA RESISTENCIA NOMINAL FY=4200 KG/CM2 DEL No. 4 Y 5 DIAMETRO 1/2" Y 5/8" | KG | 8,327.0100 | \$27.19 (* VEINTISIETE PESOS 19/100 M.N. *) | \$226,411.40 |
| ACE027 | SUMINISTRO, HABILITADO, ARMADO Y COLOCADO DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURA RESISTENCIA NOMINAL FY=4200 KG/CM2 No. 6 AL 12 DIAMETRO 3/4" A 1 1/2" | KG | 24,386.7700 | \$26.88 (* VEINTISEIS PESOS 88/100 M.N. *) | \$655,516.38 |

Figura IV.24 Presupuesto del Proyecto (Casas JIE y Asociados).

Un inconveniente que se presentó durante la ejecución de la obra, fue que las cantidades entregadas para realizar el presupuesto no correspondían a las cantidades que se necesitaban en obra, por esta razón el residente de obra realizó un nuevo cálculo para solicitar las cantidades reales. Con las cantidades del presupuesto, los datos obtenidos por el residente y los datos obtenidos del modelo en Revit se realizó una tabla (figura IV.25) de la cual se obtuvieron las siguientes observaciones:

- Las cantidades del presupuesto presentan una diferencia con respecto a las generadas por el residente.
- Las cantidades del residente y las obtenidas con el modelo BIM son similares.
- La obtención de tablas de información de un modelo es un proceso que consume menos tiempo, comparando con la forma tradicional.

| Cantidades de Obra en Cimentación (zapatas, columnas) | | | | |
|---|----------------|-------------|-------------|------------|
| Descripcion | Unidad | Presupuesto | Generadores | Modelo BIM |
| Suministro, habilitado, armado y colocado de acero de refuerzo en estructura resistencia nominal $f_y=4200$ kg/cm ² no. 3 diámetro 3/8" | kg | 1,743.25 | 269.48 | 630.91 |
| Suministro, habilitado, armado y colocado de acero de refuerzo en estructura resistencia nominal $f_y=4200$ kg/cm ² del no. 4 y 5 diámetro 1/2" y 5/8" | kg | 515.00 | 1,331.14 | 1,457.95 |
| Suministro, habilitado, armado y colocado de acero de refuerzo en estructura resistencia nominal $f_y=4200$ kg/cm ² no. 6 al 12 diámetro 3/4" a 1 1/2" | kg | 6,060.00 | 3,013.01 | 2,674.23 |
| Concreto premezclado $f_c=250$ kg/cm ² bombeado en cimentacion t.m.a 3/4", incluye vaciado, vibrado y curado. A una altura promedio de bomba pluma de hasta 36 mtrs. | m ³ | 48.26 | 24.32 | 26.48 |

| Cantidades de Obra en Estructura | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|------------|
| Descripcion | Unidad | Presupuesto | Generadores | Modelo BIM |
| Suministro, habilitado, armado y colocado de acero de refuerzo en estructura resistencia nominal $f_y=4200$ kg/cm ² no. 3 diámetro 3/8" | kg | 12,544.33 | 11,631.80 | 10,052.78 |
| Suministro, habilitado, armado y colocado de acero de refuerzo en estructura resistencia nominal $f_y=4200$ kg/cm ² del no. 4 y 5 diámetro 1/2" y 5/8" | kg | 8,327.01 | 9,309.28 | 8,301.77 |
| Suministro, habilitado, armado y colocado de acero de refuerzo en estructura resistencia nominal $f_y=4200$ kg/cm ² no. 6 al 12 diámetro 3/4" a 1 1/2" | kg | 24,386.77 | 24,386.76 | 19,920.83 |
| Muro de tabique Tabimax 12, color naranja, prensado de 6x13x26 cm.r, asentado con mortero cemento-arena 1:4 juntas de 1.5 cm acabado comun, de la marca Nova-Ceramic | m ² | 1,132.00 | 1,310.05 | 2,202.13 |

Figura IV.25 Comparación entre cantidades de presupuesto, generadores y modelo BIM (Autoría propia).

Los proyectos en etapa de diseño generalmente presentan cambios o correcciones, los entregables como planos y presupuestos deben de actualizarse constantemente, recordemos que BIM es un trabajo colaborativo en donde el flujo de información es lo más importante para evitar errores. Los modelos pueden tener modificaciones en cualquier etapa para finalmente llegar a los planos definitivos o *As Built*, la metodología BIM no termina su proceso con la construcción, ya que la información quedará almacenada para consulta, mantenimiento y eventual demolición del edificio.

4.3 FORMATO IFC

Los modelos presentados anteriormente se desarrollaron en el programa REVIT de Autodesk, por lo tanto, la información se puede observar y modificar en dicho programa lo cual genera un

problema al compartir la información cuando el destinatario no cuenta con el mismo software. Uno de los objetivos de la metodología BIM es el OpenBIM, es decir, garantizar que la información se pueda compartir sin importar que software elija, para esto la *Building SMART* creo estándares que facilitan este proceso, uno de ellos es el Formato IFC. Es importante que al elegir el software con el que se va a trabajar se verifique que está certificado para trabajar formatos IFC, para el caso específico de Revit se puede observar que tiene la certificación para importar y exportar este tipo de formatos (figura IV.26).

| Obtenga la certificación IFC2x3 | | | | Obtenga la certificación IFC4 | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|---------|------------|-------------------------------|-----------|------------|------------|---|
| Autodesk-R | Arquitectura de Autodesk Revit | IFC 2x3 | CV 2.0 | Importar | Terminado | 2010-04-30 | 2015-07-24 | https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationRep |
| Autodesk-R | Arquitectura de Autodesk Revit | IFC 2x3 | CV2.0-Arco | Exportar | Terminado | 2010-04-30 | 2013-04-16 | https://ifc2x3.b-cert.org/ords/ifc/certification/getCertificationRep |

Figura IV.26. Certificación de Revit ante la *Building SMART* (BuildingSMART, 2021).

Los archivos IFC presentan la información con una estructura de árbol, comienza con el nombre del proyecto, muestra cada uno de los niveles y finalmente se despliega el nombre de todas las entidades que se encuentran en cada nivel (figura IV.27).

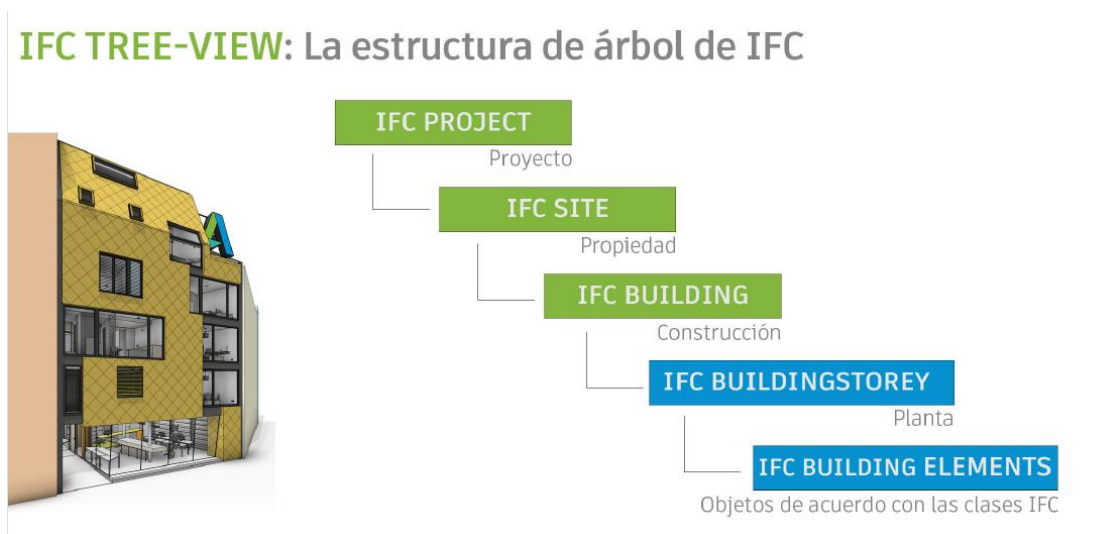


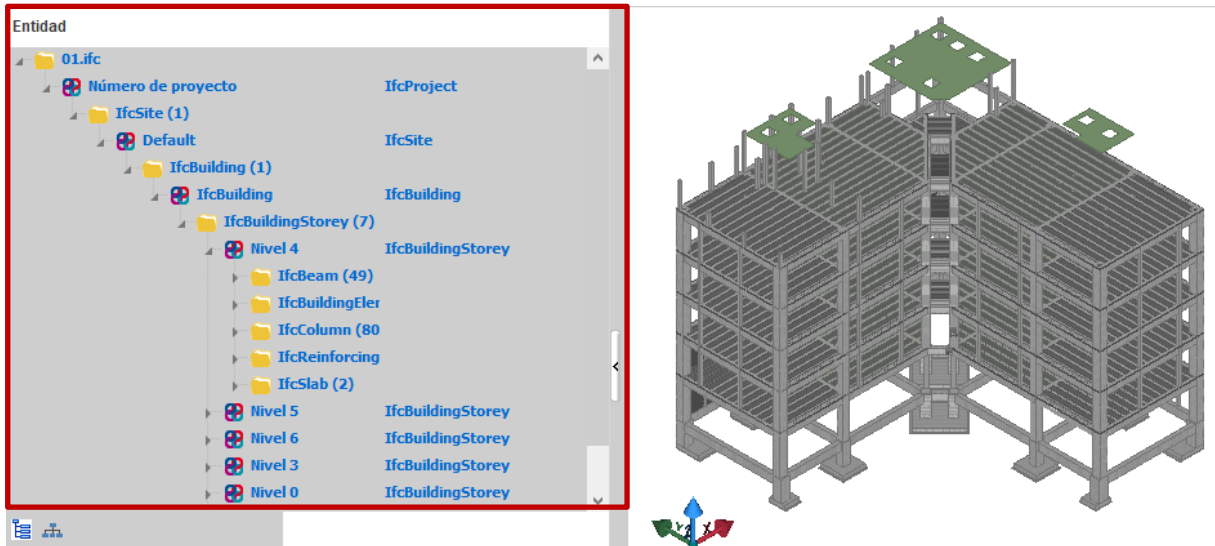
Figura IV.27. Estructura de árbol de archivo IFC (AUTODESK, 2018).

Existen diferentes versiones de IFC, actualmente la más estable y más utilizada es la versión IFC2x3, por esta razón se optó por elegirla para exportar los dos modelos (figura IV.28).

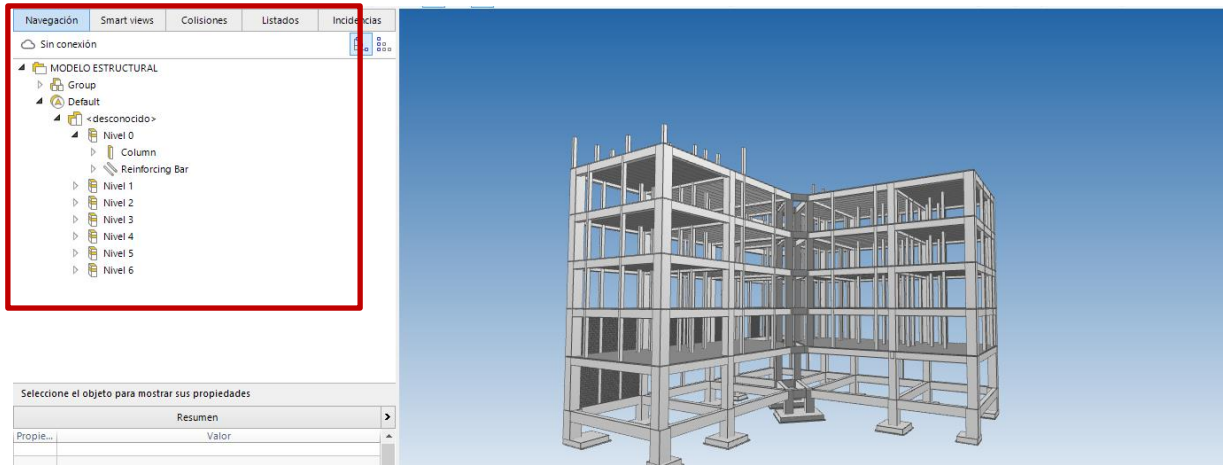


Figura IV.28 Creación de archivo IFC (Autoría propia).

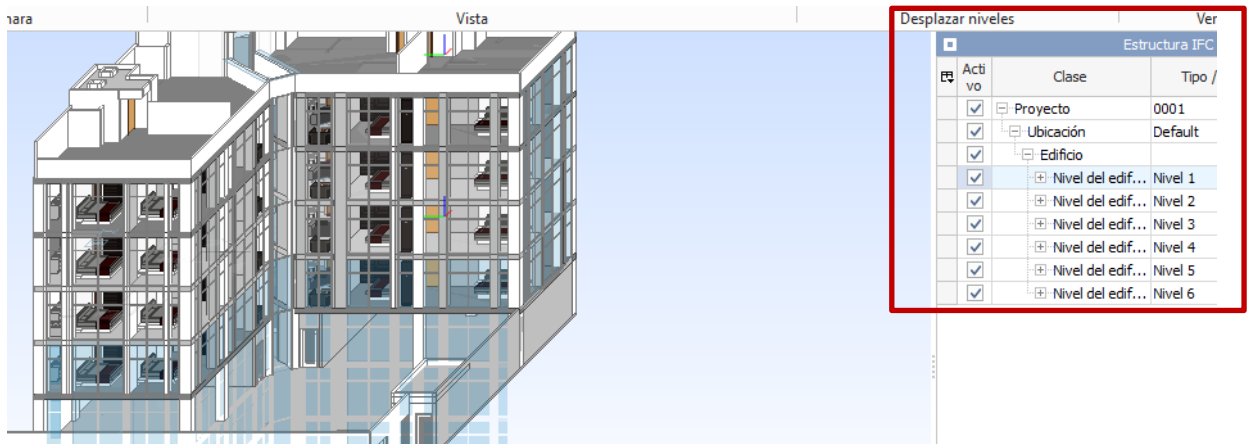
Para verificar que los archivos conservan el esquema de árbol en cualquier software, se eligieron cuatro visores libres (Us BIM, BIM Collab, BIM Vision y Solibri), el archivo exportado de Revit se abrió en cada uno (figura IV.29).



a) Us BIM



b) BIM Collab



c) BIM Vision



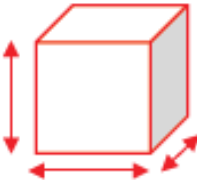
d) Solibri

Figura IV.29. Estructura de información de archivo IFC en diferentes softwares (Autoría propia).

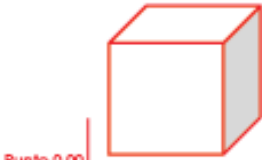
Cuando se hace la exportación del archivo nativo a un formato IFC es importante conocer los parámetros necesarios para que la información llegue completa a la persona que va a continuar con el trabajo en el proyecto, esta información se encuentra en el estándar abierto IFC (ISO 16739-1:2018) para el intercambio de información de la industria de la construcción.

Los archivos IFC exportan la información almacenada en cada entidad, datos como tamaño, posicionamiento y especificaciones se pueden revisar en cualquier visor de archivos IFC (figura IV.30).

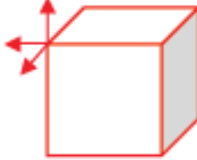
- PARÁMETROS DE TAMAÑO**
 (TDI-B: Propiedades Físicas de Objetos y Elementos)




Cubicaciones Base
 Ancho / Alto / Largo /
 Área total / Volumen total
- PARÁMETROS DE POSICIONAMIENTO**
 (TDI-C: Propiedades Geográficas y de Localización Espacial de Objetos & Elementos)



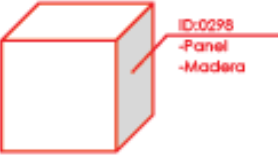
Tipo de posición
 Absoluto/Relativo/
 Referencia de
 cuadrícula



Coordenadas
 X/Y/Z



Número de Piso
 ZZ/01/E1/S1
- PARÁMETROS DE ESPECIFICACIÓN**
 (TDI-D: Requerimientos Específicos de Información para el Fabricante)



Identificación
 ID / Nombre / Material

Figura IV.30. Parámetros nativos que se exportan a un archivo IFC (PlanBIM, 2021) .

Algunos países han desarrollado manuales de apoyo en donde mencionan las características que debe de tener cada una de las entidades, el estándar PlanBim ha publicado diferentes documentos, uno de ellos es un archivo denominado Matriz de información de entidades, en el se mencionan las características que debe de tener cada elemento, es uno de los aportes a la implementación por parte del Gobierno chileno. en la figura IV.31 se muestran algunas fichas que se encuentran en el archivo.

Ficha de Información de Entidad

Columnas (*IfcColumn*)

versión 2.0 junio 2019



Descripción según ISO 16739-1:2018: IfcColumn es un miembro estructural vertical que a menudo está alineado con una intersección de cuadrícula estructural. Representa un miembro estructural vertical, o casi vertical, que transmite, a través de la compresión, el peso de la estructura anterior a otros elementos estructurales a continuación. Representa a un miembro así desde un punto de vista arquitectónico. No es necesario ser de carga.

| Tipos Predefinidos | Descripción |
|--------------------|---|
| COLUMN | Un miembro estándar generalmente vertical y que requiere resistencia a las fuerzas verticales por compresión, pero también a veces a las fuerzas laterales. |
| PILASTER | Un elemento de columna incrustado dentro de una pared que se puede requerir que soporte la carga pero que también se puede usar solo con fines decorativos. |
| USERDEFINED | El tipo de columna está definido por el usuario. |
| NOTDEFINED | El tipo de columna no está definido. |

Para más detalle:
https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/schema/ifcsharedbldgelements/lexical/ifccolumn.htm

Ficha de Información de Entidad

Vigas (*IfcBeam*)

versión 2.0 junio 2019



Descripción según ISO 16739-1:2018: Un IfcBeam es un miembro estructural horizontal o casi horizontal que es capaz de soportar la carga principalmente resistiendo la flexión. Representa a un miembro así desde un punto de vista arquitectónico. No es necesario ser de carga.

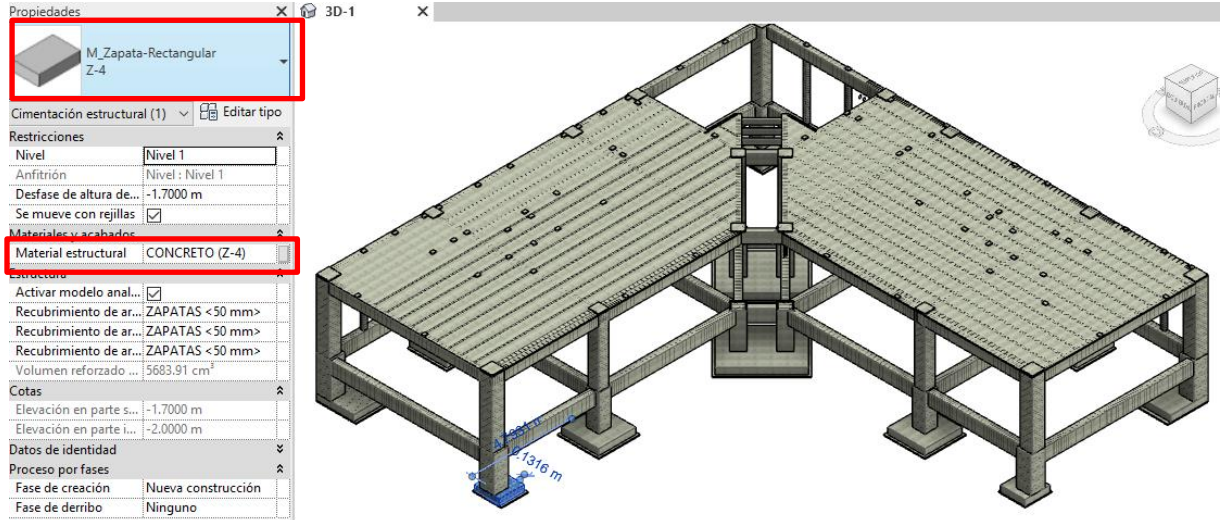
| Tipos Predefinidos | Descripción |
|--------------------|---|
| BEAM | Una viga estándar usualmente utilizada horizontalmente. |
| JOIST | Una viga utilizada para soportar un piso o techo. |
| HOLLOWCORE | Una viga ancha a menudo pretensada con un perfil de núcleo hueco que generalmente sirve como componente de la losa. |
| LINTEL | Una viga o pieza horizontal de material sobre una abertura (por ejemplo, puerta, ventana). |
| SPANDREL | Una viga alta colocada en la fachada de un edificio. Un lado alto se termina generalmente para proporcionar el exterior del edificio. Puede usarse para apoyar viguetas o elementos de losa en su lado interior. |
| T_BEAM | Una viga que forma parte de una construcción de losa y actúa junto con la losa que lleva. Tales vigas a menudo tienen forma de T (por lo tanto, el nombre en inglés), pero también pueden tener otras formas, por ejemplo. Una forma de L o una forma de T invertida. |
| USERDEFINED | Elemento de viga lineal definido por el usuario. |
| NOTDEFINED | Elemento de viga lineal indefinido. |

Para más detalle:
https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/schema/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcbeam.htm

Figura IV.31. Matriz de información de entidades (PlanBIM, 2021) .

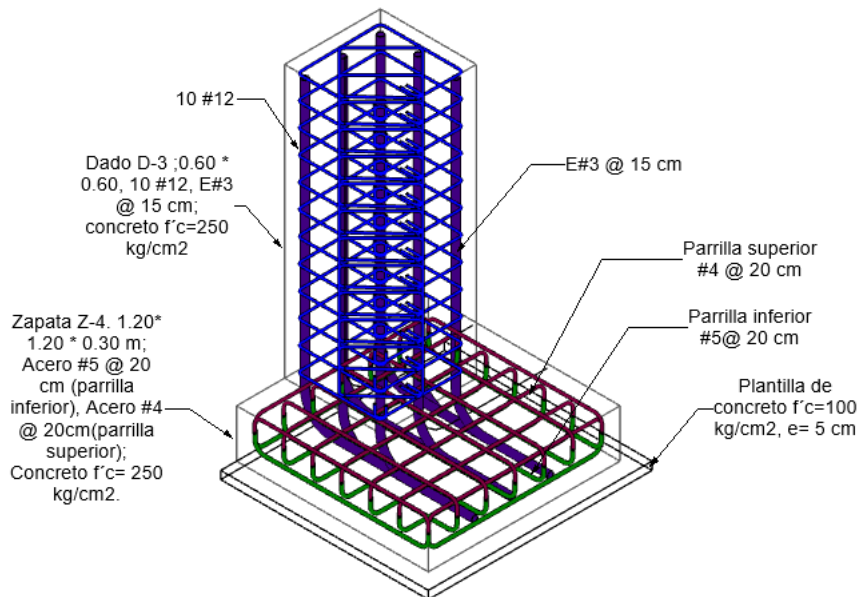
Para verificar que la información de cada entidad se guardó correctamente en el archivo IFC, se realizó un comparativo entre el modelo de Revit y el archivo IFC el cual fue abierto en los cuatro visores mencionados en la sección anterior. En la figura IV.32 se muestra la información de una zapata, en allá se identifica el nombre del elemento, la ubicación, material y a que categoría IFC

pertenece. En las figuras IV.33, IV.34, IV.35 y IV.36 se puede verificar que la información si corresponde a la del modelo, de esta forma se cumple uno de los objetivos de los archivos IFC, que es la de compartir información de forma libre para que todos la puedan visualizar sin problema.



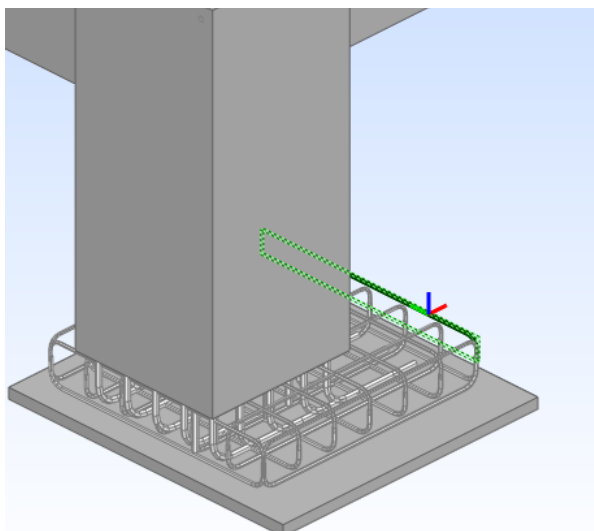
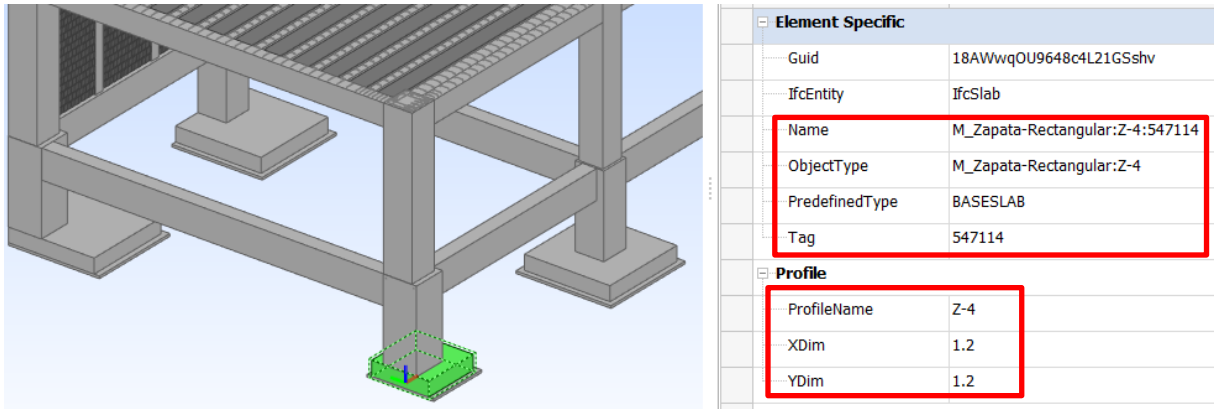
Parámetros de tipo

| Parámetro | |
|-----------------------|----------|
| Cotas | |
| Grosor de cimentación | 0.3000 m |
| Anchura | 1.2000 m |
| Longitud | 1.2000 m |

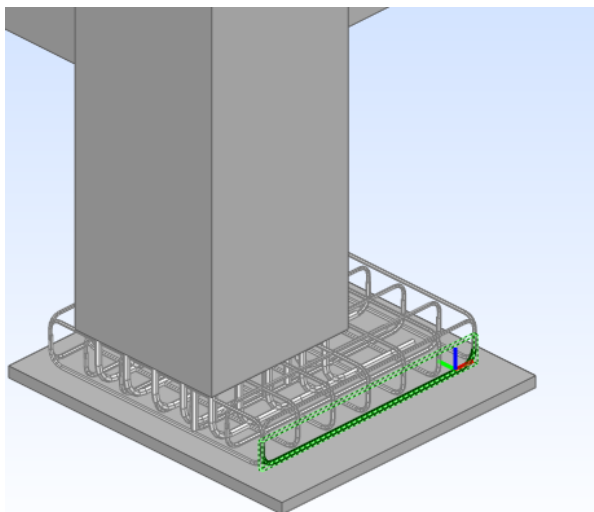


LOD 350 Zapata Z-4

Figura IV.32. Zapata Z-4, archivo nativo (Autoría propia).



| Guid | 18AWwqOU9648c4L2JGSsh\$ | |
|--|---|---|
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA # 5 (Z-4 inferior) : Forma M_02:547116: 7 | |
| NominalDiameter | 0.0159 | m |
| ObjectType | Barra de armadura:VARILLA # 5 (Z-4 inferior):545909 | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | |
| Tag | 547116 | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 90 | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 90 | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_02 | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.12 | m |



| Guid | 18AWwqOU9648c4L2JGSsh\$ | |
|--|---|---|
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA # 5 (Z-4 inferior) : Forma M_02:547116: 7 | |
| NominalDiameter | 0.0159 | m |
| ObjectType | Barra de armadura:VARILLA # 5 (Z-4 inferior):545909 | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | |
| Tag | 547116 | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 90 | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 90 | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_02 | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.12 | m |

Figura IV.33. Zapata Z-4, archivo IFC - BIM Vision (Autoría propia).

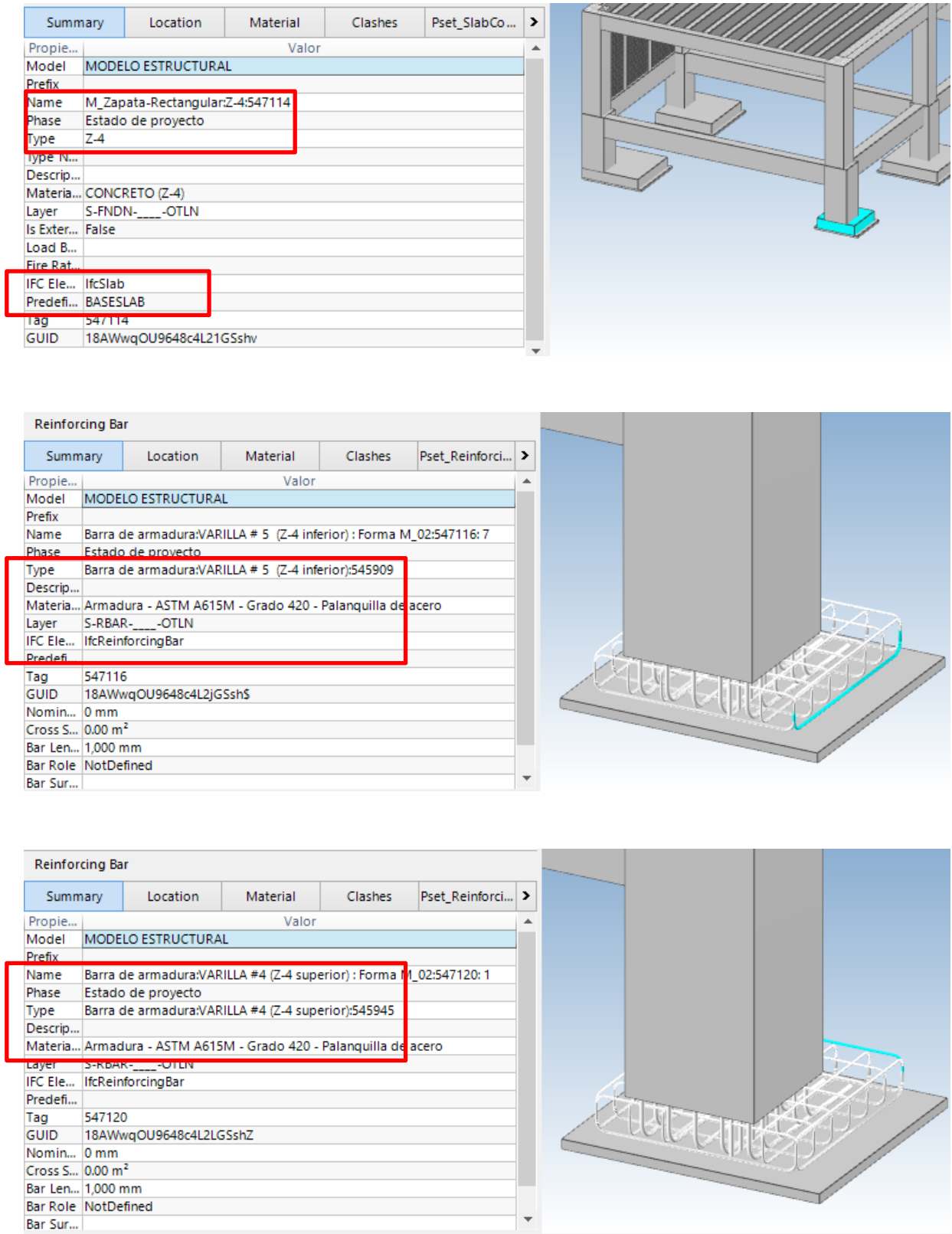


Figura IV.34. Zapata Z-4, archivo IFC - BIM Collab (Autoría propia).

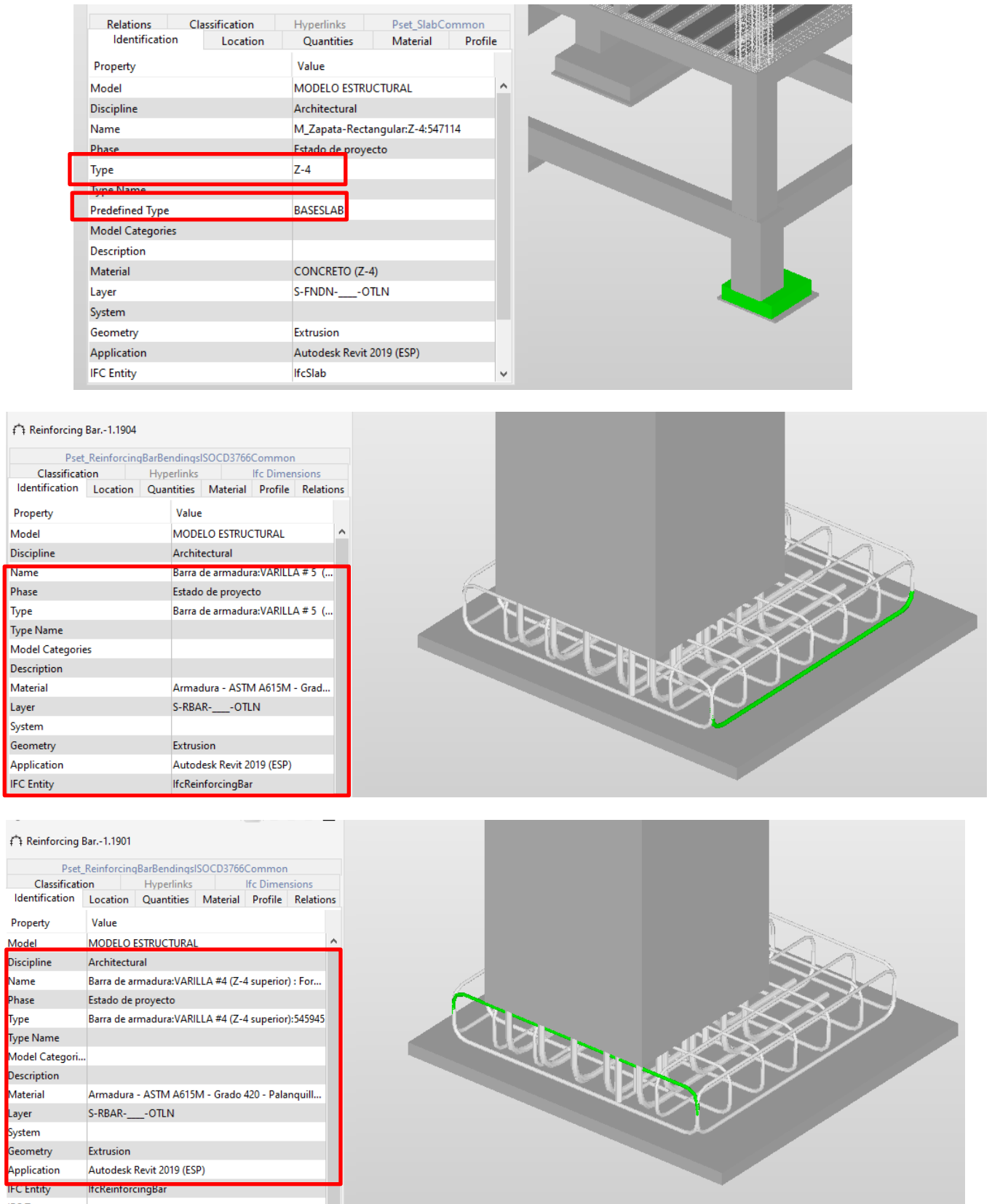
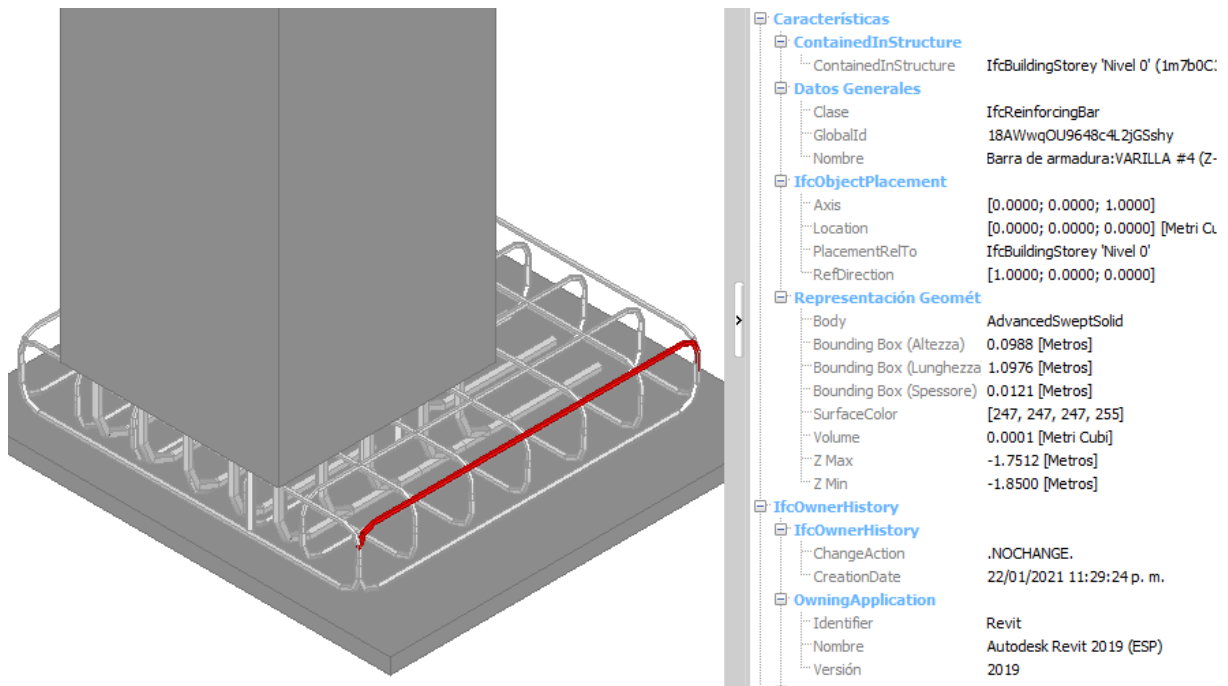
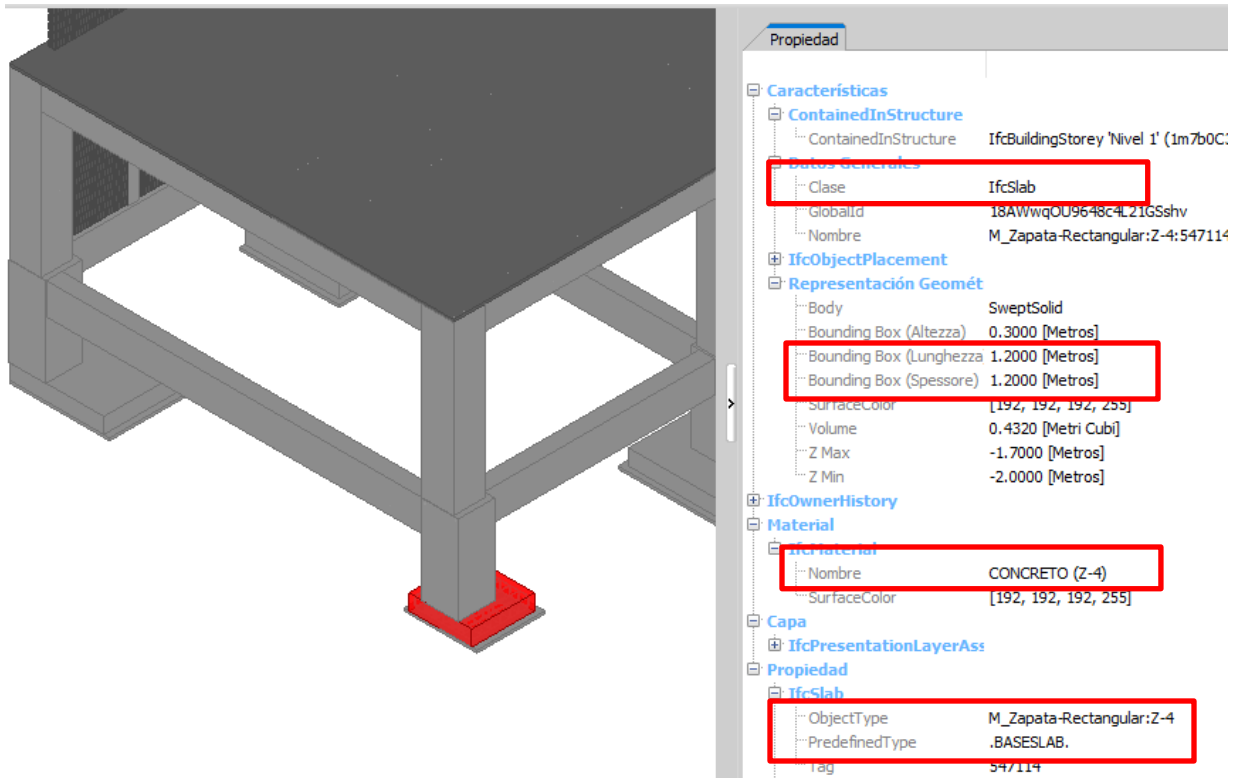


Figura IV.35. Zapata Z-4, archivo IFC - Solibri (Autoría propia).



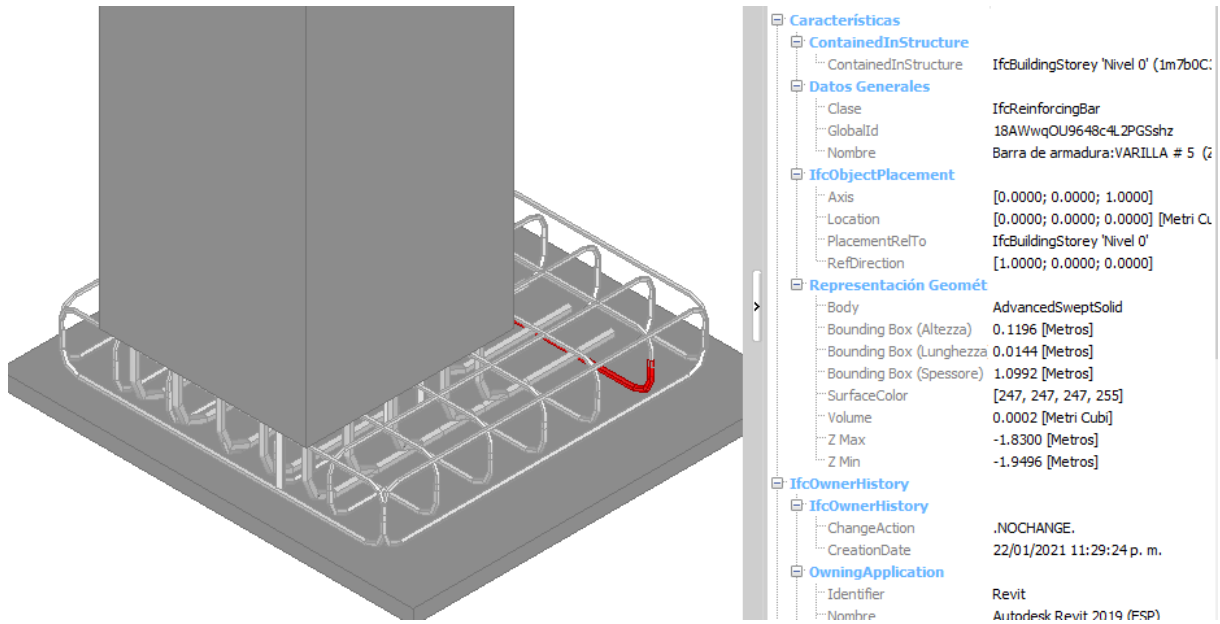
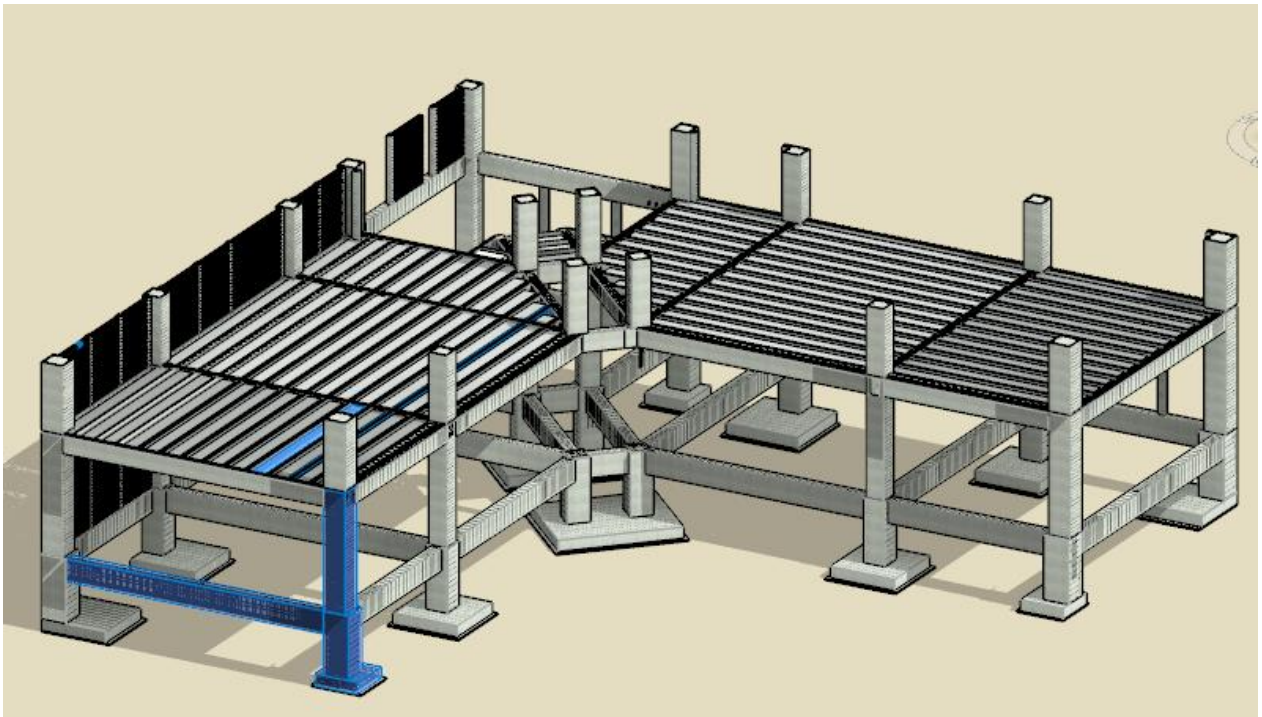


Figura IV.36. Zapata Z-4, archivo IFC - usBIM (Autoría propia).

La visualización de los demás elementos que integran el modelo estructural es similar a la mostrada en la zapata Z-4. En la figura IV.37 están seleccionados los elementos estructurales revisados en el archivo IFC, en el Anexo III se pueden encontrar las imágenes obtenidas en cada uno.



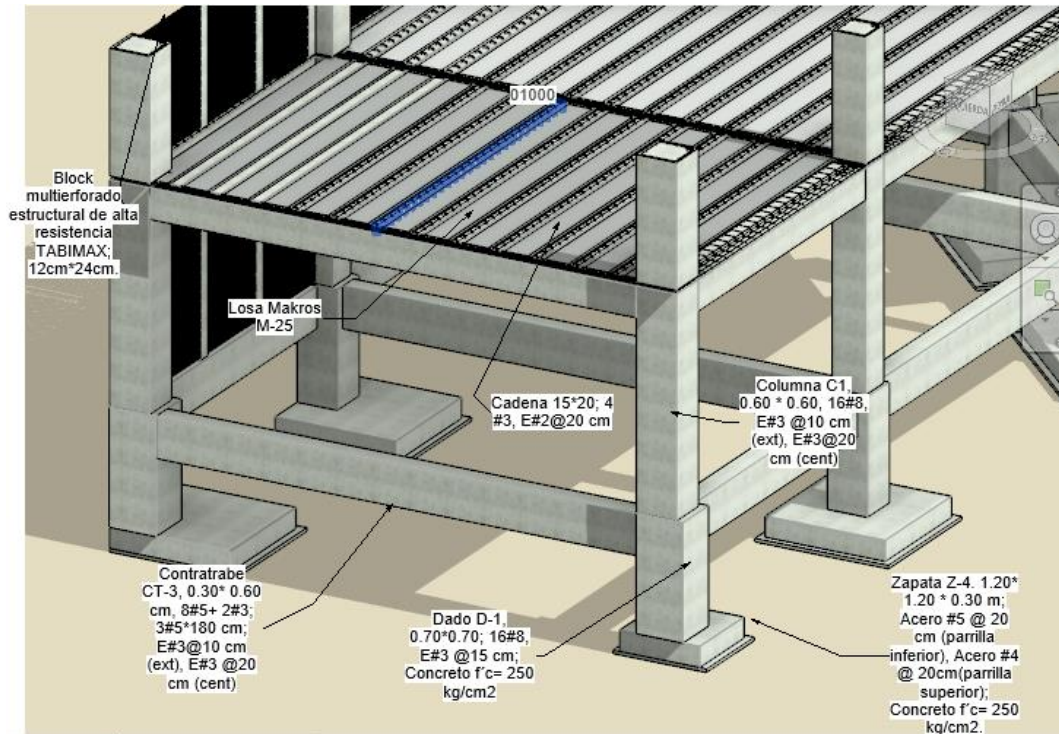


Figura IV.37. Elementos estructurales, archivo nativo (Autoría propia).

Se comprobó que en cada uno de los softwares que sirven como visores para archivos IFC, la información permaneció igual que en el archivo nativo. Es así como se garantiza el intercambio de información, algunos visores ofrecen herramientas que permiten realizar anotaciones cuando se encuentra alguna incidencia o cuando se requiere hacer algún cambio en el modelo (figura IV.38).

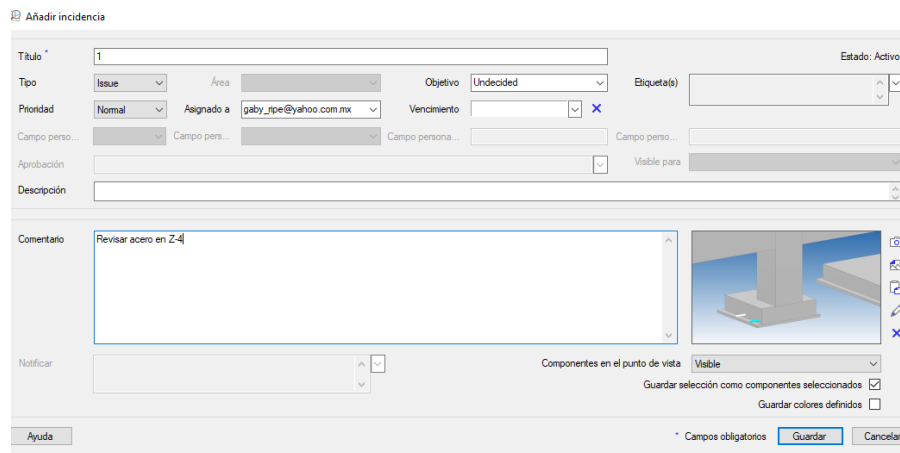


Figura IV.38. Formato de incidencia, software BIM Collab (Autoría propia).

De esta forma los involucrados están enterados de los cambios haciendo el flujo de trabajo más eficiente. Cuando se trabaja de forma tradicional, estos cambios solo se informan a una persona y

los demás integrantes del proyecto desconocen dichos cambios. Un caso específico es cuando los cambios no llegan a las personas que realizan los generadores de obra, esto provoca que las cantidades sean incorrectas.

Los visores de archivos IFC cuentan con herramientas que facilitan la revisión de los proyectos, como obtención de longitudes, áreas y volúmenes; selección de elementos por nivel o categoría; ocultar elementos para aislar alguno en específico, etcétera. En la siguiente sección se muestran algunas de las herramientas útiles para la revisión de archivos IFC.



Figura IV.39. Área de muro – BIM vision (Autoría propia).

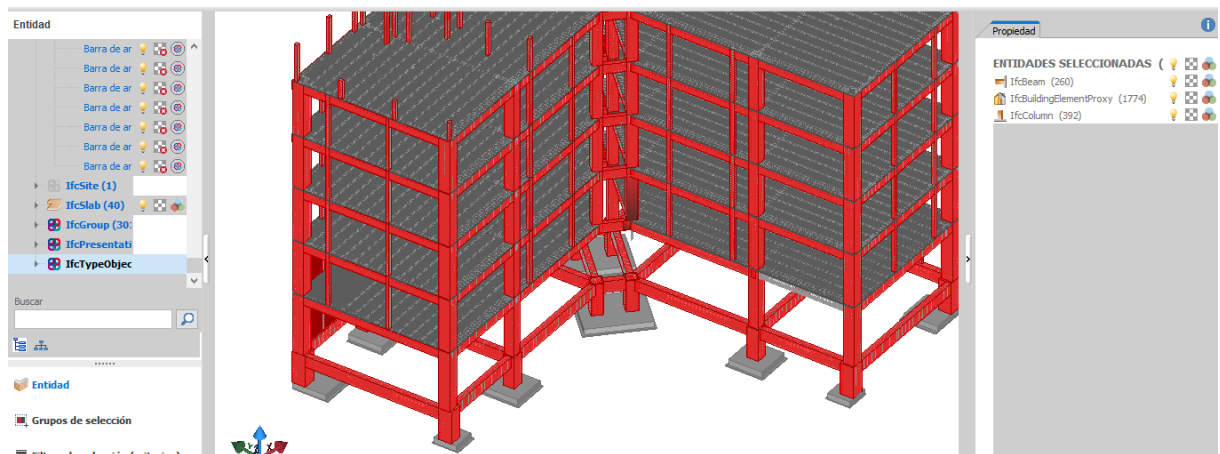


Figura IV.40. Selección de una categoría – us BIM (Autoría propia).

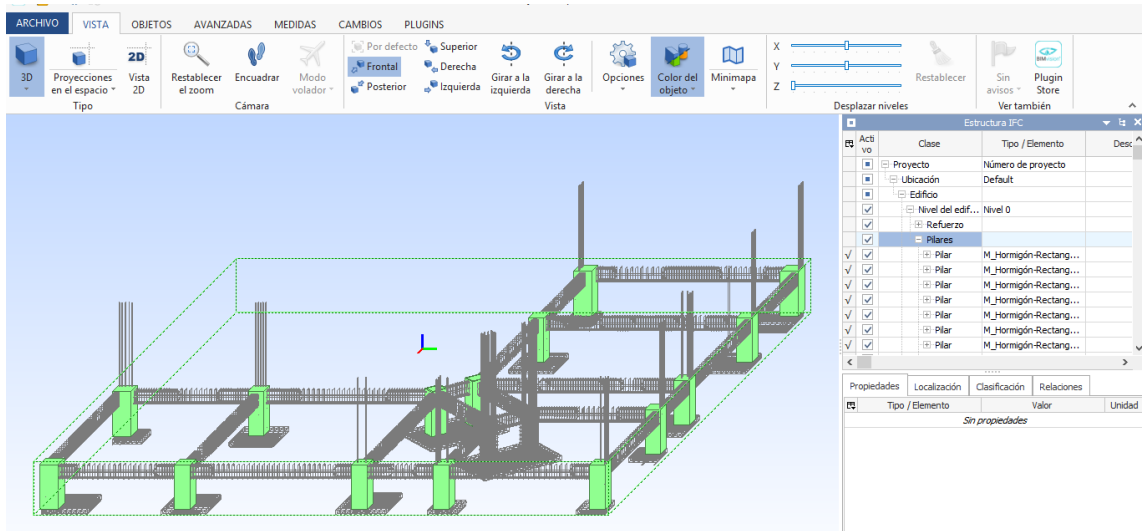
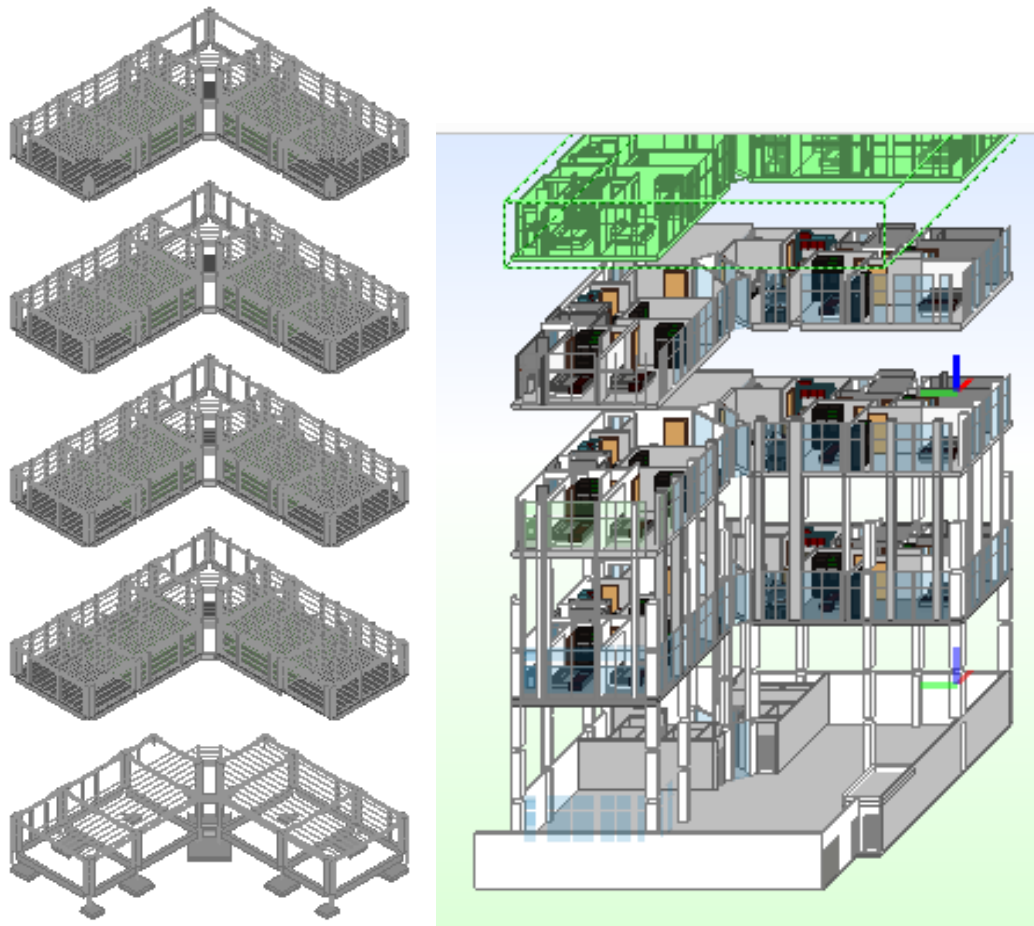


Figura IV.41. Selección de una categoría – BIM vision (Autoría propia).



a) Us BIM

b) BIM visión

Figura IV.42. Vistas por niveles (Autoría propia).

Los archivos IFC son compatibles con cualquier software BIM, de esta manera el diseño de instalaciones puede realizarse sin ningún problema en un programa diferente a Revit, esta forma de trabajo se basa en el OpenBIM, en donde lo importante es compartir la información utilizando formatos abiertos. Para la demostración de este punto se utilizó el software Archicad de Graphisoft (figura IV.43).

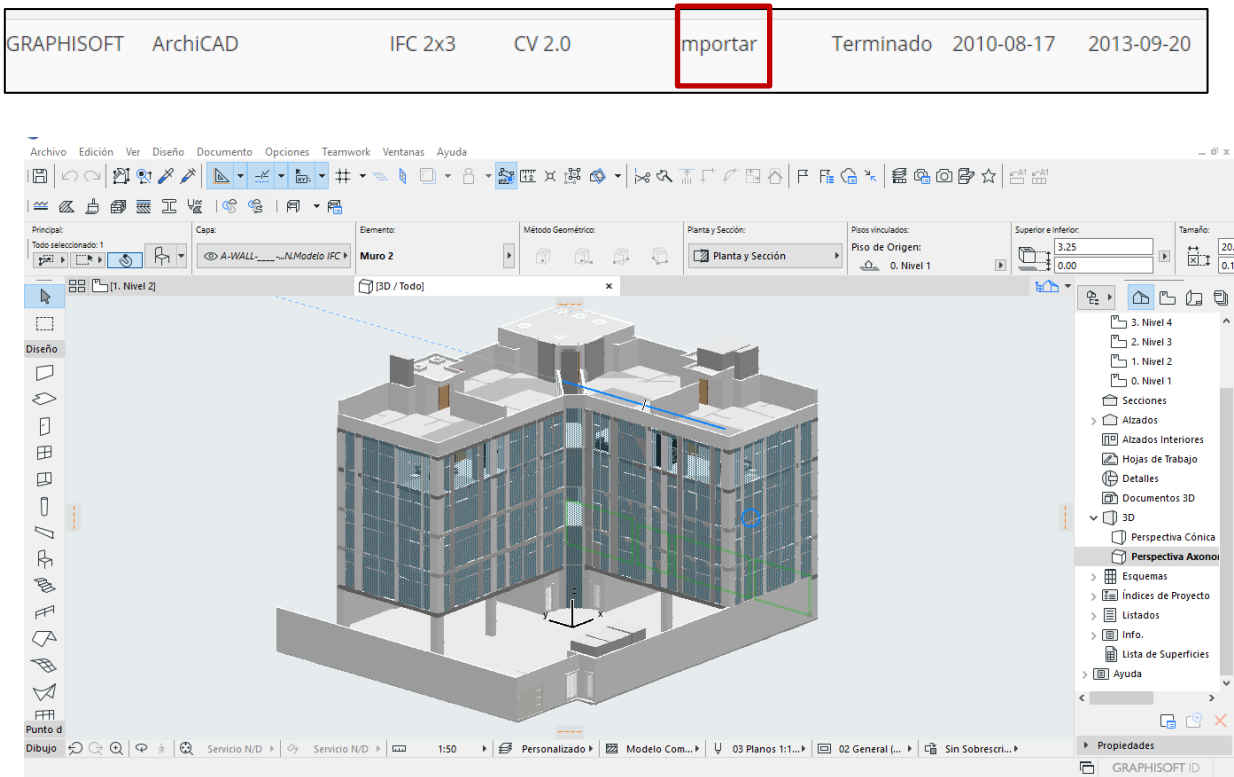


Figura IV.43. Archivo IFC - Archicad (Autoría propia).

Otro estándar Open BIM es conocido como BCF (*BIM Collaboration Format*) fue desarrollado en 2009 por la *Building SMART*, este formato permite comunicar errores detectados en un archivo IFC, el reporte incluye una imagen, descripción del error y ubicación del elemento, esta forma de trabajar disminuye errores y tiempos en las revisiones de proyecto. Para el desarrollo de esta etapa de trabajo, se utilizó el software Solibri (figura IV.44). En esta etapa se muestra el análisis realizado al IFC Arquitectónico, en el Anexo IV se muestra el análisis realizado al IFC estructural; de cada análisis se generaron archivos BCF, la finalidad es mostrar la forma en que se reciben y corrigen errores encontrados en el análisis.

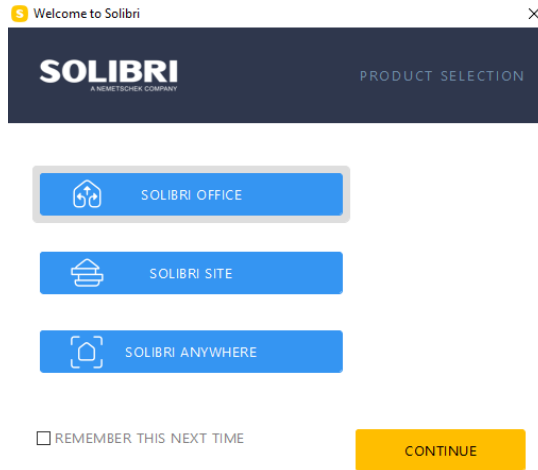


Figura IV.44. Software Solibri (Autoría propia).

REVISIÓN DE ARCHIVO IFC (ARQUITECTÓNICO).

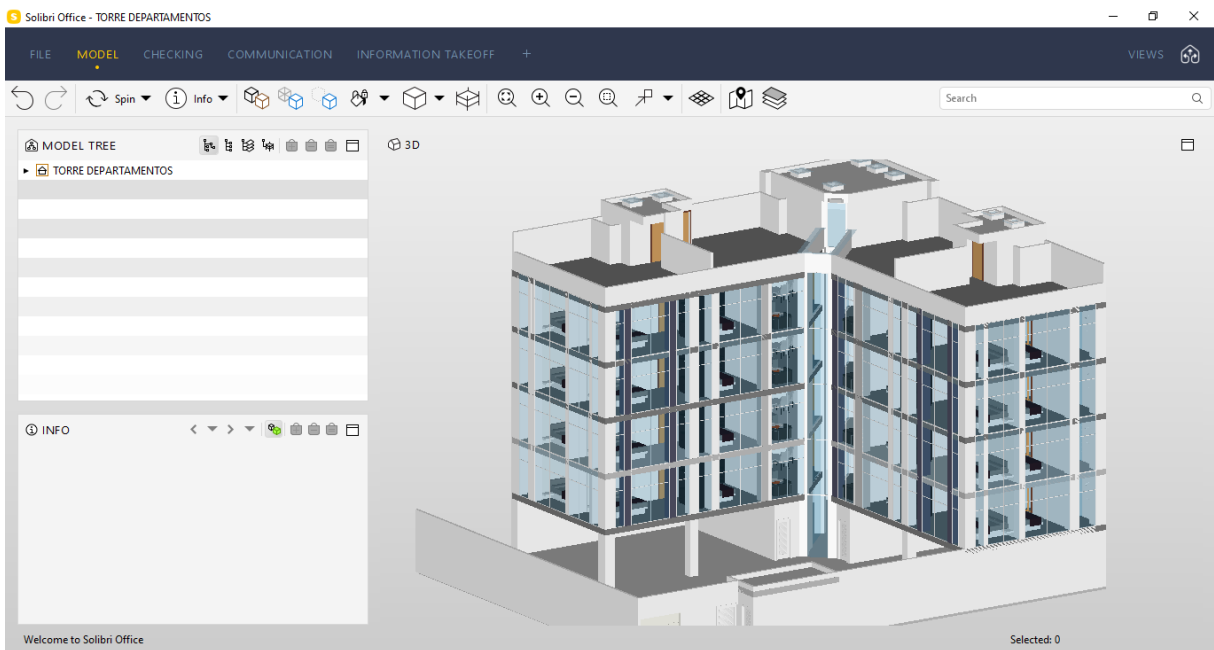


Figura IV.45. IFC Arquitectónico (Autoría propia).

Por medio de la herramienta *Checking*, se realizó la configuración adecuada para la revisión del modelo.

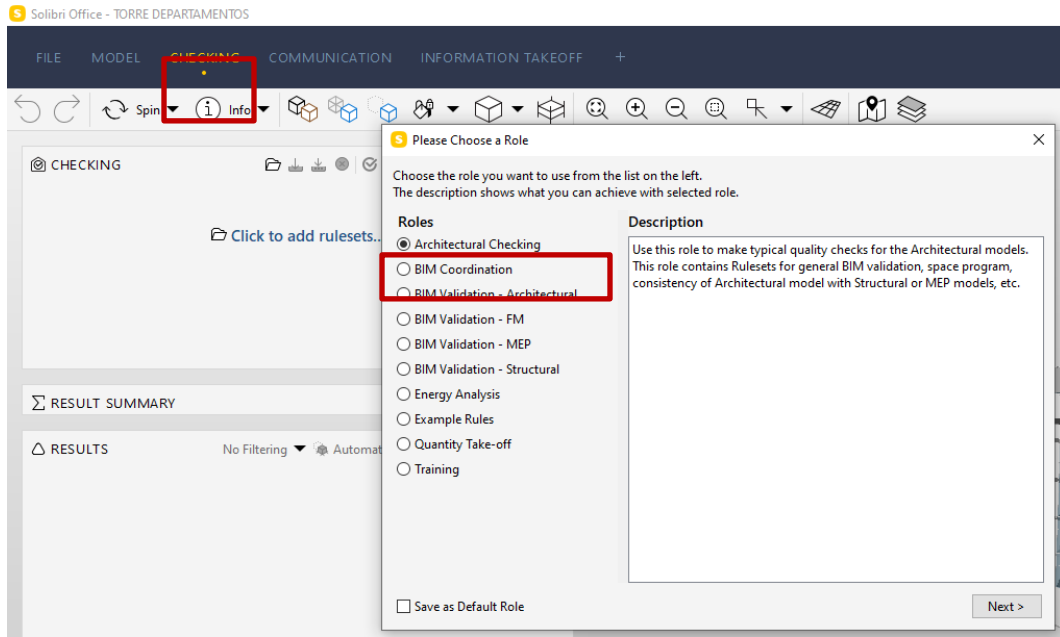


Figura IV.46. *Architectural Checking* (Autoría propia).

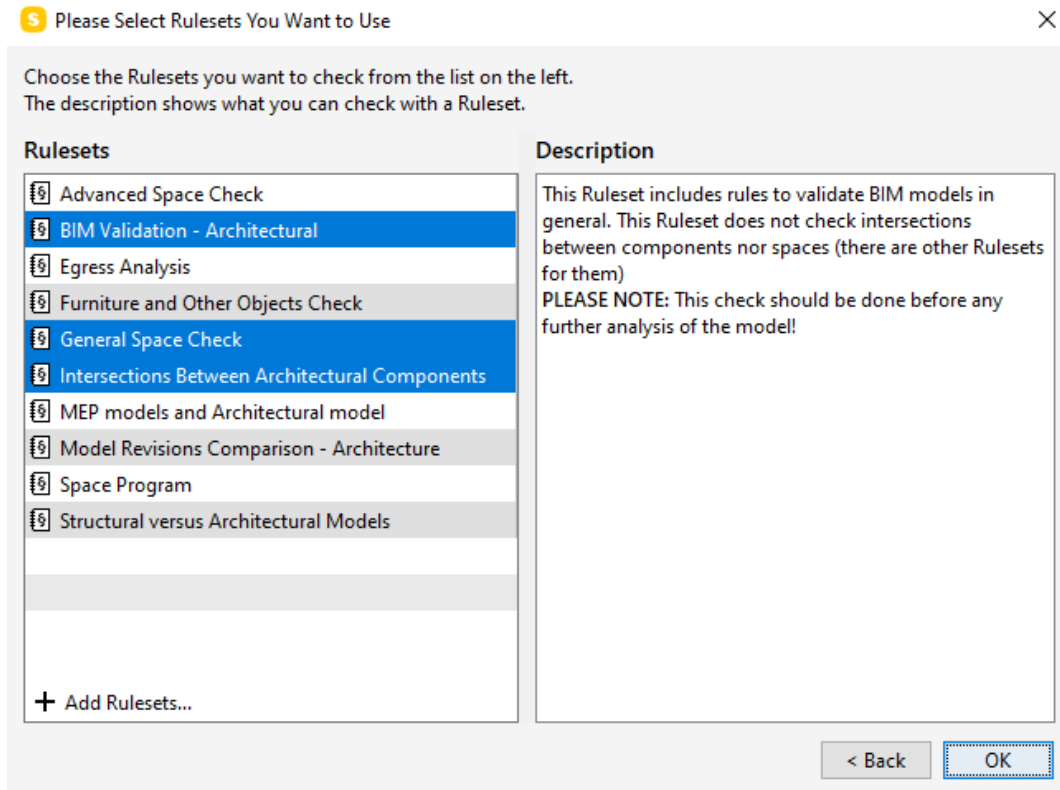


Figura IV.47. Configuración *Architectural Checking* (Autoría propia).

Después de configurar las opciones, éstas aparecen en forma de lista, el programa analiza cada una y muestra un reporte de incidencias.

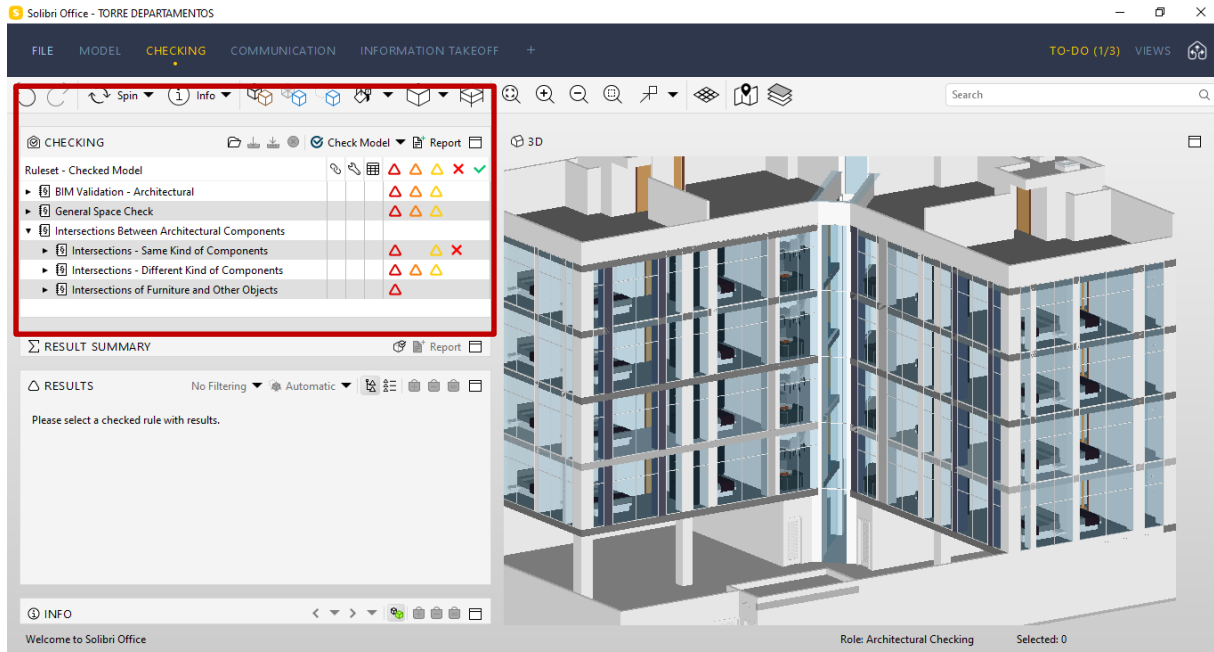
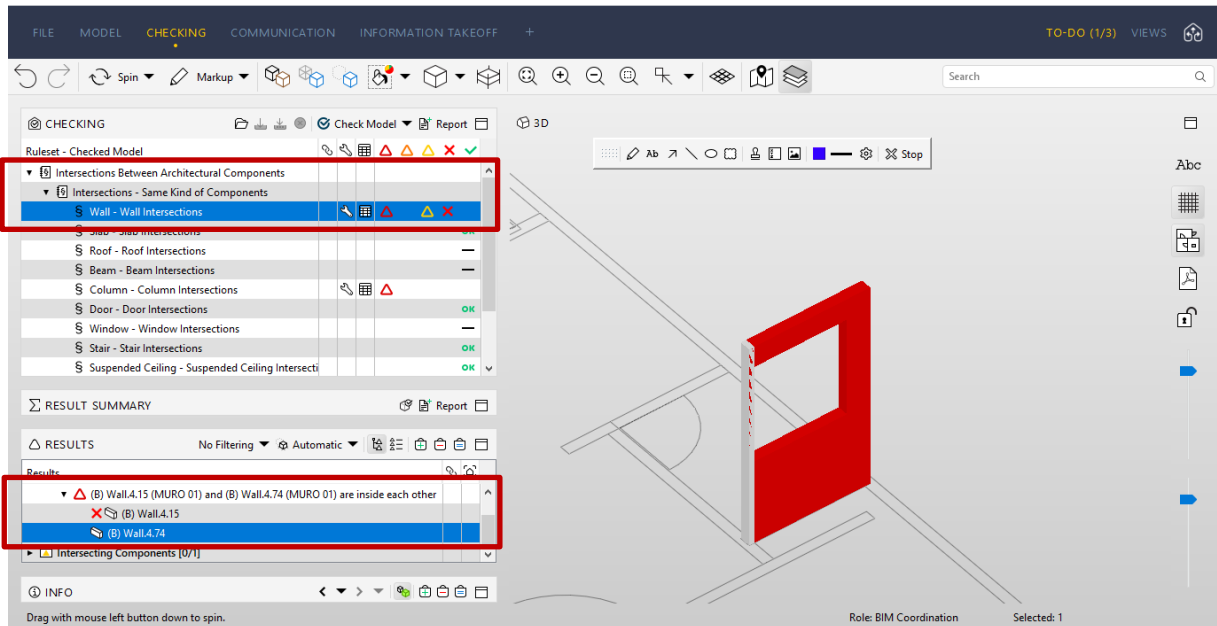


Figura IV.48. *Check Model* (Autoría propia).

Con el uso de esta herramienta, el proceso para revisar proyectos se realiza en menor tiempo, detecta errores que resultan difíciles de encontrar cuando se realiza de manera tradicional.



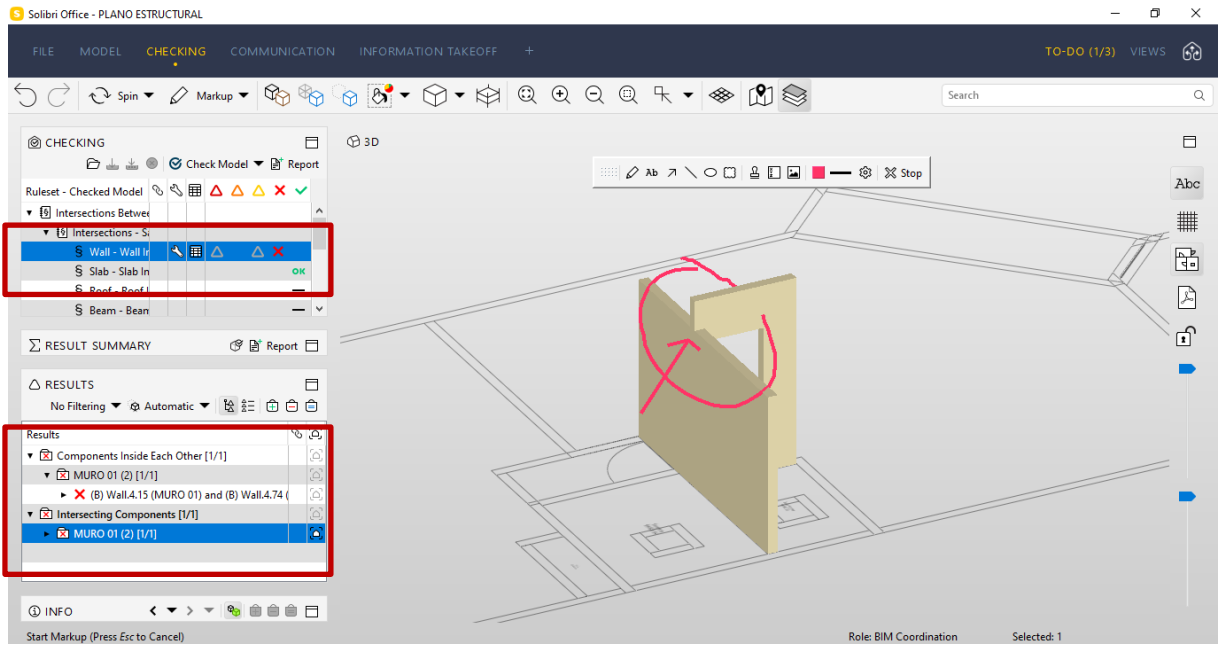


Figura IV.49. Error en muros (Autoría propia).

Con las incidencias que se encontraron en la revision, se generaron reportes en donde se indicaron los errores, ubicación y nombre del responsable de hacer las correcciones.

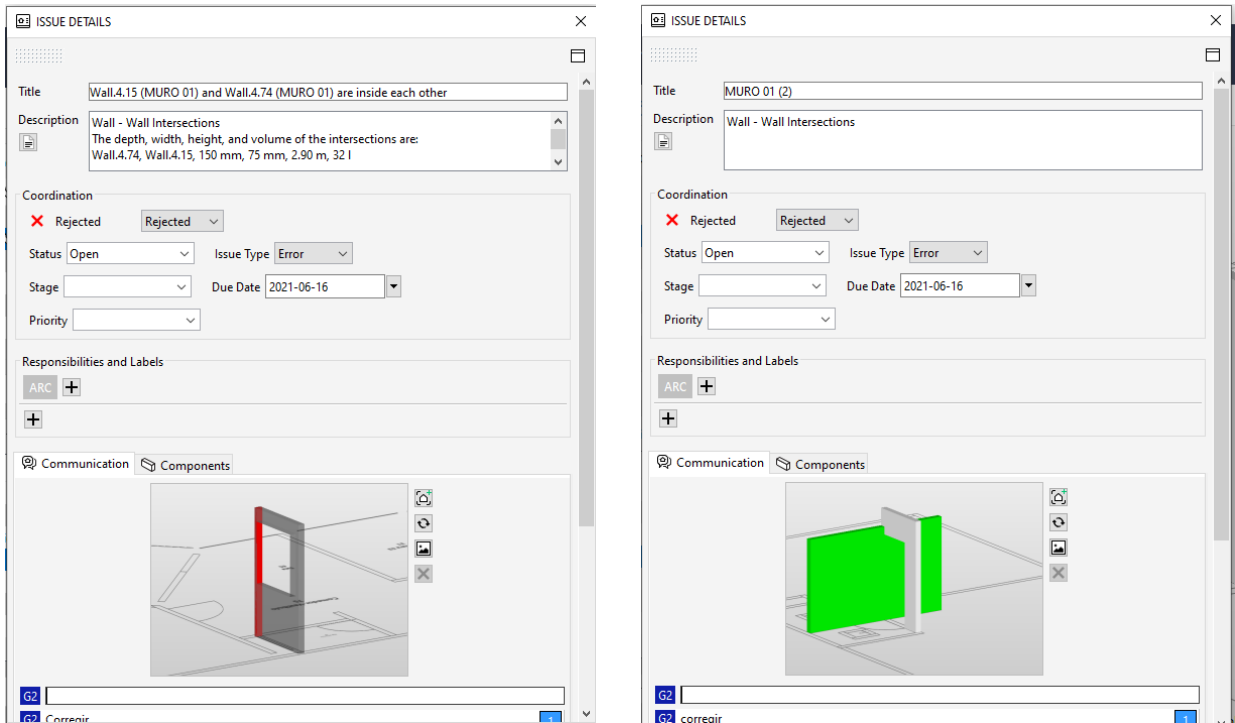


Figura IV.50. Reporte de incidencia (Autoría propia).

Con la herramienta *Communication*, se pueden revisar todos los reportes de errores que se crearon en el paso anterior (figura IV.51).

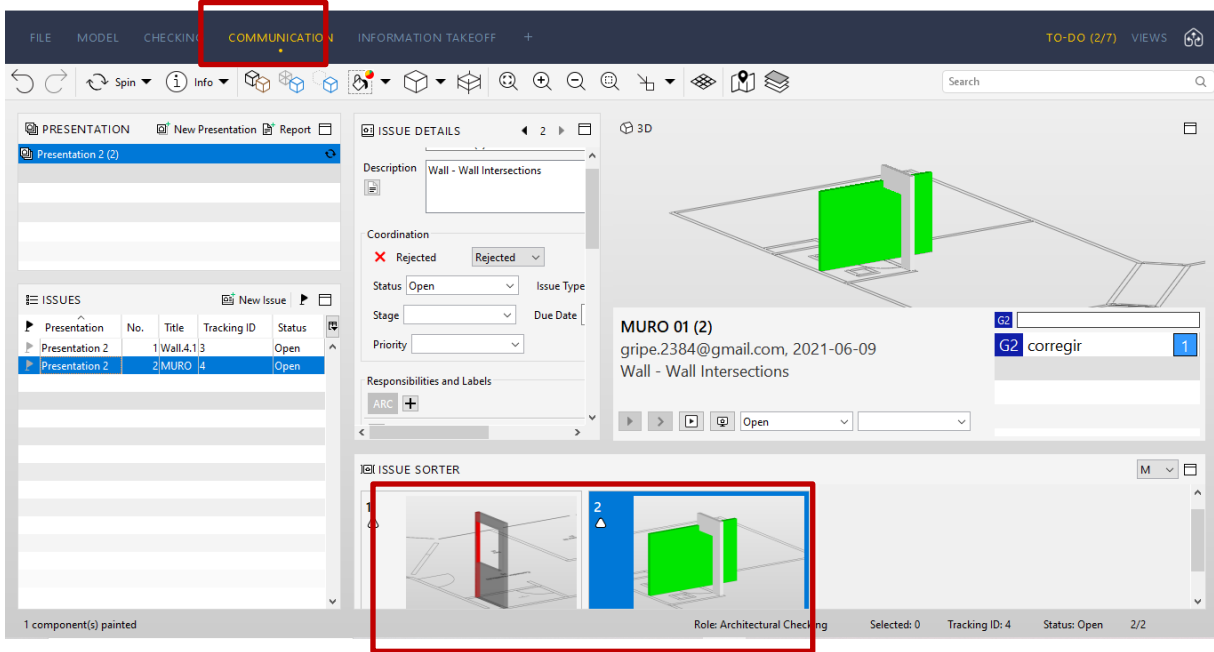


Figura IV.51. Herramienta *Communication* (Autoría propia).

Los reportes que se guardaron como presentaciones las cuales se pueden exportar a otros formatos (figura IV.52), el primer reporte se genero en excel (figura IV.53), el segundo en BCF (figura IV.54).

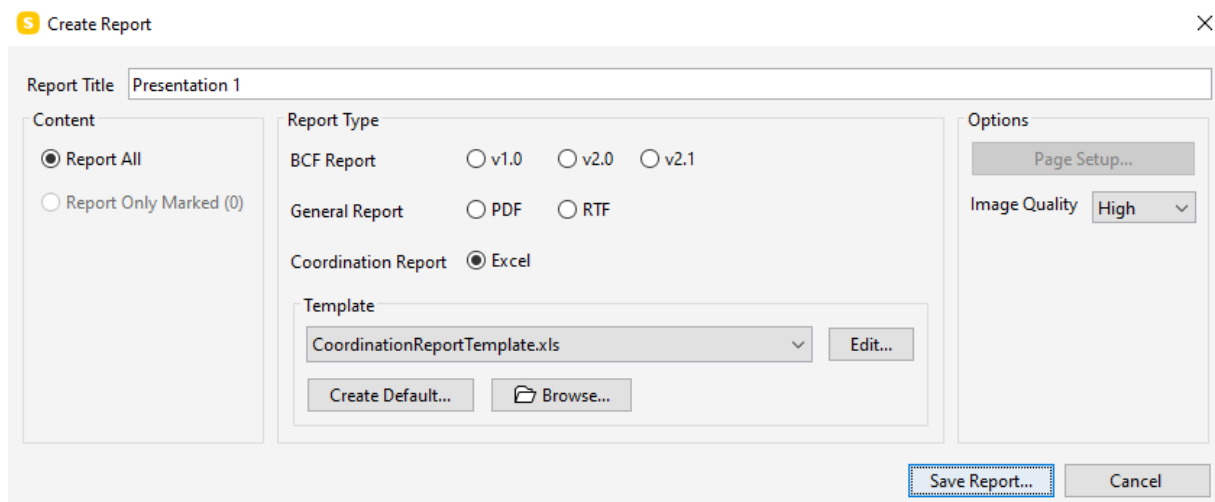


Figura IV.52. Formatos para generar reportes (Autoría propia).

| Date | Author | Title | Picture | Issue Description | Issue Comment | Responsibilities | Stage | Due Date |
|------------|----------------------|---|---------|--|--|------------------|-------|------------|
| 9-Jun-2021 | gripe.2384@gmail.com | Wall 4.15 (MURO 01) and Wall 4.74 (MURO 01) are inside each other | | Wall - Wall Intersections The depth, width, height, and volume of the intersections are: Wall.4.74, Wall.4.15, 150 mm, 75 mm, 2.90 m, 32 l | gripe.2384@gmail.com, 2021-06-09: Corregir | | | 2021-06-16 |
| 9-Jun-2021 | gripe.2384@gmail.com | MURO 01 (2) | | Wall - Wall Intersections | gripe.2384@gmail.com, 2021-06-09: corregir | | | 2021-06-16 |

Figura IV.53. Reporte generado en Excel (Autoría propia).

El reporte generado en formato BCF se revisó en Revit, al abrir el archivo se muestran las imágenes de los errores (figura IV.54), después de realizar las correcciones, se envía un nuevo archivo IFC. El software Solibri tiene la opción de actualizar los archivos IFC, de esta forma se va quedando un solo archivo en el sistema.

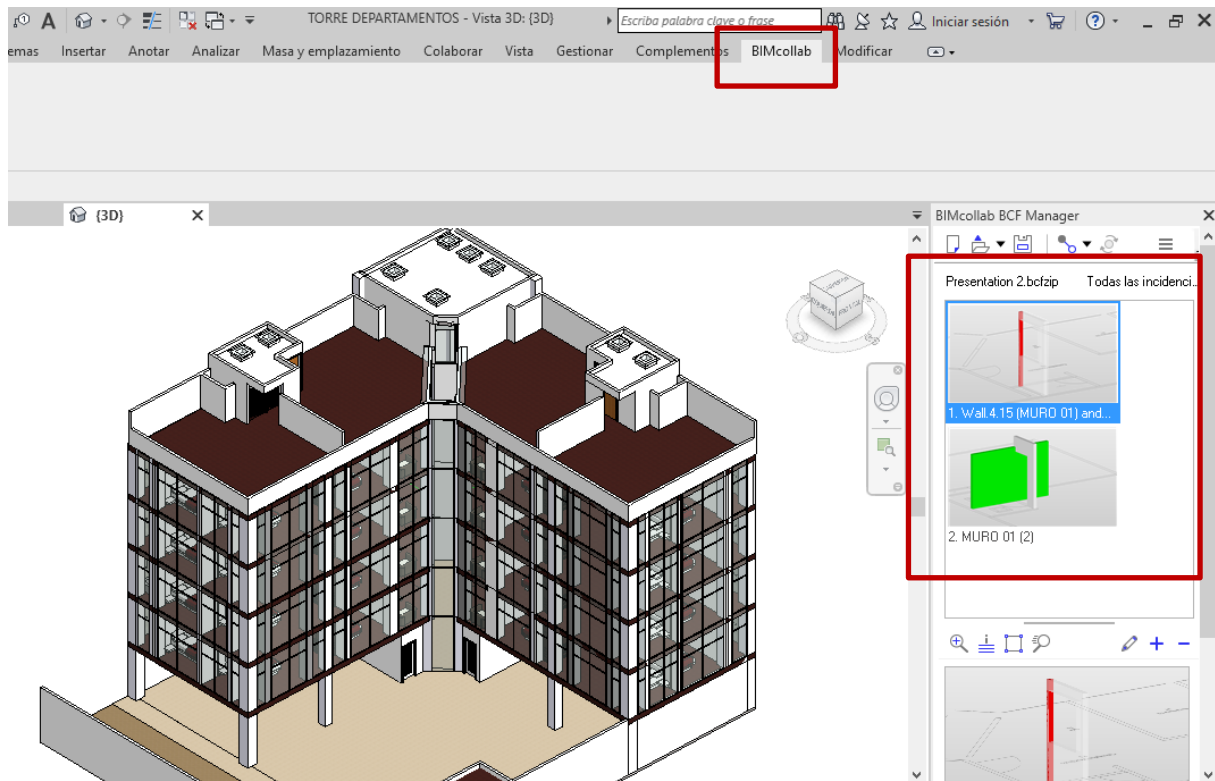


Figura IV.54. Visualización de archivo BCF en Revit (Autoría propia).

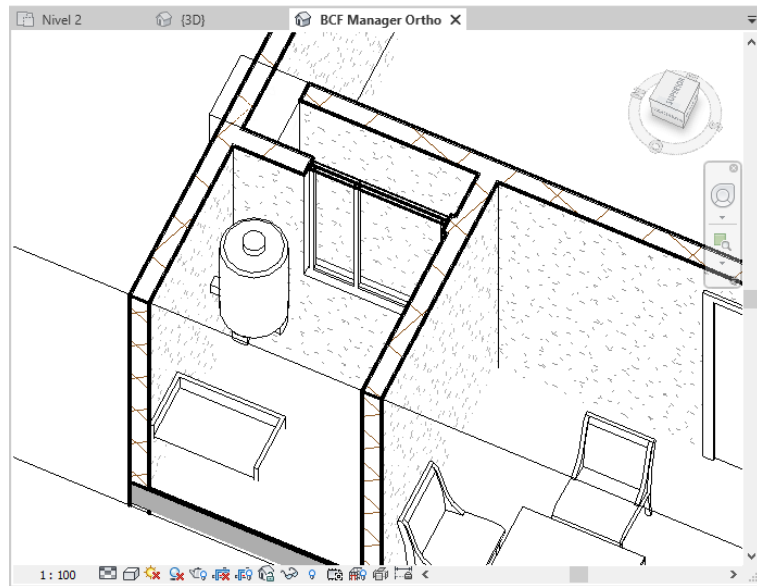
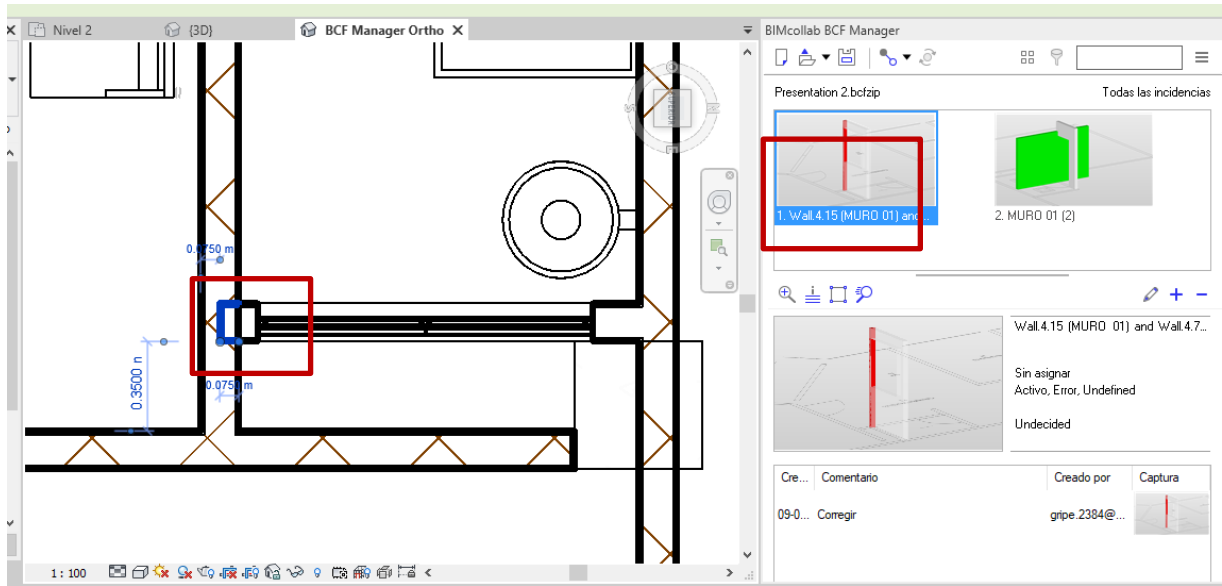


Figura IV.55. Corrección de error en Revit (Autoría propia).

Después de actualizar el archivo IFC, se puede observar que efectivamente, las modificaciones se han aplicado de forma correcta (figura IV.56).

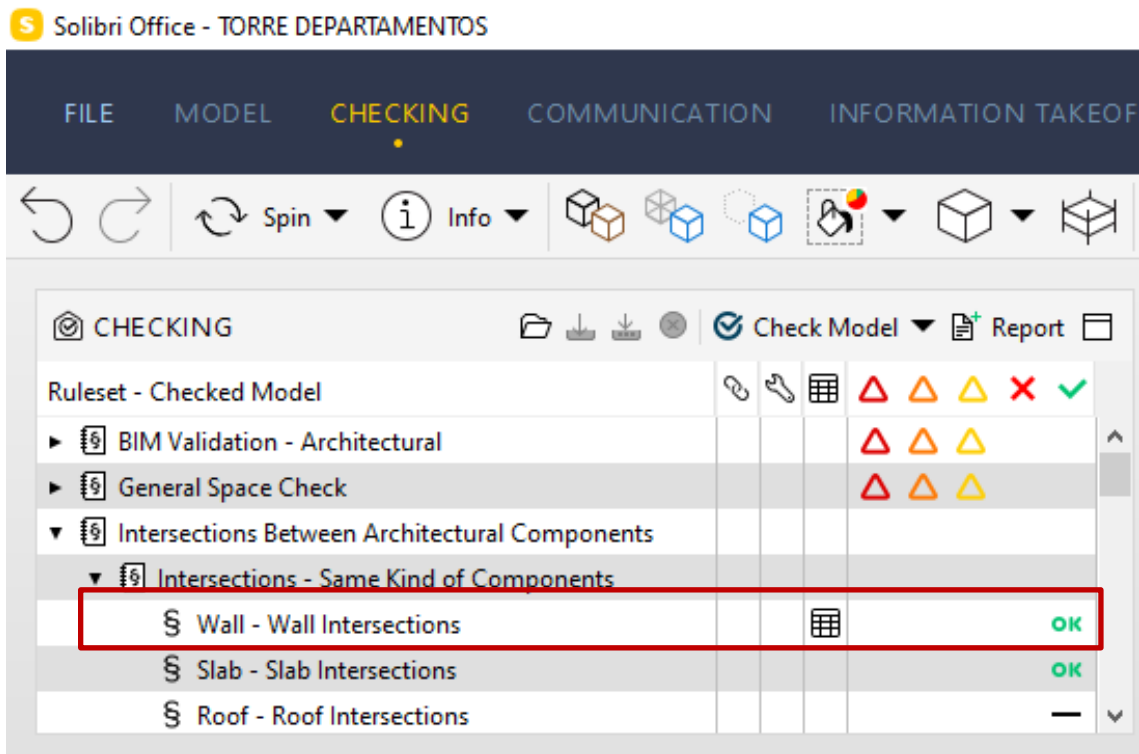
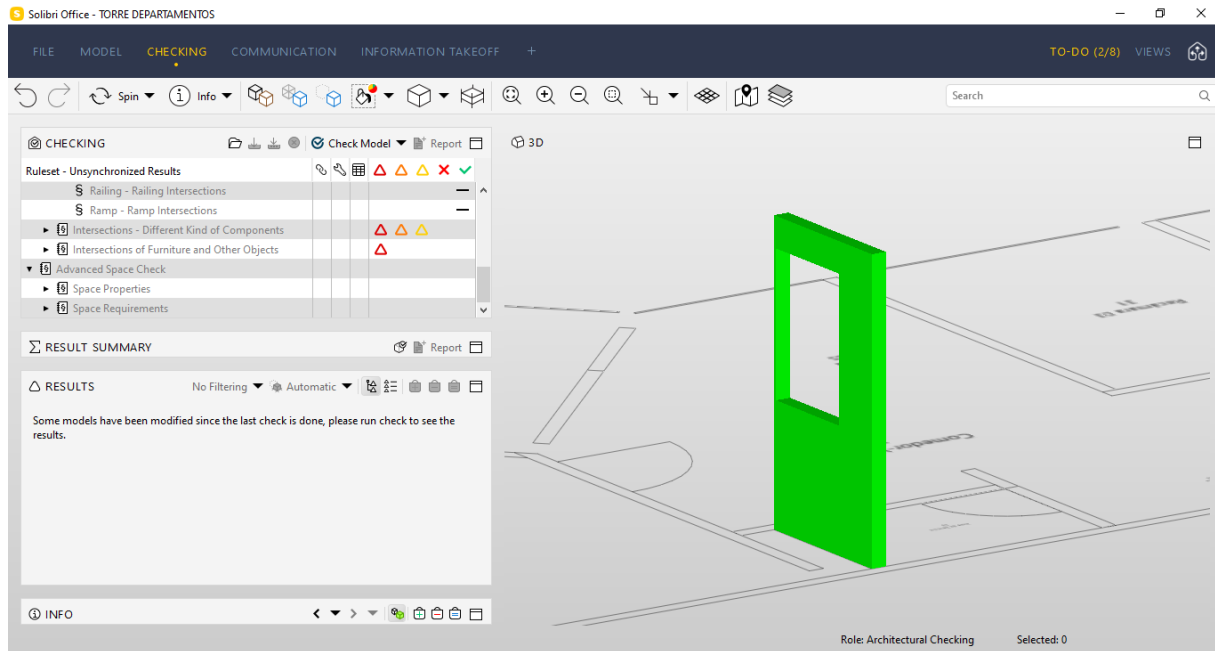


Figura IV.56. Revisión de correcciones en Solibri (Autoría propia).

Con Solibri también fue posible comparar el modelo arquitectónico con el modelo estructural, se realizó una revisión para verificar que no había interferencia entre los elementos, a continuación se mencionan algunos errores que se detectaron:

- Los modelos fueron creados con diferente punto de origen, por lo que al abrirlos al mismo tiempo, no coincidían (figura IV.57).
- Hay diferencia en las losas propuestas (figura IV.58).
- Castillos mal ubicados, en medio de puertas o ventanas (figura IV.59).



Figura IV.57. Error en punto de origen de archivos IFC (Autoría propia).

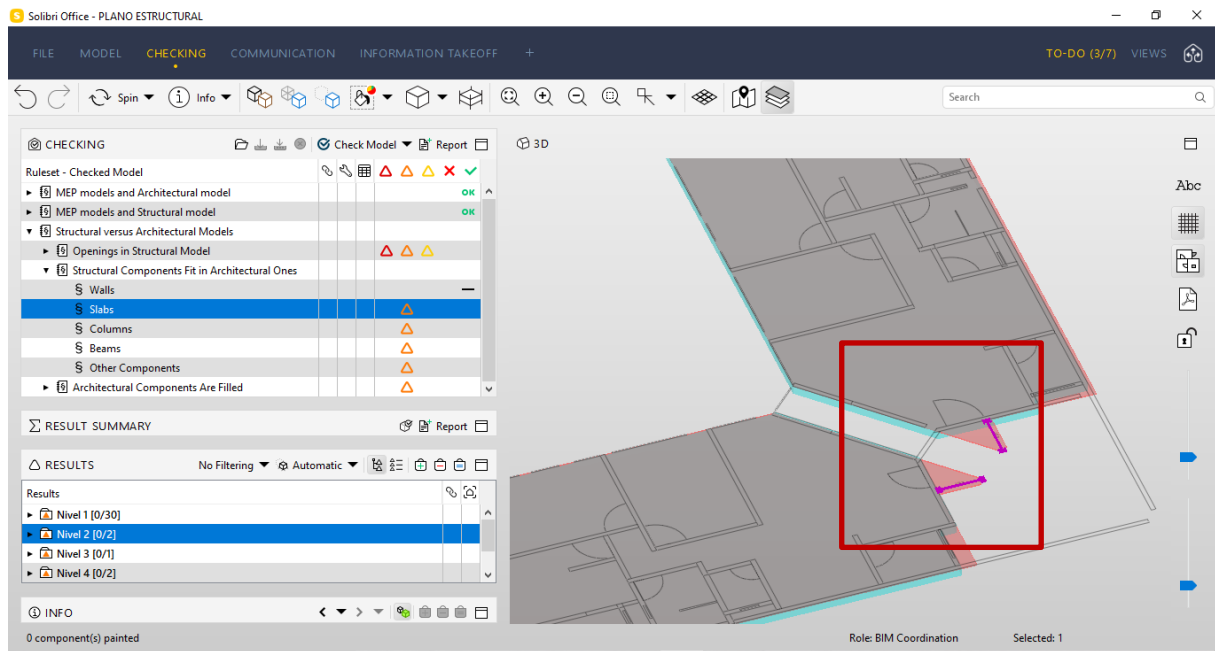


Figura IV.58. Losas no coinciden (Autoría propia).

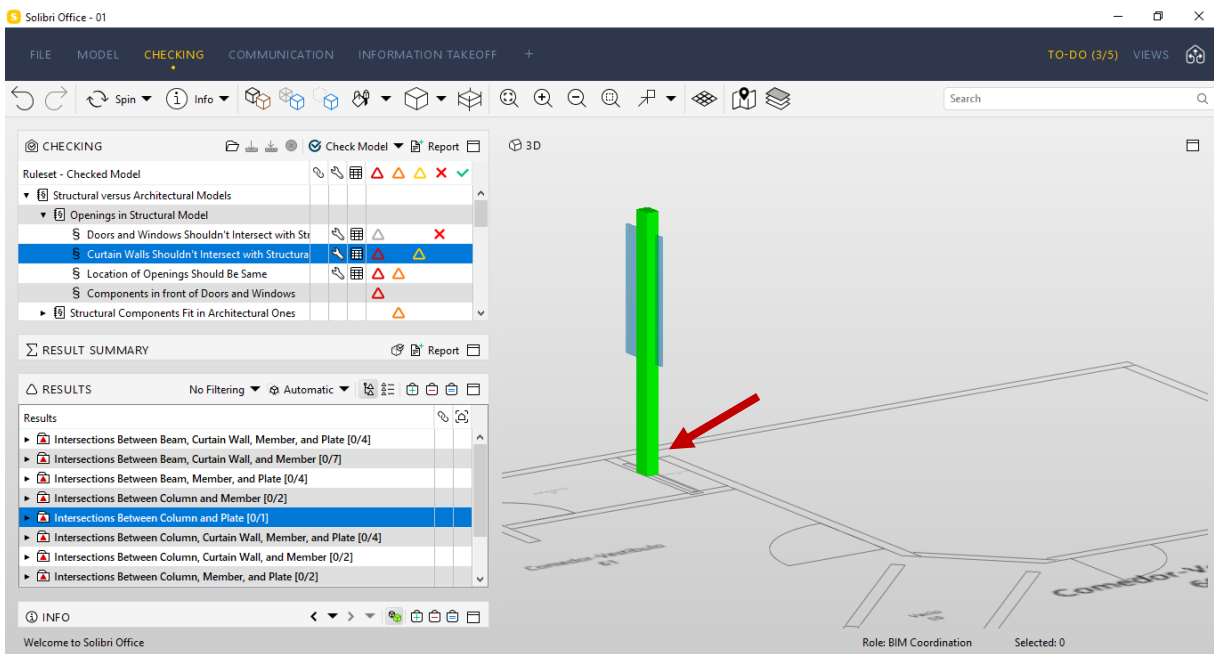
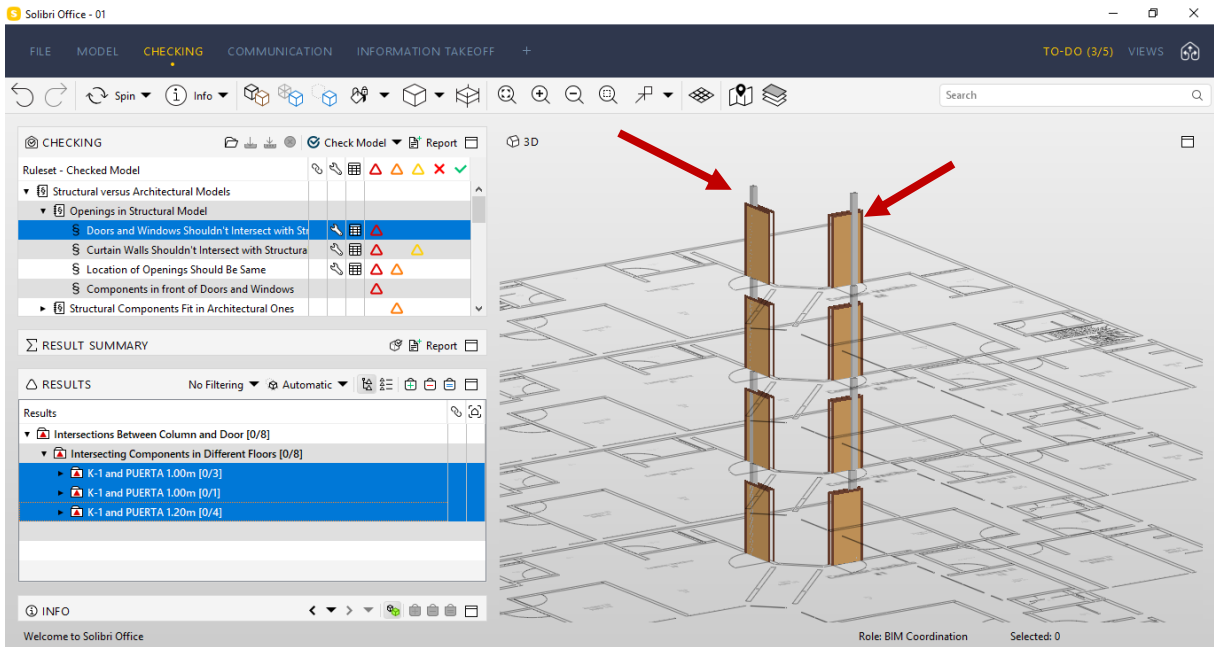


Figura IV.59. Castillos k-1, mal ubicados (Autoría propia).

Se generó el archivo BFC con las tres incidencias, posteriormente se realizaron las correcciones en el modelo de Revit (figura IV.60), después de recibir un IFC con las correcciones indicadas, se actualiza en Solibri.

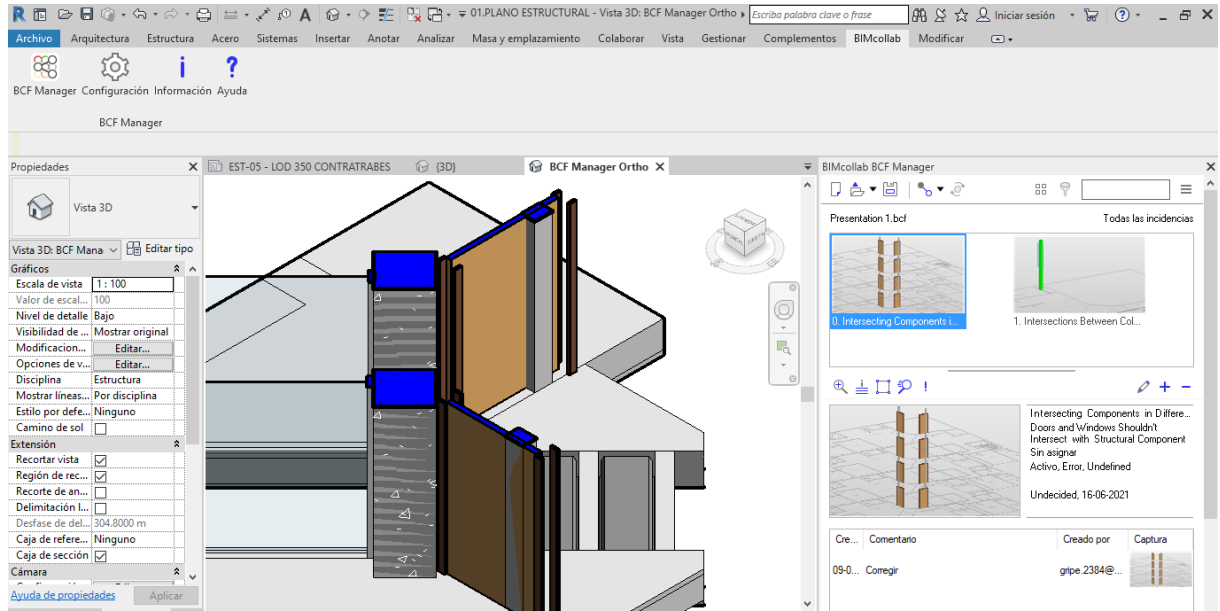


Figura IV.60. Corrección de incidencia en Revit (Autoría propia).

Una forma de llevar un control de cambios es mediante la comparación de archivos, en la figura IV.61 se pueden identificar los elementos antes y después del cambio. Los castillos en color rojo representan la ubicación original, los elementos en color verde representan las modificaciones realizadas.

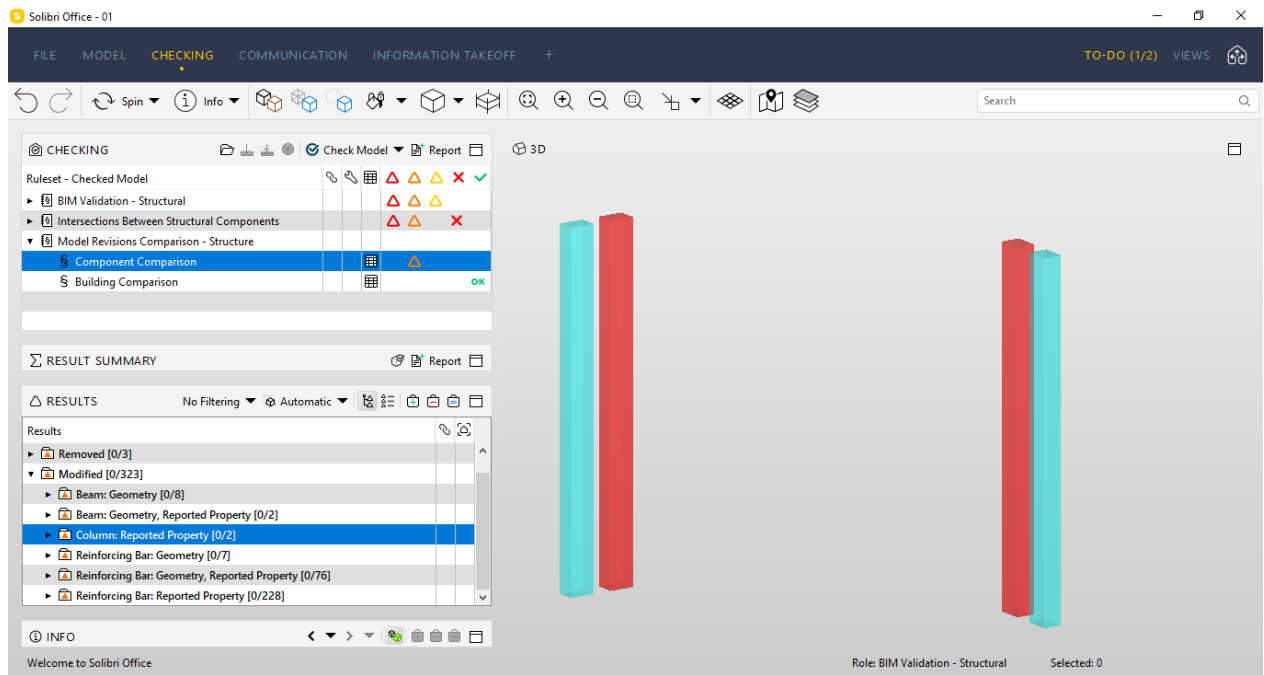


Figura IV.61. Elementos modificados (Autoría propia).

Recapitulando, en esta sección se mostró el flujo de trabajo que se sigue cuando se utiliza la metodología BIM y sus estándares OpenBIM, el proyecto que sirvió para el desarrollo de la metodología es una torre de ocho departamentos que se construyó en la ciudad de Puebla.

El trabajo comenzó con el desarrollo de los modelos virtuales, el software que se eligió para este propósito fue Revit de Autodesk, los elementos que se analizaron corresponden al modelo estructural (cimentación, contratrabes, trabes, losas, columnas y muros de mampostería). Para el desarrollo de la metodología se usaron tres estándares:

- *Level of Development Specification (LOD)*.
- *Industry Foundation Class (IFC)*, ISO 16739-1:2018.
- *BIM Collaboration Format (BCF)*.

Level of Development Specification (LOD), la clasificación de los elementos depende de la cantidad de información que contienen, en este proyecto se eligió LOD350 para los elementos estructurales; en estos detalles se observan características como materiales, tipo de armado, dimensiones y su conexión con otros elementos; para el desarrollo de esta etapa de trabajo es necesario contar con los alcances del proyecto.

Industry Foundation Class (IFC) es un formato abierto que permite el intercambio de información, los softwares BIM permiten realizar exportaciones del archivo nativo a este tipo de formatos, el objetivo es que la información pueda ser revisada o modificada en cualquier software. En esta sección se utilizaron algunos programas para verificar que no se pierde información cuando se exporta a este tipo de formatos.

BIM Collaboration Format (BCF) es un formato OpenBIM que permite la revisión de archivos IFC, el programa que se utilizó para crear los BCF fue Solibri. Con el uso de estas herramientas es posible detectar errores como elementos duplicados o interferencia entre dos o más IFC.

CONCLUSIONES

La gestión tradicional presenta algunos problemas como son el desarrollo de trabajos aislados, falta de coordinación, proyectos incompletos y poco detallados, alcances no definidos etcétera; esto provoca que durante la etapa de construcción se hagan retrabajos o cambios de proyecto que generan sobrecostos y retraso en los tiempos de entrega. Para el estudio de caso, se usó un proyecto que fue desarrollado con una administración tradicional y que presentó este tipo de problemas, la finalidad es aplicar una metodología diferente que permita detectar errores en la etapa de planeación y si mitigar sobrecostos.

La forma en que se administran los proyectos ha ido evolucionando, han surgido nuevas herramientas tecnológicas que hacen los procesos más eficientes, una de estas metodologías es BIM (Building Information Modeling), el objetivo es contar con un modelo virtual con el que se pueda compartir la información entre los especialistas que participan en el proyecto antes de comenzar los trabajos de construcción de esta forma anticipar errores que no se detectan cuando se trabaja en CAD.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron diferentes softwares, Revit de Autodesk para la etapa de modelado; us BIM, BIM vision, BIM Collab y Solibri, para visualizar archivos IFC; Solibri para revisión y detección de incidencias, por medio de BCF fue posible realizar los cambios en el archivo nativo. Durante el desarrollo del proyecto se observó lo siguiente:

- ✚ BIM es más que el uso de tecnología, se trata de una metodología para cambiar la forma en que se trabaja actualmente. Se apoya en herramientas tecnológicas, sin embargo, lo mas importante es hacer un bueno uso de la información que se va generando en cada una de las etapas.
- ✚ Con el uso del estándar LOD en el modelo estructural, fue fácil identificar en que elementos hacia falta información. Esta forma de trabajar permitió tener un proyecto completo y con alcances definidos.
- ✚ Es común recibir información en programas o versiones distintas a las que usamos, generalmente se regresan los archivos y se solicita que cambien las versiones, este proceso puede generar perdida de información. Estos problemas se corrigen utilizando formatos IFC ya que la transferencia de la información no depende de los programas utilizados, esto se

verificó al utilizar distintos softwares en donde se comparó la información del archivo IFC con la información del modelo nativo.

- ✚ La revisión del proyecto se realizó a través de archivos IFC, esto permitió ubicar incidencias que no se detectaron en la etapa de modelado, incluso con los modelos vinculados en Revit se presentaron errores. Una de las incidencias que se detectaron en la revisión, y que es muy común encontrar en las obras, es la ubicación de castillos en medio de vanos de puertas o ventanas; el proceso para realizar los cambios fue crear un reporte BCF, realizar el cambio en el modelo nativo y enviar un nuevo IFC con las correcciones necesarias. El flujo de trabajo es más directo cuando se hace de esta forma.
- ✚ Para el desarrollo de los presupuestos es necesario contar con los números generadores, cuando se trabaja con planos en 2D no es posible identificar todas las características de los elementos, por lo que en algunas ocasiones se entregan números erróneos. Esta información también sirve para realizar los programas de suministros, cuando los números son incorrectos, es necesario solicitar ajustes en obra, los cuales representan un incremento en el costo de la actividad. Con el modelo virtual fue posible obtener tablas de información con las cantidades de los insumos, estas cantidades se pueden extraer para realizar los presupuestos en programas como Opus o Neodata; otra forma de obtener presupuestos es a través de los IFC. En ambos casos se utiliza la información del modelo, reduciendo errores y tiempo de trabajo.
- ✚ Implementar la metodología BIM en la etapa de planeación de este trabajo permitió elaborar un proyecto más completo, el flujo de trabajo es más ordenado y con el apoyo de los estándares *Level of Development Specification (LOD)*, *Industry Foundation Class (IFC)* y *BIM Collaboration Format (BCF)* se comprobó que su uso ayuda a mitigar sobrecostos en la construcción.

RECOMENDACIONES

La metodología BIM tiene grandes ventajas cuando se aplica de manera correcta, después de realizar este trabajo comparto las siguientes recomendaciones:

- ✚ Lo primero es estar conscientes de que BIM no es un software, es una metodología que establece una serie de pasos que permiten desarrollar un flujo de trabajo más eficiente; para su desarrollo se apoya de herramientas tecnológicas, por lo tanto, es importante que se conozcan los softwares BIM que hay en el mercado y elijan el que mejor se adapte a las necesidades de su empresa.
- ✚ Se sugiere trabajar con LOD 350 o superior para que la información realmente ayude a la toma de decisiones, por esta razón lo primero es definir los alcances del proyecto.
- ✚ En México está en proceso el desarrollo de un estándar BIM, sin embargo, esto no impide que se pueda aplicar esta metodología en los proyectos, los estándares internacionales sirvieron de guía para la aplicación de la metodología en este trabajo, en especial el estándar PlanBim de Chile; por esta razón se invita a leer la documentación que se ha generado en otros países.
- ✚ Utilizar y promover el uso de archivos IFC para el intercambio de información y no depender de una marca o software específico. IFC es un estándar con certificación ISO y actualmente existen muchos softwares que permiten la revisión y extracción de información de este tipo de documentos.
- ✚ Se sugiere tener proyectos piloto para la implementación de la metodología, de esta forma el equipo se va a familiarizar con el nuevo flujo de trabajo, en la mayoría de los casos el primer proyecto con esta implementación no tiene los resultados que se esperan, se debe de tener en cuenta que es un proceso y el cambio requiere tiempo y disposición.
- ✚ Es necesario que las instituciones educativas modifiquen sus planes de estudio para que se hable sobre BIM, algunas ya comenzaron con la enseñanza de programas de modelado, sin embargo, falta que se enseñe a administrar y gestionar la información que se obtiene de estos modelos. Esta metodología podría aplicarse en los proyectos integrales que desarrollan durante su estancia en las universidades, así tendrán las bases para poder aplicarlo a proyectos reales cuando inicien su vida laboral.

BIBLIOGRAFIA

- AUTODESK. (2018). Manual de IFC para Revit. Estados Unidos.
- Baeza, J., & Salazar, G. (2005). *Redalyc.com UAEM*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46790307>
- BibLus*. (2021). Obtenido de <http://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim-3d-4d-5d-6d-7d/>
- BIMnD, E. (19 de marzo de 2019). *BIMnD*. Obtenido de <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>
- Brioso, X. (2015). El análisis de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project, construction, management: Propuesta de regulación en España y su inclusión en la ley de la ordenación de la edificación. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. .
- BuildingSMART. (2021). *Building SMART International*. Obtenido de <https://www.buildingsmart.org/compliance/software-certification/certified-software/>
- BuildingSMART, S. (2020). Guía BIM para propietarios y gestores de Activos. Spain.
- Chiavenato, I. (2007). *Introducción a la teoría general de la administración*. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Coloma, E. (2008). *Introducción a la Tecnología BIM*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Contreras, J., Garzón, Y., Gómez, A., & Misle, R. (13 de Septiembre de 2018). Integración entre Building Information Modeling y Project Management Institute como propuesta metodológica para la gestión de proyectos. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 1-16.
- D'amato, N. (30 de Abril de 2010). *Building Information Modeling (BIM). Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil* . Medellin, Colombia.
- Esarte Eserverri, A. (29 de abril de 2020). *Espacio BIM*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/cde>
- ESARTE ESEVERRI, A. (13 de agosto de 2020). *Espacio BIM*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/bcf>
- EUBIM. (2018). Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo.

- Fox, K. (2013). *Lean Construction*. E.E.U.U.: Mc Graw Hill Construction.
- GEPUC. (s.f.). *Lean Construction: Manual práctico de herramientas de mejoramiento de construcción*. Chile: Centro UC, .
- Gido, J., & Clements, J. (2012). *Administración exitosa de proyectos*. México: CENGAGE Learning .
- González, R., Gámez, F., & Severino, M. (Enero de 2014). *The Spanish Journal of BIM*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/284159764_Introduccion_A_La_Metodologia_BIM
- Graphisoft. (s.f.). *Graphisoft Archicad*. Obtenido de <https://graphisoft.com/es/solutions/products/archicad>
- Hernández, A. (1997). *Antología Organización y control de obra*. Puebla, Puebla, México.
- Jurado, C. (01 de Agosto de 2014). *SUMA*. Obtenido de <http://www.suma.pe/2014/08/01/beneficios-del-bim-en-el-diseno-de-proyectos/>
- Lacaze, L. M. (2018). *BIM: De la competitividad a la Innovación radical*. Argentina: Escuela de Gestion de la Construccion.
- Llerena, Y., & Bigurra, C. (2019). La influencia de la gestión del cambio en la implementación de BIM en la industria de la construcción sostenible de México. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 24-31.
- Melo Jimenez, A. (s.f.). *Metodología BIM como una Herramienta para la planeación de proyectos*. Hidalgo, México.
- PLANBIM. (junio de 2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos*. Chile.
- PlanBIM. (enero de 2021). *Guía para entidades IFC Arquitectura*. Chile.
- PMI, P. M. (2017). *PMBOK GUIDE, SIXTH EDITION*. E.E.U.U.: Project Management Institute, Inc.
- Pons, J., & Rubio, I. (2019). *Lean Construction y la planificación colaborativa .Metodología del Last Planner System*. España: Consejo General de la Arquitectura Técnica en España.
- Poo, A., & Rodríguez, J. (2017). *BIM en la Construcción*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

- Porras Diaz, H., Sánchez Rivera, O., & Galvis Guerra, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revision actual. *AVANCES Investigación e Ingeniería* , 32-53.
- Quijano Valdez, J. (2012). *Análisis de los procesos y administración de los productos arquitectónicos*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México .
- Salazar, B. (13 de junio de 2019). *Ingenieria Industrial online*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/pert-tecnica-de-evaluacion-y-revision-de-proyectos/>
- Sánchez, A. (22 de Junio de 2017). *Espacio BIM*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3>
- Serpell, A., & Alarcón, L. (2015). *Planificacion y Control de Proyectos*. Chile: Ediciones UC.
- SHCP. (25 de noviembre de 2020). Avance de la implementación de BIM en Latinoamérica. México.
- SHCP, S. d. (Marzo de 2019). Estrategia para la Implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC) en México. México.
- Soto Ogueta, C. (25 de noviembre de 2020). Formacion y avances de la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos. BIM GOB LATAM.
- Spain, B. S. (2012). *Building Smart Spain*. Obtenido de <https://www.buildingsmart.es/recursos/gu%C3%ADas-ubim/>
- Suárez Salazar, C. (2007). *Costo y Tiempo en Edificación*. México: Limusa.
- Verástegui, J. (mayo de 2014). ISO 21500 Directrices para la Dirección y Gestión de Proyectos. Quito: PMI Capitulo Ecuador .
- Wilmer, C. D. (2019). *Academia.edu*. Obtenido de https://www.academia.edu/38176324/Una_ojeada_a_la_metodolog%C3%ADa_BIM.pdf
- Zaje, S. (2011). BIM :Modelos de Información para la Construcción. Autodesk.
- Zaje, S., & Autodesk. (2011). BIM (Modelos de Informacion para la Construcción).

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Baeza Pereyra, Julio R., Salazar Ledezma, Guillermo F. Integración de proyectos utilizando el modelo integrado de información para la construcción. Ingeniería [en línea]. 2005, 9 (3), 67-75 [fecha de Consulta 22 de abril de 2021]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46790307>

Cruz, V., & Rosa, P. (2007). Modelo de Planificación Basado en Construcción Ajustada para Obras de Corta Duración. Mayo 4,2020, de Información tecnológica, sitio web: 18(1), 107-118. [Fecha de consulta 4 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000100015>

González, J., Solís, R., & Alcuía, C. (2010). Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. Revista de la construcción, sitio web: 9(1), 17-25. [Fecha de consulta 4 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2010000100003>

Solís, R., Martínez, J., & González, J. (2009). Estudio de caso: demoras en la construcción de un proyecto en México. Ingeniería, sitio web: 13 (1), 41-48. [Fecha de consulta 8 de mayo de 2020]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467/46713055004>.

Salazar, B. (2019). PERT – Técnica de evaluación y revisión de proyectos. [Fecha de consulta 15 de mayo de 2020]. Ingeniería Industrial. Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/pert-tecnica-de-evaluacion-y-revision-de-proyectos/>

Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C. y Zikic, N. (2019). Guía de planificación de ejecución de proyectos BIM, versión 2.2. Computer Integrated Construction Research Program , The Pennsylvania State University, University Park, PA, EE. UU., agosto, disponible en <http://bim.psu.edu> .

“Integración del Proyecto Arquitectónico y la Construcción en Procesos de Edificación Utilizando el Modelo Integrado de Información para la Construcción (BIM)”, 2005, <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen9/integracion.pdf>

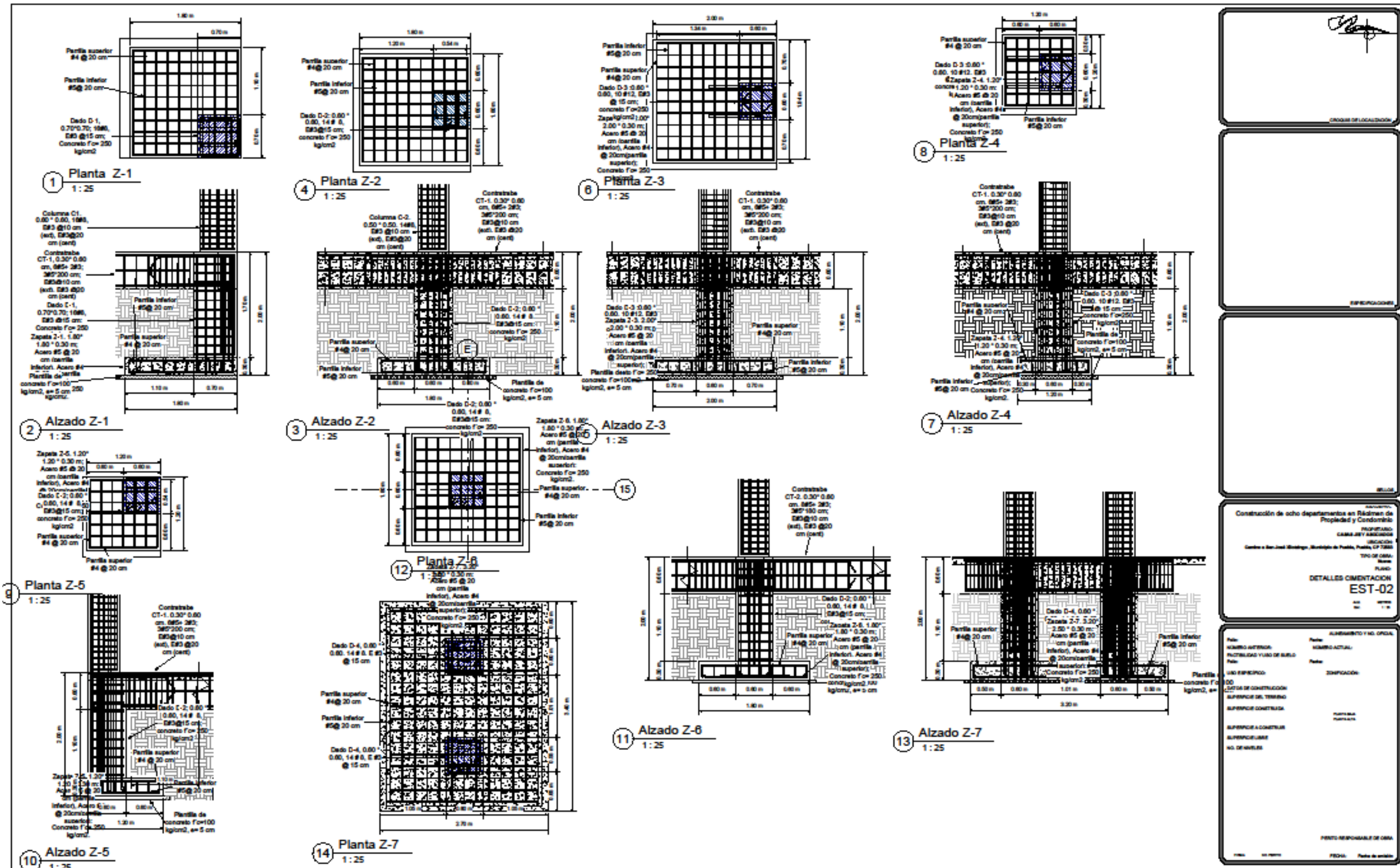
ANEXOS

ANEXO I

PROYECTO ARQUITECTÓNICO

ANEXO II

PROYECTO ESTRUCTURAL



[Signature]

PROGRAMA DE LOCALIZACIÓN

Especificaciones

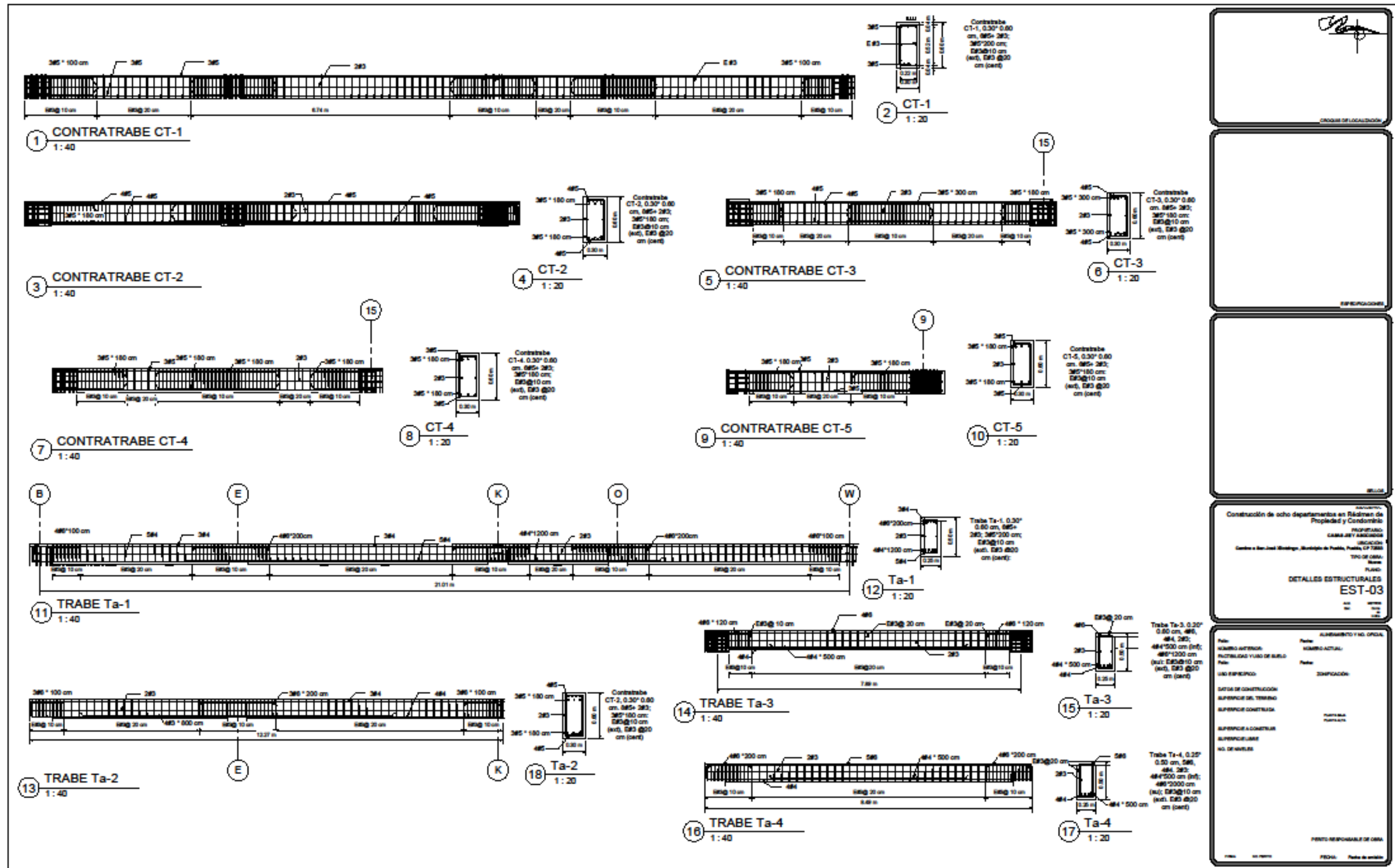
BIBLIOTECA

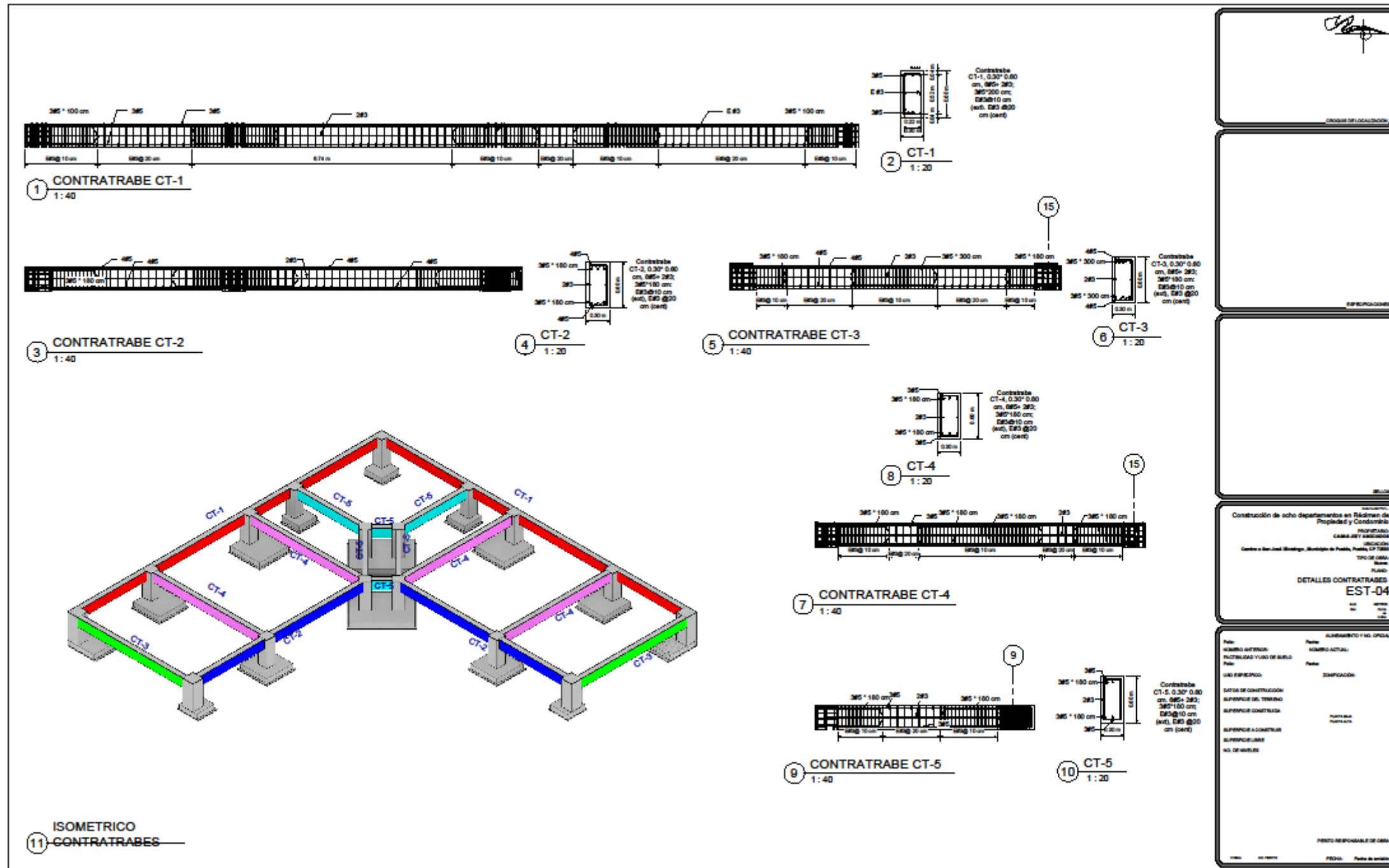
Construcción de ocho departamentos en Rádon de
 Propiedad y Condominio
 PROYECTO
 CABA-REV. S.A. SUCURSALES
 UBICACIÓN
 Centro e San José Obispo, Municipio de Piedad, Pinar del Río
 TIPO DE OBRA
 PLANO
 DETALLES CIMENTACION
EST-02
 ESCALA
 1:25

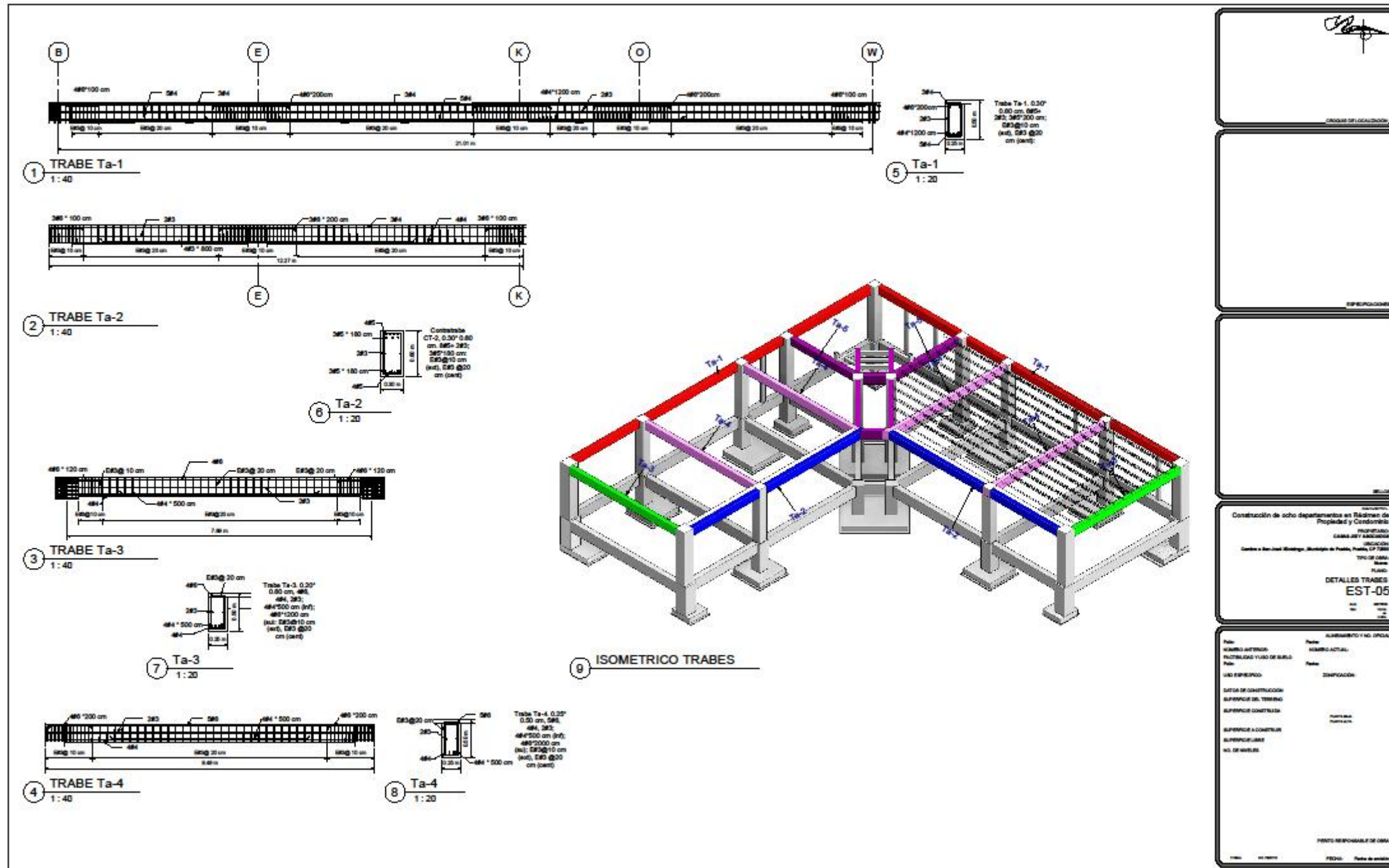
| ALBERGUE Y VIVIENDA | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Nombre Anterior: | Nombre Actual: |
| Potencialidad Uso de Suelo: | |
| Uso Propósito: | ZONIFICACIÓN: |
| Código de Construcción: | |
| Superficie del Terreno: | |
| Superficie Construida: | Pantalla #4 Pantalla #5 |
| Superficie a Construir: | |
| Superficie Usada: | |
| Nº de Unidades: | |

PUNTO RESPONSABLE DE OBRA

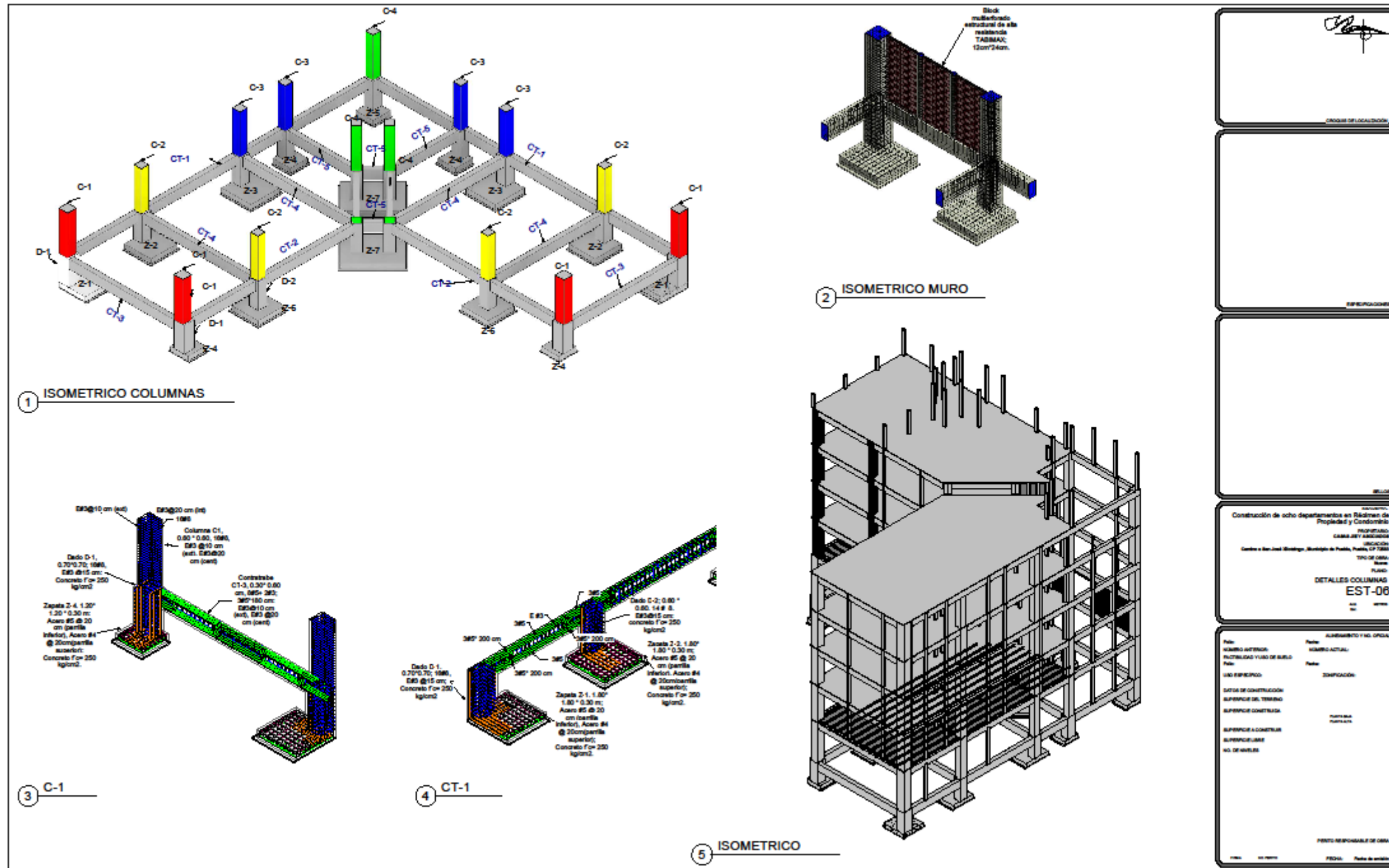
FECHA: Piedad, Pinar del Río







| | |
|--|----------------|
| | |
| UNIVERSIDAD DE GUAYMAS | |
| ESTRUCTURAS | |
| MATERIA | |
| PROYECTO | |
| CONSTRUCCIÓN DE OCHO DEPARTAMENTOS EN BARRIO DE PROPIEDAD Y CONDOMINIO | |
| PROYECTO: CASA DE 4 DEPARTAMENTOS | |
| UBICACION: Calle 5 y San José (Barrío de Propeidad y Condominio), Pinar del Río, CP 7000 | |
| TIPO DE OBRA: Vivienda | |
| PLANO: EST-05 | |
| Escala: 1:40 | |
| Fecha: 12/01/2023 | |
| PROYECTO Y/O DISEÑO: | |
| Nombre anterior: | Nombre actual: |
| Función: | Función: |
| Unidad: | Unidad: |
| FECHA DE CONSTRUCCIÓN: | |
| SUPERFICIE DEL TERRENO: | |
| SUPERFICIE CONSTRUIDA: | |
| SUPERFICIE ALCOBERTADA: | |
| SUPERFICIE PAVIMENTADA: | |
| VOLUMEN DE OBRAS: | |
| PUNTO RESPONSABLE DE OBRAS: | |
| Firma: [Signature] | |

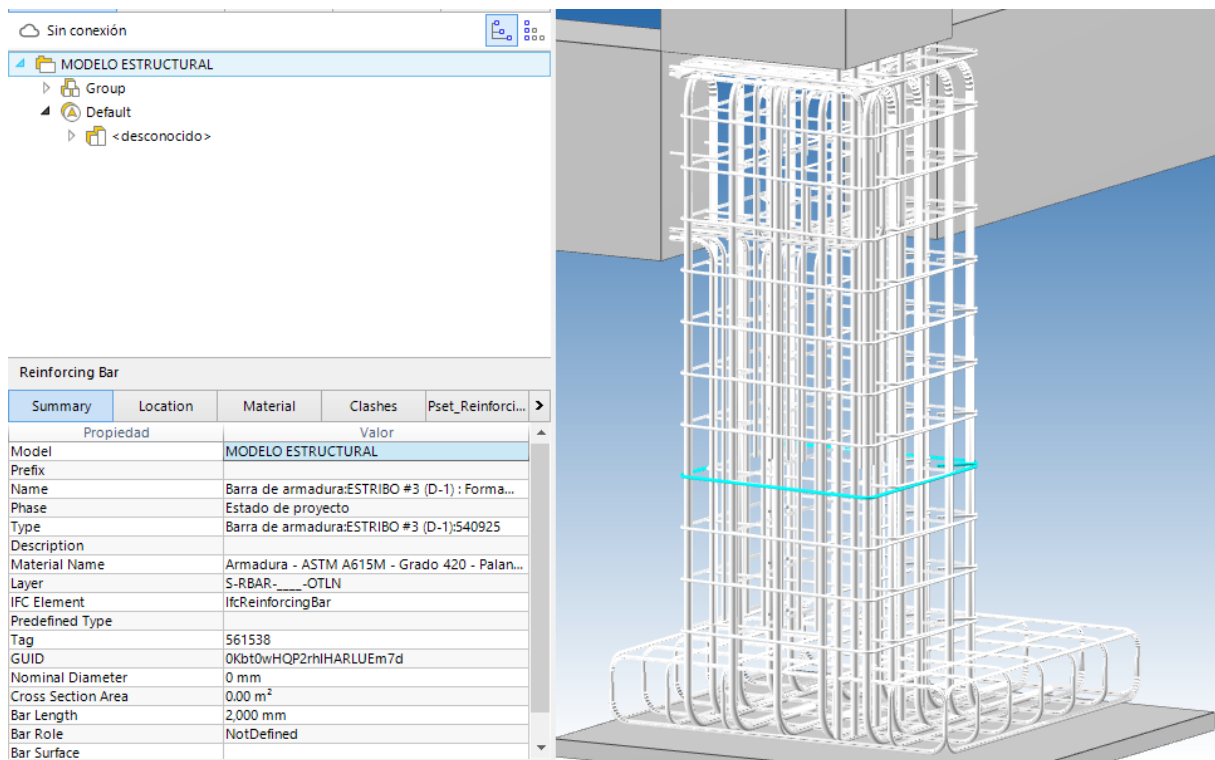
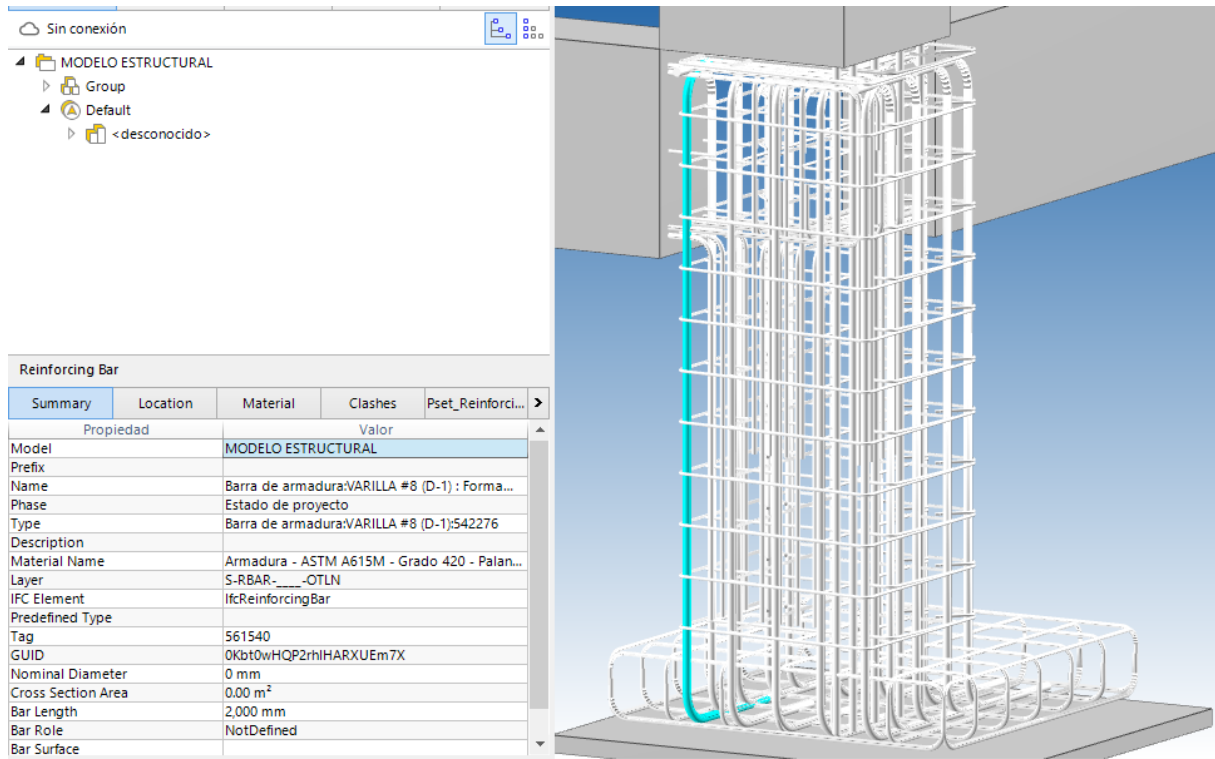


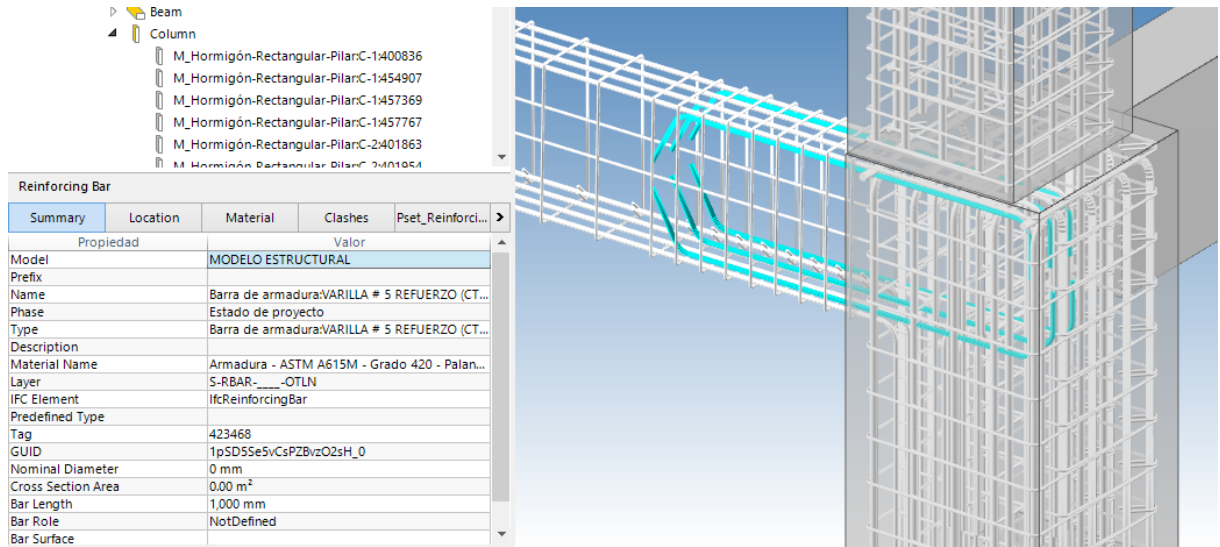
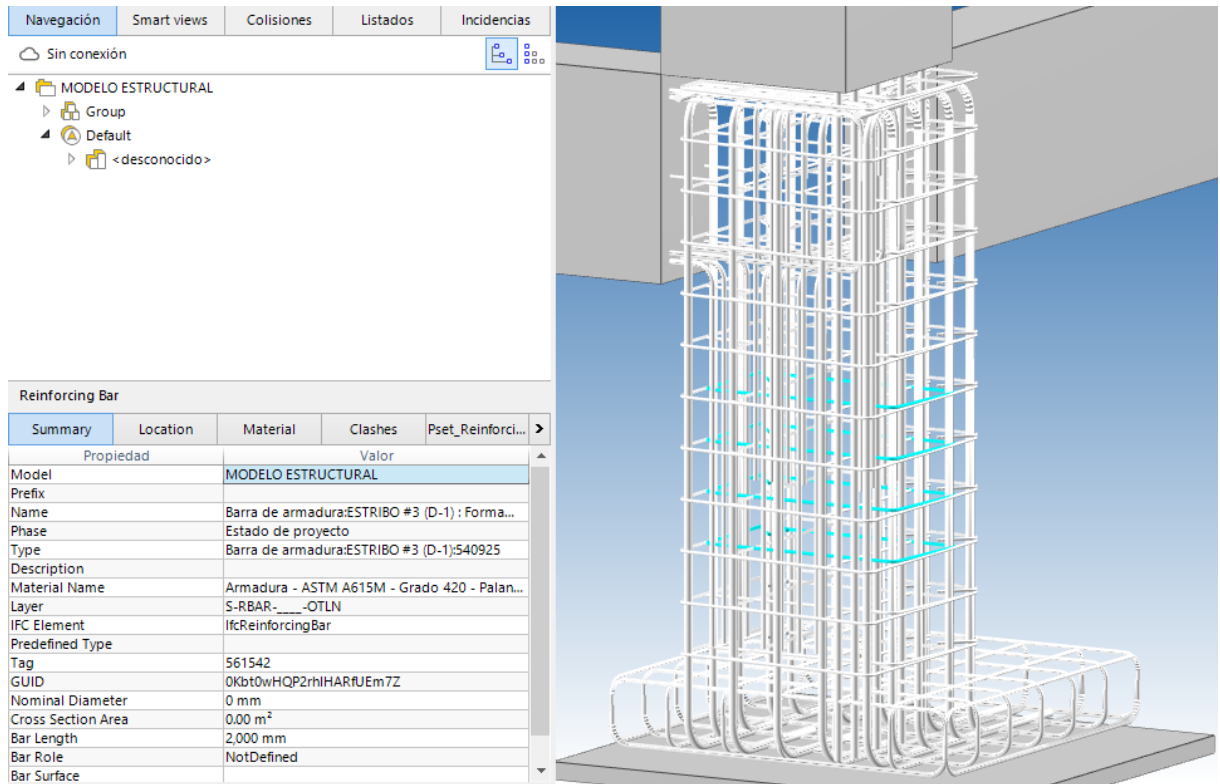
ANEXO III

VISORES DE ARCHIVOS IFC

ANEXO III.1

BIM Collab



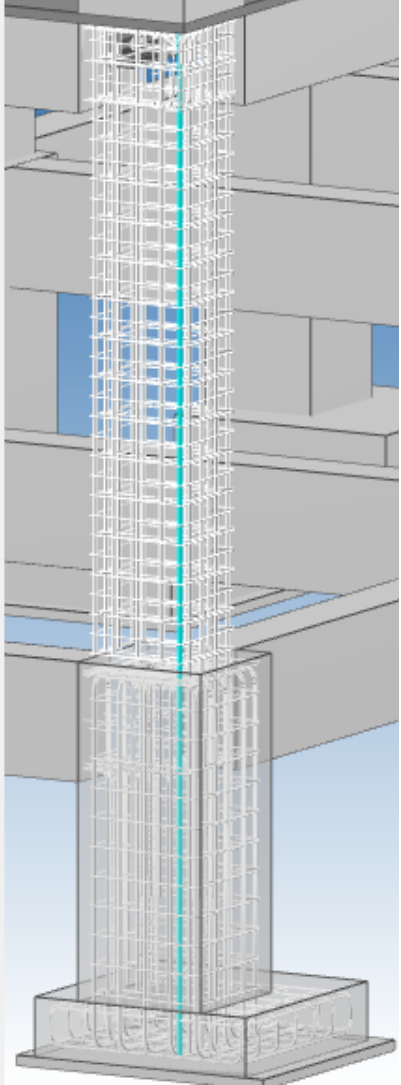


311 COLLEGIUM

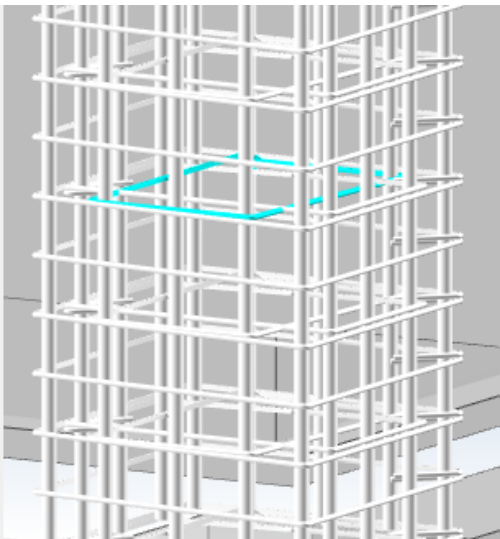
MODELO ESTRUCTURAL

- Group
- Default

| Reinforcing Bar | | | | |
|--------------------|---|----------|---------|-------------------|
| Summary | Location | Material | Clashes | Pset_Reinforci... |
| Propiedad | | Valor | | |
| Model | MODELO ESTRUCTURAL | | | |
| Prefix | | | | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA #8 (C-1) : Forma... | | | |
| Phase | Estado de proyecto | | | |
| Type | Barra de armadura:VARILLA #8 (C-1):399656 | | | |
| Description | | | | |
| Material Name | Armadura - ASTM A615M - Grado 420 - Palan... | | | |
| Layer | S-RBAR-____OTLN | | | |
| IFC Element | IfcReinforcingBar | | | |
| Predefined Type | | | | |
| Tag | 454916 | | | |
| GUID | 2GjPoW8Yb1HQ3c_zPc04Z1 | | | |
| Nominal Diameter | 0 mm | | | |
| Cross Section Area | 0.00 m ² | | | |
| Bar Length | 5,000 mm | | | |
| Bar Role | NotDefined | | | |
| Bar Surface | | | | |



| Reinforcing Bar | | | | |
|--------------------|---|----------|---------|-------------------|
| Summary | Location | Material | Clashes | Pset_Reinforci... |
| Propiedad | | Valor | | |
| Model | MODELO ESTRUCTURAL | | | |
| Prefix | | | | |
| Name | Barra de armadura:ESTRIBO #3 ext (C-1) : For... | | | |
| Phase | Estado de proyecto | | | |
| Type | Barra de armadura:ESTRIBO #3 ext (C-1):398807 | | | |
| Description | | | | |
| Material Name | Armadura - ASTM A615M - Grado 420 - Palan... | | | |
| Layer | S-RBAR-____OTLN | | | |
| IFC Element | IfcReinforcingBar | | | |
| Predefined Type | | | | |
| Tag | 454910 | | | |
| GUID | 2GjPoW8Yb1HQ3c_zvc04ax | | | |
| Nominal Diameter | 0 mm | | | |
| Cross Section Area | 0.00 m ² | | | |
| Bar Length | 1,000 mm | | | |
| Bar Role | NotDefined | | | |
| Bar Surface | | | | |



ANEXO III: VISORES DE ARCHIVOS IFC

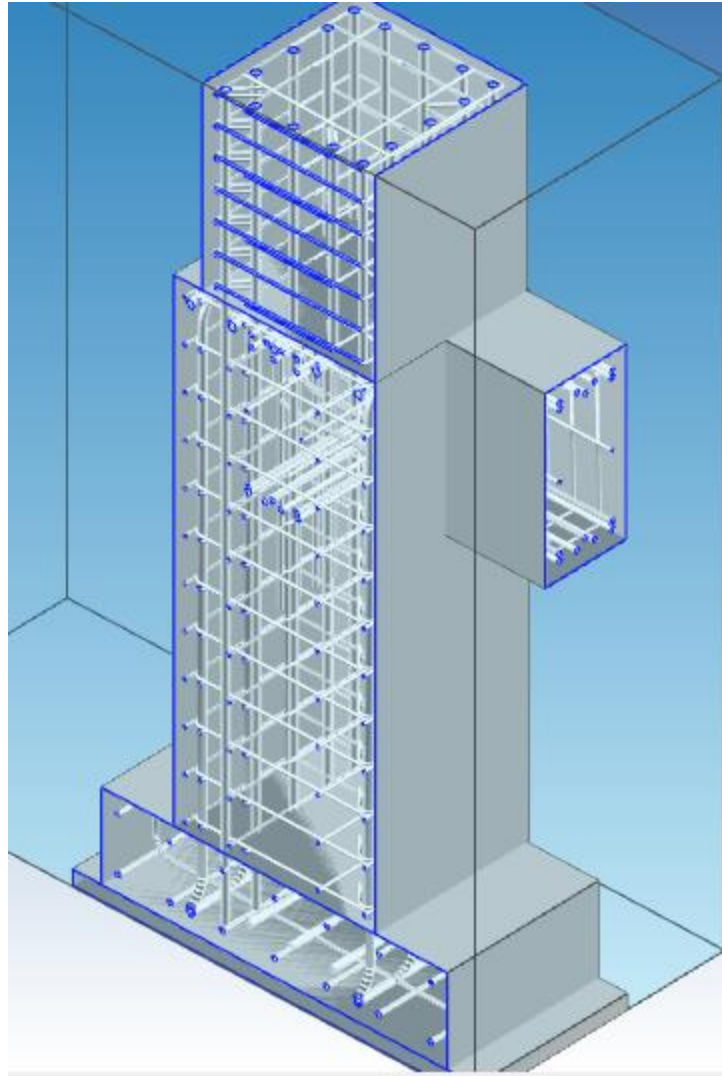
SUELO: LUSA EN I REPI S O 8 1 6 8 2 8 2

- ▶ Nivel 3
- ▶ Nivel 4
- ▶ Nivel 5

| Other | | | | |
|-----------------|----------|---------------------------|---------|------------------|
| Summary | Location | Material | Clashes | Pset_Building... |
| Propiedad | | Valor | | |
| Model | | MODELO ESTRUCTURAL | | |
| Prefix | | | | |
| Name | | BLOCK :BLOCK 12*24:651677 | | |
| Phase | | Estado de proyecto | | |
| Type | | BLOCK 12*24 | | |
| Type Name | | BLOCK 12*24 | | |
| Description | | | | |
| Material Name | | BLOCK 12*24 | | |
| Layer | | A-GENM-____-OTLN | | |
| IFC Element | | IfcBuildingElementProxy | | |
| Predefined Type | | NOTDEFINED | | |
| Tag | | 651677 | | |
| GUID | | 1XJmNXfF5DvgktV7fzlaNS | | |

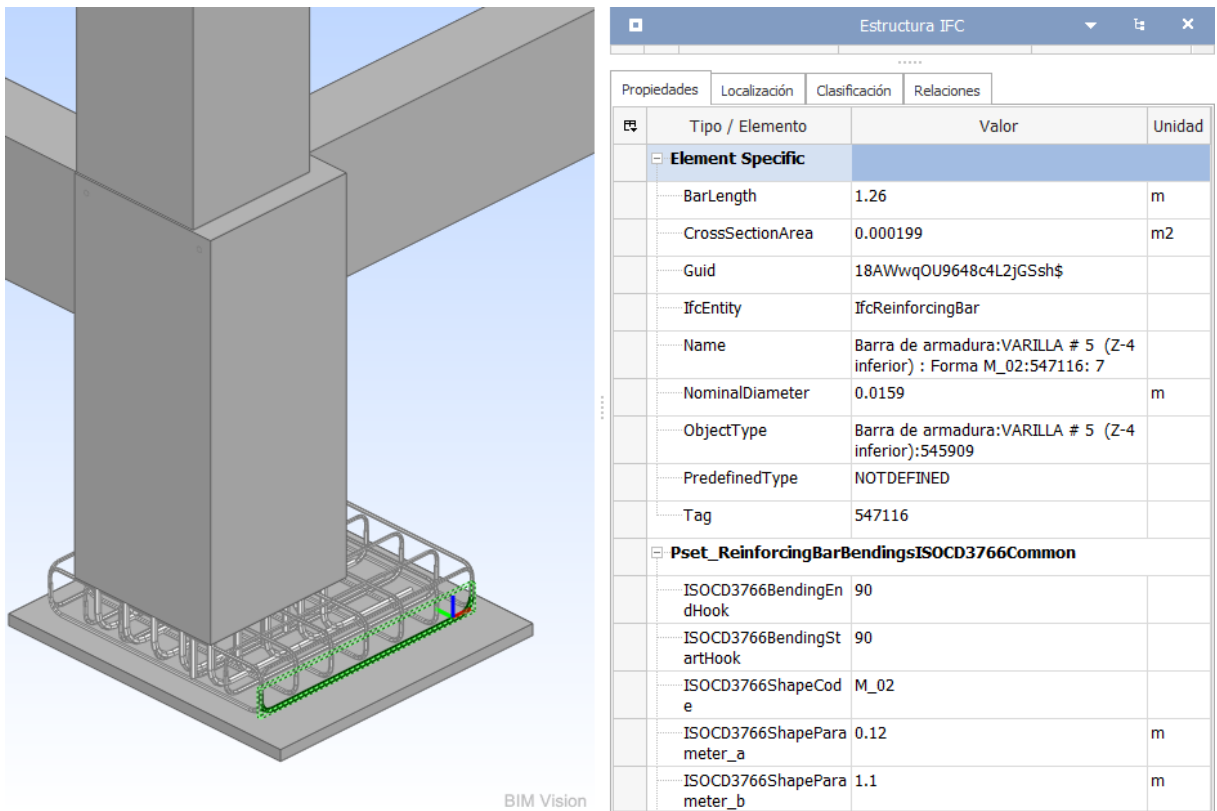
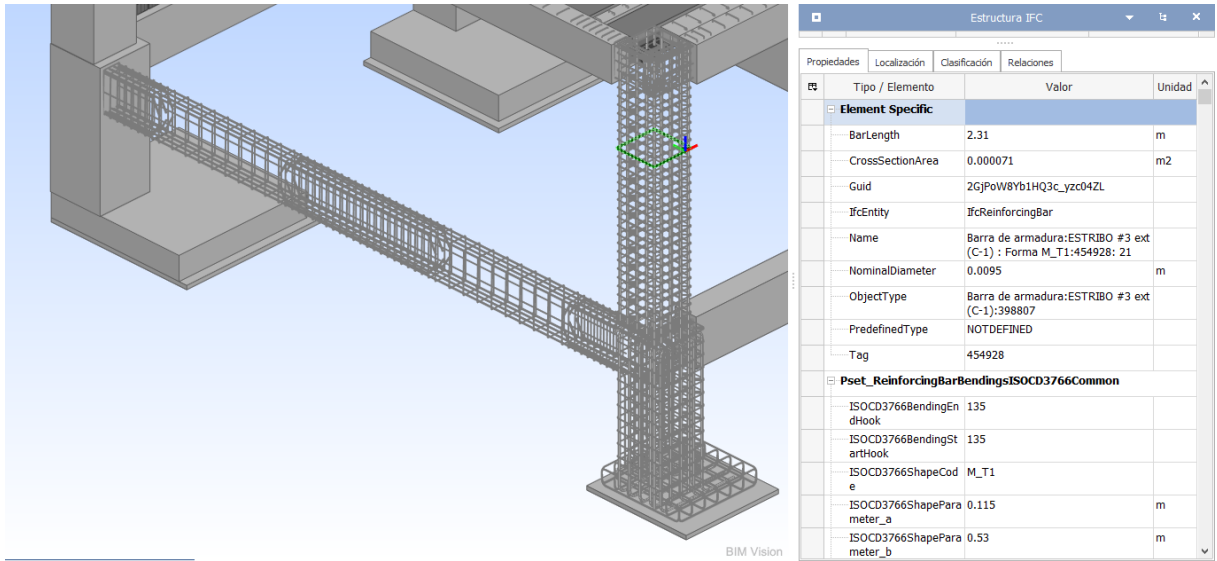
| Beam | | | | |
|-----------------|----------|--|---------|----------------|
| Summary | Location | Material | Clashes | Pset_BeamCo... |
| Propiedad | | Valor | | |
| Model | | MODELO ESTRUCTURAL | | |
| Prefix | | | | |
| Name | | M_Hormigón-Viga rectangular:VIGA 15*20:59... | | |
| Phase | | Estado de proyecto | | |
| Type | | VIGA 15*20 | | |
| Type Name | | VIGA 15*20 | | |
| Description | | | | |
| Material Name | | CONCRETO (nervios) | | |
| Layer | | S-BEAM-____-OTLN | | |
| Is External | | False | | |
| Load Bearing | | True | | |
| Fire Rating | | | | |
| IFC Element | | IfcBeam | | |
| Predefined Type | | BEAM | | |
| Tag | | 596442 | | |
| GUID | | 0oN19Qhj7xugLkqekUTmE | | |

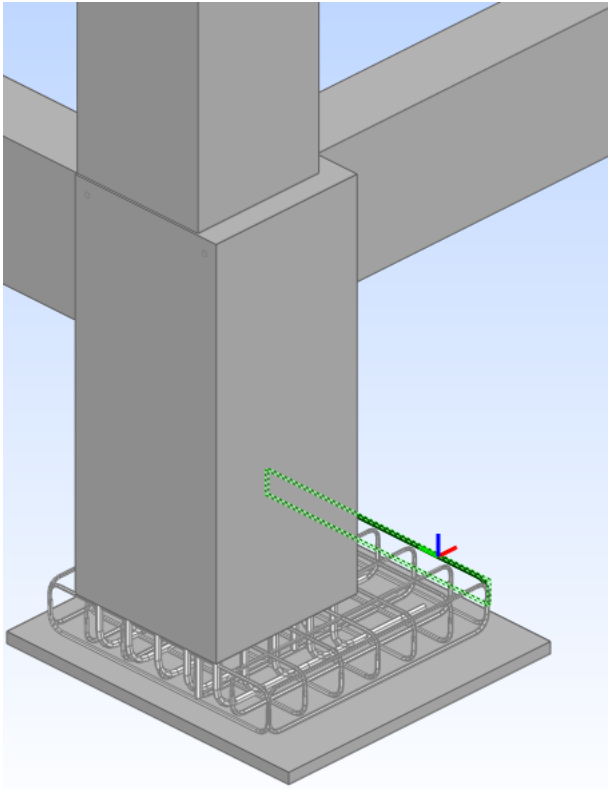
| Other | | | | |
|-----------------|----------|---|---------|------------------|
| Summary | Location | Material | Clashes | Pset_Building... |
| Propiedad | | Valor | | |
| Model | | MODELO ESTRUCTURAL | | |
| Prefix | | | | |
| Name | | MAKROS M-25 (5.02m):MAKROS M-25 (5.02m... | | |
| Phase | | Estado de proyecto | | |
| Type | | MAKROS M-25 (5.02m) | | |
| Type Name | | MAKROS M-25 (5.02m) | | |
| Description | | | | |
| Material Name | | POLIESTIRENO | | |
| Layer | | A-GENM-____-OTLN | | |
| IFC Element | | IfcBuildingElementProxy | | |
| Predefined Type | | NOTDEFINED | | |
| Tag | | 614168 | | |
| GUID | | 211K2uuYn3Nh2mDN4gHH | | |



ANEXO III.2

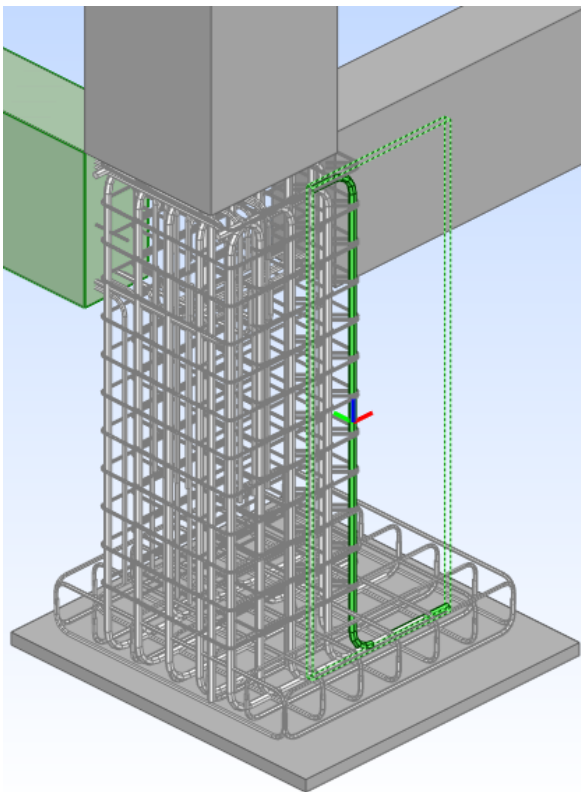
BIM Vision





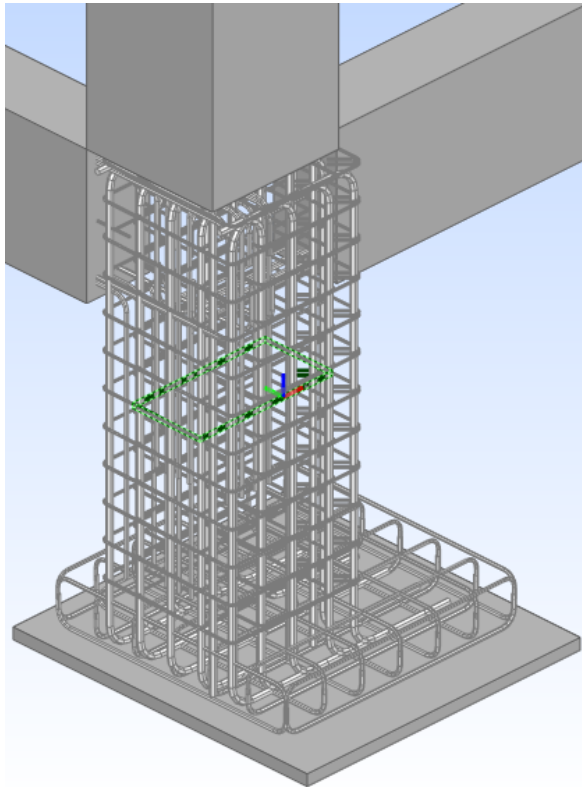
BIM Vision

| Estructura IFC | | | |
|---|--|--------|--|
| Propiedades | | | |
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | |
| Element Specific | | | |
| BarLength | 1.23 | m | |
| CrossSectionArea | 0.000127 | m2 | |
| Guid | 18AWwqOU9648c4L2LGSshZ | | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA #4 (Z-4 superior) : Forma M_02:547120: 1 | | |
| NominalDiameter | 0.0127 | m | |
| ObjectType | Barra de armadura:VARILLA #4 (Z-4 superior):545945 | | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | | |
| Tag | 547120 | | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 90 | | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 90 | | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_02 | | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.1 | m | |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 1.1 | m | |



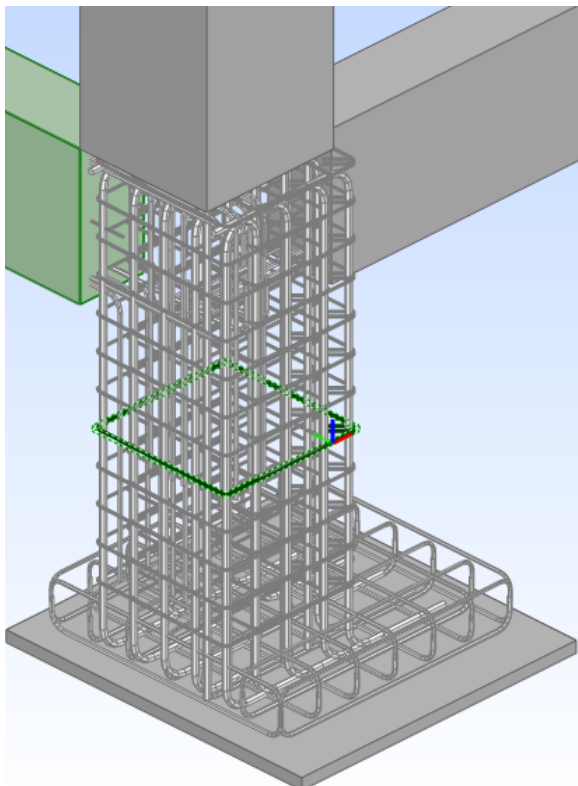
BIM Vision

| Estructura IFC | | | |
|---|---|--------|--|
| Propiedades | | | |
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | |
| Element Specific | | | |
| BarLength | 2.45 | m | |
| CrossSectionArea | 0.000507 | m2 | |
| Guid | 0Kbt0wHQp2rhIHARHUEm7b | | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA #8 (D-1) : Forma M_20:561536: 5 | | |
| NominalDiameter | 0.0254 | m | |
| ObjectType | Barra de armadura:VARILLA #8 (D-1):542276 | | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | | |
| Tag | 561536 | | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_20 | | |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 0.4627 | m | |
| ISOCD3766ShapeParameter_c | 1.9023 | m | |
| ISOCD3766ShapeParameter_d | 0.2127 | m | |
| ISOCD3766ShapeParameter_R | 0.0775 | m | |



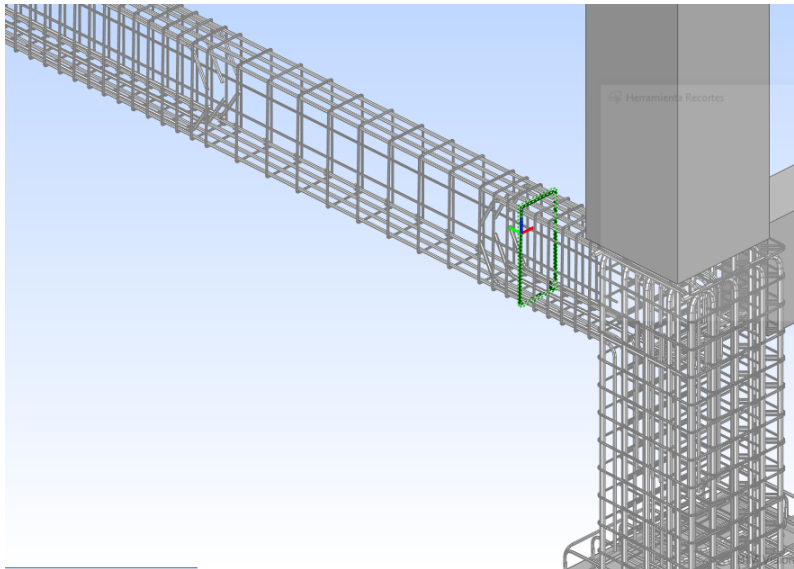
BIM Vision

| Propiedades | | Localización | Clasificación | Relaciones |
|---|---|--------------|---------------|------------|
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | | |
| Element Specific | | | | |
| BarLength | 2.05 | m | | |
| CrossSectionArea | 0.000071 | m2 | | |
| Guid | 0Kbt0wHQp2rhIHARTUEm7W | | | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | | | |
| Name | Barra de armadura:ESTRIBO #3 (D-1) : Forma M_T1:561541: 6 | | | |
| NominalDiameter | 0.0095 | m | | |
| ObjectType | Barra de armadura:ESTRIBO #3 (D-1):540925 | | | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | | | |
| Tag | 561541 | | | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 135 | | | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 135 | | | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_T1 | | | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.11 | m | | |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 0.316172 | m | | |



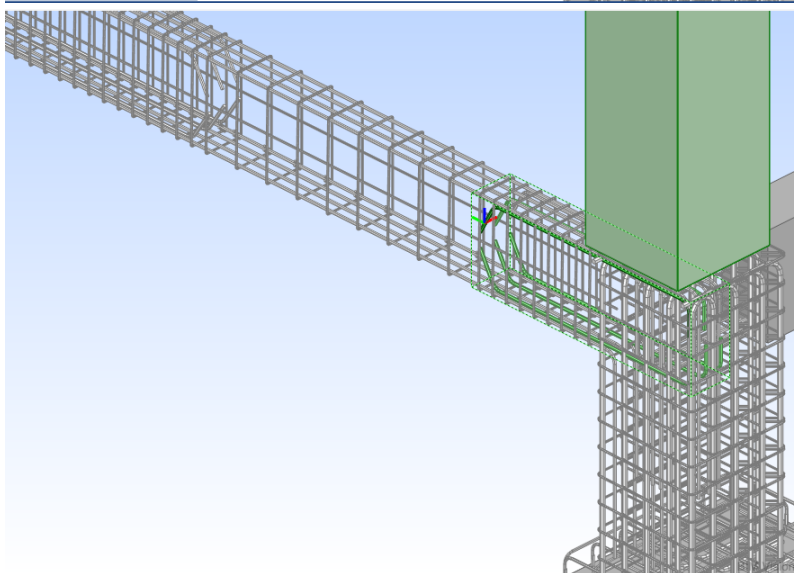
BIM Vision

| Propiedades | | Localización | Clasificación | Relaciones |
|---|---|--------------|---------------|------------|
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | | |
| Element Specific | | | | |
| BarLength | 2.68 | m | | |
| CrossSectionArea | 0.000071 | m2 | | |
| Guid | 0Kbt0wHQp2rhIHARHUEm7d | | | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | | | |
| Name | Barra de armadura:ESTRIBO #3 (D-1) : Forma M_T1:561538: 5 | | | |
| NominalDiameter | 0.0095 | m | | |
| ObjectType | Barra de armadura:ESTRIBO #3 (D-1):540925 | | | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | | | |
| Tag | 561538 | | | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 135 | | | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 135 | | | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_T1 | | | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.11 | m | | |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 0.63 | m | | |



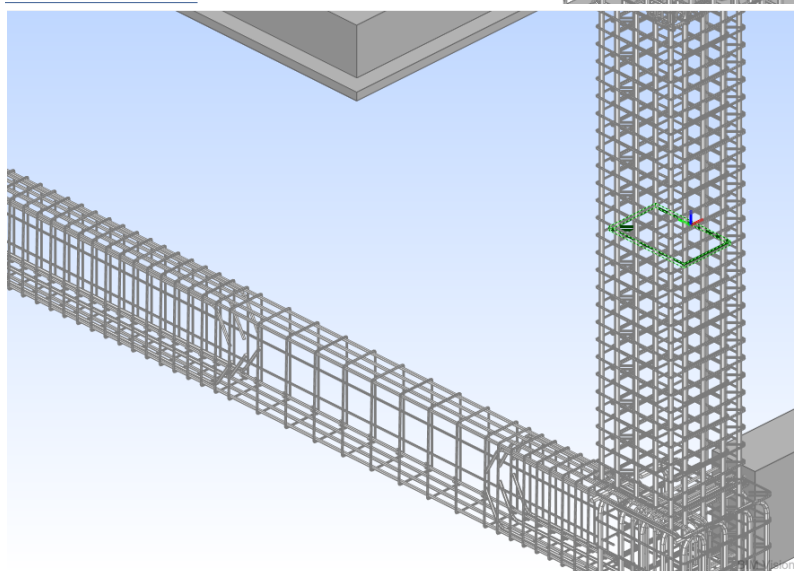
Propiedades Localización Clasificación Relaciones

| Tipo / Elemento | Valor | Unidad |
|---|--|--------|
| Element Specific | | |
| BarLength | 1.59 | m |
| CrossSectionArea | 0.000071 | m2 |
| Guid | 3bkReajor0a8kICInpTTcU | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | |
| Name | Barra de armadura:ESTRIBO #3 (CT-3) : Forma M_T1:420830: 4 | |
| NominalDiameter | 0.0095 | m |
| ObjectType | Barra de armadura:ESTRIBO #3 (CT-3):419652 | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | |
| Tag | 420830 | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 135 | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 135 | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_T1 | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.055 | m |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 0.53 | m |



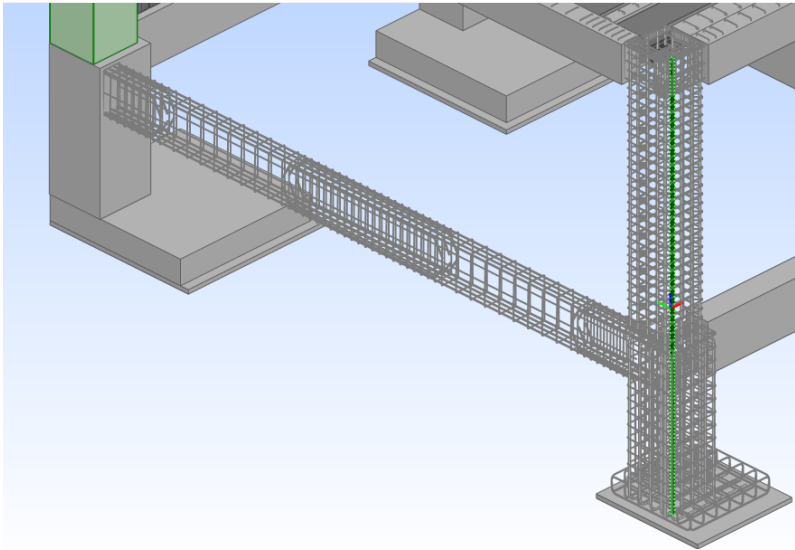
Propiedades Localización Clasificación Relaciones

| Tipo / Elemento | Valor | Unidad |
|---|---|--------|
| Element Specific | | |
| BarLength | 1.63 | m |
| CrossSectionArea | 0.000199 | m2 |
| Guid | 1pSD5Se5vCsFzBvzO2sH_0 | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA # 5 REFUERZO (CT-3) : Forma Forma de armadura 2:423468: 1 | |
| NominalDiameter | 0.0159 | m |
| ObjectType | Barra de armadura:VARILLA # 5 REFUERZO (CT-3):423494 | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | |
| Tag | 423468 | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | |
| ISOCD3766ShapeCode | Forma de armadura 2 | |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 0.190782 | m |
| ISOCD3766ShapeParameter_c | 1.284419 | m |
| ISOCD3766ShapeParameter_d | 0.210186 | m |
| ISOCD3766ShapeParameter_e | 0.0475 | m |

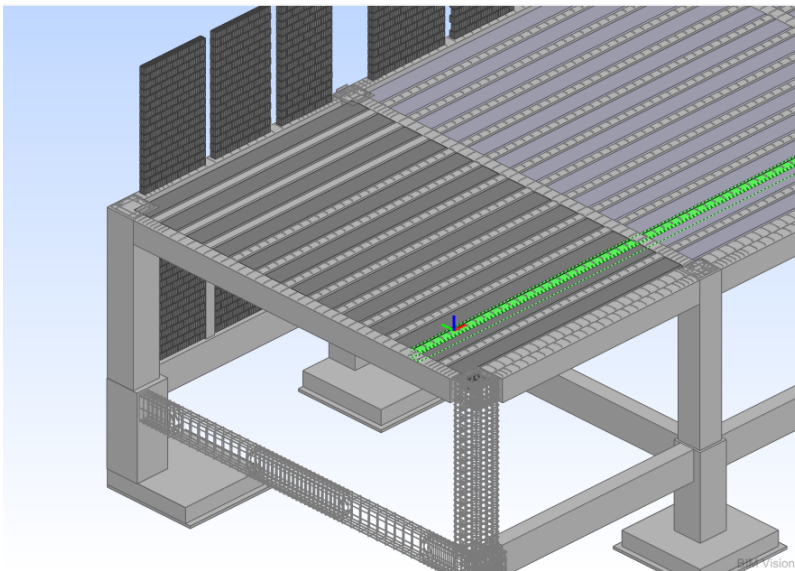


Propiedades Localización Clasificación Relaciones

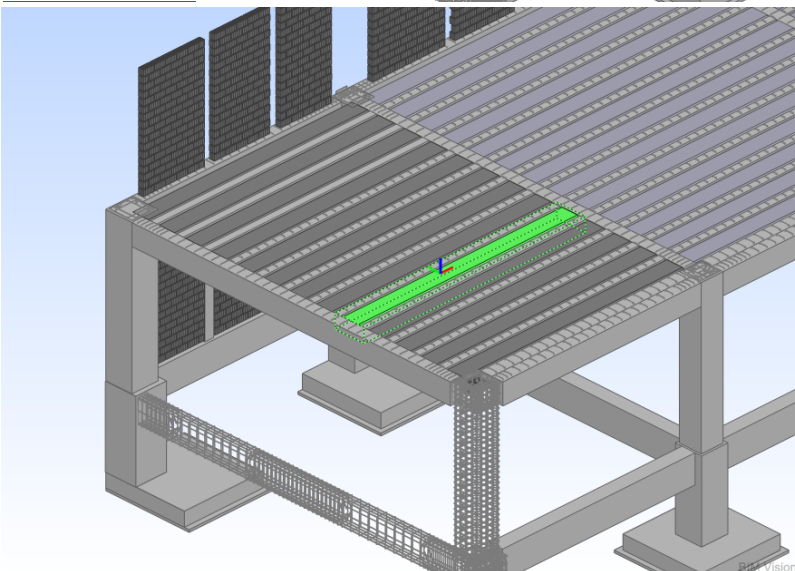
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad |
|---|---|--------|
| Element Specific | | |
| BarLength | 1.88 | m |
| CrossSectionArea | 0.000071 | m2 |
| Guid | 2GjPoW8Yb1HQ3c_zfc04ZA | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | |
| Name | Barra de armadura:ESTRIBO #3 int (C-1) : Forma M_T1:454927: 8 | |
| NominalDiameter | 0.0095 | m |
| ObjectType | Barra de armadura:ESTRIBO #3 int (C-1):737740 | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | |
| Tag | 454927 | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOCD3766Common | | |
| ISOCD3766BendingEndHook | 135 | |
| ISOCD3766BendingStartHook | 135 | |
| ISOCD3766ShapeCode | M_T1 | |
| ISOCD3766ShapeParameter_a | 0.115 | m |
| ISOCD3766ShapeParameter_b | 0.521942 | m |



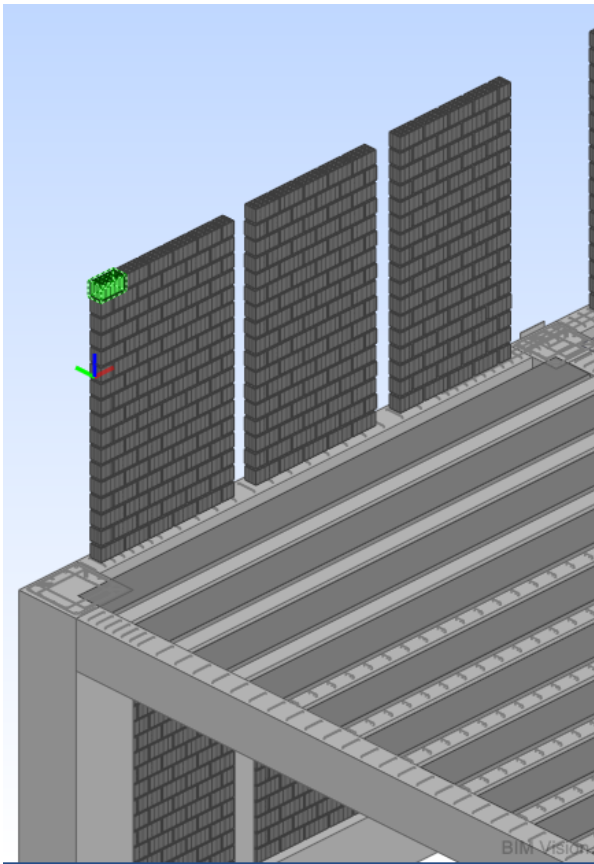
| Estructura IFC | | | |
|---|---|--------|--|
| Propiedades Localización Clasificación Relaciones | | | |
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | |
| Element Specific | | | |
| BarLength | 5.14 | m | |
| CrossSectionArea | 0.000507 | m2 | |
| Guid | 2GjPoW8Yb1HQ3c_zFc042D | | |
| IfcEntity | IfcReinforcingBar | | |
| Name | Barra de armadura:VARILLA #8 (C-1) ; Forma M_00:454920: 1 | | |
| NominalDiameter | 0.0254 | m | |
| ObjectType | Barra de armadura:VARILLA #8 (C-1):399656 | | |
| PredefinedType | NOTDEFINED | | |
| Tag | 454920 | | |
| Pset_ReinforcingBarBendingsISOC3766Common | | | |
| ISOC3766ShapeCode | M_00 | | |
| ISOC3766ShapeParameter_b | 5.136496 | m | |
| ISOC3766ShapeParameter_R | 0.0775 | m | |



| Estructura IFC | | | |
|---|---|--------|--|
| Propiedades Localización Clasificación Relaciones | | | |
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | |
| Element Specific | | | |
| Guid | 0oNl9Qhvj7xugLKqeKUTmk | | |
| IfcEntity | IfcBeam | | |
| Name | M_Hormigón-Viga rectangular:VIGA 15*20:596474 | | |
| ObjectType | VIGA 15*20 | | |
| Tag | 596474 | | |
| Profile | | | |
| ProfileName | VIGA 15*20 | | |
| XDim | 0.15 | m | |
| YDim | 0.15 | m | |
| Pset_BeamCommon | | | |
| IsExternal | No | | |
| LoadBearing | Sí | | |
| Reference | VIGA 15*20 | | |
| Slope | 0 | | |
| Span | 6.492 | m | |



| Estructura IFC | | | |
|---|--|--------|--|
| Propiedades Localización Clasificación Relaciones | | | |
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | |
| Element Specific | | | |
| Guid | 2l1KZuuYn3Nh22mDnH4gHN | | |
| IfcEntity | IfcBuildingElementProxy | | |
| Name | MAKROS M-25 (5.02m):MAKROS M-25 (5.02m):614174 | | |
| ObjectType | MAKROS M-25 (5.02m) | | |
| Tag | 614174 | | |
| Profile | | | |
| ProfileName | MAKROS M-25 (5.02m) | | |
| Pset_BuildingElementProxyCommon | | | |
| Reference | MAKROS M-25 (5.02m) | | |



| Estructura IFC | | | | |
|--|-------|--------------|---------------|------------|
| | | | | |
| Propiedades | | Localización | Clasificación | Relaciones |
| Tipo / Elemento | Valor | Unidad | | |
| <ul style="list-style-type: none"> [-] Element Specific <ul style="list-style-type: none"> Guid: 1XJmNXfF5DvgktV7fzlaNS IfcEntity: IfcBuildingElementProxy Name: BLOCK :BLOCK 12*24:651677 ObjectType: BLOCK 12*24 Tag: 651677 [-] Profile <ul style="list-style-type: none"> ProfileName: BLOCK 12*24 [-] Pset_BuildingElementProxyCommon <ul style="list-style-type: none"> Reference: BLOCK 12*24 | | | | |

ANEXO III.3

Solibri

