

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA TRADICIONAL (CAD) Y VDC
(BIM) EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES**

Realizado por:

España Laguna, Annabel del Valle

Triana Hernández, Eber Josué

Trabajo de grado presentado como Requisito Parcial para optar por título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, Julio de 2021

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA TRADICIONAL (CAD) Y VDC
(BIM) EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES**

Realizado por:

España Laguna, Annabel del Valle

Triana Hernández, Eber Josué

MSc. Jhonatan Martínez
Asesor Académico

Cantaura, Julio de 2021

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA TRADICIONAL (CAD) Y VDC
(BIM) EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES**

El jurado hace constar que asignó a este Trabajo de Grado la calificación de:

APROBADO

MSc. Jhonatan Martínez
Asesor Académico

Ing. Daniel Cabrera
Jurado

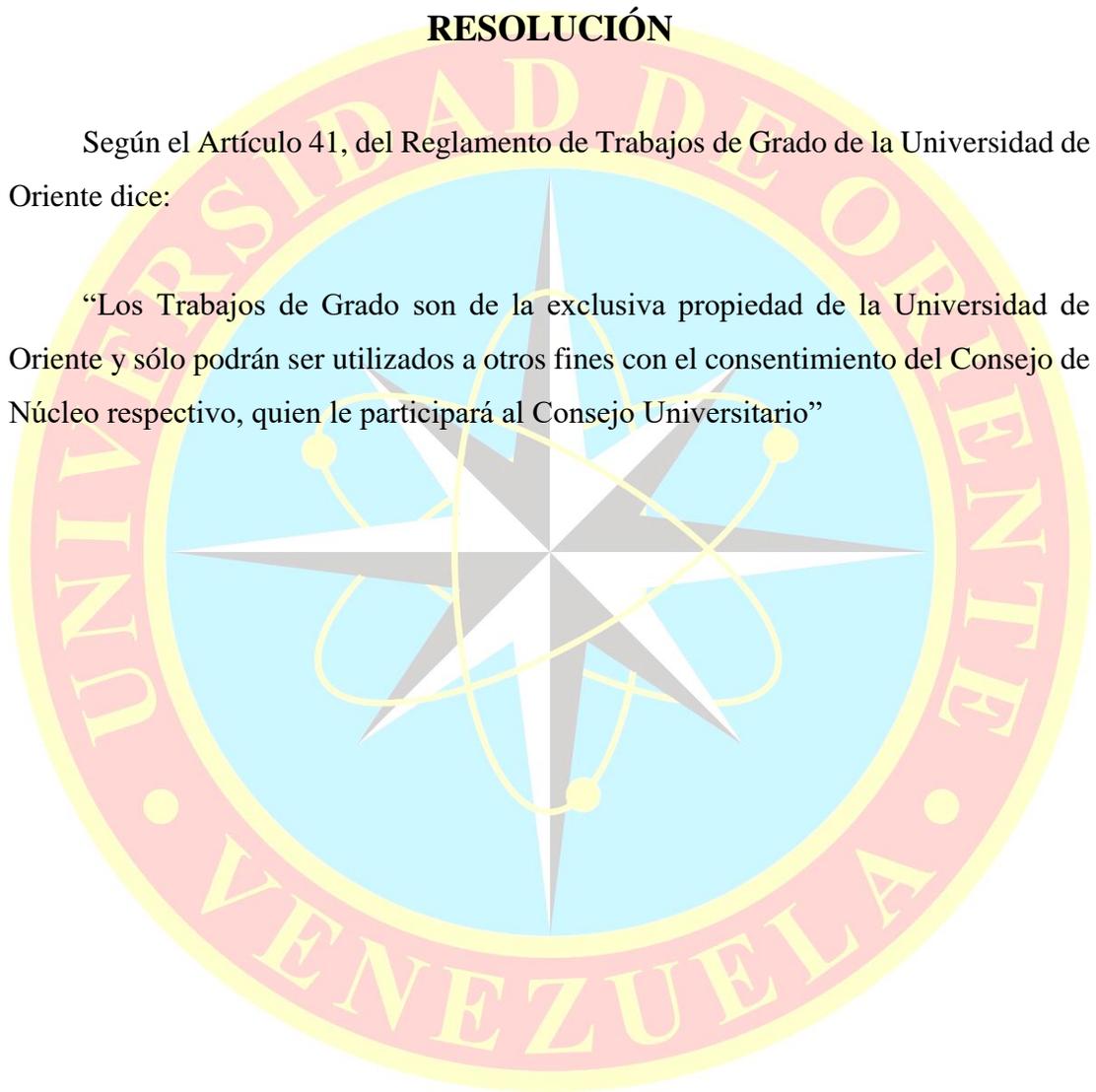
Ing. Margelis Becerra
Jurado

Cantaura, Julio de 2021

RESOLUCIÓN

Según el Artículo 41, del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente dice:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario”



DEDICATORIA

Primeramente a Dios, por el regalo de la vida, por la salud, por guiarme día a día.

A mis padres: José España y Ayari Laguna por su apoyo incondicional, porque gracias a su educación, principios y valores estoy donde estoy.

A mi hermana Anaís, por levantarme el ánimo cada vez que dudé en si podía.

A mi hijo Deann Antoine y a mi esposo Yoslein Presilla por ser la principal motivación para culminar este ciclo, por su amor y compañía.

Annabel España

DEDICATORIA

A Jehová de los Ejércitos, por ayudarme y guardarme de todo mal en todo momento; sin Él, la existencia de esta gran empresa habría sido imposible; por mostrarme las Ciencias y conocimientos que una vez pedí.

A mis padres, Leonardo Triana y Francis de Triana, por ser quienes estuvieron tras el telón en esta gran empresa.

A Anna, mi compañera de tesis, por su amistad, motivación y compañía sin iguales, que tanto calan en el alma.

Eber Triana

AGRADECIMIENTO

Primeramente a la casa de estudios que nos formó, la Universidad De Oriente, por permitir la formación y desarrollo de esta meta como futura profesional de la República.

A los profesores, por ser guías indispensables en la obtención de conocimientos.

A mi tutor académico Jonathan Martínez por su paciencia, dedicación y enseñanza. Por enseñarme a confiar en mi capacidad, por su exigencia en cada materia haciendo siempre dar más de lo que creía ser capaz.

A mi amigo y compañero de tesis: Eber Triana. Por su dedicación, solidaridad y paciencia, por ser mi compañero de guerra durante toda la carrera, y en especial en la culminación de esta etapa.

A quien me vio iniciar este reto pero que lamentablemente no está para celebrar el haberlo logrado, mi tío Julián Antonio.

A mis amigos, compañeros y grupo de estudio que en cada materia fueron apoyo incondicional, quienes entre risas y lágrimas fueron pieza clave para seguir y no desmayar en el camino: María Pérez, Manuel Rodríguez, Luisanny González, Beatriz Rodríguez, Christian Urbaneja, Michelle Almeida, Daniela Gómez y demás...

Annabel España

AGRADECIMIENTO

Considero que me van a faltar páginas para agradecer a todos quienes de una forma u otra contribuyeron a la culminación de este trabajo, no obstante, creo que son merecedores de un agradecimiento especial:

La Universidad de Oriente y a quienes laboran allí, por su diligencia, y por haberme permitido estudiar en sus instalaciones y ser profesional orgulloso de egresar de esta gran Alma Máter.

Mi asesor académico, el MSc Jhonatan Martínez, por enseñarme cuanto pudo de la carrera y lo necesario para poder realizar este proyecto, y por sus consejos, que aunque no los siga todos, dan una perspectiva única de la vida, apreciable cuanto menos en todo momento.

Mi Abuela Betty y a mi tía Ana, por su apoyo y motivación a seguir adelante.

La familia Uribe Missel, por su apoyo, amistad y confianza, que fueron esenciales de varias formas, para el desarrollo y culminación de este Trabajo de Grado.

Noraymar Castillo y su familia, por su apoyo, porque sin él, el proyecto habría carecido de forma y estructura de forma sustancial.

Maybel Salazar y Juan García, José Aponte, Nayla Velazco, Elena Fuentes y Domerlyng Bucán por su ayuda, amistad y compañía, que sinceramente aprecio.

Eber Triana

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I	19
EL PROBLEMA	19
1.1. Planteamiento del Problema	19
1.2. Objetivos de la Investigación	22
1.2.1. Objetivo General	22
1.2.2. Objetivos Específicos	22
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	23
2.1. Antecedentes	23
2.2. Bases Teóricas Referenciales	25
2.2.1. Metodología tradicional	25
2.2.2. CAD	26
2.2.2.1. Ejemplos de software CAD	26
2.2.2.2. Ventajas del uso de CAD	26
2.2.2.3. Desventajas del CAD	27
2.2.3. BIM	28
2.2.3.1. El plan de ejecución BIM	29

2.2.3.2.	Etapas de un Proyecto BIM	38
2.2.3.3.	Niveles de Desarrollo, o LOD (<i>Levels of Development</i>)	39
2.2.3.4.	Métodos de aplicación de software BIM en etapas iniciales	44
2.2.3.5.	Dimensiones BIM.....	45
2.2.3.6.	Software BIM	47
2.2.3.7.	Ventajas del uso del BIM	47
2.2.3.8.	Limitaciones del BIM	48
2.2.3.9.	VDC.....	49
2.2.3.10.	Lean Construction (LC).....	50
2.2.3.11.	IPD.....	51
2.2.4.	CAD vs BIM	53
2.2.5.	Variables asociadas al desarrollo de proyectos de edificaciones	56
CAPÍTULO III.....		58
MARCO METODOLÓGICO		58
3.1.	Tipo de Investigación	58
3.2.	Nivel de Investigación	58
3.3.	Técnicas a Utilizar	59
3.4.	Etapas del Proyecto.....	60
CAPÍTULO IV		62
ANÁLISIS Y RESULTADOS		62
4.1.	Desarrollo del proyecto	62
4.1.1.	Diseño en CAD (Torre Asada).....	66
4.1.1.1.	El diseño	66
4.1.2.	Diseño con BIM-VDC (Torre Shinon).....	73
4.1.2.1.	Generalidades	73
4.1.2.2.	El diseño	76
1.2.	Resultados	82
1.2.1.	Calidad de presentación	82
1.2.2.	Generación de datos (output)	95
1.2.3.	Detección de incongruencias.....	96

1.2.4.	Resultado final	110
1.2.5.	Facilidad de presentación.....	113
1.2.6.	Tiempo de desarrollo.....	118
6.3.	Análisis de los resultados	123
CAPÍTULO V		128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		128
5.1.	Conclusiones	128
5.2.	Recomendaciones.....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		131
HOJAS DE METADATOS		139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Objetivos del BIM.</i>	33
Tabla 2. <i>Ejemplo de objetivos BIM para un proyecto de un edificio de laboratorios.</i>	34
Tabla 3. <i>Tipos de software BIM más usados.</i>	47
Tabla 4. <i>Desperdicios en la producción según el LCI.</i>	51
Tabla 5. <i>Diferencias entre software CAD y software BIM.</i>	55
Tabla 6. <i>Variables asociadas al desarrollo de proyecto de edificaciones.</i>	56
Tabla 7. <i>Dimensiones del tanque a presión del hidroneumático.</i>	63
Tabla 8. <i>Superficie final de construcción del proyecto.</i>	65
Tabla 9. <i>Objetivos BIM para el proyecto de la Torre Shinon.</i>	74
Tabla 10. <i>Niveles LOD en elementos de arquitectura de la Torre Shinon</i>	81
Tabla 11. <i>Niveles LOD en elementos de instalaciones MEP de la Torre Shinon</i>	82
Tabla 12. <i>Niveles LOD en elementos estructurales de la Torre Shinon</i>	82
Tabla 13. <i>Comparación en el tiempo de desarrollo de CAD vs BIM.</i>	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento de planificación de ejecución del proyecto BIM.....	31
Figura 2. Usos a lo largo del ciclo de vida del edificio.....	34
Figura 3. Ejemplo de mapa general del plan del proceso de ejecución BIM.....	36
Figura 4. Porción de una plantilla de intercambio de información.....	37
Figura 5. Fases del BIM.....	38
Figura 6. Ejemplo de niveles de desarrollo (LOD) en estructura.....	41
Figura 7. Ejemplo de niveles de desarrollo (LOD) en arquitectura.....	41
Figura 8. Ejemplos de incoherencias entre disciplinas.....	48
Figura 9. Modelo tradicional de ejecución de proyectos vs modelo integrado.....	52
Figura 10. Flujo de información de proyectos sin IPD y proyectos basados en IPD..	52
Figura 11. Vista general de AutoCAD.....	53
Figura 12. Vista general de <i>Autodesk Revit 2017</i>	54
Figura 13. Curva MacLeamy.....	55
Figura 14. Propuesta inicial de arquitectura.....	64
Figura 15. Modelo en CAD en etapas iniciales.....	66
Figura 16. Vista 3D del modelo estructural preliminar.....	67
Figura 17. Cambios en planta alta en la fase intermedia.....	68
Figura 18. Planta baja en fase intermedia.....	69
Figura 19. Planta alta en fase intermedia.....	70
Figura 20. Vista de armado de nervios en P.A.....	71
Figura 21. Vista de red de A.N. y drenaje en P.A.....	72
Figura 22. Vista de red de A.N. y drenaje en P.B.....	73
Figura 23. Plan BIM para Torre Shinon.....	75
Figura 24. Importación de planos CAD a Revit.....	76
Figura 25. Fases del modelado inicial hasta LOD 200.....	77
Figura 26. Sección de escalera y módulo de tránsito en LOD 200.....	78

Figura 27. Vista transversal de tuberías de A.N. en planta alta.	79
Figura 28. Red de A.N. en planta típica (PA) de la Torre Shinon.	80
Figura 29. Detallados que llevan mucho tiempo o no quedan bien en AutoCAD y Revit.	83
Figura 30. Comparación de vistas transversales con AutoCAD y aquellas hechas con Revit.	83
Figura 31. Comparación de vistas longitudinales con AutoCAD y aquellas con Revit.	84
Figura 32. Comparación de plantas realizadas en AutoCAD y aquellas con Revit....	84
Figura 33. Catálogo PAVCO de conexiones sanitarias dibujadas como grupo en CAD.	85
Figura 34. Comparación entre redes de A.N. en P.B. con AutoCAD y aquellas con Revit.	86
Figura 35. Comparación de isometrías en AutoCAD vs Revit.	87
Figura 36. Vistas transversales y 3D del ducto de bajantes/montantes (Revit).	88
Figura 37. Detalles de columnas en CAD y BIM	89
Figura 38. Detalle de armado de acero en losa de P.A. en CAD y BIM.....	90
Figura 39. Detalle de sistema de fundaciones cabezal-pilote en CAD y BIM.....	91
Figura 40. Escalera de PT1 a PSM en CAD y BIM.....	92
Figura 41. Cambio de sección de columnas en PT1.	93
Figura 42. Solapes de aceros en vigas en CAD y en BIM	94
Figura 43. Porción de los cálculos de volumen de concreto en columnas.	95
Figura 44. Comparación de tablas de columnas en CAD vs aquellas en Revit.	96
Figura 45. Configuración de capas.....	97
Figura 46. Vista de capas de PB y PS (proyecto en etapa avanzada)	98
Figura 47. Análisis de viabilidad de alternativas de red.	99
Figura 48. Análisis de interferencias de aceros.....	100
Figura 49. Cambios en fachada principal.....	101

Figura 50. Solución a posibles interferencias en tuberías que cuelgan de la losa de PB.	102
Figura 51. Alzado de tuberías que cuelgan de la losa de PB.	103
Figura 52. Tuberías de A.N. y drenaje de P1 y P.B.	103
Figura 53. Sistema estanque-hidroneumático-bombas en Torre Asada.	104
Figura 54. Cambios en el sistema estanque-hidroneumático-bombas en Torre Shinon.	105
Figura 55. Vista 3D del sistema de hidroneumático en la Torre Shinon	106
Figura 56. Ejemplos de armado de acero en nodos y vigas	107
Figura 57. Interferencias del acero en segunda capa con ganchos de estribos.	108
Figura 58. Problemas de apoyo en la escalera de PT1	109
Figura 59. Vista 3D de escalera metálica en PT1 (Torre Shinon)	110
Figura 60. Vista de planos en el espacio de trabajo (<i>model</i>) de AutoCAD.	111
Figura 61. Vista de planos en el espacio de trabajo (<i>model</i>) de AutoCAD. (Continuación).....	112
Figura 62. Modelo final en Revit (vista con corte).	113
Figura 63. Ventanas en el Layout de AutoCAD	114
Figura 64. Elementos ocultos en detallado de escaleras.	115
Figura 65. Ventanas en un plano de vigas.	116
Figura 66. Modelado de acero en Revit.	118
Figura 67. Rentabilidad de utilizar software BIM VS software CAD.	124

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA TRADICIONAL (CAD) Y VDC
(BIM) EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES**

**Autores: España Annabel;
Triana Eber**

Asesor académico: Prof. Jhonatan Martínez

Año: 2021

RESUMEN

Las nuevas tecnologías están en continua aparición y las más antiguas en continua evolución, hay tantos *software* de diseño y cálculo, que a veces es fácil entrar en pérdidas de rendimiento porque no se utilizó el método o programa correctos; es por ello que el siguiente trabajo de investigación aborda la tarea de responder qué métodos son mejores en el desarrollo de los proyectos de edificación. Esta investigación está enmarcada en la modalidad descriptiva, con un diseño de campo; se utiliza la revisión documental y observación directa como las técnicas para la recolección de datos. Se hizo uso de Autodesk AutoCAD y Revit, Microsoft Excel, entre otros. El desarrollo del proyecto de investigación contempla el diseño de la Torre Asada y la Torre Shinon como casos de estudio. Este trabajo servirá para que futuros profesionales mejoren sus métodos de diseño, además de introducir los conceptos del BIM-VDC en la enseñanza dentro del repertorio de la Universidad de Oriente.

Palabras clave: CAD, BIM, VDC, diseño, estructuras, arquitectura.

INTRODUCCIÓN

Método, definido como el modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado. ¿Cómo debe hacerse el pan? ¿Cómo se construyen los barcos? Muchas cosas tienen un método que rige todo el proceso de elaboración, y el diseño y ejecución de un proyecto de construcción no es la excepción, ahora bien ¿Cuál debe seguirse? ¿Qué herramientas se deben utilizar? ¿Con cuál se obtienen mayores beneficios y menores pérdidas? A lo largo de la historia se han intentado resolver estas interrogantes, se han utilizado desde maquetas, el dibujo a lápiz y más recientemente, el dibujo y modelado digital; se han ido mejorando sustancialmente las herramientas, pero muchas veces los métodos siguen siendo rudimentarios, incluso hasta el punto en que hay pequeñas y medianas empresas de arquitectura e ingeniería que aplican algo que ni siquiera puede llamarse método.

Desde 1966 que se utilizan las computadoras para el dibujo de proyectos, al principio fue muy costosa su implementación (y comprar las computadoras y *software* necesarios), pero ahora es casi omnipresente en el diseño de casi cualquier pieza de fabricación llegando incluso al sector de la construcción; desde hace mucho que se utiliza CAD, se ha mejorado, actualizado y evolucionado, pero ¿y si hubiesen herramientas y/o un método mejor de diseñar las edificaciones? En CAD se dibuja en 2D y se hacen extrusiones 3D, no obstante ¿tiene sentido que en un mundo en donde hasta la nevera es inteligente y reconoce qué hay en ella y qué se consume, los proyectos de edificaciones se desarrollen en un entorno no inteligente, de líneas y figuras, y que a veces propicia el desorden? De hecho, este método existe, y se ha ido estudiando y ampliando desde hace ya algún tiempo.

Building Information Modeling, o simplemente BIM, la moda en cuanto a de edificaciones, se promociona a diestra y a siniestra, sin embargo, ¿es sólo publicidad o

realmente hace todo lo que dicen que hace? y más importante ¿realmente aporta más valor a mi proyecto, lo hace más rentable? Con programas BIM se pueden diseñar estructuras de todo tipo, se pueden construir y presentar edificios en 3D, modelos digitales inteligentes, pero ¿se puede aplicar BIM como se aplicaba CAD, lleva instrucciones de uso, cuánto mejor es en comparación con el dibujo tradicional digital? Estas, y otras interrogantes son abordadas en el siguiente trabajo de investigación, en el cual se diseña una edificación con los métodos tradicionales, y con los métodos más actuales; el mismo está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I: se presenta el problema de la investigación y los objetivos (general y específicos) a cumplir en el desarrollo del proyecto.

Capítulo II: se hace referencia a los antecedentes que sirvieron de base a la investigación y la teoría sobre el cual se sustenta la misma.

Capítulo III: se señala la metodología utilizada para realizar la investigación (nivel, diseño, técnicas e instrumentos).

Capítulo IV: se presenta el proceso de desarrollo del proyecto de investigación, los resultados y el análisis de los mismos.

Capítulo V: contiene las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

Para finalizar se presentan las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Todo proyecto de construcción civil consta de varias etapas: el modelado arquitectónico, el diseño y análisis estructural, y la creación de planos; no obstante, en la metodología de trabajo tradicional, el proceso es linealmente dependiente, y ya que en el diseño de una edificación intervienen profesionales de múltiples áreas, se termina formando un círculo en el proceso de diseño, ya que se realizan cambios que afectan la arquitectura, que debe ser luego modificada, repitiéndose hasta la coherencia y gusto del cliente; es por ello, que son comunes la incoherencia, fragmentación y pérdida de información, que se incrementan con cada edición, problemas que ocasionan despilfarro de recursos valiosos y una calidad dudosa en el resultado final.

Para mitigar el problema, se desarrolla en 1966, UNISURF, el primer *software* de Dibujo Asistido por Computadoras o CAD (*Computer-Aided Design*, por sus siglas en inglés), herramienta de diseño digital, que gestiona coordenadas, geometrías y sus propiedades. Los *software* CAD son la principal herramienta de la metodología de trabajo tradicional; y no obstante, a pesar de los avances, continúan existiendo los problemas del diseño lineal y no integrado, es por ello, que se ideó una herramienta que utilizara parámetros y que permitiera el trabajo en paralelo, siendo en 1984, cuando la compañía húngara Graphisoft, desarrolló el primer *software* con elementos de tipo BIM.

El Modelado de Información de Edificaciones, o BIM (*Building Information Modeling*, por sus siglas en inglés), es un conjunto de herramientas de modelado y diseño tridimensional, que fusionan disciplinas de la construcción, en un solo modelo

importable y exportable, que se actualiza a sí mismo, y que gestiona elementos paramétricos, aportando datos en tiempo real, teniendo así ventajas sobre el CAD; sin embargo, a pesar de ser una novedosa herramienta, el problema principal es el diseño lineal, no la herramienta en sí, es decir, a pesar de utilizar BIM, se puede estar ante un trabajo lineal, y por lo tanto, el trabajo seguirá siendo ineficiente, sin importar qué novedoso *software* sea utilizado; es por ello, que las empresas de diseño y construcción, están migrando de un entorno CAD a uno BIM, y más recientemente, del BIM al VDC.

El Diseño y Construcción Virtual, o VDC (*Virtual Design and Construction*, por sus siglas en inglés), es una nueva metodología que gestiona modelos realizados con BIM, utiliza conceptos de la Construcción sin Pérdidas (también conocida como *Lean Construction*), a fin de mejorar el conjunto producto-organización-proceso; en el VDC se elige una ruta no-lineal a seguir desde el inicio, minimizando los desperdicios y mejorando la productividad, materializando así, el proyecto tal cual se plantea y en el menor tiempo posible, mejorando la satisfacción del cliente y los beneficios económicos obtenidos.

No obstante, a pesar del amplio uso internacional del VDC y el BIM, en Venezuela es de muy poca aplicación, se prefieren métodos tradicionales por sobre otros más eficientes. Es por ello, que en el siguiente proyecto de investigación se evaluarán los pros y contras del uso de cada una de ellos, utilizando normativa vigente, como la del Fondo para la Normalización y Certificación de Calidad (FONDONORMA 1753-06), las reglas de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), la Gaceta Oficial 4044, y las reglas del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-14), haciendo uso (principalmente), del *software* comercial Autodesk AutoCAD 2017, y Autodesk Revit 2017, para el modelado del proyecto; siendo los programas a elegir debido a que son los más utilizados en el diseño y la construcción civil.

Es bien sabido que un proyecto de construcción, cuenta con varias etapas. En el presente trabajo sólo se evaluarán la calidad y rendimientos del proceso de diseño en las etapas de arquitectura, ingeniería conceptual, estructural y de detalle. La fase constructiva no será estimada, ya que para ello existen variables que no pueden ser controladas durante el diseño del proyecto; estas dependen en gran medida de otros factores, como lo son la ubicación, la economía, los métodos constructivos, la tecnología a utilizar en el sitio, y la capacitación del personal, entre otros; razones por la cuales no formará parte del alcance de la presente investigación.

Es necesario aclarar, que este documento no es el primero en tratar acerca del diseño de edificaciones utilizando herramientas CAD y BIM, tal es el caso de Pacheco R. (2017), quien en su tesis de pregrado de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador, compara las herramientas CAD y BIM aplicadas al diseño arquitectónico de una vivienda unifamiliar de dos plantas, en cuanto a los tiempos de diseño y las capacidades de cada una a la hora de elaborar el presupuesto. Por otra parte, se puede afirmar que hasta la fecha, este es el primer trabajo de investigación con estas características, desarrollado en la Universidad de Oriente, así como en Venezuela.

Con respecto a lo expuesto previamente, es posible afirmar la importancia del desarrollo del presente proyecto de investigación, el mismo servirá como fundamento para la toma de decisiones de profesionales del sector de la construcción civil, a la hora de elegir qué herramientas y metodología utilizar en el desarrollo de nuevos proyectos de edificaciones; también se podrá observar la conveniencia del uso de *software* BIM y la aplicabilidad de los conceptos del VDC en la enseñanza del desarrollo de proyectos de edificaciones dentro de la Universidad de Oriente, introduciendo esta nueva filosofía de trabajo a su repertorio; ya que comprende un avance en el desarrollo de nuevas tecnologías en futuras investigaciones científicas.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la metodología tradicional (CAD) y VDC (BIM) en el desarrollo de proyectos de edificaciones.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las variables técnico-económicas asociadas al desarrollo de proyectos de ingeniería de edificaciones y su interacción en el modelado.
- Realizar un modelo inicial, que incluya las variables técnico-económicas asociadas al desarrollo de proyectos de edificaciones.
- Desarrollar el modelo inicial de manera tradicional y luego aplicando la metodología VDC, aplicando para el modelado, *software* CAD y BIM respectivamente.
- Comparar la calidad y el rendimiento de los proyectos mediante la metodología tradicional (CAD) y los realizados con VDC (BIM).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

Garnica (2017), en su trabajo de investigación, explora la extensión del uso del BIM en Venezuela y las ventajas que ofrecen estas herramientas, caso de estudio: vivienda unifamiliar, modelada con el *software* Autodesk Revit. El principal objeto de la investigación fue integrar el BIM a la metodología propuesta, Gestión de Construcción Eficiente (GCE, equivalente al VDC) en el proyecto de una vivienda unifamiliar. Para la recolección de datos se utilizaron encuestas, además de observación directa de los resultados del modelado y las capacidades que el BIM ofrece. Se pudo determinar que el principal producto del BIM, es la eficiencia a un margen de error humano mínimo.

Por otra parte, la premisa del trabajo del autor, es que el problema principal de las herramientas CAD, es que se trabaja con representaciones en dos dimensiones de objetos tridimensionales, consumiendo gran cantidad de tiempo en solucionar errores que el mismo modelado genera, debido a que se coordinan los resultados (planos) y no los procesos (desarrollo); siendo los procesos los que deben ser optimizados, evitando desperdicios propios de un trabajo no coordinado. Siguiendo esa premisa se encuentra el siguiente trabajo de investigación, el cual utilizará el trabajo de Garnica como base y referencia a la hora de ampliar y darle continuidad a los conceptos allí expuestos.

Asimismo, Pacheco (2017), compara las herramientas CAD y BIM aplicadas al diseño arquitectónico de una vivienda unifamiliar de dos plantas, en los tiempos de diseño, la aplicabilidad a la hora de planificar, computar, presupuestar y ejecutar el proyecto. En la investigación fue utilizada la observación directa para la recolección

de los datos y elaboración de las conclusiones, tanto en la documentación, como en la planificación y ejecución del proyecto, dejando ver claramente una diferencia entre la elaboración y gestión de proyectos tanto con CAD como con BIM, siendo este último, el que mejores resultados mostró. El trabajo del autor, provee de las bases necesarias para la elaboración del siguiente trabajo de investigación, mismas que serán evaluadas tomando en cuenta la ingeniería, y conceptos del *LEAN Construction* y del trabajo coordinado.

Por su parte, Monfort (2015), en su trabajo de pregrado de la Universidad Politécnica de Valencia, España, investiga el impacto del BIM en la gestión de proyectos obras de arquitectura, específicamente si es realmente la tecnología BIM más eficaz que la tradicional para gestionar la información de un proyecto de arquitectura, y si supondrá el BIM una revolución en el sector como lo supuso la tecnología CAD. Para ello se realizó el modelado BIM de una edificación a ser construida, y cuya documentación ya se tenía a partir de herramientas CAD; se estudiaron los problemas surgidos en la fase de construcción y qué soluciones surgidas de las capacidades del BIM se podrían haber implementado, para lo cual fue utilizada la observación directa tanto de la documentación en CAD, como la obtenida con BIM.

En el trabajo del autor, se pudo observar una diferencia a tomar en cuenta entre proyectos desarrollados con CAD y los realizados con BIM, específicamente en la prevención de problemas (relacionados mayormente a las interferencias entre elementos y la actualización de la documentación del proyecto) y, en caso de que llegasen a existir, en la resolución de los mismos. El presente trabajo de investigación, utilizará los conceptos expuestos previamente por Monfort en su investigación, a fin de darles continuidad, ampliarlos e incluir los conceptos de las metodologías de trabajo CAD y VDC.

2.2. Bases Teóricas Referenciales

2.2.1. Metodología tradicional

La metodología tradicional es una forma de trabajo lineal, en donde cada etapa depende fuertemente de la anterior, responde al patrón: dibujo-cálculo-documentación-licitación-construcción. Pacheco (2017) identifica varias etapas de un diseño con la metodología tradicional, las cuales son las siguientes:

- a) Modelado geométrico: Se genera un diseño inicial con líneas, superficies, etc., es decir, entidades 2D o 3D con sus dimensiones pertinentes.
- b) Optimización y análisis del modelo: Después de haber definido las propiedades geométricas, se realiza un análisis ingenieril (donde se analiza las propiedades mecánicas-físicas del modelo, tales como esfuerzos, deformaciones, deflexiones, vibraciones), y de instalaciones mecánicas, eléctricas y de aguas (MEP, por sus siglas en inglés).
- c) Evaluación y revisiones del diseño: En esta etapa fundamental se comprueba si hay alguna interrupción entre los diversos componentes del diseño, en útil para evitar problemas en el momento del proceso constructivo, aunque no es muy preciso.
- d) Dibujo: Por último, en esta etapa se realizan planos de detalles. Esto se puede elaborar en dibujos diferentes vistas de la estructura, manejando escalas en los planos y efectuando diferentes vistas de perspectiva de la estructura.
- e) Documentación: Una vez validado el diseño se pasa a documentarlo. La documentación debe contener la información suficiente como para poder abordar la construcción del sistema sin necesidad de buscar otro tipo de información. La documentación puede estar formada por información muy diversa, como la descripción del sistema y de sus componentes, esquemas de instalación, de montaje, de uso, listas de componentes, etc.

2.2.2. CAD

La compañía húngara GRAPHISOFT (1986), con su *software* ArchiCAD fue pionera en el desarrollo de sistemas de diseño asistido por computadora, o CAD (*Computer-Aided Design*, por sus siglas en inglés), las cuales pueden usarse para generar modelos con muchas características de un determinado producto, con ellos se pueden construir modelos compuestos de líneas, superficies, cuerpos, dimensiones y texto, que dan a origen a una representación en dos o tres dimensiones del objeto. Los *software* de tipo CAD son la principal herramienta de la metodología tradicional.

2.2.2.1. Ejemplos de software CAD

Entre los programas más comúnmente utilizados se encuentran:

- CATIA
- AutoCAD
- AutoCAD Civil 3D
- ArchiCAD
- QCAD
- GstarCAD
- Abis CAD
- ARRIS CAD
- Builders CAD
- AutoSketch

2.2.2.2. Ventajas del uso de CAD

- Dibujar es una manera fácil, sencilla y bastante rápida.
- Se simplifica la definición entre plano original y copia, como sucedía con los planos hechos a mano en papel.

- El almacenamiento de los planos es más reducido, confiable y permite realizar búsquedas más rápidas y precisas mediante las bases de datos.
- Aumenta la uniformidad en los planos.
- La calidad de los planos es mayor, mejor presentación, por lo que no hay tachones, ni líneas más gruesas que otras ni borrados inadecuados.
- El tiempo invertido en las modificaciones se reduce en gran porcentaje con respecto al dibujo a lápiz y papel, las modificaciones son puntuales, no hay que rehacer los planos por completo.
- Se utilizan librerías de elementos comunes.
- Reducción del tiempo empleado en operaciones repetitivas, aunque estas acciones también toman su tiempo y algunas veces hay errores del software (cada vez más raros).
- Los modelos pueden exportarse a otros programas (por ejemplo, se pueden exportar vistas a ETABS o Revit para modelar a partir de vistas CAD), para obtener cálculos, realizar presentaciones e informes; también se puede importar información o datos.
- También se puede obtener un modelo en 3D (a partir de modelos 2D) para poder visualizarlo desde cualquier perspectiva y realizar renderizados (imágenes foto-realistas).
- Facilitan el trabajo en equipo, trabajando con referencias externas y con *Data Shortcuts*.

2.2.2.3. Desventajas del CAD

- No se construyen modelos, se dibujan planos que contienen detallados de columnas, piezas, losas, fundaciones, etc. Y debido a que son principalmente líneas o superficies no contienen información útil para el proyecto más que la que poseen por ser elementos geométricos.

- Al dibujar planos independientes unos de otros, se vuelve difícil la gestión de todos ellos, el problema aumenta mientras más grande es el proyecto y más miembros hay en el equipo de trabajo.
- La corrección de cualquier detalle se hace tortuosa y para nada fiable, si a esto se suma el tamaño del equipo de trabajo, entregar un trabajo sin errores se hace imposible.

2.2.3. BIM

La compañía Autodesk (2002), acuñó en su libro *Building Information Modeling*, el término *Building Information Modeling* o BIM, definiéndolo como el proceso de generación y gestión de la información de un edificio a lo largo de su ciclo de vida, desde la fase conceptual, pasando por el diseño, la generación de planos e incluso el mantenimiento. Para esto se requiere de un modelo paramétrico y de *software* que pueda manejar un modelado dinámico tridimensional, las propiedades y parámetros de los elementos constructivos y sus cantidades, entre muchas otras características, y todo esto, con el fin último de controlar todo el proceso de construcción.

Cuando se piensa en BIM se piensa en vistas 3D, pero es mucho más que eso, BIM es colaborativo, es una metodología de trabajo para construir edificios digitalmente, es decir, para construir una base de datos y no para hacer modelos 3D, por lo que se hace muy necesario el conocer cómo se construyen los edificios (mucho más que en CAD); es por este detalle que se pueden hacer modelos 3D con programas de tipo BIM sin ser modelos BIM; en un modelo BIM los datos deben estar estructurados y tener un propósito, de otra forma tan solo es un modelo 3D con datos des-estructurados.

Si bien trabajar con CAD es casi sinónimo de metodología tradicional en realidad no lo es. Se puede trabajar con CAD y ser muy eficiente, como también con

herramientas BIM y seguir estar en un flujo de trabajo tradicional, pero cuando se implementa correctamente BIM puede proporcionar muchos beneficios al proyecto, de lo contrario, se vuelve una carga, pues habría que detallar más. Han habido ejemplos de proyectos donde el equipo no planificó de manera efectiva la implementación de BIM (o incluso si era necesario) e incurrió en costos innecesarios, retrasos en la programación debido a la falta de información, etc., y todo esto por poco o ningún valor agregado. La implementación de BIM requiere una planificación detallada y modificaciones fundamentales del proceso de diseño para que los miembros del equipo del proyecto logren con éxito el valor de la información disponible del modelo.

De forma general (y dependiendo de la estructura) BIM no es más eficiente que CAD a la hora de diseñar, y en gran parte de los modelos no lo es pues está mal implementado. Los costos de implementación relacionados con el valor agregado, las áreas apropiadas y los niveles de detalle (LOD) siempre deben considerarse en los procesos de modelado de información. Los equipos no deben centrarse en utilizar o no BIM en general, sino que deben definir las áreas de implementación y los usos específicos o si es necesario implementar BIM en lo absoluto. Un equipo debe apuntar a implementar BIM al nivel necesario para maximizar el valor mientras se minimiza el costo y el impacto de la implementación del modelado. Esto requiere que el equipo identifique de manera selectiva las áreas apropiadas para la implementación de BIM y planifique estas áreas de implementación en detalle.

2.2.3.1. El plan de ejecución BIM

¿Para qué quiero utilizar BIM en el proyecto? ¿Realmente necesito BIM o solo lo utilizo por moda? Si no se responde correctamente esta pregunta de seguro se incurrirá en el pecado capital del modelado innecesario. Para integrar eficazmente BIM a un proyecto, es importante que el equipo desarrolle un plan de ejecución detallado para su implementación. Un plan de ejecución del proyecto BIM (el Plan BIM, BEP o BPEP, por sus siglas en inglés), este describe la visión general junto con los detalles de

implementación que el equipo debe seguir durante todo el proyecto. El Plan BIM debe desarrollarse en las primeras etapas de un proyecto (véase la Figura 1); no es inmutable, es monitoreado, actualizado y revisado según sea necesario durante la fase de implementación del proyecto.

Al desarrollar un plan BIM, el proyecto y los miembros del equipo del proyecto pueden lograr el siguiente valor agregado:

- Todas las partes comprenderán y comunicarán claramente los objetivos estratégicos para implementar BIM en el proyecto.
- Las organizaciones comprenderán sus roles y responsabilidades en la implementación.
- El equipo podrá diseñar un proceso de ejecución que sea adecuado para las prácticas comerciales de cada miembro del equipo y los flujos de trabajo organizacionales típicos.
- El plan hará saber qué recursos adicionales, capacitación u otras competencias serán necesarias para implementar con éxito BIM para los usos previstos.
- El plan proporcionará un punto de referencia para describir el proceso a los futuros participantes que se unan al proyecto.
- Las divisiones de compras podrán definir el lenguaje del contrato para garantizar que todos los participantes del proyecto cumplan con sus obligaciones.
- El plan de referencia proporcionará una meta para medir el progreso a lo largo del proyecto.



Figura 1. Procedimiento de planificación de ejecución del proyecto BIM.
Fuente: (Adaptado del inglés) The Project Execution Planning Guide. (2010).

Una vez completo, el plan de ejecución del proyecto BIM (Plan BIM) debe contener lo siguiente:

- **Información general del plan de ejecución del proyecto BIM:** Documente el motivo para crear el plan de ejecución del proyecto así como datos varios.
- **Información del proyecto:** El plan debe incluir información crítica del proyecto, como números de proyecto, ubicación, descripción y fechas críticas del cronograma para referencia futura.
- **Contactos clave del proyecto:** como parte de la información de referencia, un plan BIM debe incluir información de contacto del personal clave del proyecto.
- **Metas del proyecto / Objetivos BIM:** Esta sección (la más importante) debe documentar el valor estratégico y los usos específicos de BIM en el proyecto, según lo definido por el equipo del proyecto en el paso inicial del procedimiento de planificación.
- **Roles organizacionales y dotación de personal:** Una de las tareas principales es definir el (los) coordinador (es) del proceso de planificación y ejecución BIM

a lo largo de las distintas etapas del proyecto. Esto es particularmente importante al identificar la (s) organización (es) que iniciarán el desarrollo del Plan BIM, así como el personal necesario para implementar con éxito el mismo.

- **Diseño de procesos BIM:** Esta sección debe ilustrar claramente el proceso de ejecución mediante el uso de mapas de procesos que se desarrollan en el segundo paso del procedimiento de planificación.
- **Intercambios de información BIM:** Los elementos del modelo y el nivel de detalle (LOD) requerido para implementar cada uso de BIM deben estar claramente definidos en los requisitos de intercambio de información.
- **Requisitos BIM y de instalación:** los requisitos del propietario para BIM deben documentarse y comprenderse.
- **Procedimientos de colaboración:** El equipo debe desarrollar sus procedimientos de actividad electrónica y de colaboración. Esto incluye la definición de procedimientos de gestión de modelos (p. Ej., Estructuras de archivos y permisos de archivos), así como horarios y agendas de reuniones típicas.
- **Modelo de procedimientos de control de calidad:** Se debe desarrollar y monitorear un procedimiento para asegurar que los participantes del proyecto cumplan con los requisitos definidos durante todo el proyecto.
- **Necesidades de infraestructura tecnológica:** Se debe definir el hardware, el software y la infraestructura de red necesarios para ejecutar el plan.
- **Estructura del modelo:** el equipo debe discutir y documentar elementos como la estructura del modelo, la estructura de nombres de archivos, el sistema de coordenadas y los estándares de modelado.
- **Entregables del proyecto:** El equipo debe documentar los entregables requeridos por el propietario.
- **Estrategia de entrega / Contratos:** Esta sección debe definir la estrategia de entrega que se utilizará en el proyecto. La estrategia de entrega, por ejemplo, diseño-construcción versus diseño-licitación-construcción, afectará la

implementación y también afectará el lenguaje que debe incorporarse en los contratos para asegurar la implementación exitosa de BIM.

Identificación de los Objetivos y Usos BIM

Uno de los pasos más importantes en el proceso de planificación es definir claramente el valor potencial de BIM en el proyecto (y de si se debe implementar o no, y de ser así, en qué áreas y en cuáles no), así como para los miembros del equipo mediante la definición de los objetivos generales de la implementación BIM (véanse las tablas 1 y 2). Los usos de la metodología BIM pueden ser apreciados en la Figura 2; cabe destacar que es posible encontrar en la web otros usos, no obstante, la gran mayoría son los mismos con nombres similares.

Tabla 1. *Objetivos del BIM.*

1. Recopilar	
Capturar	Representar el estado actual de la edificación.
Medir	Cuantificar los elementos en la edificación.
Monitoriar	Recoger información del rendimiento de los elementos de la edificación.
Calificar	Caracterizar o identificar el estado de los elementos de una edificación.
2. Generar	
Prescribir	Determinar las necesidades de los elementos de la edificación.
Organizar	Determinar la ubicación de los elementos de la edificación.
Dimensionar	Determinar la magnitud y escala de los elementos de la edificación.
3. Analizar	
Coordinar	Garantizar la eficiencia y armonía de los elementos de la edificación.
Pronosticar	Predecir el comportamiento de los elementos de la edificación.
Validar	Verificar la exactitud de la información de los elementos en la edificación.
4. Comunicar	
Representar	Generar una representación realista de los elementos de la edificación.
Interoperar	Transformar la información para ser comprendida por otras herramientas de entorno BIM.
Dibujar	Hacer una representación simbólica de los elementos de la edificación.
Documentar	Generar un registro de los elementos de la edificación.
5. Materializar	
Fabricar	Utilizar la información para fabricar elementos de la edificación.
Controlar	Utilizar la información para relacionar los elementos de la edificación.
Montar	Utilizar la información de los elementos de la edificación para manipular físicamente las operaciones de los equipos.
Regular	Utilizar la información de la instalación para informar sobre la operación de un elemento del equipamiento.

Fuente: Recuperado de EspacioBIM. (2017)

Tabla 2. Ejemplo de objetivos BIM para un proyecto de un edificio de laboratorios.

Prioridad (1 a 3) (1 más importante)	Descripción del objetivo	Usos potenciales del BIM
2	Incrementar la productividad	Revisiones del modelo. Coordinación 3D
3	Incrementar efectividad del proceso de diseño	Autorizaciones en el diseño. Revisiones del modelo Coordinación 3D
1	Registro en el proceso de modelado	Registro de trabajo. Coordinación 3D
2	Evaluar progreso durante la construcción	Modelado 4D
3	Identificar preocupaciones relativas a la puesta en obra	Modelado 4D
1	Revisar el progreso del diseño	Revisiones del modelo.
1	Reducir costos de cambios en el diseño	Estimación de costos
2	Eliminar interferencias entre disciplinas	Coordinación 3D

Fuente: Adaptado del inglés. Recuperado de *The Project Execution Planning Guide*. (2010).

Planificación	Diseño	Construcción	Operación
Modelos de Condiciones Existentes			
Estimación de Costos			
Planificación de Fases de Construcción			
Programación			
Análisis del Sitio			
	Chequeo del Diseño		
	Modelos de Diseño		
	Análisis Estructural		
	Análisis Luminotécnico		
	Análisis Energético		
	Análisis Térmico		
	Mecánico		
	Otros Análisis		
	Evaluación LEED		
	Validación de Códigos		
	Coordinación 3D		
		Control y Planificación 3D	
		Análisis del Proceso Constructivo	
		Fabricación Digital	
		Planificación Uso del Sitio	
		Registro de Modelos (modelos Conforme a Obra)	
			Programación Mantenimiento
			Análisis de los Sistemas
			Gestión de Inventario
			Planificación Contra Sinistros

Figura 2. Usos a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Fuente: Adaptado del inglés. Recuperado de *The Project Execution Planning Guide*. (2010).

Diseño del Proceso de ejecución BIM

Una vez que el equipo ha identificado los usos del BIM en el desarrollo del proyecto, se debe realizar un procedimiento de mapeo de procesos para planificar la implementación de BIM. Inicialmente, se desarrolla un mapa de alto nivel que muestra la secuencia y la interacción entre los usos BIM primarios en el proyecto (ver Figura 3). Esto permite que todos los miembros del equipo comprendan claramente cómo interactúan sus procesos de trabajo con los procesos realizados por otros miembros del equipo.

Desarrollo de los intercambios de información

Una vez que se han desarrollado los mapas de procesos apropiados, los intercambios de información que ocurren entre los participantes del proyecto deben identificarse también (y de forma entendible por cada uno de los miembros del equipo). Este contenido de información para el intercambio puede definirse en la tabla de intercambio de información (una parte se muestra como ejemplo en la Figura 4).

Definir la infraestructura de apoyo para la implementación de BIM

Una vez que se han identificado los usos de BIM para el proyecto, se personalizan los mapas del proceso del proyecto y se definen los entregables de BIM, el equipo debe desarrollar la infraestructura necesaria en el proyecto para respaldar el proceso BIM planificado. Esto incluirá la definición de la estructura de entrega y el lenguaje del contrato; definir los procedimientos de comunicación; definir la infraestructura tecnológica; e identificar procedimientos de control de calidad para asegurar modelos de información de alta calidad.

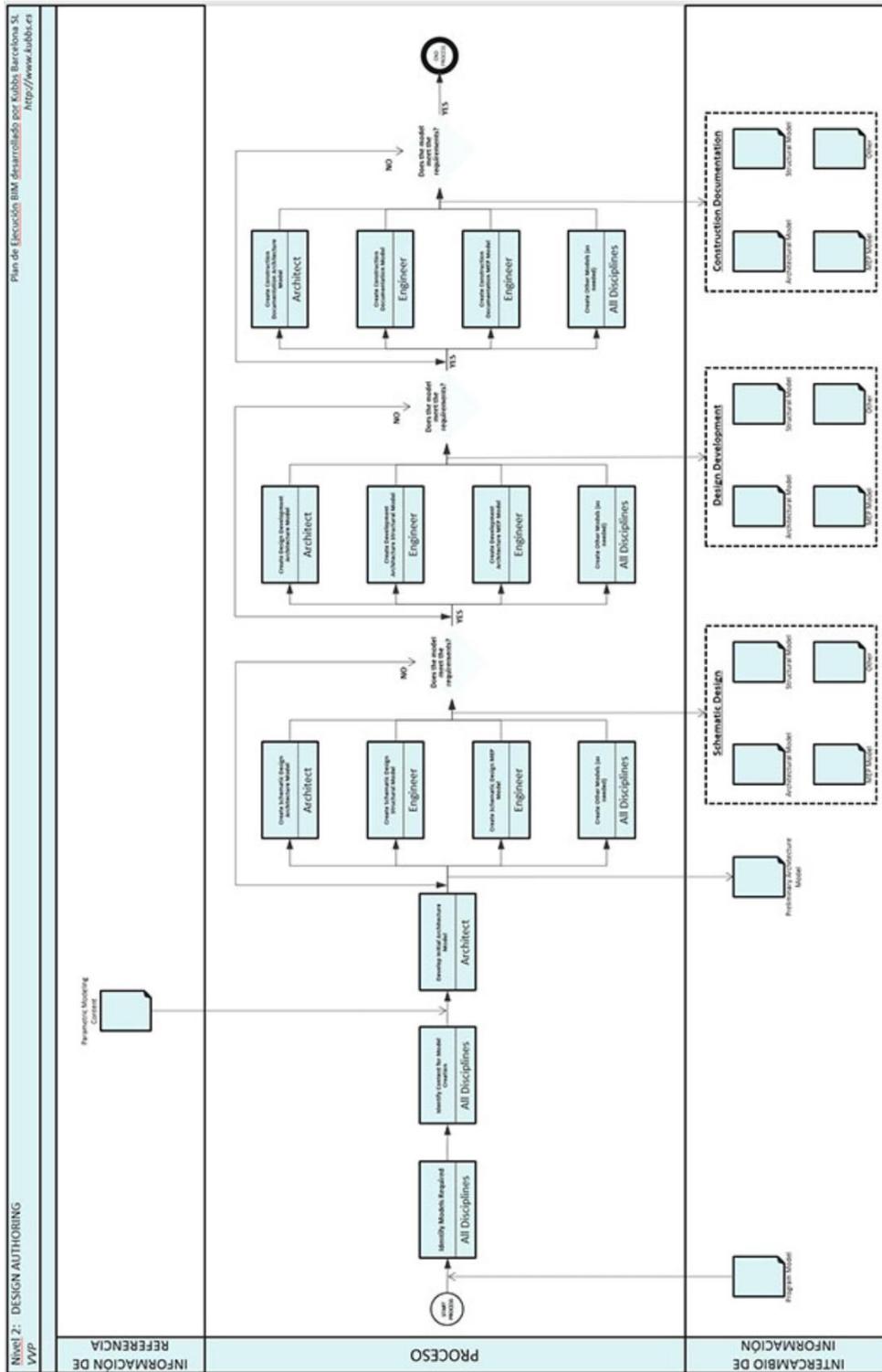


Figura 3. Ejemplo de mapa general del plan del proceso de ejecución BIM
Fuente: CASO DE ÉXITO BIM: Edificio de viviendas en Mataró. (s.f).

2.2.3.2. Etapas de un Proyecto BIM

Succar (2016), propone varias etapas que involucran el flujo de trabajo de un proyecto BIM y definen su nivel de madurez. Las etapas se pueden dividir en Pre-BIM, tres etapas intermedias y la etapa de Entrega del Proyecto Integrado; en ellas, las prácticas de colaboración entre los involucrados no son prioritarias y el flujo de trabajo es lineal y asincrónico, tal y como se muestra en la Figura 5:

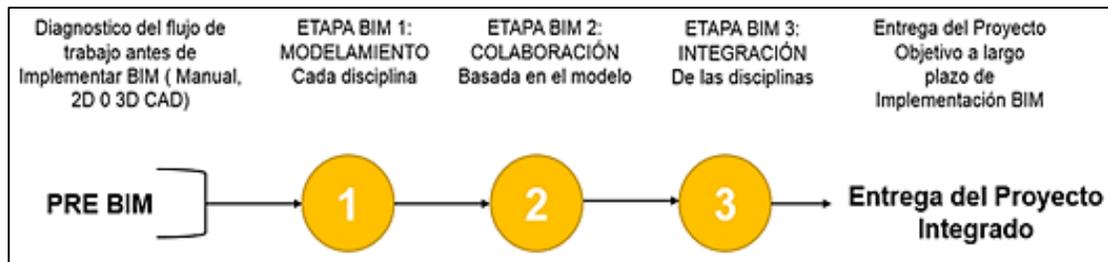


Figura 5. Fases del BIM.

Fuente: Espacio LEAN BIM – “Los Pasos BIM”. (2016).

Pre BIM

El trabajo se basa en documentación, las primeras visualizaciones son en dos dimensiones y los datos derivados de ellas incoherentes. Las cantidades, estimaciones de costos y especificaciones no son derivadas del modelo ni están vinculadas a la documentación; su principal característica, la falta total de interoperabilidad.

Modelado o Etapa BIM 1

En esta etapa, los involucrados de cada disciplina, arquitectura e ingenierías, generan modelos independientes dentro de cualquier fase del proyecto (diseño, construcción u operación). Los entregables son modelos para arquitectura o construcción, usados principalmente para automatizar la generación y coordinación de la documentación 2D y visualización 3D. Las prácticas de colaboración son similares al estado Pre-BIM.

Etapa BIM 2 – Colaboración basada en el modelo

En esta etapa los involucrados activamente colaboran entre sí. Esto incluye el intercambio de modelos o partes de éste mediante diferentes formatos. Esta etapa puede ocurrir dentro de una fase o entre fases de un proyecto; por ejemplo: Intercambio de modelos de arquitectura y estructuras en el diseño, intercambios de modelos entre el diseño y la construcción o entre el diseño y la operación. Aunque la comunicación entre los involucrados sigue siendo asincrónica, las barreras entre estos comienzan a desaparecer. Los modelos tienen cada vez más detalle y reemplazan a los modelos previos.

Etapa BIM 3 – Integración de las disciplinas

En esta etapa, los modelos creados son integrados, compartidos y mantenidos colaborativamente a lo largo de todas las fases del proyecto. El intercambio de información obliga a que las fases del proyecto se traslapen. Los entregables van más allá de sólo objetos con propiedades puesto que también se incluyen los principios *Lean* (los cuales serán explicados más adelante).

Entrega Integrada del Proyecto (IPD)

La entrega integrada del proyecto representa el objetivo al cual debe apuntar BIM mediante la fusión de las tecnologías, procesos y políticas. La entrega integrada del proyecto es un enfoque que integra personas, sistemas, estructuras de negocios y prácticas en un proceso integrado para optimizar los resultados del proyecto.

2.2.3.3. Niveles de Desarrollo, o LOD (*Levels of Development*)

A diferencia de los modelos CAD (en donde el trabajo de dibujar termina cuando se tienen los planos), en los modelos BIM el modelado es un proceso sin fin; un agujero negro que consume a los más incautos, es decir, el modelado termina hasta donde se

quiera llegar. Se puede comenzar modelando una pared, la que tiene acabados, entonces se modelan esos acabados. La pared tiene accesorios, y estos requieren perforaciones en ella. A partir de esas perforaciones salen tuberías, y las tuberías siguen un camino, y tienen otra serie de accesorios. Y cada componente puede incorporar toda la información que se desee: fabricantes, marca, costo, descripción, serie, garantías, materiales, colores, normas, certificaciones, etc.; la lista es interminable. Se pueden estar cinco minutos modelando una habitación o cinco semanas, y nunca se habrá terminado el proceso de modelado.

En cualquier modelo BIM es importante no cometer el pecado capital, el remodelado. Especificar más allá de lo necesario es un desperdicio de recursos, especialmente tiempo, por ello es importante especificar desde el inicio del proyecto qué datos se quieren conseguir con el modelo, es decir, su propósito. ¿Quiero renderizar, obtener planos arquitectónicos y estructurales generales, o en cambio, quiero que se detallen algunos elementos, quiero obtener los cálculos y presupuesto? El agujero negro del modelado recibe otro nombre: sobreprocesamiento, desperdicio de recursos que no genera valor al modelo, y es allí donde entra la definición de LOD.

LOD (*Level of Development*) especifica qué tan detallado tiene que ser un modelo BIM; ESPACIO BIM lo define como una escala que informa hasta qué punto se ha desarrollado un elemento del modelo, en cuanto a su geometría y la información relacionada con él (véanse las figuras 6 y 7). Es decir, es el nivel de fiabilidad que los miembros del equipo del proyecto pueden esperar de la información de un elemento en el modelo.

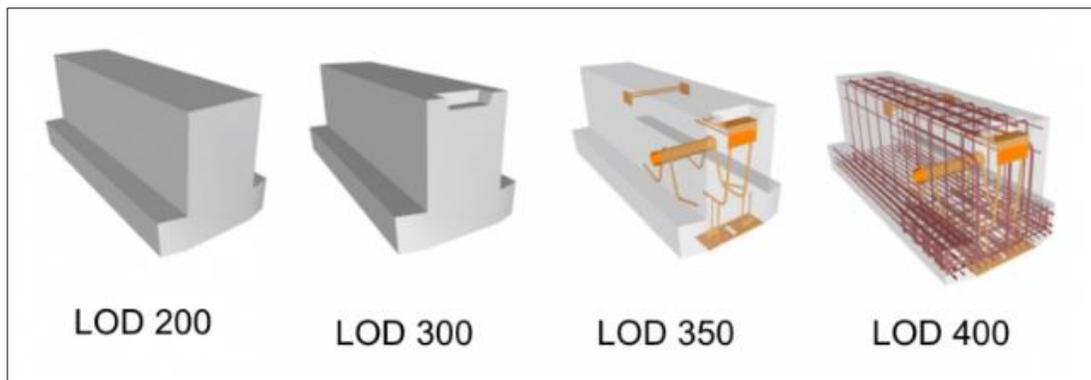


Figura 6. Ejemplo de niveles de desarrollo (LOD) en estructura.
Fuente: Niveles de desarrollo (LOD) y su importancia en Revit. (2017)

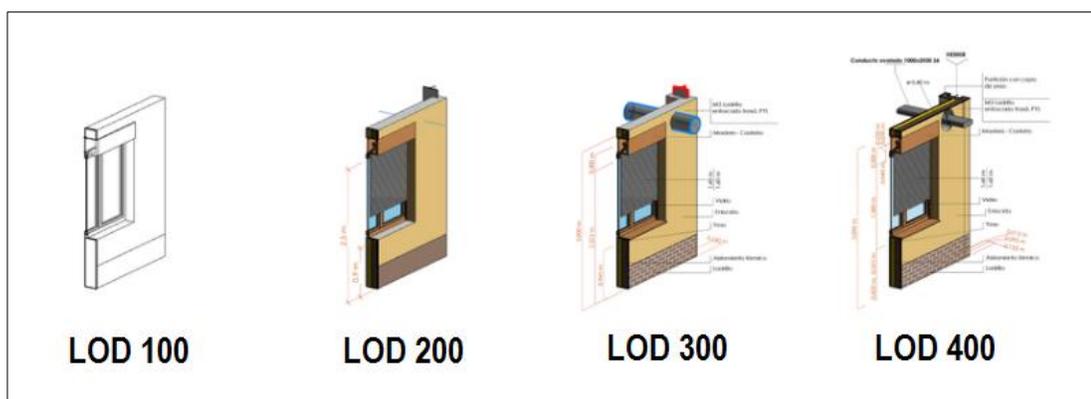


Figura 7. Ejemplo de niveles de desarrollo (LOD) en arquitectura.
Fuente: LOD. Nivel de desarrollo. (s.f.)

Cabe destacar que LOD en ningún caso se refiere a la totalidad del proyecto y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción. A pesar de que está en fases iniciales la definición de LOD (y que cada profesional lo interpreta a su manera), si se quiere hablar de forma estandarizada, hay que seguir los lineamientos de BIMForum, que los clasifica en:

- **LOD 100 - Conceptual:** El elemento del modelo puede representarse gráficamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica, pero no satisface los requisitos para LOD 200. La información relacionada con el elemento del modelo (es decir, costo por pie cuadrado, etc.) se puede derivar de otros elementos del modelo. Interpretación de BIMForum: Los elementos LOD

100 no son representaciones geométricas. Los ejemplos son información adjunta a otro modelo elementos o símbolos que muestran la existencia de un componente pero no su forma, tamaño o ubicación precisa. Cualquier información derivada de Los elementos LOD 100 deben considerarse aproximados. Caso de ejemplo, luminaria: Costo/pies cuadrados adjuntos a losas de piso.

- **LOD 200 - Geometría:** El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto genérico con cantidades aproximadas (tamaño, forma, ubicación y orientación). También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo. Interpretación de BIMForum: En este LOD, los elementos son marcadores de posición genéricos. Pueden ser reconocibles como los componentes que representan, o pueden ser volúmenes para reserva de espacio. Se debe considerar cualquier información derivada de los elementos LOD 200 como aproximada. Caso de ejemplo, luminaria: Tamaño, forma, ubicación genérica o aproximada.
- **LOD 300 - Construcción:** El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo. Interpretación de BIMForum: La cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación del elemento tal como se diseñó se puede medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, como notas o anotaciones de dimensiones. Se define el origen del proyecto y se elemento se ubica con precisión con respecto al origen del proyecto. Caso de ejemplo, luminaria: Troffer 2x4 especificado por diseño. Tamaño o forma, ubicación específica.
- **LOD 350 – Coordinación y colisiones:** El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaces con

otros sistemas de construcción. También se puede adjuntar información no gráfica al modelo.

Interpretación de BIMForum: Se modelan las piezas necesarias para la coordinación del elemento con elementos cercanos o adjuntos. Estas partes incluirán elementos tales como soportes y conexiones. La cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación del elemento según lo diseñado se puede medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, como notas o anotaciones de dimensiones. Caso de ejemplo, luminaria: Modelo real, Lightolier DPA2G12LS232. Tamaño, forma, ubicación específicos.

- **LOD 400 - Fabricación:** El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con información detallada, fabricación, montaje e instalación. La información no gráfica también puede adjuntarse al elemento del modelo.

Interpretación de BIMForum: Un elemento LOD 400 se modela con suficiente detalle y precisión para la fabricación del componente representado. La cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación del elemento tal como se diseñó se puede medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, como notas o anotaciones de dimensiones. Caso de ejemplo, luminaria: Más detalles especiales de montaje, como en un plafón decorativo.

- **LOD 500 - As Built (realmente no se utiliza):** El elemento del modelo es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación. Información no gráfica también se puede adjuntar a los elementos del modelo.

Interpretación BIMForum: Dado que LOD 500 se relaciona con la verificación en campo y no es una indicación de progresión de la información del elemento, no se define ni se ilustra.

Generalmente los modelos útiles para construcción y presupuestos tienen elementos en LOD300 o LOD350. La estructura y elementos arquitectónicos generales usan LOD300, y los detalles específicos usan LOD350. Los sistemas electromecánicos generalmente se trabajan en LOD350 para construcción, por la necesidad que hay de ver interferencias con la estructura. Ciertos elementos muy específicos, por ejemplo transiciones especiales en ductos o tuberías, o sistemas estructurales muy críticos pueden tener la necesidad de realizarlos en LOD400. En proyectos muy especializados, como por ejemplo plantas de energía o plantas industriales donde se vuelve muy crítica la eficiencia y seguridad, puede requerirse de un uso extensivo de LOD400.

Cabe destacar, que no existen modelos LOD300 o LOD350. El término LOD se aplica por separado a elementos del modelo, según sea necesario. Puede que un modelo venga con estructura y arquitectura en LOD300, y electromecánico en LOD350. O si es un proyecto de acero, puede que la estructura de acero se realice en LOD400, y el resto en LOD300, también puede que todo el modelo se maneje en LOD300. Las placas y anclajes de los soportes sísmicos deben ser LOD400.

2.2.3.4. Métodos de aplicación de software BIM en etapas iniciales

Cuando se plantea modelar con *software* BIM siempre se tienen dos casos, cuando se desea comenzar de cero y la segunda, cuando existe documentación previa realizada en papel, o en otros programas de diseño (usualmente es *software* CAD). Los pasos en detalle son:

- Estudio previo de la información reunida (si no hay suficiente, es importante generarla en esta fase).
- Replanteo de niveles en Revit (por ejemplo), además de las vistas en planta de cada nivel.
- De tener un modelo CAD previo se importan las secciones, y en el caso de las vistas en planta, se importan para cada nivel.

- Creación de la rejilla.
- Definición de las características del terreno.
- Modelado hasta LOD 100. Definición de muros, suelos, cubiertas, escaleras y columnas.
- Modelado hasta LOD 200. Adición de revestimientos sobre los elementos ya modelados. Se añaden carpinterías.
- Modelado hasta LOD 300. Se definen las tipologías constructivas según materiales y espesores. Se gestiona la información.
- Modelado hasta LOD 350 y 400. El modelo contiene la información y detalles necesarios para la construcción, por lo que se puede realizar la gestión del proyecto con exactitud.
- Modelado en LOD 500. De ejecutarse el proyecto, cualquier modificación en esta fase es añadida también al modelo, de forma que siempre sean idénticos.

2.2.3.5. Dimensiones BIM

Si bien construir el modelo tridimensional es suficiente para estar en terreno BIM, cuando hablamos de sacar todo el rendimiento a BIM (y al VDC), es necesario utilizar todas las capacidades de los software BIM. Las distintas etapas de diseño y gestión de una estructura, junto con las fases de mantenimiento y desmantelamiento de la misma, transcurren inmersas en una dinámica de trabajo en la que pueden destacarse 7 dimensiones diferentes:

- **1D. La idea:** Se parte de una idea (una vivienda por ejemplo) y definimos las condiciones iniciales, la localización; realizamos unas primeras estimaciones (superficie, volumetría y costes); se establece el plan de ejecución, etc.
- **2D. El boceto:** Se prepara el software para modelar; se proyectan las primeras líneas, etc.
- **3D. Modelado de información del edificio:** A partir de toda la información recopilada se genera el modelo 3D que servirá como base para el resto del ciclo

de vida del proyecto. El modelo incorpora toda la información que se necesitará para las siguientes fases (dimensiones) BIM. En esta fase ya se pueden obtener imágenes fotorrealistas.

- **4D. Tiempo:** Al añadir la dimensión tiempo se pueden definir las fases del proyecto, establecer su planificación temporal; así como realizar simulaciones de parámetros temporales (ciclo de vida, sol, viento, energía, etc.). La utilidad del 4D es su capacidad para anticiparse a los posibles conflictos, tales como las interferencias entre disciplinas que puedan surgir en obra, solucionándose mejor en la fase de diseño, donde el coste es notablemente inferior que en la fase de ejecución.
- **5D. Coste:** En la quinta dimensión BIM, se generan presupuestos, se realizan los estudios de viabilidad económica, se gestionan ofertas y contrataciones, así como lo relacionado con el retorno de la inversión.
- **6D. Simulación:** También conocida como *Green BIM* o BIM verde, consiste en simular las posibles alternativas del proyecto para finalmente llegar a la alternativa óptima.
- **7D. Manual de instrucciones o ciclo de vida:** O manual que hay que seguir durante la vida del proyecto una vez construido, para su uso y mantenimiento (inspecciones, reparaciones, mantenimientos, etc.)

Un dato muy importante a tener en cuenta es que durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la idea hasta su derribo (y reciclaje), se produce un proceso continuo de retroalimentación, es decir, el modelo BIM se va modificando continuamente (evoluciona), de tal modo que en cualquier momento realidad y modelo son idénticos.

2.2.3.6. Software BIM

Tabla 3. *Tipos de software BIM más usados.*

Tipo de software	Nombre	Empresa desarrolladora	Etapa BIM
Representación	Revit	Autodesk	2D y 3D
	ArchiCAD	Graphisoft	
	Allplan	Nemetschek	
	AecoSim	Bentley Systems	
Cálculo estructural y dimensionado	Robot Structural Analysis	Autodesk	2D y 3D
	ETABS, SAP y SAFE	CSI	
	STAAD.Pro CypeCAD MEP	Bentley Systems CYPE Ingenieros S.A.	
Representación y cálculo	CYPE 3D TEKLA	CYPE Ingenieros S.A. TEKLA	4D
	Synchro VICO Naviswork	Synchro Technologies Trimble Autodesk	
Mediciones y costos	Presto	RIB Spain	5D
	Cype (Arquímedes) VICO	CYPE Ingenieros S.A. Trimble	
	Medit	Autodesk	
Eficiencia energética	ECOdesigner	Graphisoft	6D
	Hevacomp Dynamic Simulation	Bentley Systems	

Fuente: Trabajo de grado. Implementación de la metodología BIM para elaborar proyectos mediante el software Revit. (2017).

2.2.3.7. Ventajas del uso del BIM

Monfort (2015), menciona que la metodología BIM presenta ventajas en todas las fases del proceso y para todos los agentes intervinientes, menciona las siguientes:

- **Coherencia de la información:** Toda la documentación del proyecto está contenida en un único modelo, evitando errores derivados de distintas versiones del mismo. Todo cambio que se haga en el modelo, se actualizará en todas las vistas y cálculos, haciendo que esté siempre actualizado. Contiene información que no se ve en los planos, como coste, materiales, calendario de ejecución, etc.).

- **Colaboración:** Facilita el intercambio de información entre los distintos agentes, posibilitando la cooperación y evitando las contradicciones entre las distintas partes.
- **Visualización 3D:** Facilita el entendimiento del proyecto y la toma de decisiones previamente a la ejecución (detecta incoherencias antes de la construcción, pudiendo aportar soluciones). Es por tanto, interesante para el cliente además de los profesionales (véase la Figura 8).



Figura 8. Ejemplos de incoherencias entre disciplinas.

Fuente: Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM. (2011).

Nota: a la izquierda, ductos de ventilación y tuberías. A la derecha, tuberías del sistema contra incendios por encima de bandejas eléctricas.

2.2.3.8. Limitaciones del BIM

Si bien hemos visto que la tecnología BIM presenta múltiples ventajas frente a la tecnología tradicional, es cierto que también tiene sus dificultades:

- **Cambio de mentalidad:** Como en todo cambio, lo que más dificulta su implementación es el cambio de filosofía y métodos de trabajo. BIM significa una nueva forma de trabajar, dejar atrás las costumbres y aprender de cero nuevas herramientas.

- **Formación necesaria:** Es por tanto necesario, destinar tiempo y dinero al aprendizaje de estas nuevas herramientas. Así como invertir en equipos más potentes, en licencias de software, etc.
- **Falta de perfeccionamiento:** Si bien la interoperabilidad es una de las principales características de la metodología BIM, la realidad demuestra que son muchas las incompatibilidades entre programas que obligan a volver a pasar por diferentes versiones del modelo, cada una utilizable para un software distinto. Por lo que aún queda mucho por mejorar, así como en cuanto a la visualización y rendimiento, que dependiendo del computador utilizado podría ser un problema, limitando así los niveles de desarrollo de los elementos del modelo. Para asegurar modelos fiables al 100% es necesario poseer de computadores muy potentes, que también son muy costosos.
- **No dominar los procesos:** en el BIM, más que en CAD, se hace más necesario el conocer los procesos y subprocesos necesarios para modelar un edificio (esto, debido a que es como construir edificios y no solo dibujarlos).

2.2.3.9. VDC

El Centro de Ingeniería de Instalaciones Integradas (o CIFE, de *Center for Integrated Facility Engineering*, por sus siglas en inglés), de la Universidad de Standford, E.E.U.U., desde el año 2000 que desarrolla el VDC. El Diseño y Construcción Virtual, o VDC (*Virtual Design and Construction*, por sus siglas en inglés), es una metodología de gestión que utiliza BIM en los distintos procesos, haciendo uso de la filosofía de trabajo *Lean*. BIM y VDC son términos muy cercanos, pero no son lo mismo, BIM engloba el proceso del modelado tridimensional (3D) y la información asociada, mientras que VDC utiliza modelos BIM para planear de forma holística el proceso de diseño y construcción. Visto de otra forma, VDC es el verbo, es tomar acción del BIM; cuando BIM es descrito como un proceso holístico (incluyendo

el proceso de diseño, la entrega del modelo integrado y su construcción), se habla de VDC.

En el diseño por CAD se trabaja en 2D (ancho y largo), en proyectos VDC se habla de 4D (ancho, largo, alto y –generalmente- tiempo); se pueden tener proyectos 5D, 6D, etc. (si se habla de presupuesto, recursos, *Facility Management*, ciclo de vida, etc.). BIM y VDC son muy similares, incluso hay quienes los definen como lo mismo; los defensores del uso de las siglas VDC sostienen que, se quiera o no, el tiempo ha llevado a que cuando se hable de BIM se piense en *software*, y que por tanto es necesario usar otro término para explicar la parte de la filosofía de esta forma de trabajar. Cuando se menciona la metodología BIM en este trabajo de investigación, se hace referencia al BIM-VDC como un todo.

2.2.3.10. Lean Construction (LC)

El *Lean Construction Institute* (2017), define el *Lean Construction* (conocida en español como Construcción sin Pérdidas), como una filosofía de gestión de proyectos de construcción que busca eliminar los desperdicios y las actividades que consumen recursos (ver Tabla 4). Su predecesor, el *Toyota Production System (TPS)*, surge en Japón a mediados de 1970, su objetivo, producir al menor costo y desperdicios posibles. El término *Lean* viene de la mano de Joseph Juran y Kaouru Ishikawa, y de la adaptación del *TPS*, de Japón a E.E.U.U., cambiando *Toyota* por *Lean*, que significa *magro* en inglés, es decir, sin lo innecesario, surgiendo así el *Lean Production System (LPS)*; no obstante, fue en 1993 en la ciudad de Espoo, Finlandia, que el Ingeniero Koskela Lauri expuso los conceptos que hoy forman parte de esta filosofía de trabajo, publicándolos en la primera conferencia de *Lean Construction*.

Tabla 4. *Desperdicios en la producción según el LCI.*

Demoras
Defectos
Excesos de procesado
Exceso de producción
Inventarios excesivos
Transporte innecesario
Movimiento no útil de personas

Fuente: recuperado de *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual.* (2014).

El manejo de un proyecto bajo la filosofía *Lean* significa: tener los objetivos claros en el desarrollo del proyecto (entendiendo los requerimientos del cliente), enfocarse en maximizar el desempeño para el cliente a nivel de proyecto, diseñar en forma simultánea tanto el producto como el proceso, y aplicar controles de producción a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

2.2.3.11. IPD

La compañía estadounidense IPD, Inc. patenta en el 2002, el método *Integrated Project Delivery* (IPD), producto de la fusión de varias compañías de la industria de la construcción en 1995. El IPD (o Entrega Integrada de Proyectos) es parte de la metodología *Lean*, y define la forma de organizar a los profesionales que trabajan en el proyecto, los cuales deben trabajar junto al cliente desde el inicio, eliminando el flujo de trabajo lineal, para de esta forma entender mejor las ideas que cada quien puede aportar; al final, la metodología a seguir será la intersección de todas las ideas sobre el diseño, mejorando así la ejecución del proyecto.

El IPD pretende solucionar la falta de cooperación entre las partes que intervienen en el diseño y cambiar las actitudes de individualismo que generan ineficiencias y pérdidas, y que entorpecen la generación de valor; compite así, con el modelo tradicional de ejecución de proyectos (licitación-construcción), y que

generalmente tiene como metodología de implementación la ruta diseño-licitación-construcción. En las figuras 9 y 10 se pueden observar ambas metodologías.

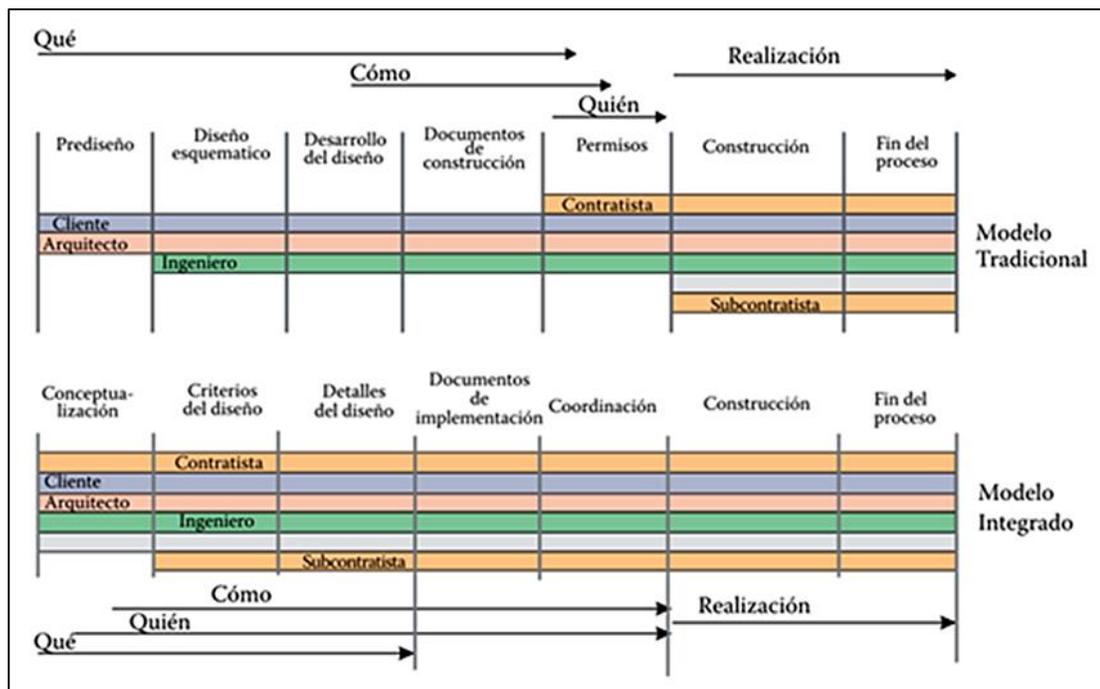


Figura 9. Modelo tradicional de ejecución de proyectos vs modelo integrado.

Fuente: Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. (2014)

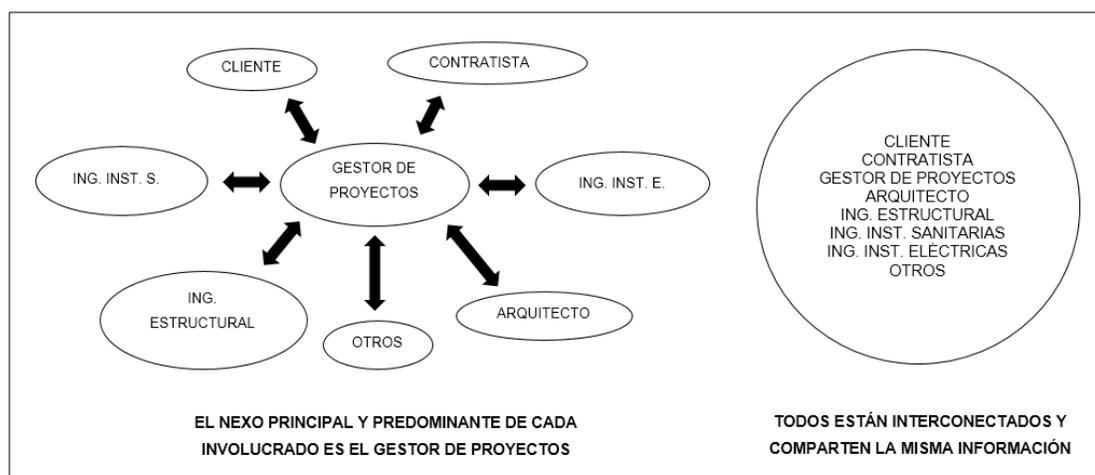


Figura 10. Flujo de información de proyectos sin IPD y proyectos basados en IPD.

Fuente: Autores.

2.2.4. CAD vs BIM

Las diferencias entre las metodologías CAD y BIM-VDC comienzan desde el *software* que les soporta, se tiene pues, que un *software CAD* está optimizado para el dibujo de líneas, superficies, figuras 3D, etc. (véase la Figura 11) mientras que *Revit* lo está para el manejo de información de los elementos allí modelados (véase la Figura 12), por lo que se puede tener una ventana y los elementos que la componen (vidrio, marco, accesorios, etc.) y la información asociada a dichos elementos (dimensiones, precio, propiedades térmicas, etc.), en vez de líneas, bloques o superficies que se supone es una ventana. En la Tabla 5 se pueden apreciar las diferencias entre el uso de ambos *software*.

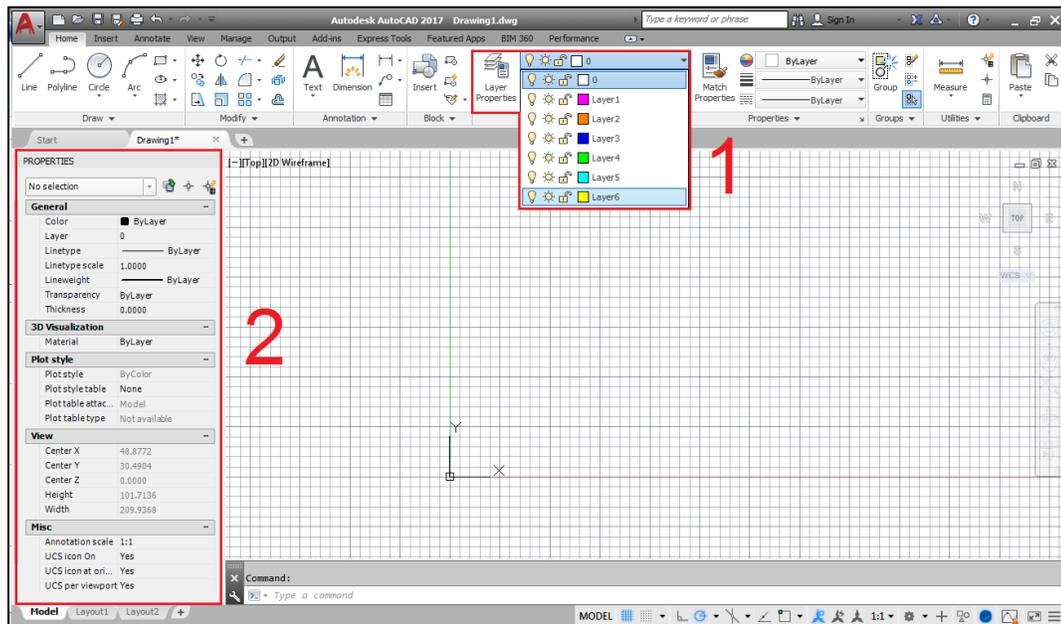


Figura 11. Vista general de AutoCAD.

Fuente: Autores.

- (1) Panel de propiedades de capa.
- (2) Panel de propiedades geométricas de elementos.

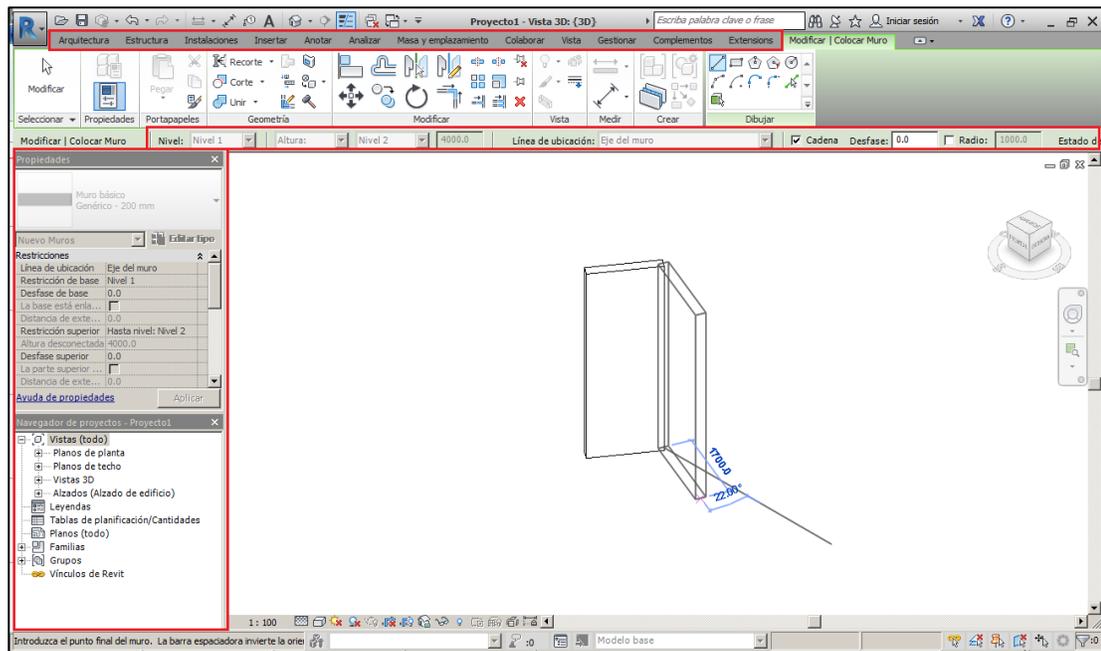


Figura 12. Vista general de Autodesk Revit 2017.

Fuente: Autores.

Patrick McLeamy, CEO de HOK (un estudio de arquitectura estadounidense), afirma haber desarrollado los conceptos de la Curva MacLeamy en 2004. En la Figura 13 se puede apreciar claramente cómo la (correcta) implementación de BIM permite ahorrar costos y esfuerzos al hacer todos los ajustes necesarios en el modelo antes de siquiera haber colocado un solo bloque (es decir, en la fase en la que la capacidad de impactar en los costos es muy alta), a diferencia de trabajar con los métodos tradicionales, en donde el costo y el esfuerzo tienden al infinito mientras se avanza en el diseño del proyecto, y en donde una modificación de último minuto puede tener consecuencias desastrosas para el equipo de trabajo y el cliente.

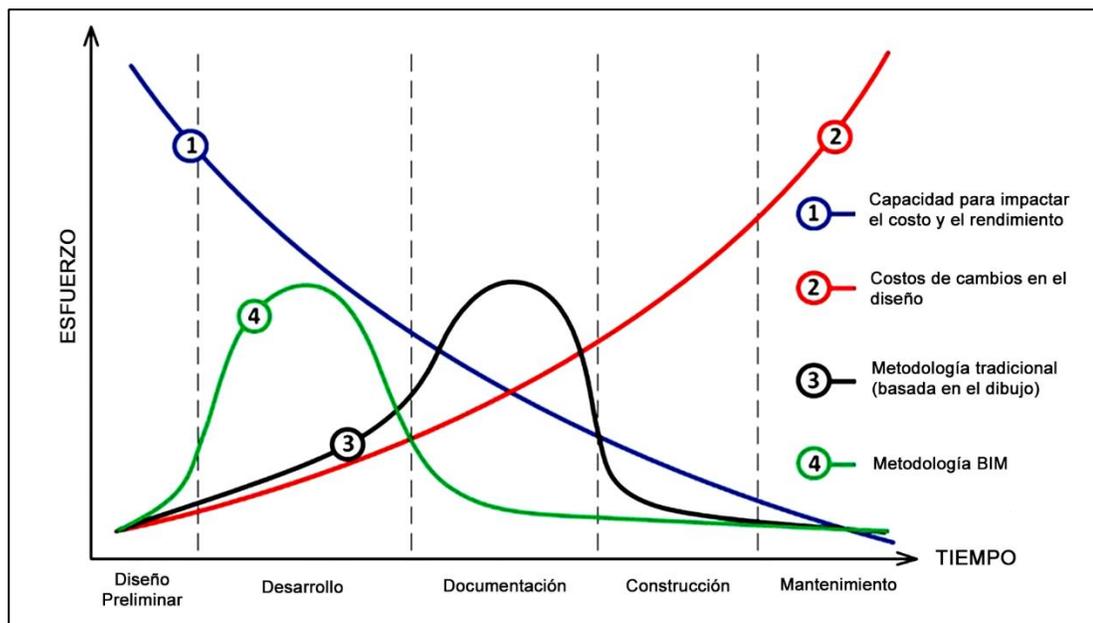


Figura 13. Curva MacLeamy.

Fuente: (Adaptado del inglés). Recuperado de La curva de MacLeamy: cuándo cuesta menos construir. (s.f).

Tabla 5. Diferencias entre software CAD y software BIM.

Tópico	Software CAD	Software BIM
Dibujo/Modelado	Entidades geométricas: Líneas, superficies, sólidos, etc.	Elementos constructivos reconocibles como tales por el programa: columnas, losas, vigas, puertas, etc.
Relación planta-sección-alzado-modelo 3D	Entidades independientes. Los cambios deben aplicarse por separado a cada vista o archivo.	Existe un único modelo del cual se extraen las vistas.
Datos asociados	Colores, propiedades de texto, grosores de líneas, etc.	Dimensiones (d1, d2, d3, d4, dn), precio, materiales y sus propiedades, peso, etc.
Informes	Calcular datos asociados y exportarlos a otros <i>software</i> (tales como Excel)	Generados automáticamente siempre que se le indique al <i>software</i> y se introduzcan los datos necesarios (pueden cambiarse datos en informe o en modelo). Se pueden exportar datos a otros <i>software</i> BIM
Trabajo en equipo	Realmente no hay, cada miembro del equipo trabaja con su propio dibujo.	Todo el equipo puede trabajar al mismo tiempo en el modelo.

Fuente: Impacto del BIM en la gestión del Proyecto y la Obra de Arquitectura (2015)

2.2.5. Variables asociadas al desarrollo de proyectos de edificaciones

Dependiendo del autor, las variables asociadas al desarrollo de proyectos de edificaciones pueden estar agrupadas de una forma u otra, pero de forma general están agrupadas en la Tabla 6, y van desde el bosquejo inicial hasta el proceso de construcción, cabe destacar, que el impacto es un poco subjetivo y depende de la experiencia y conocimiento de los autores, por lo cual debe tomarse de forma referencial (pues en varios casos no existe la bibliografía necesaria para cuantificarlo); en la tabla se puede ver cómo el uso de BIM-VDC puede mejorar la resolución de los problemas derivados de las variables allí descritas.

Tabla 6. *Variables asociadas al desarrollo de proyecto de edificaciones.*

Disciplina	Variable	Impacto teórico en el diseño arquitectónico-estructural	Impacto teórico del uso de BIM-VDC en la solución de problemas derivados de variables
Arquitectura	Requisitos del cliente	Alto	Alto
	Ubicación	Alto	Nulo
	Área disponible	Alto	Bajo
	Orientación	Baja	Alto
	Habitabilidad	Alto	Nulo
	Espaciales (características de los espacios)	Bajo	Nulo
	Geometría	Alto	Bajo
	Uso de la edificación	Alto	Nulo
	Remodelaciones	Depende (*)	Depende (*)
	Requisitos medioambientales	Depende (**)	Muy alto
Estructura	Requisitos sismorresistentes	Alto a muy alto	Medio
	Requisitos por cargas estáticas	Alto	Nulo
	Geometría y tipología estructural	Alto	Nulo
	Componentes de geometría complicada	Alto	Muy alto
	Existencia/Calidad del suelo	Muy alto	Nulo
	Remodelaciones	Depende (*)	Depende (*)

Fuente: Adaptado de: MONFORT, C. (2015), SIMMONDS, E. (2015), SALAZAR, M. (2017), MILLASAKY, C. (2018).

Notas: (*) Depende de los trabajos necesarios. (**) Depende de los requisitos.

Tabla 6 (continuación). *Variables asociadas al desarrollo de proyecto de edificaciones.*

Mecánica, Eléctrica, Sanitaria (o MEP, por sus siglas en inglés)	Instalaciones sanitarias	Muy alto	Muy alto
	Instalaciones eléctricas	Medio	Alto
	Instalaciones de data	Medio	Alto
	Instalaciones mecánicas	Alto	Muy alto
	Legislación vigente	Alto a muy alto	Depende (**)
	Economía	Alto a muy alto	Nulo
	Costo del proyecto	Alto a muy alto	Medio
	Interferencias entre disciplinas	Alto	Muy alto
Construcción	Imprevistos	Depende (*)	Muy alto
	Capacitación del personal	Medio	Bajo a Medio
	Materiales de construcción disponibles	Medio a alto	Nulo
	Técnicas constructivas disponibles	Depende (*)	Depende (*)

Fuente: Adaptado de: MONFORT, C. (2015), SIMMONDS, E. (2015), SALAZAR, M. (2017), MILLASAKY, C. (2018).

Notas: (*) Depende de los trabajos necesarios. (**) Depende de los requisitos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

Para el desarrollo de esta investigación, se recolectaron datos de publicaciones e investigaciones previas sobre el tema y se utilizaron como base referencial, sin embargo, fueron los datos obtenidos a través del desarrollo del proyecto de edificación (utilizando cada una de las metodologías a evaluar), los indispensables para el logro de los objetivos. Según lo enunciado por Arias F. (2012), se conoce que el diseño de la investigación será de campo.

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. (p.31)

En una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado. (p.31)

3.2. Nivel de Investigación

En la presente investigación se caracterizaron tanto el método tradicional de desarrollo de proyectos de edificaciones como el BIM-VDC. Según lo enunciado por

Arias F. (2012), se conoce que el nivel de profundidad de la investigación fue descriptivo.

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p.24)

Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables y aun cuando no se formulen hipótesis, tales variables aparecen enunciadas en los objetivos de investigación. (p.31)

3.3. Técnicas a Utilizar

Entre las técnicas de recolección de datos se tuvo la investigación documental, la mayoría de las fuentes son digitales, se consultaron revistas, publicaciones, guías y normas afines a la construcción y diseño de proyectos de edificaciones, tanto nacionales como internacionales, cuidando de agrupar el material bibliográfico ordenadamente para su posterior verificación.

Para el desarrollo de la investigación se diseñó una edificación tanto con la metodología tradicional y el *software* Autodesk AutoCAD 2017, como con conceptos BIM-VDC y el *software* Autodesk Revit 2017, misma que partió de una única propuesta arquitectónica. Se consideró la arquitectura, el diseño sismorresistente y las instalaciones; y en el caso de este último tópico, se tomaron en cuenta a nivel de dimensiones mínimas y ubicaciones por norma, las infraestructuras de gas, data, electricidad, sistemas de bombeo de aguas blancas e incendio (estanque y bombas), las

instalaciones de aguas servidas se diseñaron en detalle por ser cruciales en el diseño arquitectónico. Se utilizó el *software* CSI ETABS 2016 para el diseño de la superestructura, y CSI SAFE 2016 para el diseño de losas de techo/entrepiso y fundaciones, así como Microsoft Excel 2016 para cálculos adicionales.

Para el análisis de los datos se utilizó la observación directa de los resultados, se evaluaron tópicos como el tiempo de dibujo/modelado, la aplicabilidad en el diseño, la calidad y detalle de la documentación final y los problemas que surgen de cada método de diseño, además de las capacidades de cada método de diseño y de las herramientas que utilizan, resultados prácticos que fueron comparados con la bibliografía existente sobre el tema.

Herramientas y Equipos

- Computador portátil VIT p2400.

Ficha técnica:

- Procesador Intel Core i3 @3.40 Ghz
- Tarjeta de video integrada de 700 Mb
- 8 Gb de memoria RAM, tipo DDR3

- Herramientas de oficina.

-

3.4. Etapas del Proyecto

Para alcanzar los objetivos del proyecto de forma satisfactoria, el desarrollo del mismo se dividió en varias etapas, las cuales se listan a continuación:

- **Etapas I:** Revisión Bibliográfica.

- **Etapa II:** Identificación de variables técnico-económicas asociadas al desarrollo de proyectos de ingeniería de edificaciones y su interacción en el modelado.
- **Etapa III:** Realización de un modelo inicial, que incluya las variables técnico-económicas asociadas al desarrollo de proyectos de edificaciones.
- **Etapa IV:** Desarrollo del modelo inicial de manera tradicional y luego aplicando la metodología VDC, aplicando para el modelado, software CAD y BIM respectivamente.
- **Etapa V:** Comparación de la calidad y el rendimiento de los proyectos mediante la metodología tradicional y los realizados con VDC.
- **Etapa VI:** Redacción y defensa final del trabajo de grado.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este capítulo incluye el desarrollo de la propuesta arquitectónica desde el boceto (ver figura 14 y Anexo A) hasta la obtención de un proyecto construible (ver anexos B, C, D y E), así como las observaciones y resultados de cada alternativa de diseño. Se diseñaron dos edificios, la Torre Asada con la metodología tradicional y software CAD, y la Torre Shinon con la metodología BIM-VDC y software BIM. Se tomaron en cuenta aspectos arquitectónicos y del análisis estructural.

4.1. Desarrollo del proyecto

El inmueble desarrollado es un edificio de 10 niveles ubicado en la ciudad de El Tigre, Municipio Simón Rodríguez, Estado Anzoátegui. El uso previsto es residencial. El terreno tiene un área de 1402.86 m² y un perímetro de 148.47 m, la menor dimensión es de 33.70 m y la mayor de 39.25 m, el mismo se considera plano y firme.

La edificación consta de un ascensor, modelo 810-E (o similar) con cuarto de máquinas superior, huida de 3.60 m y foso de 1.20 m, las dimensiones del hueco son de 1,60x1,85 (ancho x profundidad), con un área de 1.54 m², capacidad para 8 personas (600 Kg), de dos velocidades (0.63 y 1.00 m/s) y de maniobra universal. El ancho mínimo de puerta es de 0.90 m.

El sistema de aguas blancas e incendio consta de estanque, hidroneumático y bomba. El estanque tiene una capacidad mínima de 38 m³ (ver Tabla 7). Se consideró agua de reserva sólo para 8 h y para los apartamentos (descontando las dependencias adicionales en PB). El sistema de bombas está constituido por dos (2) bombas para el sistema de aguas blancas y dos (2) bombas para el sistema contra incendios; el

desarrollo del proyecto solo consideró el número de bombas, no sus características (como potencia y caudal)

Tabla 7. Dimensiones del tanque a presión del hidroneumático.

Capacidad	Dimensiones		Características del compresor		
	d	L	L/s	MCM	PCM
Lt	m				
3420	1.07	3.84	1.40	0.08	3

Fuente: Autores.

El material seleccionado para la construcción fue concreto armado (inicialmente, de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$), el sistema estructural de tipo ortogonal aporticado. Se estimó que el sistema de fundaciones podría estar compuesto de un conjunto de cabezal-pilote y viga de riostra. Inicialmente las columnas fueron de 40x70 cm, las vigas de 30x50. Debido a sus características arquitectónicas el edificio es de tipo irregular (según la COVENIN 1756-01). Cabe necesario señalar, que se escogió este diseño arquitectónico-estructural debido a los posibles retos que podría representar en el diseño y dibujo/modelado en AutoCAD y en Revit (es decir, se eligió una geometría irregular a propósito).

En detalle los niveles son:

- **Nivel del terreno (PSS):** nivel de referencia, su elevación es de +0.00.
- **Planta Sótano (PS):** de tipo semisótano y una elevación inicial de -1.50 por debajo de PSS, el área techada aproximada es algo más de 497.20 m^2 ($22.00 \times 22.60 \text{ m}$, que es la distancia entre la primera y última columna por eje). Contiene dependencias como cuarto de basuras, estacionamiento con capacidad para veinte (20) vehículos, cuarto de hidroneumático, bombas y estanque.

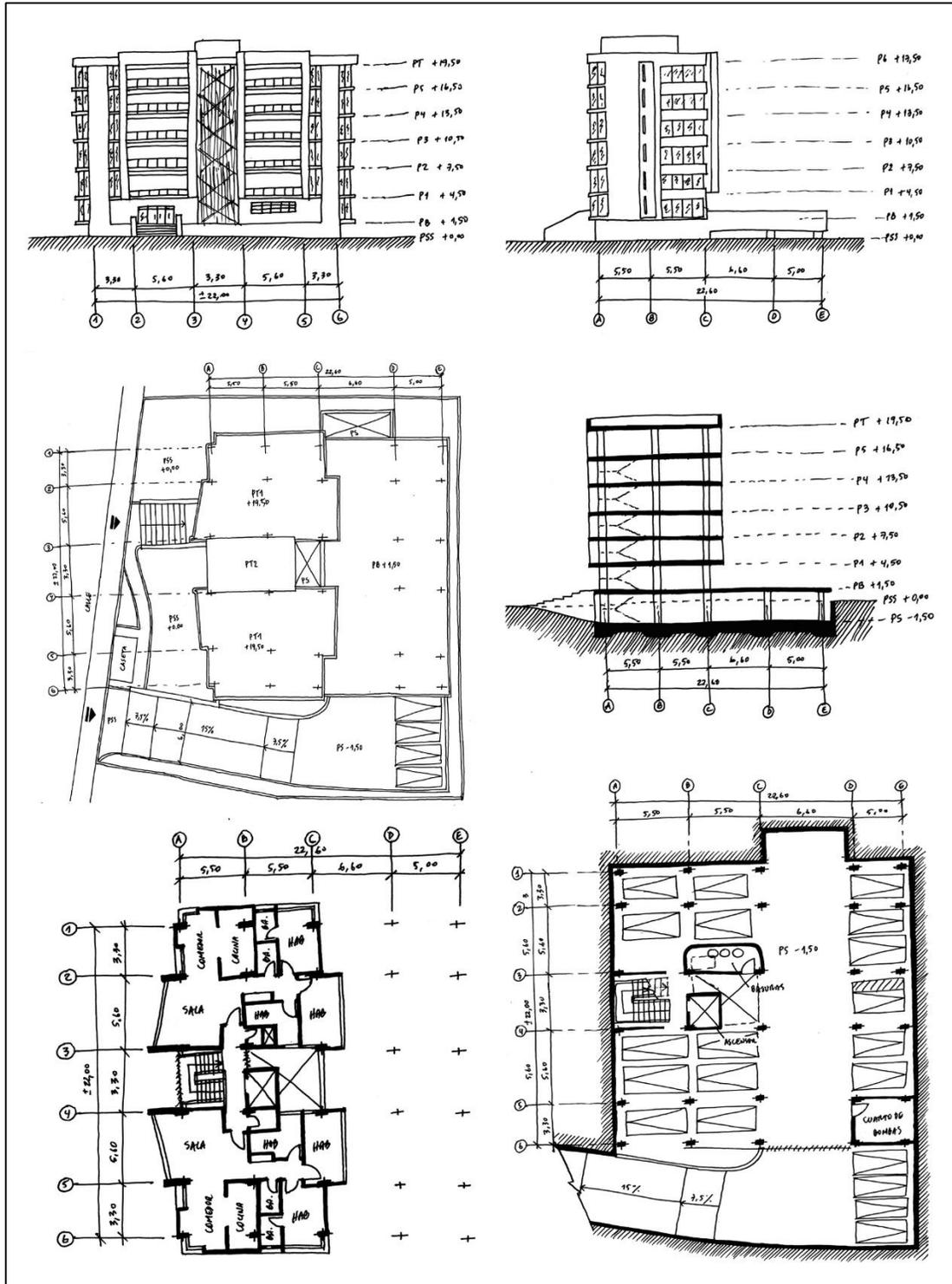


Figura 14. Propuesta inicial de arquitectura
Fuente: Elaboración propia (para mayor resolución ver Anexo A).

- **Planta Baja (PB):** con una elevación inicial de +1.50, contiene dependencias como la oficina, sala de reuniones, cocina, baños, y un (1) apartamento, además de ser el nivel de acceso al edificio. El área estimada es poco más de 497.20 m² (22.00 x 22.60 m, que es la distancia entre la primera y última columna por eje).
- **Planta alta típica (PA):** un total de 5 plantas, con elevaciones iniciales de 4.50, 7.50, 10.50, 13.50 y 16.50. con dos apartamentos por planta, con un área estimada de poco más de 100 m² c/u.
- **Planta techo 1 (PT1):** con una elevación de 19.50 m. Se considera como planta sin acceso. Tiene un antepecho en todo su perímetro, con una altura que va de 0.80 a 1.00 m.
- **Planta sala de máquinas (PSM):** o cuarto de máquinas del ascensor. La elevación del nivel dependerá del tipo de ascensor a elegir.
- **Planta techo 2 (PT2):** techo sin acceso que cubre los módulos de escaleras y ascensor, además del acceso a estos. Se estima una altura de nivel de 2.60 m.

Cabe destacar, que al final del proceso de diseño, las edificaciones tuvieron las siguientes áreas de construcción (no cuenta la rampa de acceso):

Tabla 8. *Superficie final de construcción del proyecto.*

Planta	Torre Asada		Torre Shinon
	m ²		
PS	649.43		657.20
PB	634.59		641.07
P1	327.60		330.55
P2	327.60		330.55
P3	327.60		330.55
P4	327.60		330.55
P5	327.60		330.55
PT1	325.01		327.11
PSM	12.77		12.85
PT2	43.70		50.40
Total	3303.50		3341.38

Fuente: Autores.

4.1.1. Diseño en CAD (Torre Asada)

4.1.1.1. El diseño

Tomando como referencia el modelo preliminar y el predimensionamiento de la estructura se trazaron los ejes y las líneas básicas en el espacio digital. Se realizaron ajustes principalmente de arquitectura (tales como la distribución interna, detalle de escalera, ubicaciones de aparatos sanitarios, dimensiones de ventanas, plazas de aparcamiento, etc.), así como correcciones estructurales básicas (como la localización de los ejes), hasta que fuese mínimamente aceptable para continuar con la siguiente fase, el diseño estructural preliminar. El diseño de la edificación (al menos en planta alta y sótano) se realizó en solo uno de los lados del edificio, específicamente los ambientes dependencias de áreas comunes y el apartamento oeste, esto, debido a que la sección este es un espejo casi perfecto de su opuesto (véase la Figura 15).

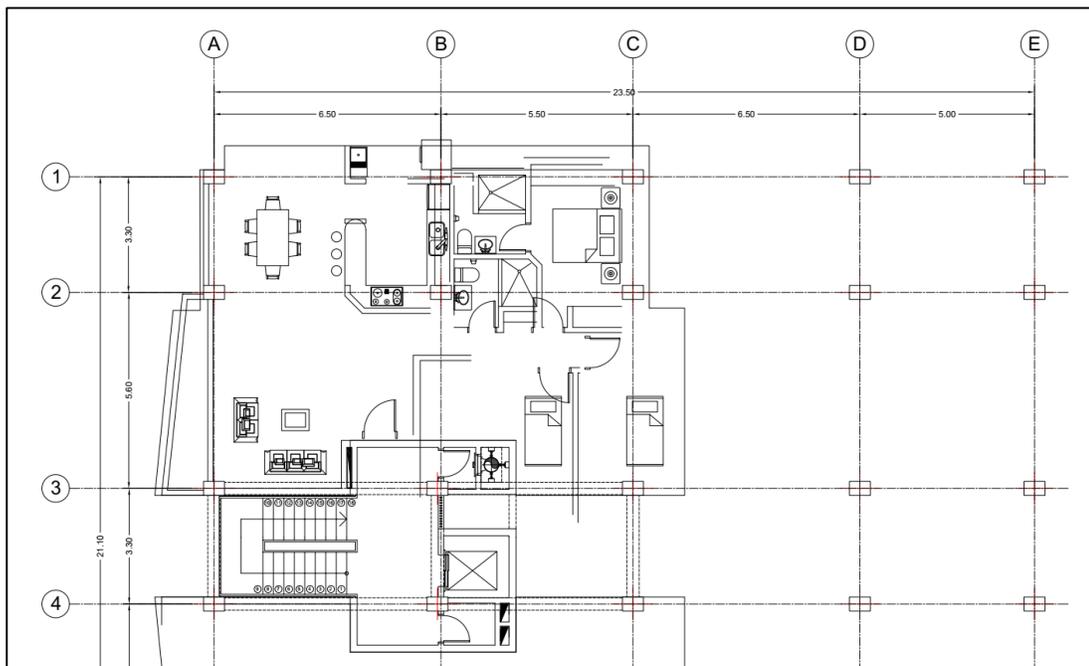


Figura 15. Modelo en CAD en etapas iniciales.

Fuente: Autores.

A lo largo del diseño y debido a los desafíos de conseguir un edificio sismorresistente (con una estructura irregular, véase la Figura 16), fusionado con una arquitectura conforme a la norma y los criterios mínimos de confort, fue necesario iterar y dibujar en diversas ocasiones, probando así diversas soluciones. Cada iteración llevaba consigo un análisis de compatibilidad Arquitectura-Instalaciones-Estructura, que no es más que dibujar los cambios que se tendrían que tomar, si por ejemplo una columna cambiase sus dimensiones u orientación de forma radical (como efectivamente sucedió en diversas ocasiones). Esta serie de iteraciones se realizó a lo largo de todo el desarrollo del proyecto, teniendo más impacto la ubicación y tamaño de las columnas, la red de aguas negras y drenaje, y el acceso a las dependencias.

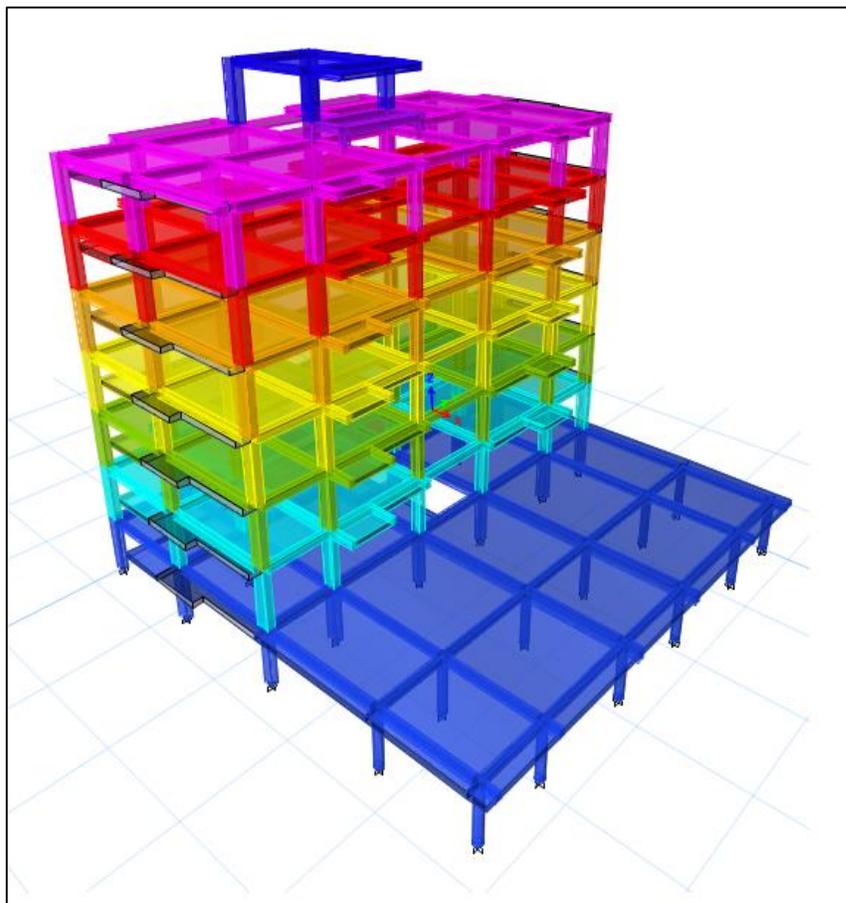


Figura 16. Vista 3D del modelo estructural preliminar.

Fuente: Autores.

En la fase intermedia (ver figuras 17 a 19) fueron realizados una serie de cambios importantes en el proyecto, entre los cambios que se pueden mencionar están los de motivos arquitectónicos, como la reubicación de los servicios en las áreas comunes, la recolocación de las piezas sanitarias (a fin de reducir los problemas Instalaciones-Estructura), y el redimensionamiento de dependencias y accesos a las mismas; en estructura se pueden mencionar el cambio en la orientación de la escalera (motivado por mayor facilidad de apoyo), y la reubicación de los ejes estructurales (principalmente para dar más espacio a los vehículos en planta sótano y por el cambio en la orientación de la escalera).

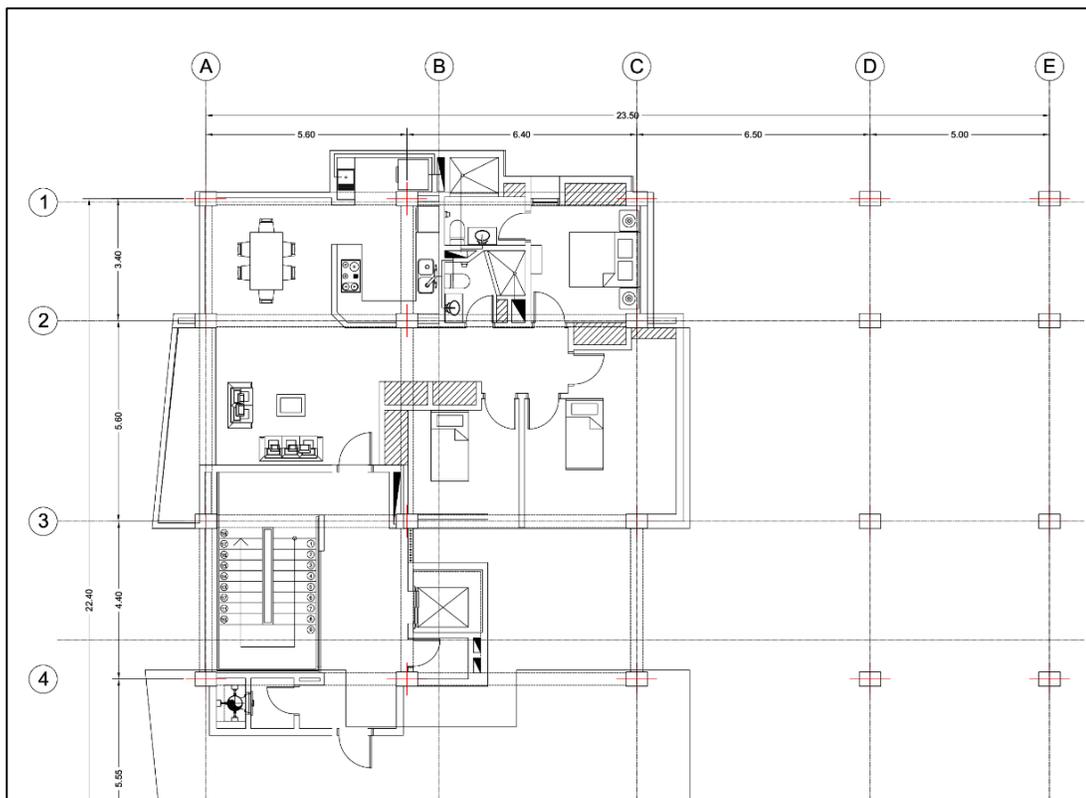


Figura 17. Cambios en planta alta en la fase intermedia.
Fuente: Autores.

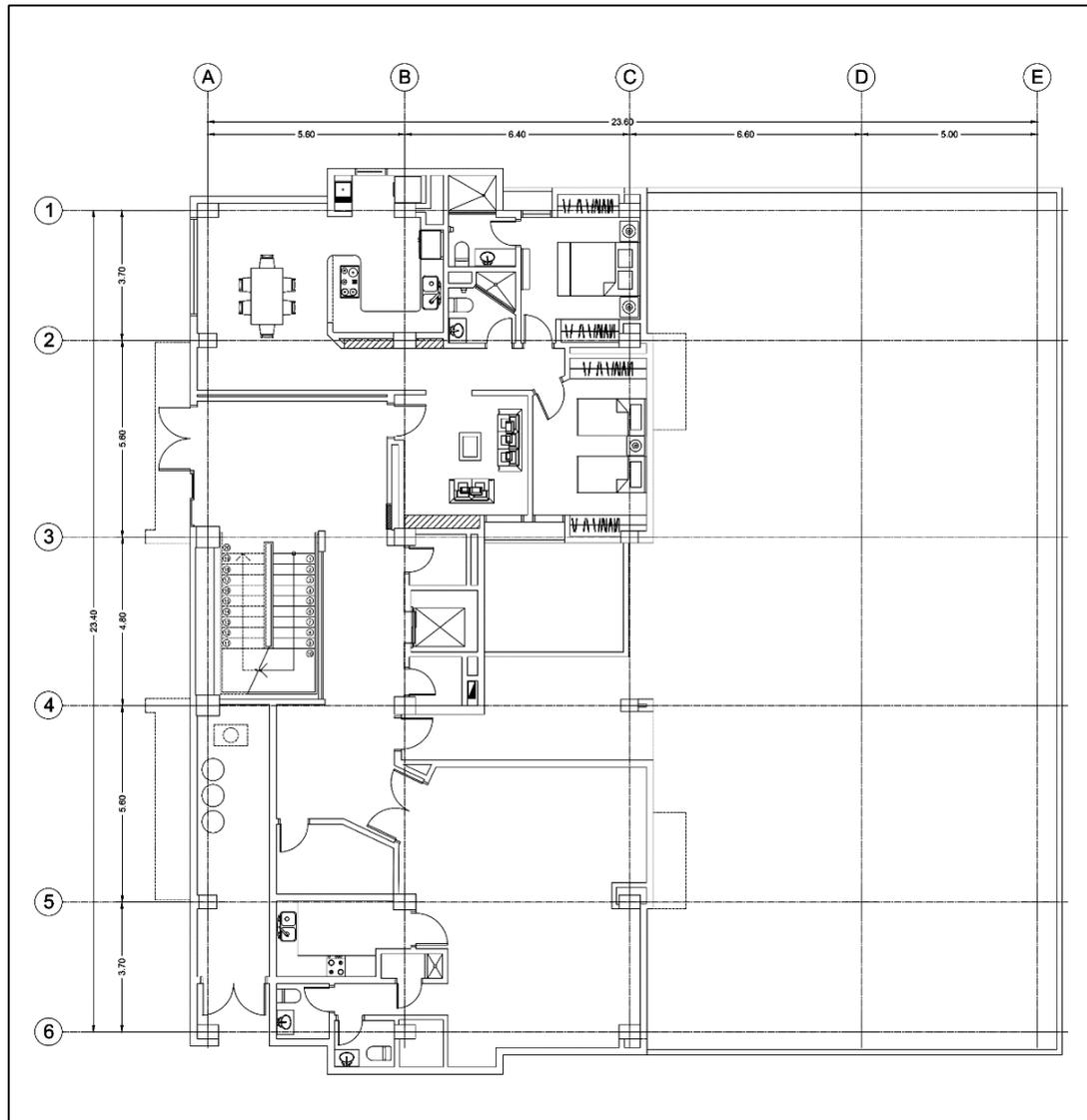


Figura 18. Planta baja en fase intermedia.

Fuente: Autores.

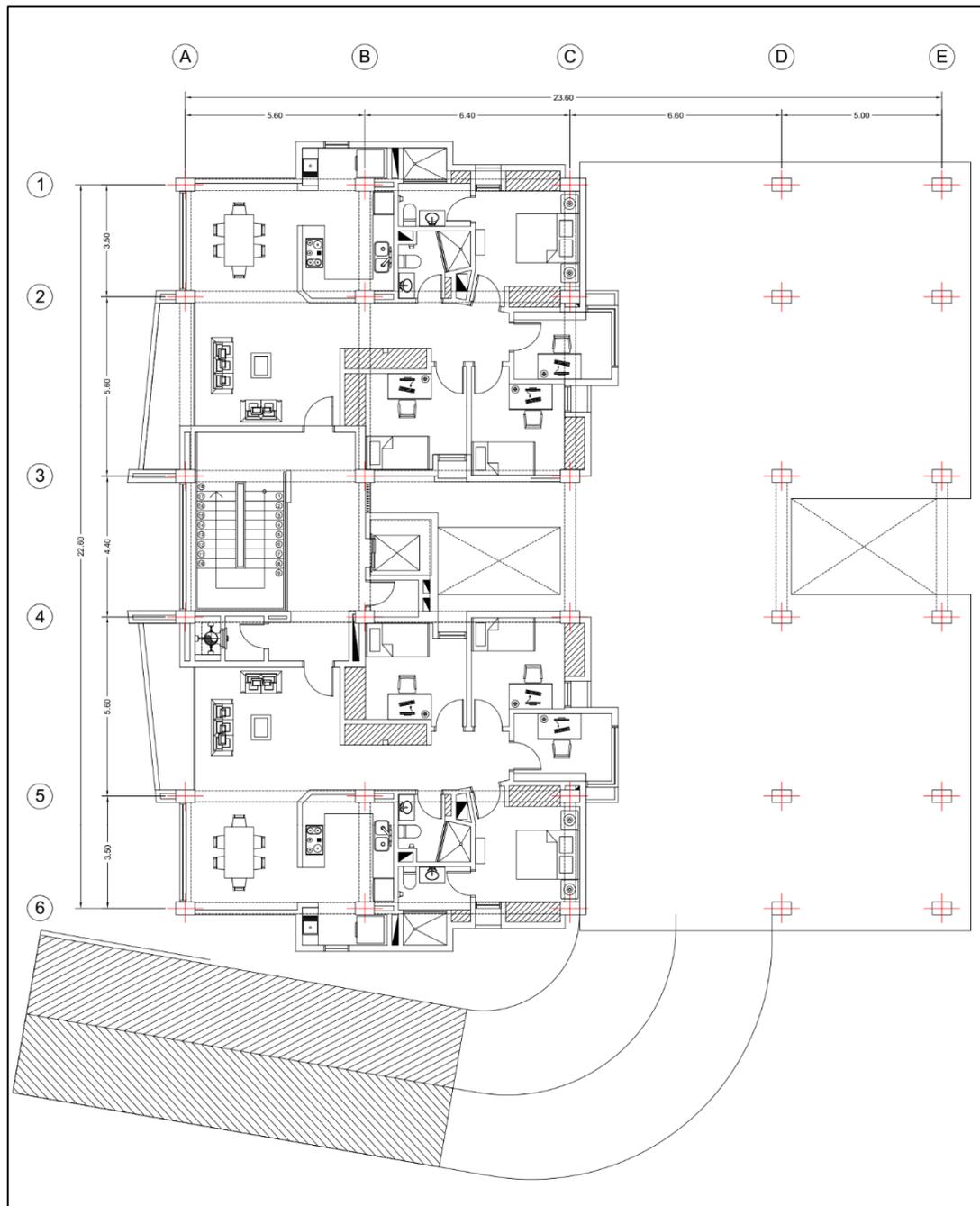


Figura 19. Planta alta en fase intermedia.
Fuente: Autores.

Otro aspecto que definió el proyecto fue el diseño de las losas (ver Figura 20) de la Torre Asada, pues hubo que tener en cuenta que el edificio consta de volados en

todos sus lados (hablando de plantas altas), y muchos de ellos tienen ventanas de gran altura que limitan directamente con las losas; con el fin de fusionar la estructura con la arquitectura (y teniendo en cuenta las posibles deformaciones en las losas por volados y escalera, la dirección de las luces más cortas, peso de la estructura, entre otros), se optó por una mezcla de losa nervada vaciada *in-situ*, unidireccional y bidireccional, con aligerado de arcilla de 20 cm de altura (para un espesor de losa total de 25 cm).

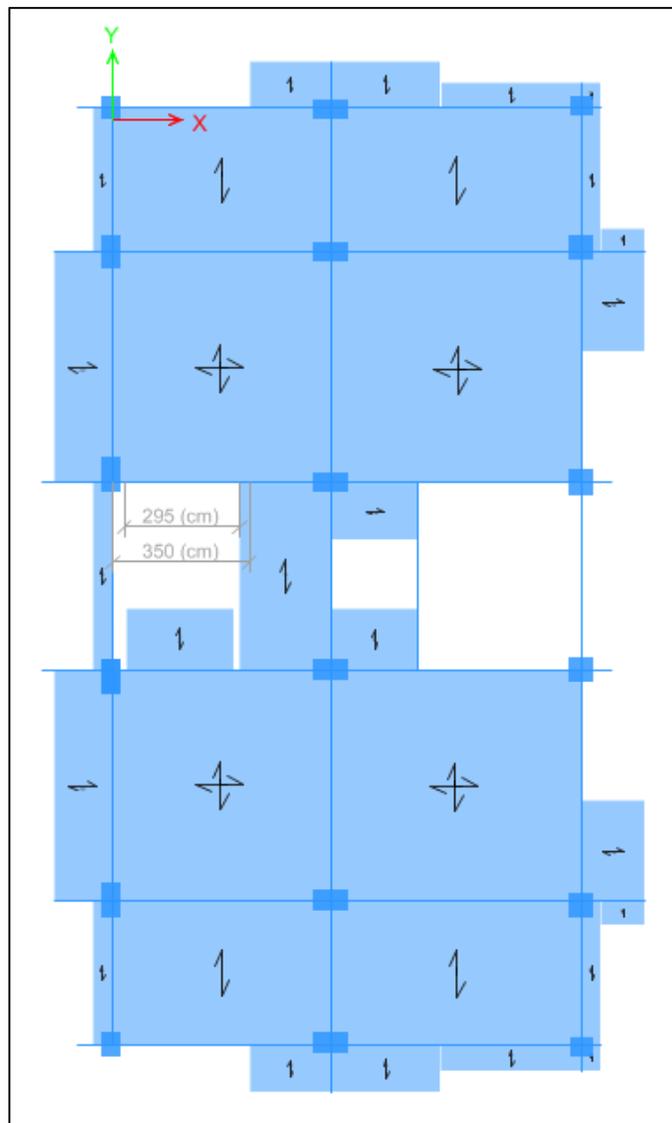


Figura 20. Vista de armado de nervios en P.A.

Fuente: Autores.

Por otra parte, el diseño de la red de aguas negras se realizó teniendo en cuenta una premisa, el de no atravesar en lo posible los elementos estructurales (como las vigas), más aún cuando los sitios en donde podría unirse la red 2 con la red 1 son zonas de confinamiento y los tubos en cuestión son de 4 pulg., generándose así dos subredes (como puede apreciarse en las figuras 21 y 22); se comprobó también que las distintas redes cupiesen en la losa. En consecuencia, se dividió para ello la red en cuatro secciones principales (dos por apartamento), las cuales se unirían en planta baja entre sí según correspondiese, y con las tuberías de las redes de planta baja. Los planos finales de detalle pueden ser vistos en el Anexo B.

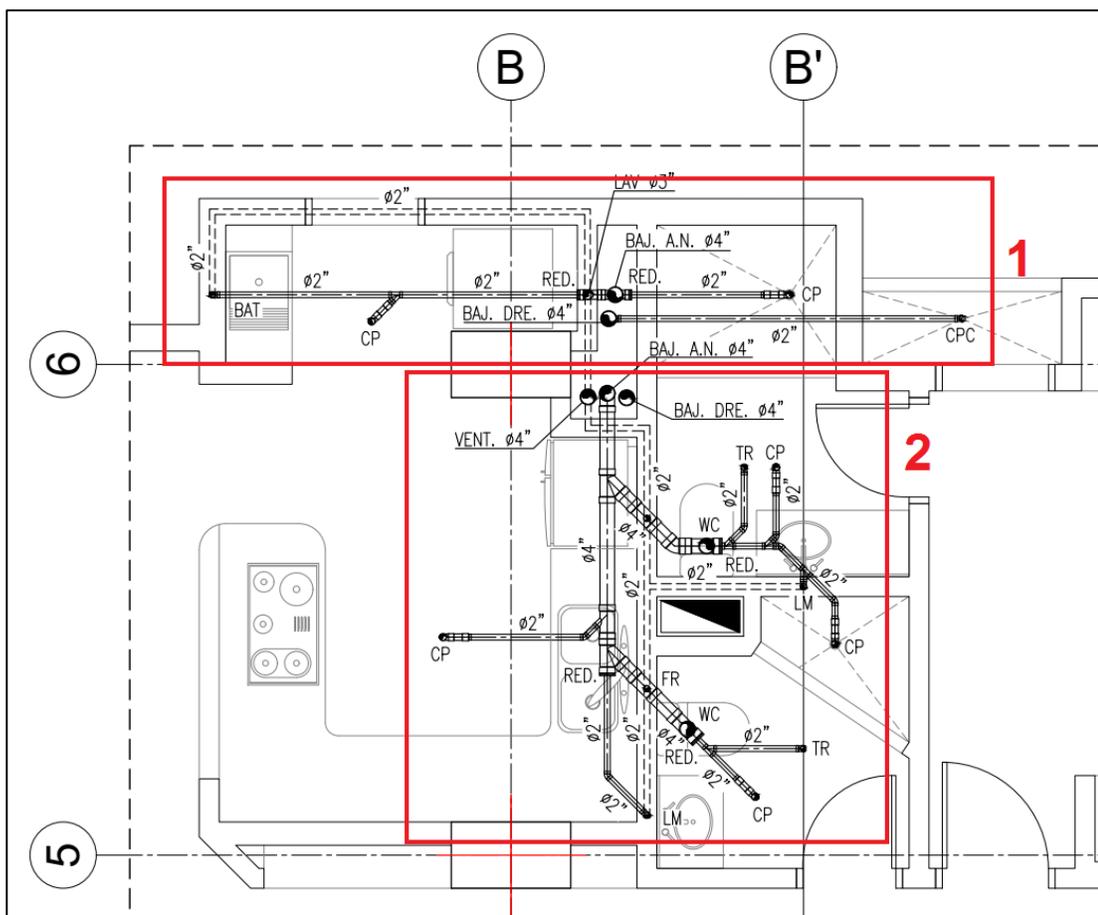


Figura 21. Vista de red de A.N. y drenaje en P.A.

Fuente: Autores.

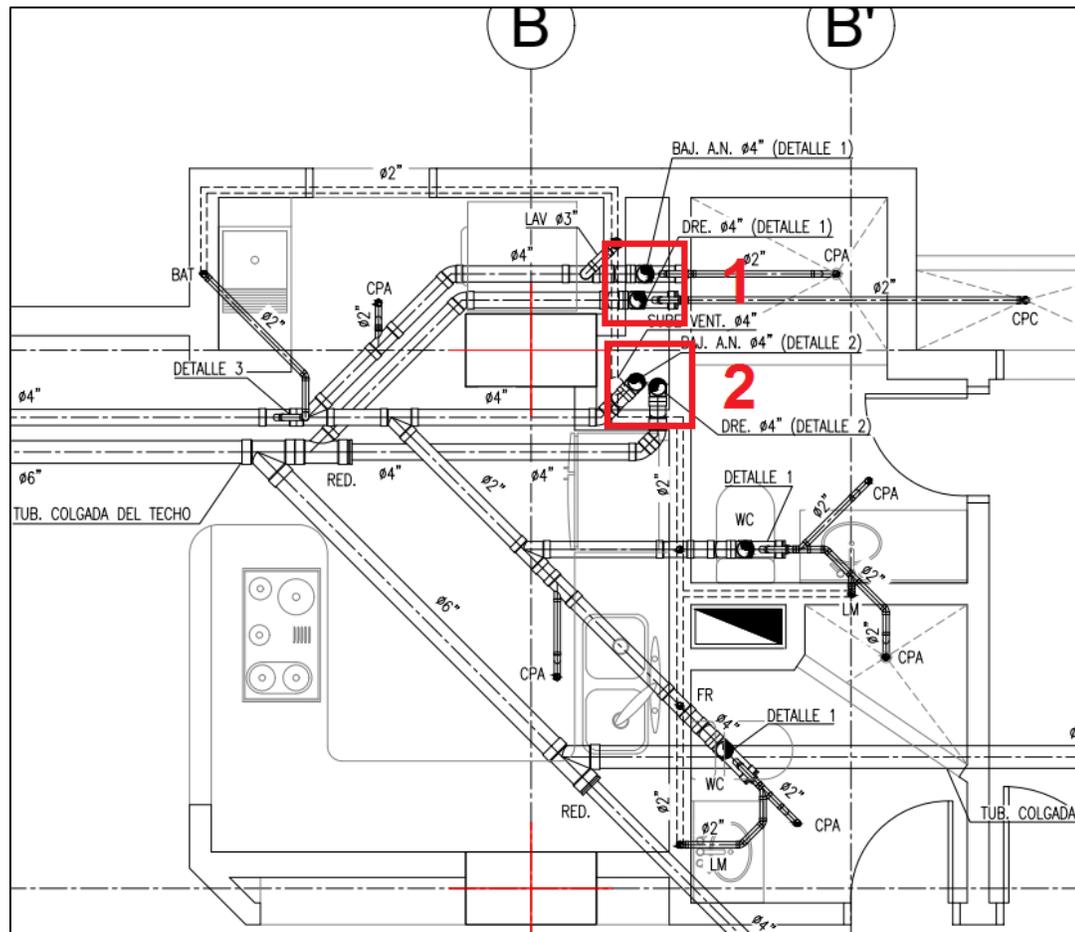


Figura 22. Vista de red de A.N. y drenaje en P.B.
Fuente: Autores.

4.1.2. Diseño con BIM-VDC (Torre Shinon)

4.1.2.1. Generalidades

El diseño en Revit comenzó con la definición de los objetivos y el Plan BIM (véase Tabla 9 y Figura 23) necesarios para un correcto modelado (para no caer en el agujero negro del modelado inútil del BIM, maximizar la calidad y rendimiento). Se analizó además la información proveniente de CAD, y se plantearon ideas básicas de cómo se podría optimizar aún más el diseño.

Tabla 9. *Objetivos BIM para el proyecto de la Torre Shinon.*

Prioridad (1 a 3) (1 más importante)	Descripción del objetivo	Usos potenciales del BIM
2	Incrementar la productividad	Revisiones del modelo. Coordinación 3D
3	Incrementar efectividad del proceso de diseño	Revisiones del modelo Coordinación 3D
1	Eliminar interferencias entre disciplinas	Coordinación 3D
2	Visualización 3D (presentación y coordinación con el cliente)	Revisiones del modelo Coordinación 3D

Fuente: Autores.

Luego de planteados los objetivos e ideas a incluir en la Torre Shinon, el próximo paso fue la configuración del área de trabajo, es decir, la creación de los niveles y rejillas para proceder con la importación de los planos antes realizados con CAD (véase la Figura 24) en los niveles de planta sótano (PS), planta sitio (PSS), planta baja (PB), planta alta 1 (P1), planta techo 1 (PT1), cuarto de máquinas de ascensores (PSM) y planta techo 2 (PT2); en los niveles intermedios esto no se hizo por ser niveles dependientes (es decir, idénticos) de P1, por lo que se podría copiar de este nivel.

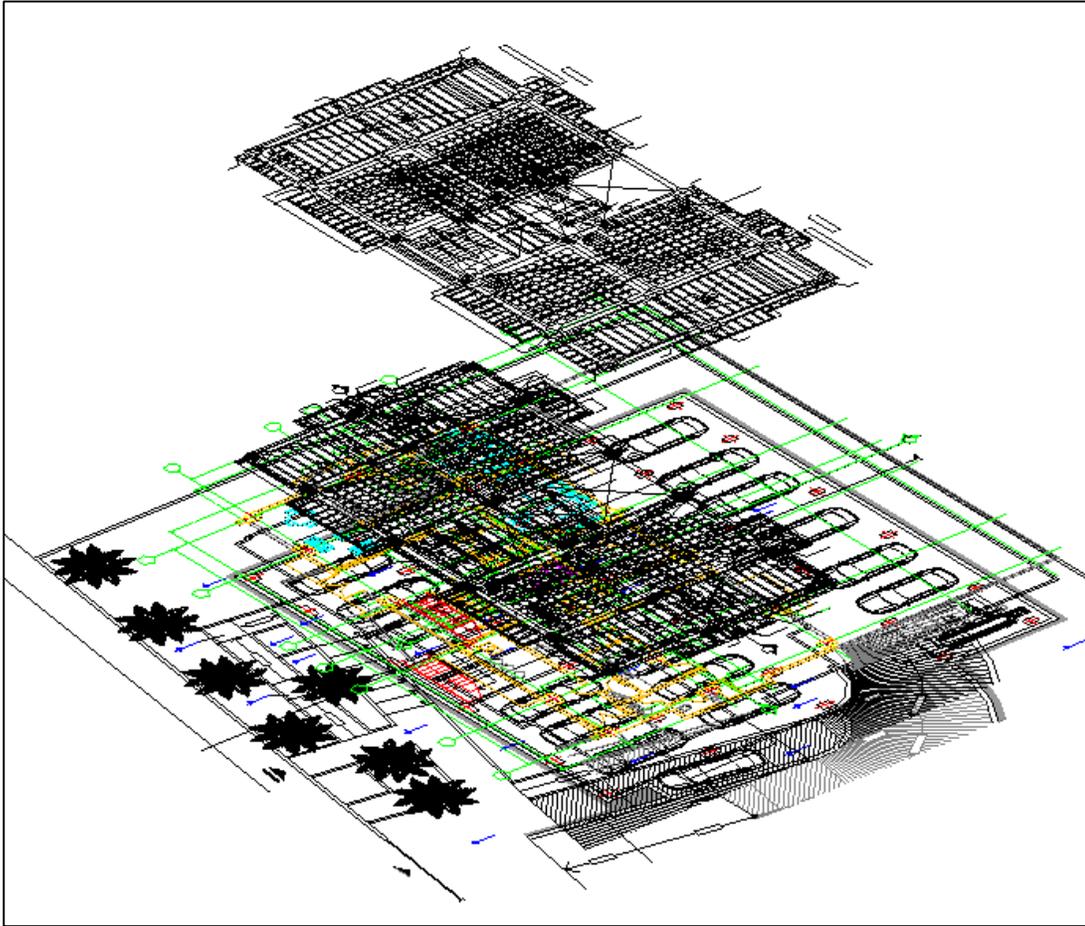


Figura 24. Importación de planos CAD a Revit.
Fuente: Autores.

4.1.2.2. El diseño

La siguiente fase del desarrollo del proyecto en Revit fue la definición del terreno y el sótano, continuando con los niveles superiores; se modelaron columnas, vigas, losas y paredes principales de todos los niveles a fin de obtener una primera vista general del proyecto en LOD 200 (véase la Figura 25), en multitud de ocasiones era necesario eliminar los elementos en los niveles intermedios cada vez que se deseaban aplicar cambios dependientes de P1 (esto con el fin de mejorar el rendimiento). En esta fase fueron aplicados cambios varios en la arquitectura tanto externa como interna.

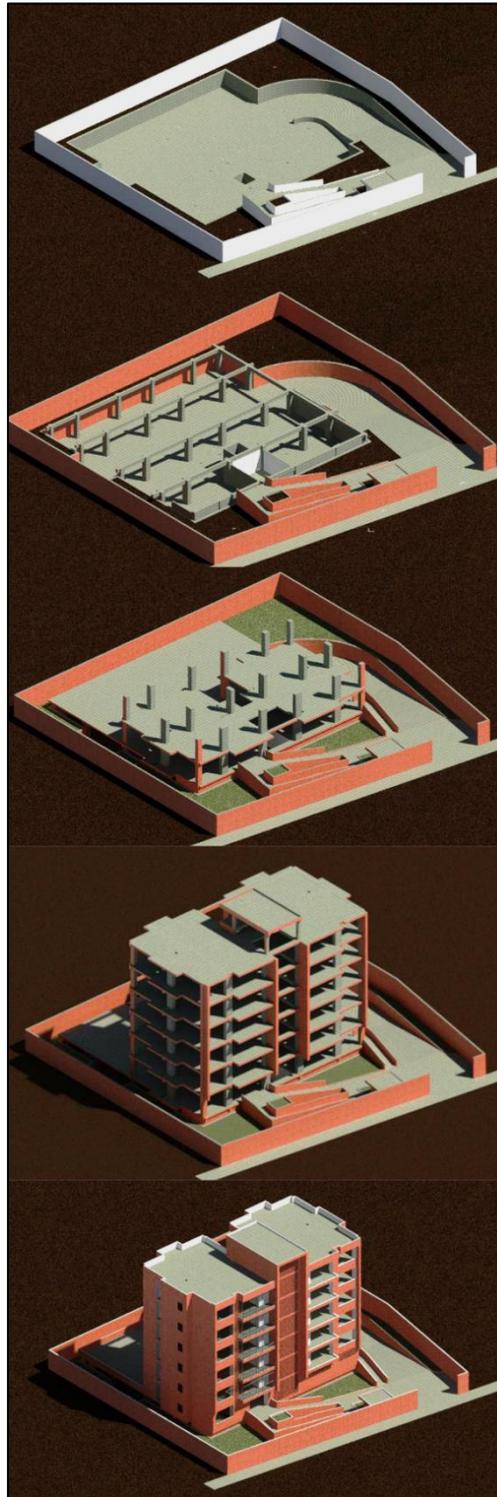


Figura 25. Fases del modelado inicial hasta LOD 200.
Fuente: Autores.

En la fase LOD 200 del modelo (es necesario recordar que esto no existe, sin embargo da una idea del estado general del modelo), fue utilizada de forma muy amplia la capacidad de renderizado de Revit, esto no sólo tiene la ventaja de ayudar a comunicarle el proyecto al cliente, sino que permite el entendimiento de la edificación principalmente por parte del profesional de arquitectura (véase la Figura 26), que usualmente es la disciplina que más peso tiene al inicio de un proyecto.

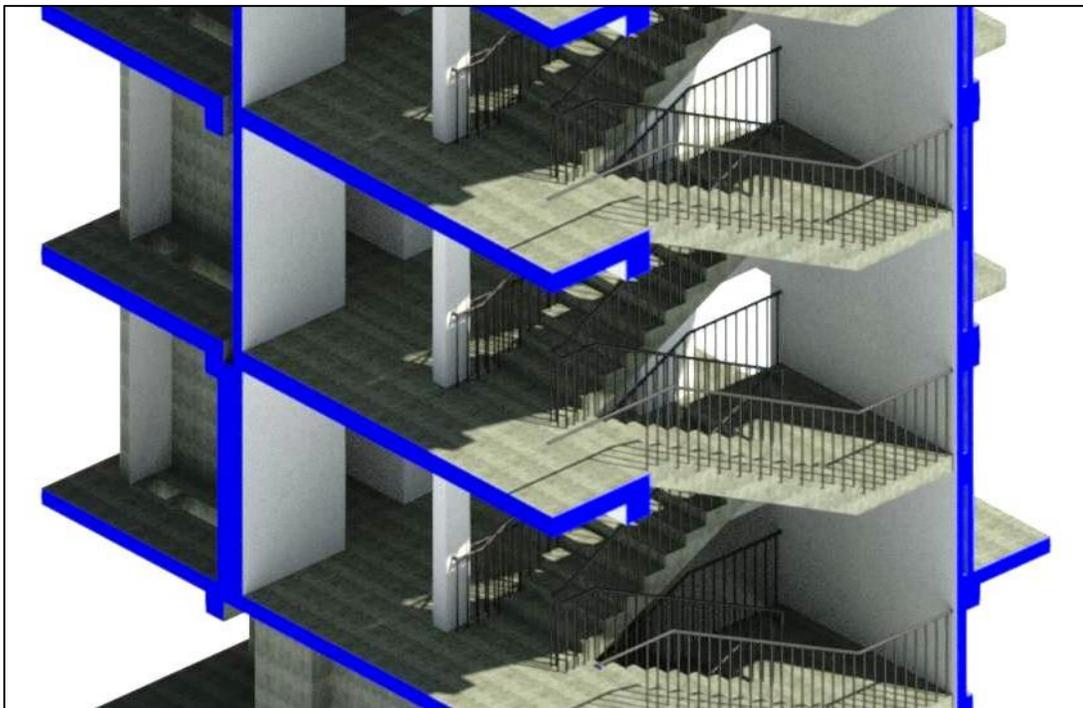


Figura 26. Sección de escalera y módulo de tránsito en LOD 200.

Fuente: Autores.

Uno de los aspectos que más definió el diseño de la Torre Shinon, fue el hecho de que la red de aguas servidas sobresalía de la losa; en la Torre Asada las losas nervadas son principalmente bidireccionales de 25 cm de espesor (el análisis de pendiente reveló que las losas podían contener tuberías de 4 pulg.), contienen aligerado de arcilla con un peso mínimo de 525 kg/m^2 (y 465 kg/m^2 en losas unidireccionales). En Revit, las tuberías sobresalían de la losa hasta 1 cm, esto fue así debido a dos razones

principales: (1) si bien existen en la realidad, en el programa no hay reducciones excéntricas, y (2) el inicio de la red es dependiente de la distancia mínima con respecto a los inodoros (WC) y no con respecto al inicio de la red (como se había considerado inicialmente en CAD). La red puede apreciarse en la Figura 28.

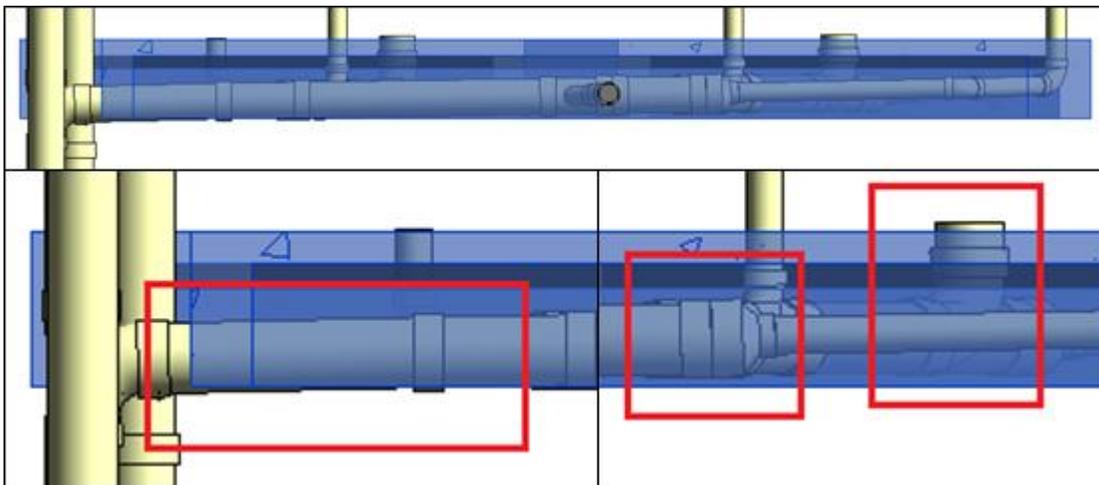


Figura 27. Vista transversal de tuberías de A.N. en planta alta.

Fuente: Autores.

Para solucionar este problema se realizó un cambio en el espesor de las losas, se eligió aligerado de anime de 25 cm de altura para un espesor total de 30 cm, y configuración unidireccional en casi la totalidad del área de losa (a excepción de los sitios que por problemas de deformación debidos a la existencia de volados o escaleras requieren de losas doblemente armadas), para un peso mínimo de 402.20 kg/m^2 (lo que representa una reducción del 23.40% en el peso de losas con respecto a la Torre Asada). Esto, junto a la elección de pintura sobre friso (en vez de las tablillas de arcilla consideradas inicialmente en CAD), reduce los requisitos de acero por sismo, ya de por sí numerosos en la Torre Asada. Las nuevas cargas y configuraciones de losa fueron introducidas en el modelo en ETABS, resultando en cambios en el acero de los elementos del proyecto.

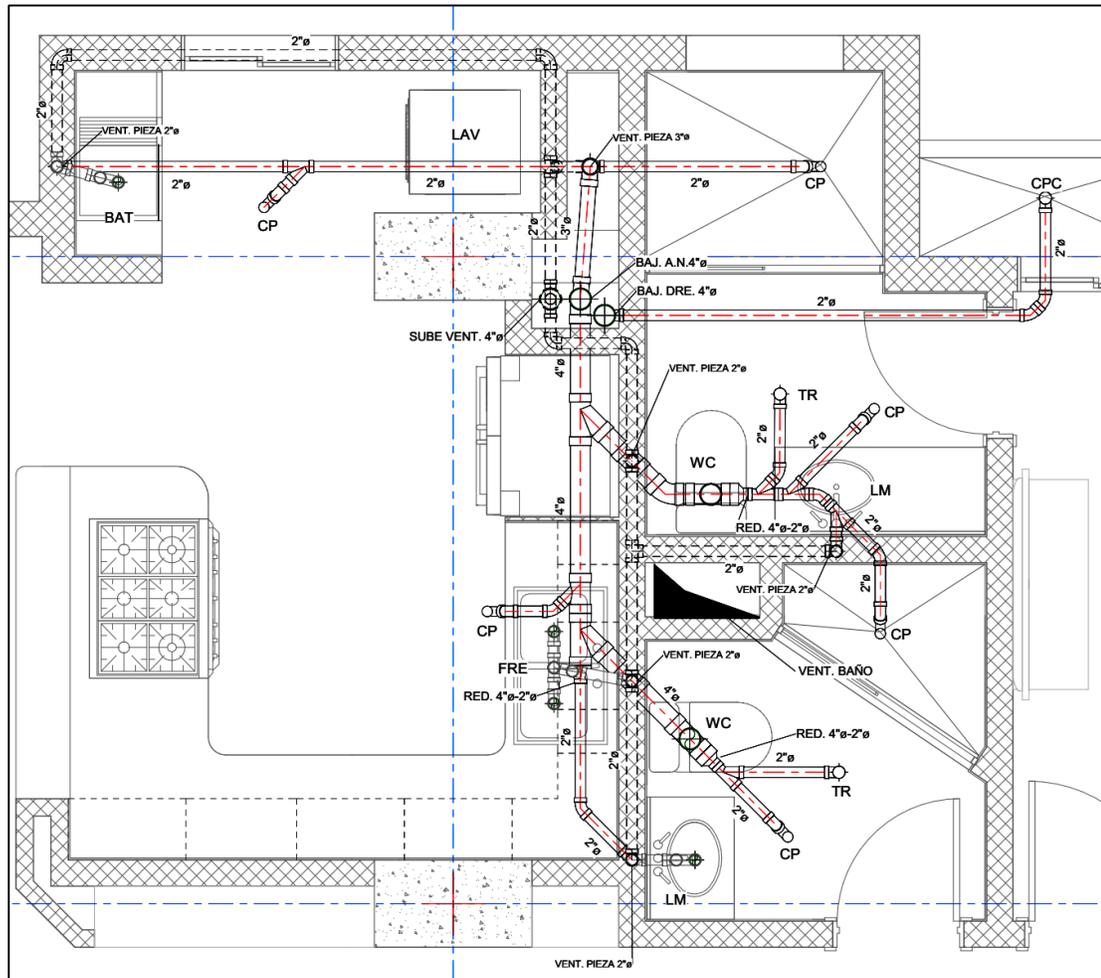


Figura 28. Red de A.N. en planta típica (PA) de la Torre Shinon.
Fuente: Autores.

Cabe necesario mencionar, que los aligerados en las losas fueron modelados como elementos de categoría ventana (pues es la forma en que pueden crear un vacío en la losa a fin de generar sus respectivos y correctos cómputos de concreto), inicialmente se le indicó al *software* que las ventanas debían cortar las losas, pero debido a que cada vez que se colocaba un aligerado, o se interactuaba con la losa en forma alguna, el programa tardaba minuto y medio en responder, se optó por cambiar los aligerados para que no cortaran las losas (de forma temporal), siendo al momento de generar la documentación del proyecto, cuando se les añadiera nuevamente la

característica en cuestión. Un problema similar se encontró, al modelar los bloques de ventilación y las rejas del módulo de escaleras, y es que modelar elementos complejos carga más el *software* que cuando se utilizan cientos de ellos de un tipo más sencillo.

Luego de superados los principales problemas en la estructura y arquitectura (además de los provocados por el programa en sí), se procedió a aumentar los niveles LOD de los elementos en el modelo, añadiendo nuevas características y completando detalles que no fueron especificados en la Torre Asada hasta llegar al LOD deseado. Los distintos elementos en el modelo difieren en cuanto a los niveles LOD, por ejemplo, a fin de disminuir el modelado en Revit no se indican los macizados de las losas debido a tuberías, dejando esta actividad para la ejecución del proyecto. Finalizado el modelado se procedió a la elaboración de la documentación pertinente (como los planos y los cómputos de concreto y aligerados). Los niveles LOD resultantes se listan en las tablas a continuación. Los planos pueden ser hallados en el Anexo C.

Tabla 10. Niveles LOD en elementos de arquitectura de la Torre Shinon

Elemento	Nivel LOD
Muros	LOD 200
Pisos	LOD 200
Puertas	LOD 300
Ventanas	LOD 300
Mobiliario	LOD 200 y LOD 300
Barandas	LOD 200
Luminarias	LOD 300
Aparatos Sanitarios (A.B.)	LOD 200
Aparatos Sanitarios (A.N. y Drenaje)	LOD 300
Aparatos del Sistema Contra incendios	LOD 200

Fuente: Autores

Nota: los *aparatos* se refieren a componentes como regaderas, inodoros, cajas de mangueras del sistema contra incendio, etc.

Tabla 11. Niveles LOD en elementos de instalaciones MEP de la Torre Shinon

Elemento	Nivel LOD
Ascensores	LOD 100
Redes sanitarias (A.B.)	LOD 100 y LOD 200
Redes sanitarias (A.N. y drenaje)	LOD 350
Redes del sist. contra incendio	LOD 100 y LOD 200
Ductos de gas	LOD 100
Ductos de basuras	LOD 300
Inst. Eléctricas y Data	LOD 100

Fuente: Autores

Tabla 12. Niveles LOD en elementos estructurales de la Torre Shinon

Elemento	Nivel LOD
Sistema de fundaciones	LOD 400
Columnas	LOD 400
Vigas	LOD 400
Losas	LOD 350
Placas metálicas	LOD 400
Componentes no estructurales	LOD 200

Fuente: Autores

Nota: los componentes no estructurales hacen referencia a los aligerados de losas.

1.2. Resultados

1.2.1. Calidad de presentación

Al hablar de la calidad de los planos (y no del desarrollo del proyecto) se puede observar que ambos software tienen sus ventajas y desventajas intrínsecas (ver figuras 29 a 32); en AutoCAD, muchas veces representar cualquier cosa y dejar indicaciones de formas (por ejemplo, superficies, objetos que no están realmente, etc.) es más rápido y a veces sencillo, mientras que comúnmente en Revit el objeto se debe modelar (aunque también se puede recurrir a dibujo 2D un poco menos avanzado que en CAD), también se puede recurrir a importaciones CAD para representar algunos objetos, no obstante, estas deben ser utilizadas para construir elementos en Revit, y no para aparecer en planos, pues así se pierden capacidades BIM.

En el caso de las anotaciones, en AutoCAD se pueden utilizar bloques para colocar anotaciones o cuadros de texto, no obstante, el colocarlos manualmente muchas veces genera que el valor de la anotación no sea el correcto, en Revit, existen muchos tipos de anotación por categoría, los cuales cambian automáticamente según el elemento a detallar, por lo cual no fue difícil el detallado de aceros, muros, tuberías, conexiones, entre otros. Gráficamente, la diferencia entre un plano generado con un programa y otro con otro es muy variada (a veces es casi nula y en otras abismal).

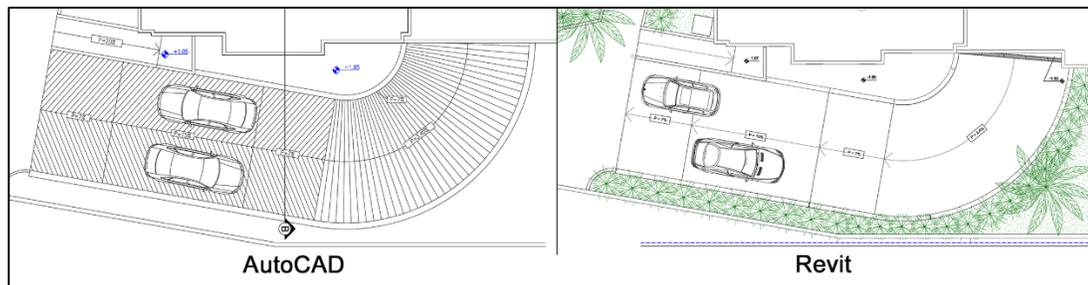


Figura 29. Detallados que llevan mucho tiempo o no quedan bien en AutoCAD y Revit.
Fuente: Autores.

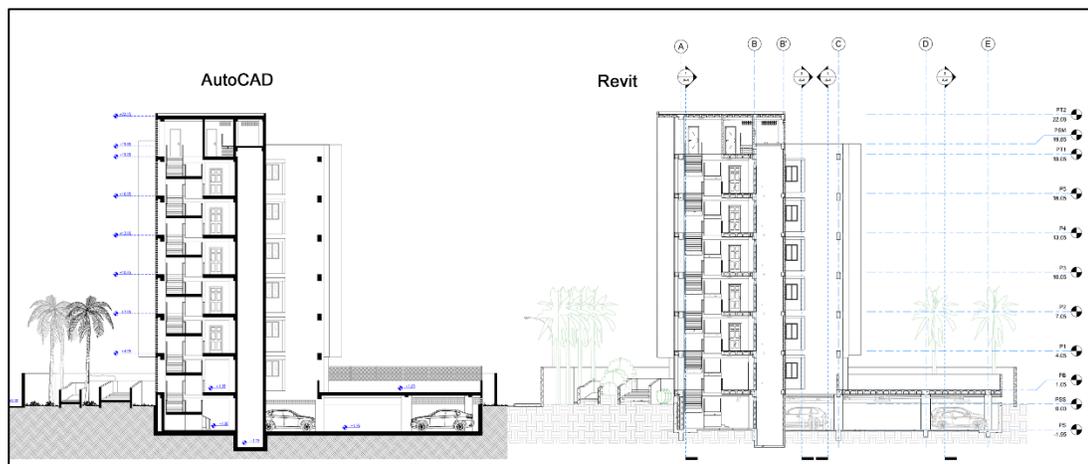


Figura 30. Comparación de vistas transversales con AutoCAD y aquellas hechas con Revit.
Fuente: Autores.

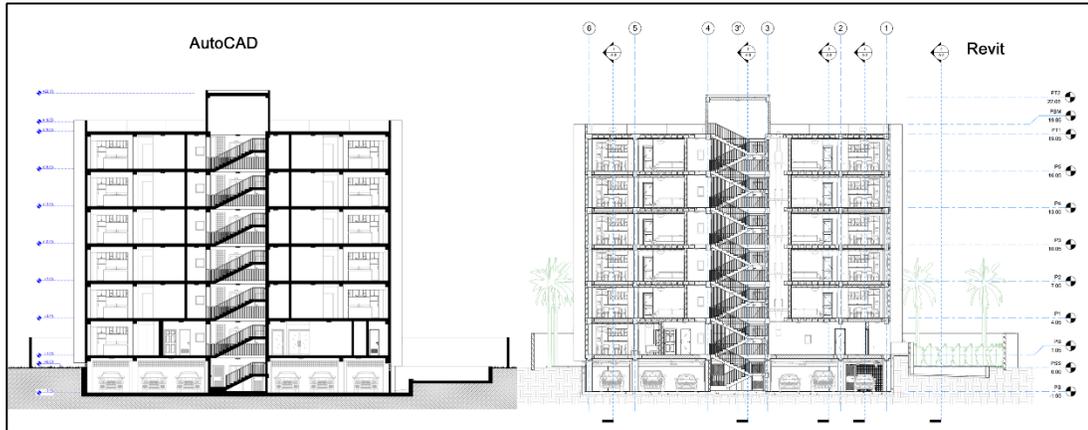


Figura 31. Comparación de vistas longitudinales con AutoCAD y aquellas con Revit.
Fuente: Autores.

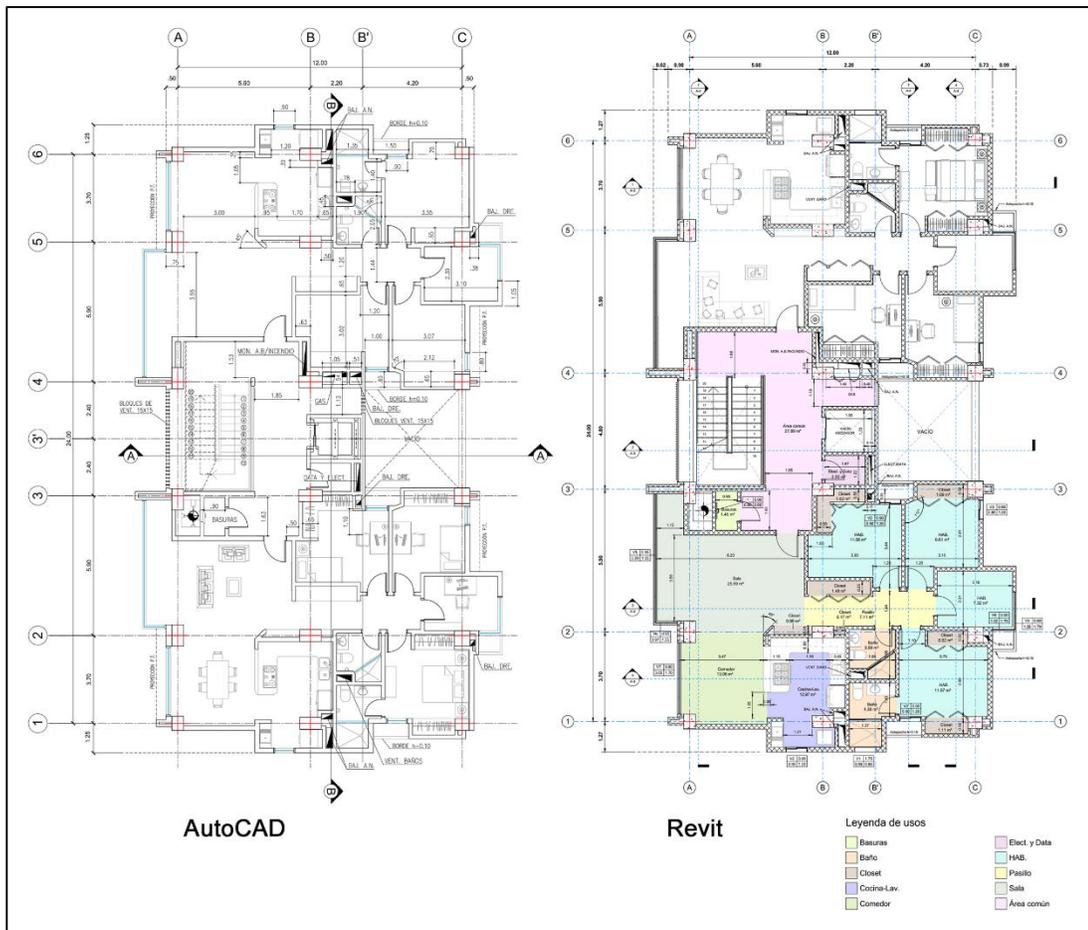


Figura 32. Comparación de plantas realizadas en AutoCAD y aquellas con Revit.
Fuente: Autores.

En el caso de las instalaciones, las diferencias son más notorias (véanse las figuras 34 a 36), principalmente por el añadido del 3D en Revit, además de la capacidad de trabajar con familias y sus tipos (categorías de elementos, su equivalente en CAD es el bloque y en menor medida, el grupo), arrastrándolos conforme fuese necesario. Es por tal motivo, que en el caso de las redes de aguas negras y drenaje de planta baja de la Torre Shinon, fue posible jugar con las distintas configuraciones imaginables, resultando en configuraciones mucho más óptimas que en su contraparte, la Torre Asada. No obstante, es importante mencionar el caso de las familias de reducciones excéntricas, que no existen por defecto en Revit por los momentos (o al menos su modelado es demasiado difícil para ser óptimo), razón que motivó en parte, el aumento de las losas de entrapiso, de 25 a 30 cm.

A fin de representar correctamente las tuberías en CAD, de mejorar el rendimiento y detectar interferencias más fácilmente, se trabajó con tuberías de tamaño real (o *filled*), para lo cual se dibujaron piezas sanitarias utilizándose la opción de agrupar para un mejor desempeño (véase la Figura 33). Las piezas comerciales a utilizar fueron los del catálogo PAVCO.

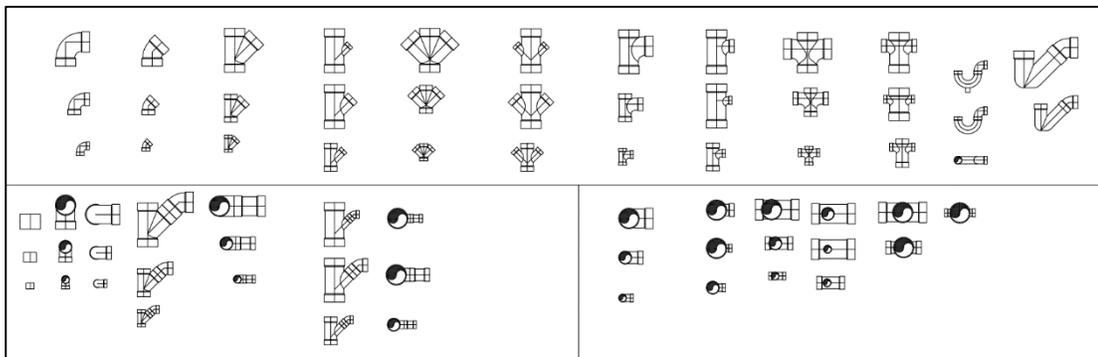


Figura 33. Catálogo PAVCO de conexiones sanitarias dibujadas como grupo en CAD.

Fuente: Autores.

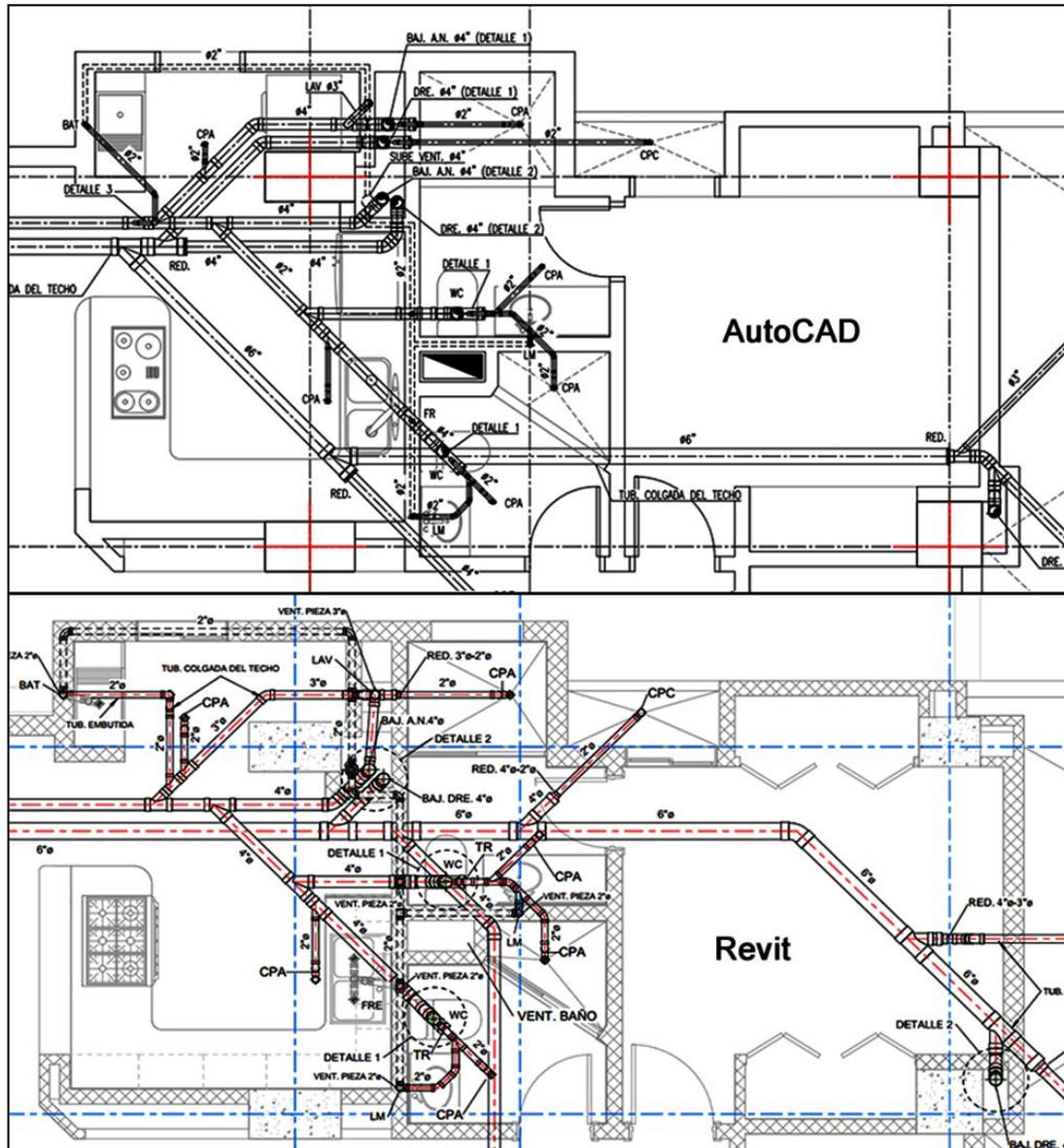


Figura 34. Comparación entre redes de A.N. en P.B. con AutoCAD y aquellas con Revit.
Fuente: Autores.

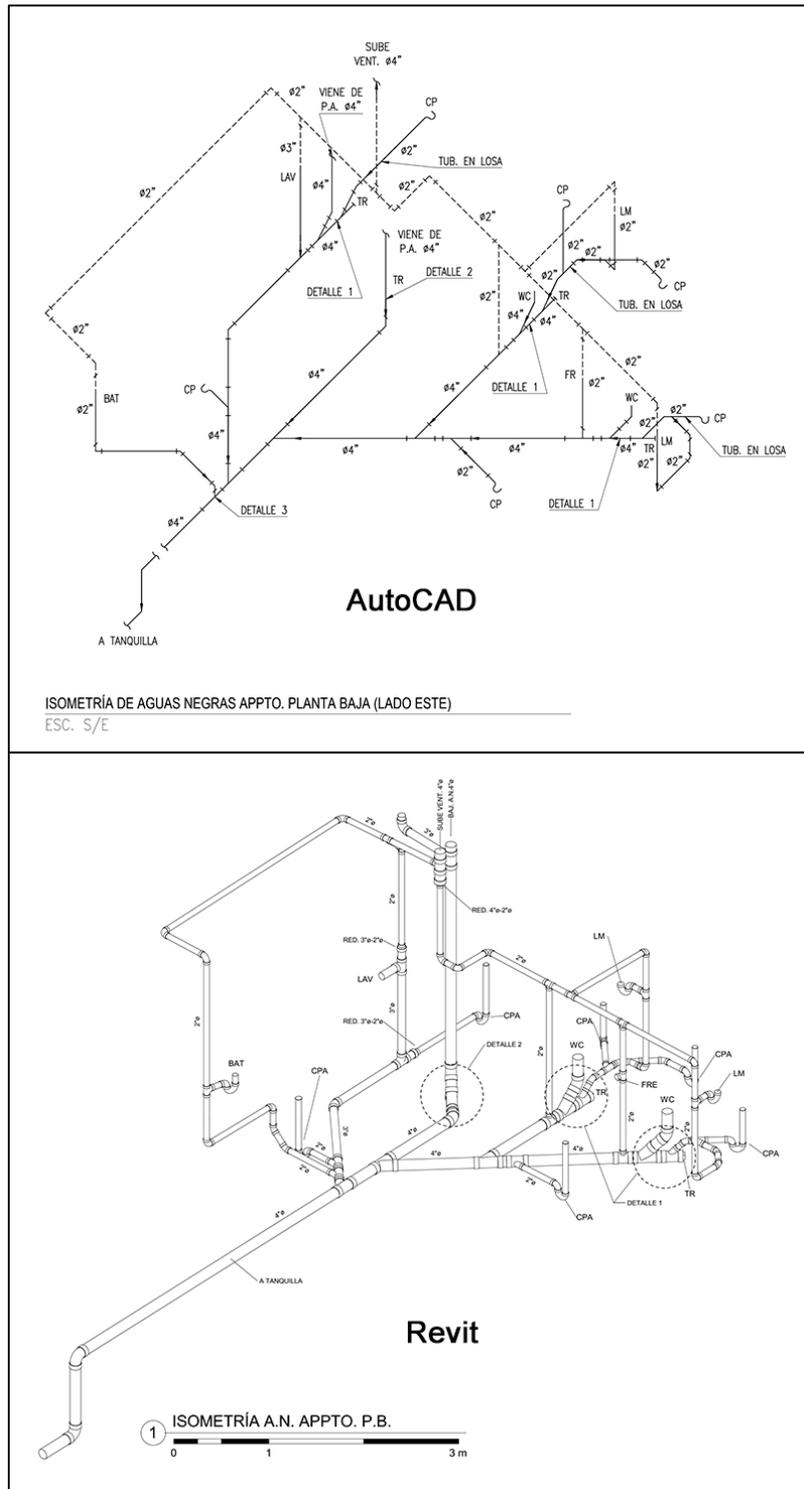


Figura 35. Comparación de isometrías en AutoCAD vs Revit.
Fuente: Autores.

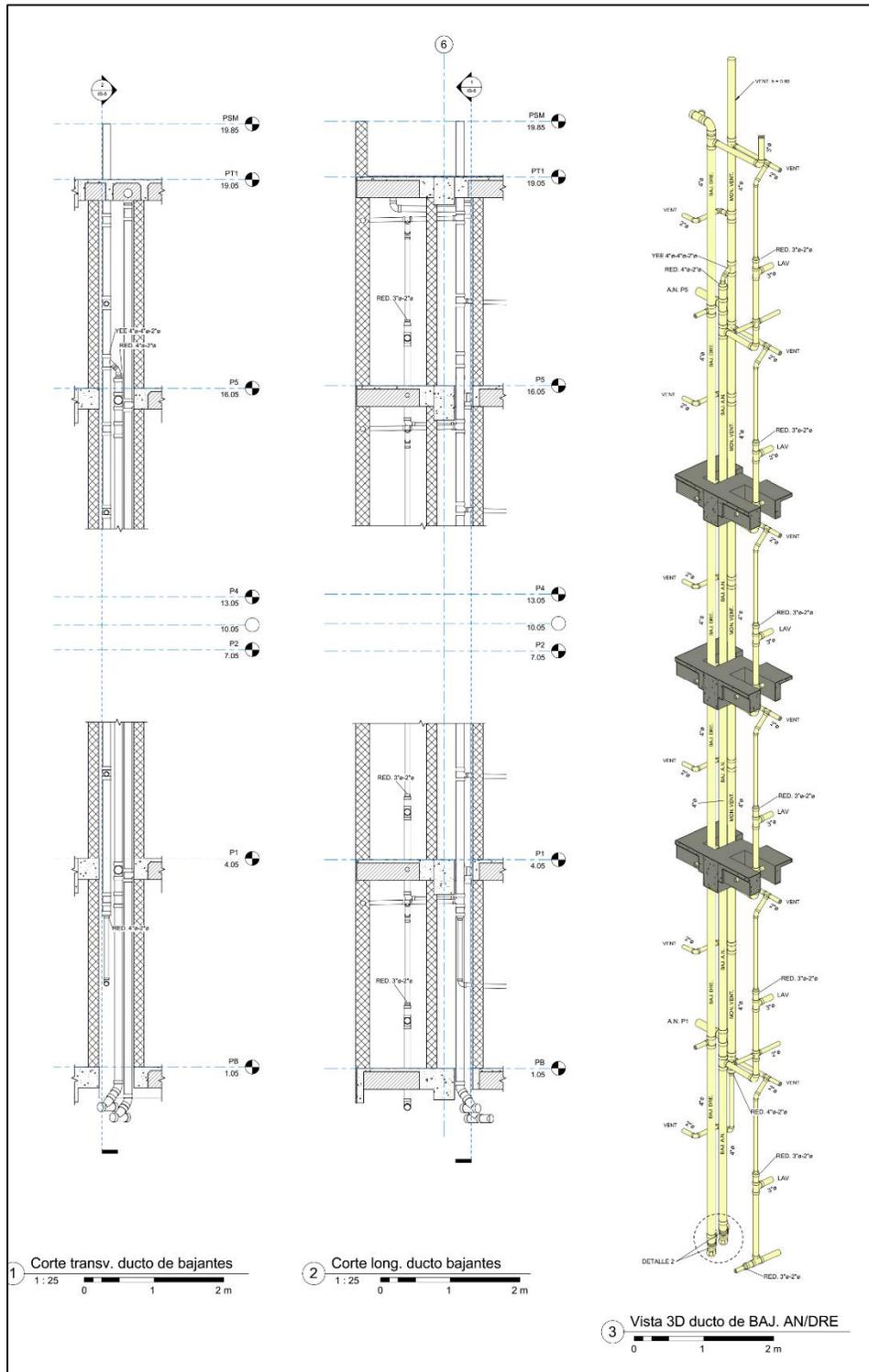


Figura 36. Vistas transversales y 3D del ducto de bajantes/montantes (Revit).
Fuente: Autores.

En los detallados de acero de refuerzo y de acero estructural fue notable la mejora sustancial en su calidad y detalle (véanse las figuras 37 a 40), ya no solo se indica la posición de los mismos de forma anotativa, sino que ahora es posible verlos casi en su forma real, lo que proporciona mejor información al calculista y a los encargados de poner en obra el proyecto.

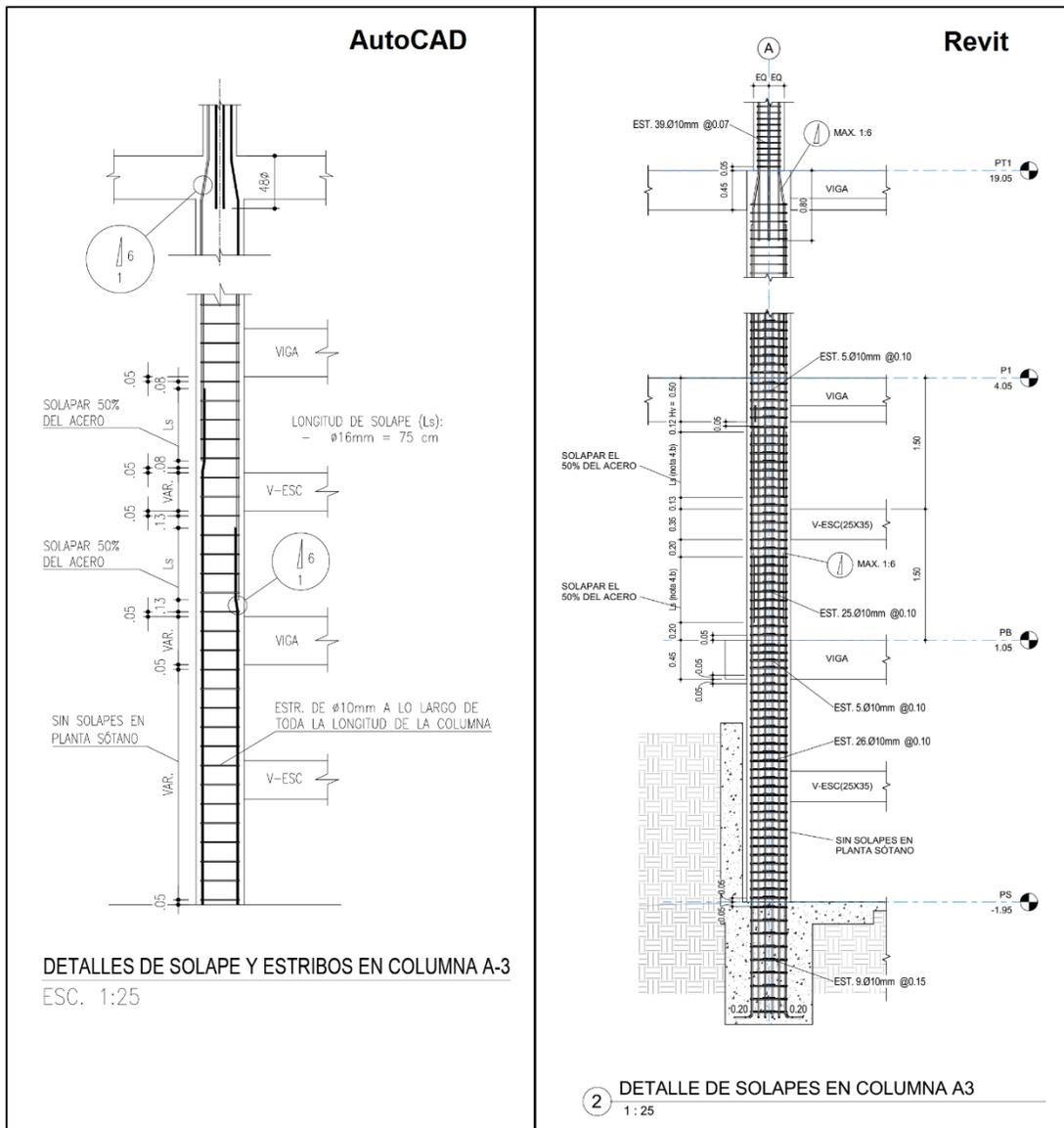


Figura 37. Detalles de columnas en CAD y BIM
Fuente: Autores.

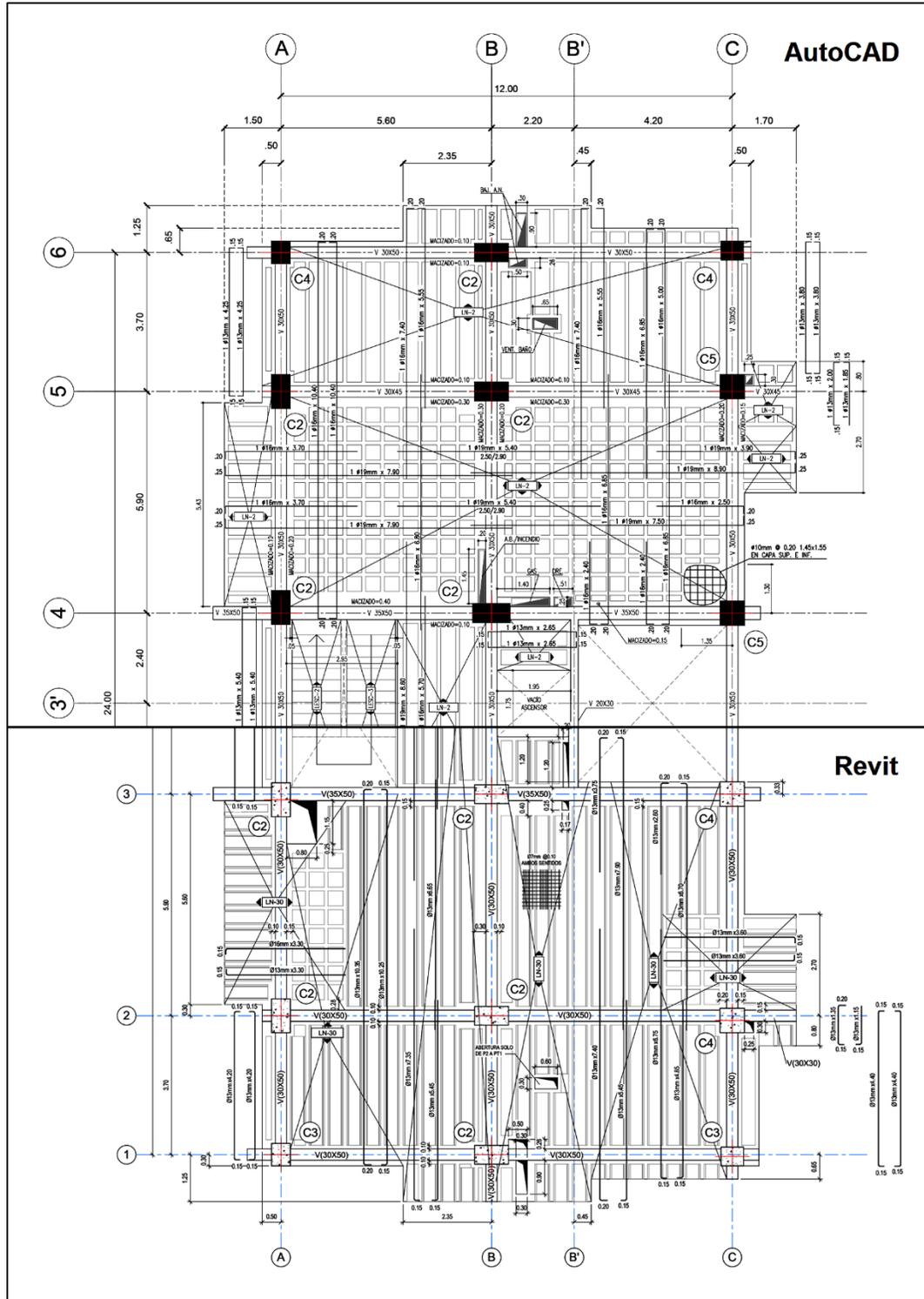


Figura 38. Detalle de armado de acero en losa de P.A. en CAD y BIM
Fuente: Autores.

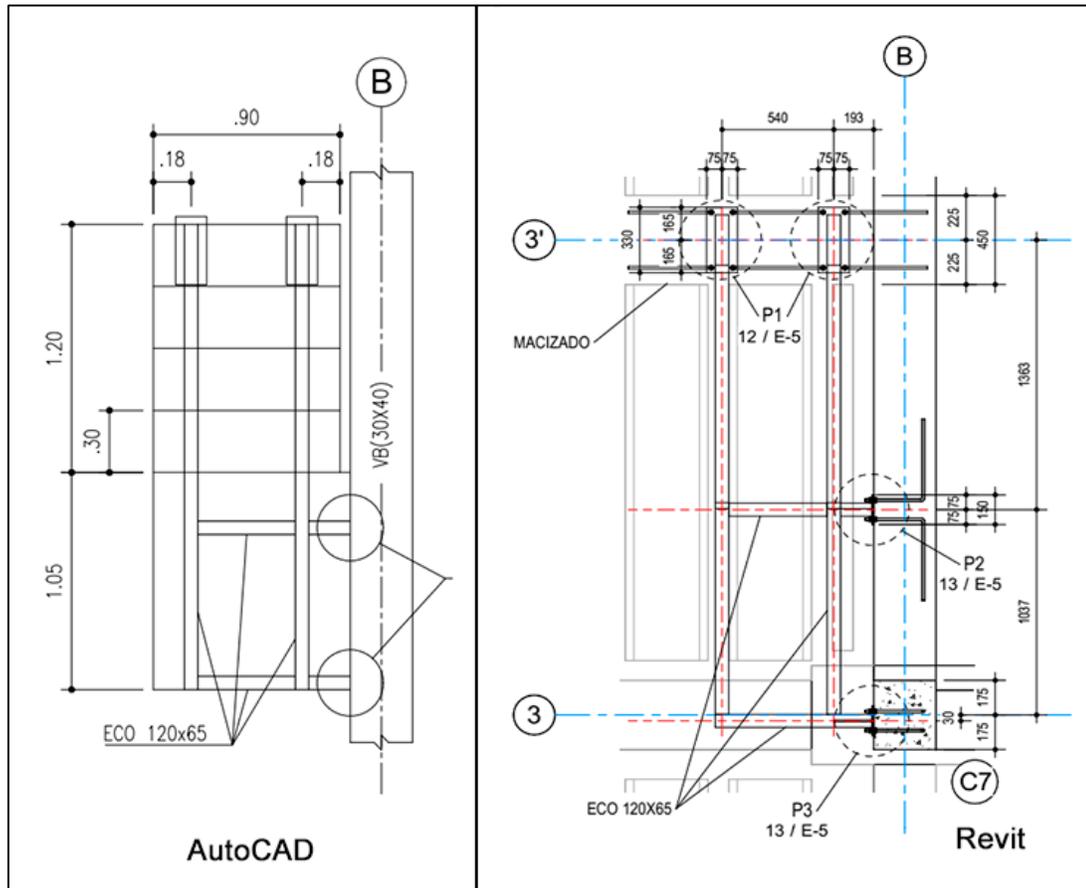


Figura 40. Escalera de PT1 a PSM en CAD y BIM

Fuente: Autores.

Otro aspecto que pudo ser abordado de mejor manera en el detallado de los aceros de refuerzo, fue el cambio de sección de columnas en PT1 (en los ejes A3, A4, B3 y B4), siendo la solución en Revit la más óptima, realista y fácil de comprender (ver Figura 41); nuevamente fueron determinantes las capacidades de visualización y diseño paramétrico 3D de un programa BIM.

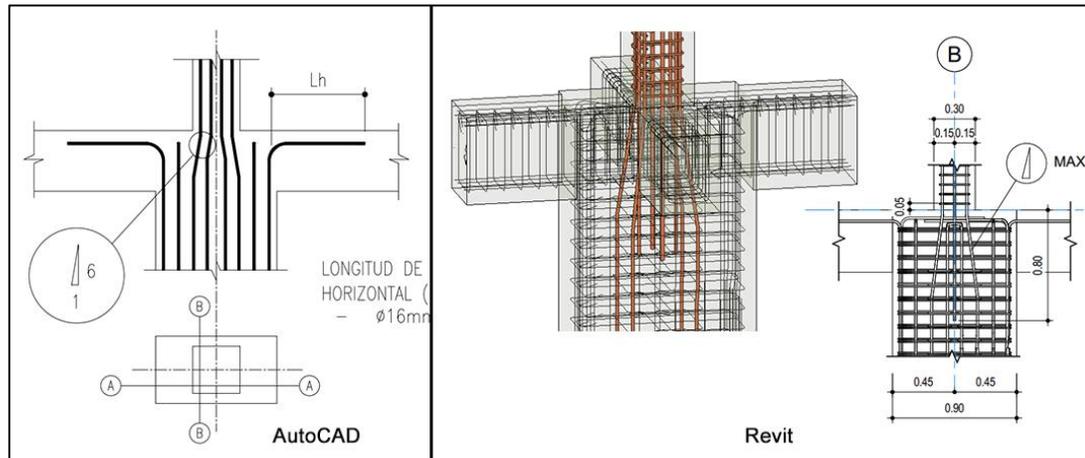


Figura 41. Cambio de sección de columnas en PT1.

Fuente: Autores.

La principal diferencia entre CAD y BIM estuvo marcada por la casi imposibilidad de AutoCAD de dibujar los aceros con su volumen real, por lo que se optó por detallado unifilar (salvo en ocasiones especiales); en Revit, es posible cambiar entre unifilar y relleno (o *filled*) con solo un botón (los planos fueron realizados con la segunda configuración); esta herramienta fue de especial ayuda en mejorar en gran manera el detallado de solapes de vigas y columnas (ver Figura 42). Adicionalmente, se tiene que en AutoCAD es común ver anotaciones de longitudes de aceros hechas con cuadros de texto, en Revit esta no parece ser una buena opción, por lo que se realizaron las mismas con cotas de líneas blancas que hacen referencia a los dobleces, y anotaciones automáticas también conocidas como *Tags*, reduciendo el error humano en los planos en gran medida.

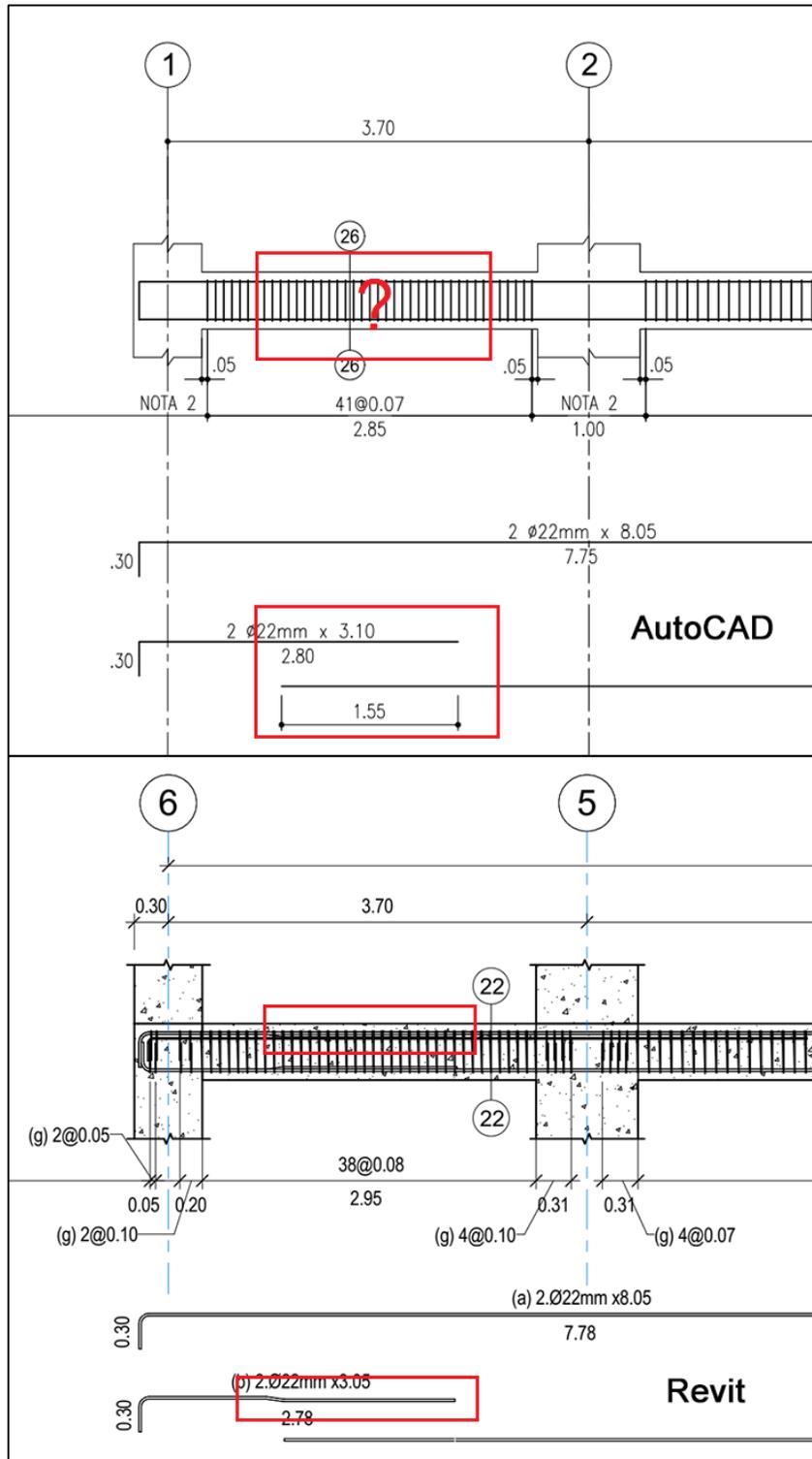


Figura 42. Solapes de aceros en vigas en CAD y en BIM
 Fuente: Autores.

1.2.2. Generación de datos (output)

Una de las capacidades que distingue a un *software* BIM de uno CAD, es el hecho de que en este último, no es posible obtener más datos que los que pueden ser contados en el espacio de trabajo. En BIM, el programa reconoce los elementos y sus características (como materiales, dimensiones, tipo, etc), lo que crea capacidades de generación de datos inexistentes en CAD, tal es el caso de (por ejemplo), los cómputos de concreto o las tablas de columnas.

En el caso de los cómputos de materiales (véase la Figura 43), fue sencillo obtener las cantidades de concreto de los elementos y los aligerados en losas. Cabe mencionar, que a pesar de ser posible el cálculo, no están los cómputos de acero, pues sería necesario modelar todo el acero del edificio, y si bien se estima que un tercio se puede copiar, el modelar lo restante así como el ajuste de lo copiado, provocaría una abismal pérdida de rendimiento (tiempo y fluidez del *software*), por lo que sólo se modeló en lugares clave que reflejan la realidad de la edificación; no obstante, si se desea continuar a la siguiente dimensión BIM (el análisis 4D), es preciso su modelado. Por otra parte, fue posible la creación de tablas de columnas automáticas en Revit (en CAD estas deben hacerse manualmente con una tabla de texto), reduciendo en gran medida el error humano y aumentando el rendimiento (ver Figura 44).

VOLUMEN DE CONCRETO DE COLUMNAS					VOLUMEN DE CONCRETO DE COLUMNAS					VOLUMEN DE CONCRETO DE COLUMNAS				
Nivel base	Nivel superior	Ubicación	Sección	Volumen	Nivel base	Nivel superior	Ubicación	Sección	Volumen	Nivel base	Nivel superior	Ubicación	Sección	Volumen
PS	PB	B-6	C2	1.39 m³	P1	P2	A-4	C2	1.35 m³	P4	P5	B-2	C2	1.35 m³
PS	PB	B-5	C2	1.39 m³	P1	P2	A-3	C2	1.35 m³	P4	P5	B-3	C2	1.35 m³
PS	PB	B-4	C2	1.39 m³	P1	P2	B-1	C2	1.35 m³	P4	P5	B-4	C2	1.35 m³
PS	PB	B-3	C2	1.39 m³	P1	P2	B-2	C2	1.35 m³	P4	P5	B-5	C2	1.35 m³
PS	PB	B-2	C2	1.39 m³	P1	P2	B-3	C2	1.35 m³	P4	P5	B-6	C2	1.35 m³
PS	PB	B-1	C2	1.39 m³	P1	P2	B-4	C2	1.35 m³	P4	P5	C-6	C3	0.90 m³
PB	PB	D-1(-1.37)	Machón	0.03 m³	P3	P4	C-4	C4	1.27 m³	PT1	PT1	A(-0.83)-1	Machón	0.02 m³
PB	PB	E(0.98)-2	Machón	0.03 m³	P3	P4	C-5	C4	1.27 m³	PT1	PT1	A(-0.43)-2	Machón	0.02 m³
PB	PB	E(0.98)-4	Machón	0.03 m³	P3	P4	A-6	C3	0.90 m³	PT1	PT1	C(1.63)-2	Machón	0.02 m³
PB	PB	E(0.98)-5	Machón	0.03 m³	P3	P4	A-1	C3	0.90 m³	PT1	PT1	C(0.68)-3(0.10)	Machón	0.02 m³
PB	PB	E-6(0.58)	Machón	0.03 m³	P3	P4	A-2	C2	1.35 m³	Total general				167.46 m³
PB	PB	D-6(0.58)	Machón	0.03 m³	P4	P5	A-5	C2	1.35 m³					
PB	PB	E(0.98)-3	Machón	0.03 m³	P4	P5	A-4	C2	1.35 m³					
PB	P1	A-2	C2	1.35 m³	P4	P5	A-3	C2	1.35 m³					
P1	P2	A-5	C2	1.35 m³	P4	P5	B-1	C2	1.35 m³					

Figura 43. Porción de los cómputos de volumen de concreto en columnas.

Fuente: Autores.

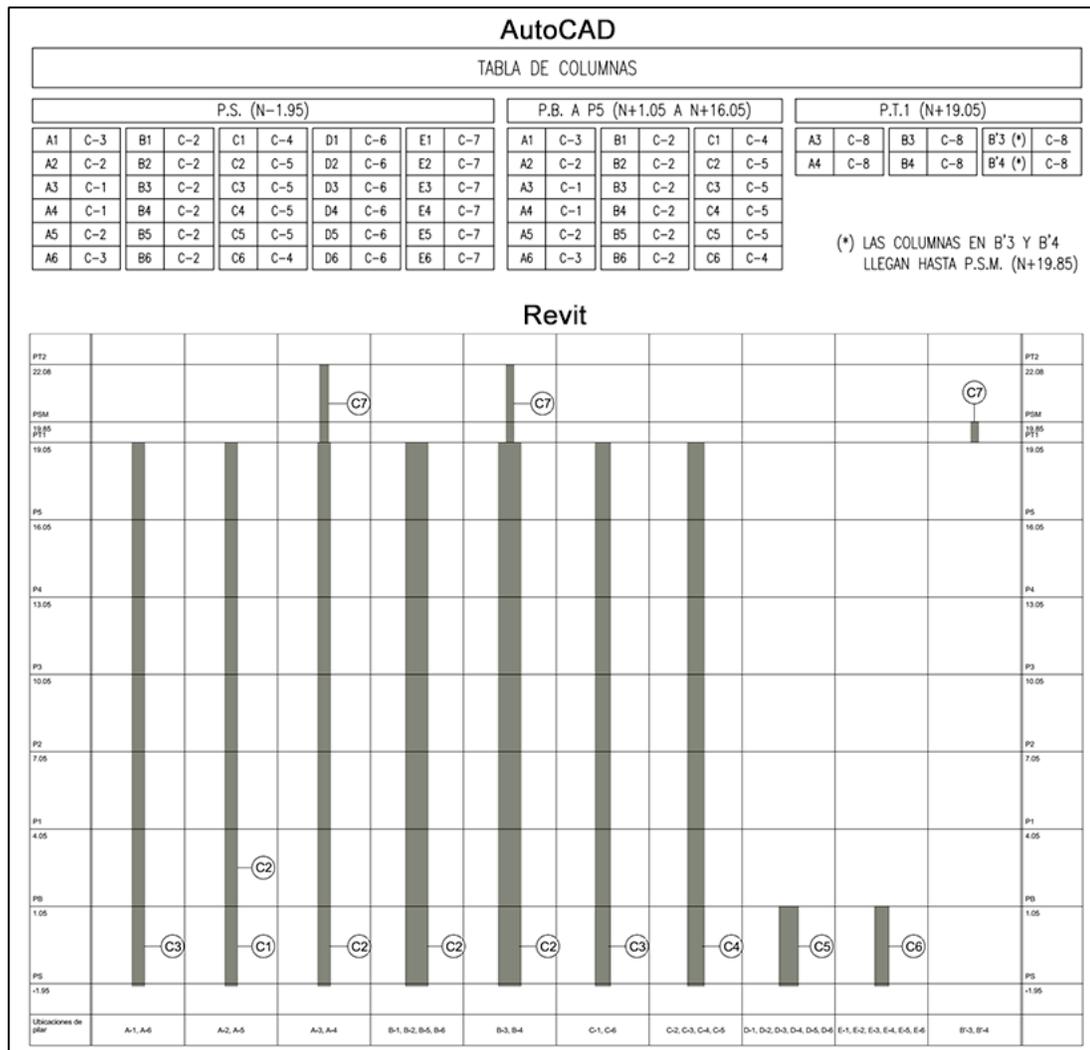


Figura 44. Comparación de tablas de columnas en CAD vs aquellas en Revit.
Fuente: Autores.

1.2.3. Detección de incongruencias

Todo proyecto está compuesto de un sinfín de elementos, que deben ser congruentes unos con otros a fin de acercarse a la perfección en la ejecución del proyecto, el diseño en CAD o en BIM no es la excepción. En la Torre Asada (con el fin de detectar incongruencias y aumentar el rendimiento en el diseño), se aprovecharon las características de dibujo por capas, pero en vez de solo crear capas por cada tipo de

elemento (como ventanas, puertas, muros, etc), se agruparon las mismas por cada nivel (ver Figura 45 y 46), permitiendo el trabajo en un solo modelo, siendo la compatibilidad entre niveles verificada encendiendo diversas capas, además de hacer posible de trabajar en varios niveles al mismo tiempo; al final, cuando estuviese terminado el diseño, se encenderían las capas del nivel y disciplina buscados y se separaría del dibujo principal, para ser luego presentada en el *Layout*.

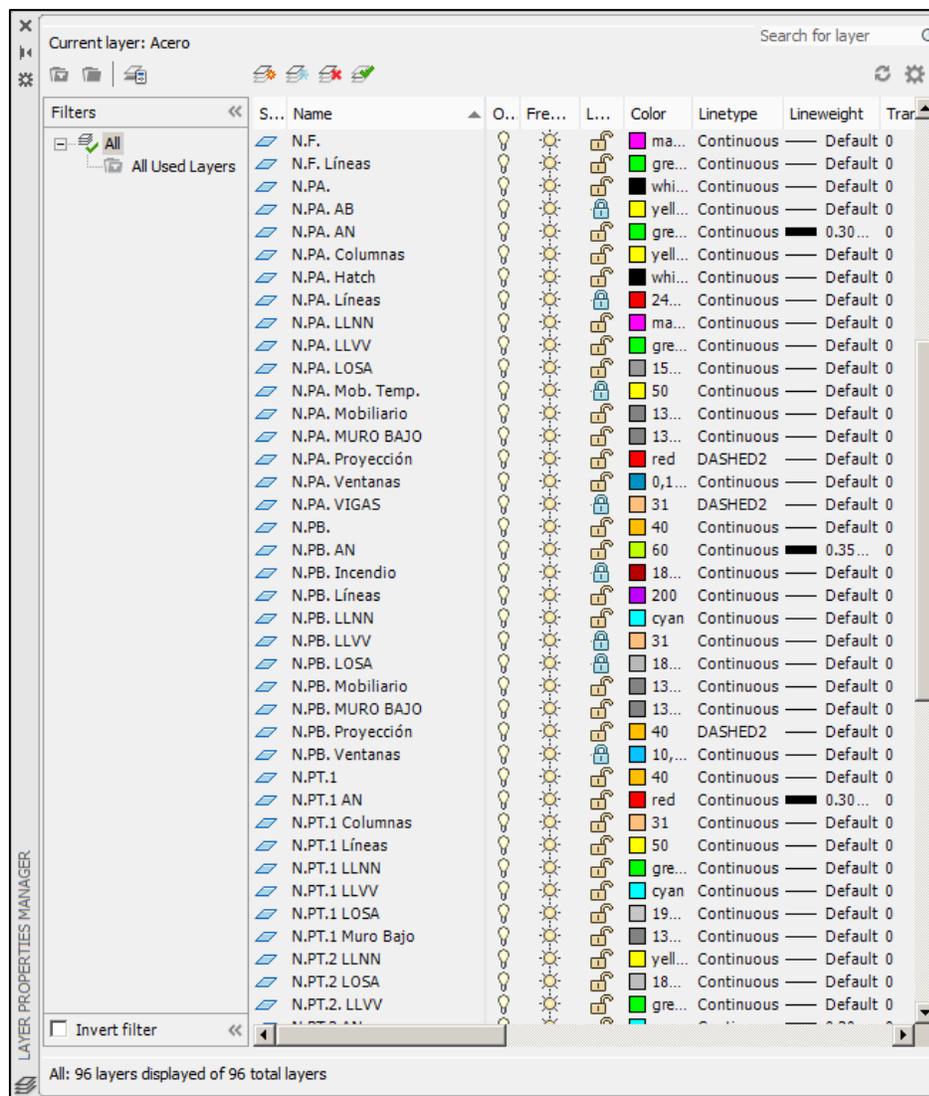


Figura 45. Configuración de capas.

Fuente: Autores.

En el caso de las redes sanitarias, y con el objetivo de tener un modelo más realista (al menos en cortes o en planta), se tomó la decisión de no diseñar las instalaciones de aguas servidas con un estilo unifilar (como sí se utilizó en las isometrías), sino tomando sus dimensiones reales (estilo *filled* o relleno), lo que permitiría el correcto diseño de las distintas redes así como de los elementos relacionados. Las piezas se tomaron como grupo (por ser más ligera y fácil su manipulación, además de permitir una edición más fluida con el sistema de capas que su contraparte, el bloque). Se hicieron además, análisis de compatibilidad haciendo pequeños detallados en puntos estratégicos de la red sanitaria, como pueden apreciarse en la Figura 47.

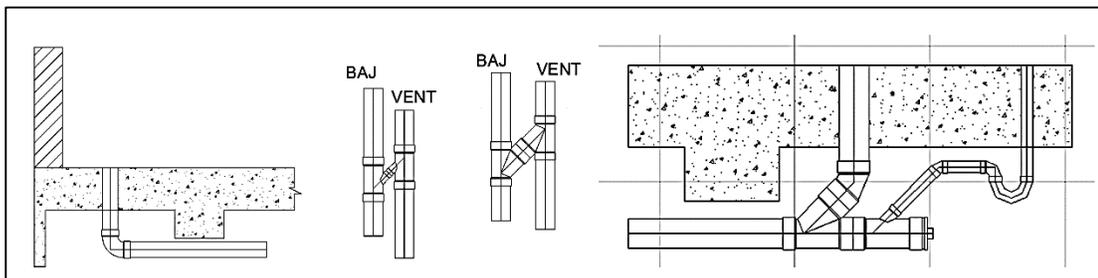


Figura 47. Análisis de viabilidad de alternativas de red.

Fuente: Autores.

Por el contrario, el dibujo del acero de refuerzo fue de estilo unifilar (debido a la obvia pérdida de rendimiento que representa el dibujo con dimensiones reales en CAD), no obstante, a fin de cumplir con lo establecido en la ACI 318-14 en cuanto a su representación y tomando en consideración las altas deformaciones esperada en los nodos (sobre todo en las columnas en esquinas), debían reducirse los dobleces de las cabillas, por esta razón se tomó la decisión de realizar pequeños detallados (ver Figura 48) en lugares de vital importancia (el factor rendimiento determina cuánto tiempo es posible invertir en estos detallados). Esta actividad fue de especial ayuda tanto en nodos como en vigas, y en el caso de las últimas, permitió conocer las longitudes correctas de

traslape y anclaje en columnas, y distancias mínimas con respecto a las barras de refuerzo dispuestas en la segunda capa.

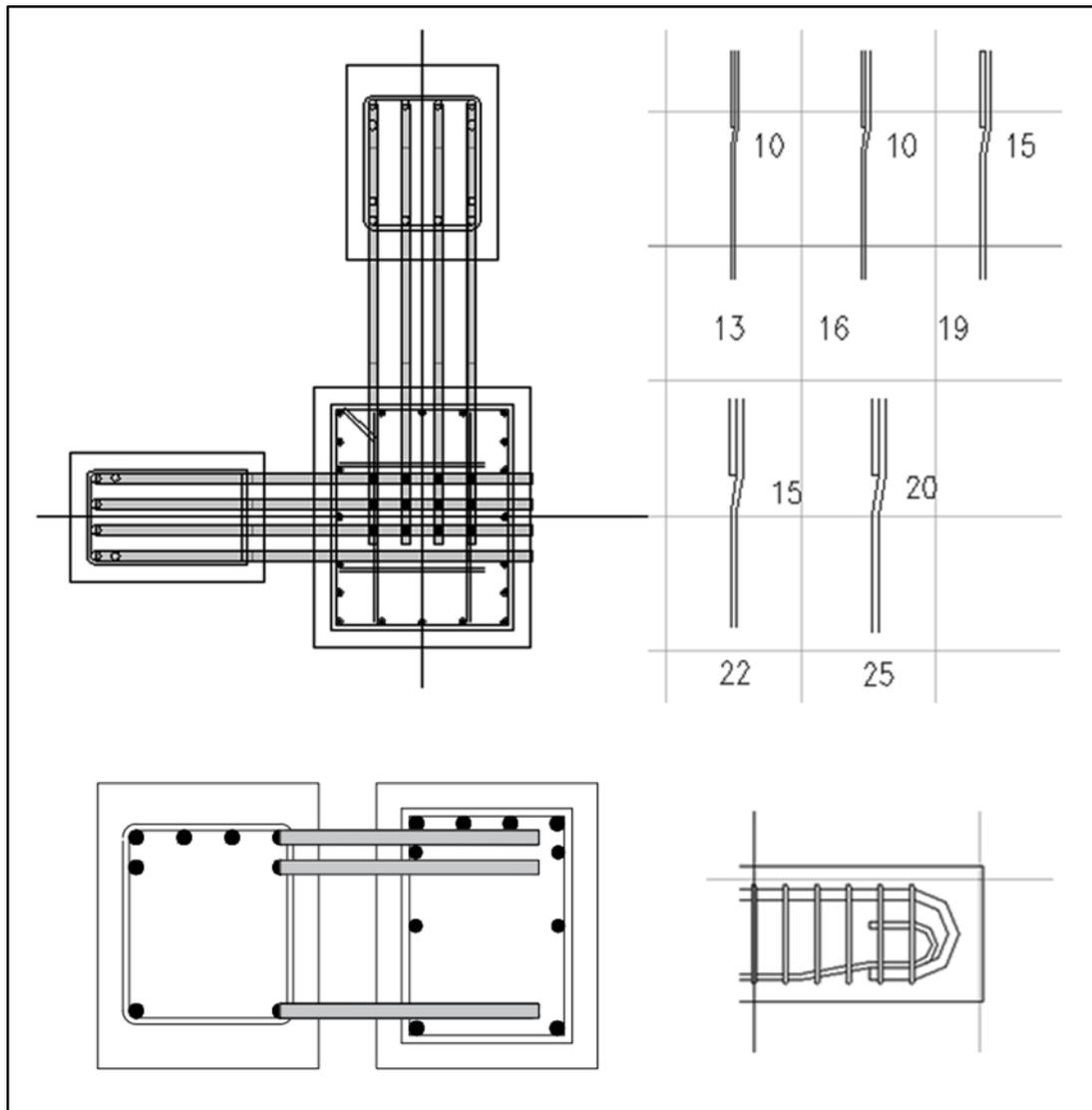


Figura 48. Análisis de interferencias de aceros.

Fuente: Autores.

Así como en la Torre Asada, en el proceso de diseño de la Torre Shinon, se invirtieron muchos recursos en hallar las incongruencias del proyecto, cabe destacar no obstante, que como el proceso de diseño en BIM no fue un proceso nativo sino que se

limitó a mejorar el diseño en CAD, la cantidad de incongruencias encontradas estaban limitadas por aquellas que el diseño en CAD no pudo detectar, pero por el añadido del 3D de los *software* BIM, aumentaron las posibilidades de encontrarlas y de mejorar las características de habitabilidad y confort del proyecto. En cuanto al diseño arquitectónico las mejoras que pudieron realizarse fueron principalmente en el aspecto de la edificación, en la ubicación de la vegetación, diseño de ventanas, ubicación óptima de luminarias, optimización de la distribución interna, selección de materiales y aspecto, tipos de muros y alineación correcta de los mismos (ver un ejemplo en la Figura 49).

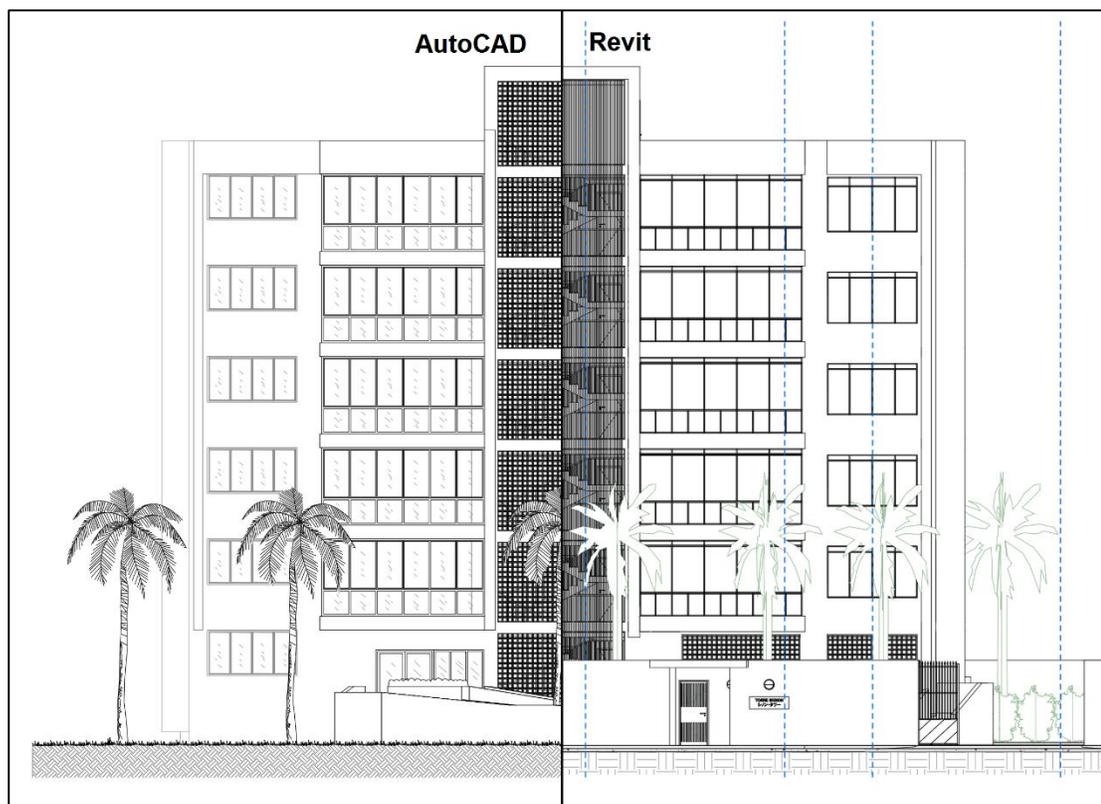


Figura 49. Cambios en fachada principal.
Fuente: Autores.

Si bien los cambios en la arquitectura fueron poco relevantes, cuando se habla de instalaciones los cambios fueron mayores. Ya se había mencionado previamente (véase

la sección 4.1.2.2) cómo en Revit, los problemas con las tuberías fueron una de las razones principales en el cambio del espesor de las losas de entepiso, no obstante, los cambios no estuvieron limitados a dicho incidente, sino también al problema de las interferencias entre tuberías (principalmente en planta baja). En este caso, se utilizaron las capacidades 3D para aprovechar las diferencias de altura debido a pendientes, evitar tuberías usando codos o colocando las tuberías en distintos niveles (de modo que una red estuviese debajo de otra); el diseño en Revit también hizo posible un mejor diseño de la compleja red de aguas negras y de drenaje de planta baja (véanse las figuras 34, y 50 a 52).

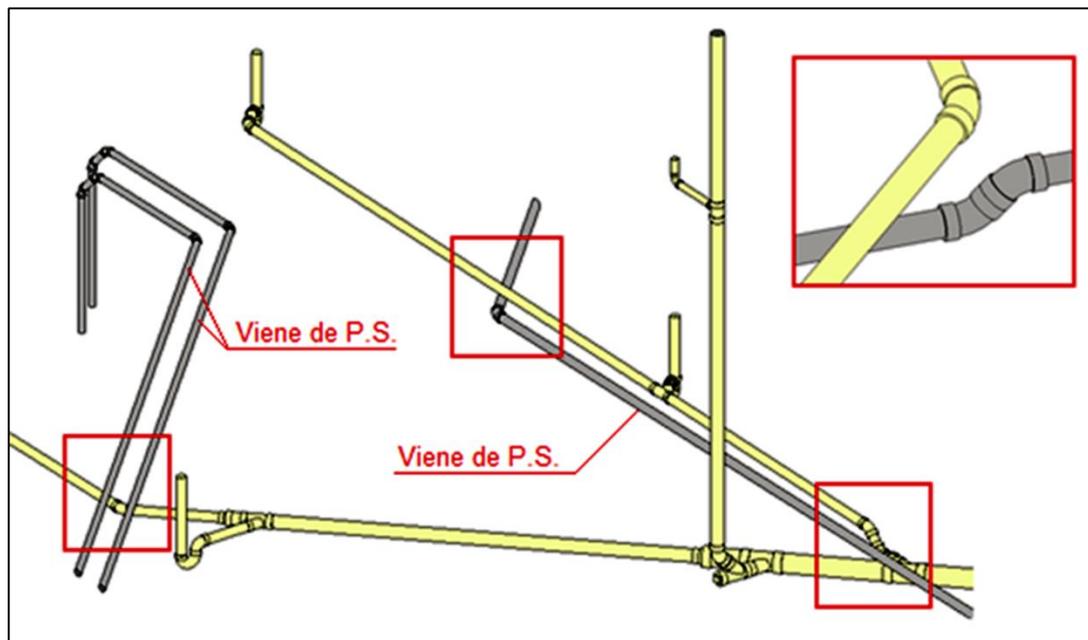


Figura 50. Solución a posibles interferencias en tuberías que cuelgan de la losa de PB.
Fuente: Autores.

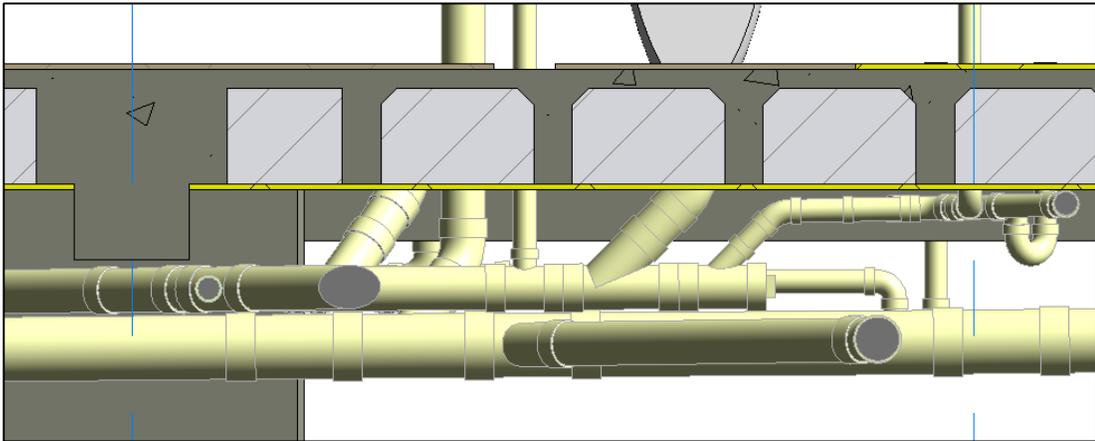


Figura 51. Alzado de tuberías que cuelgan de la losa de PB.
Fuente: Autores.

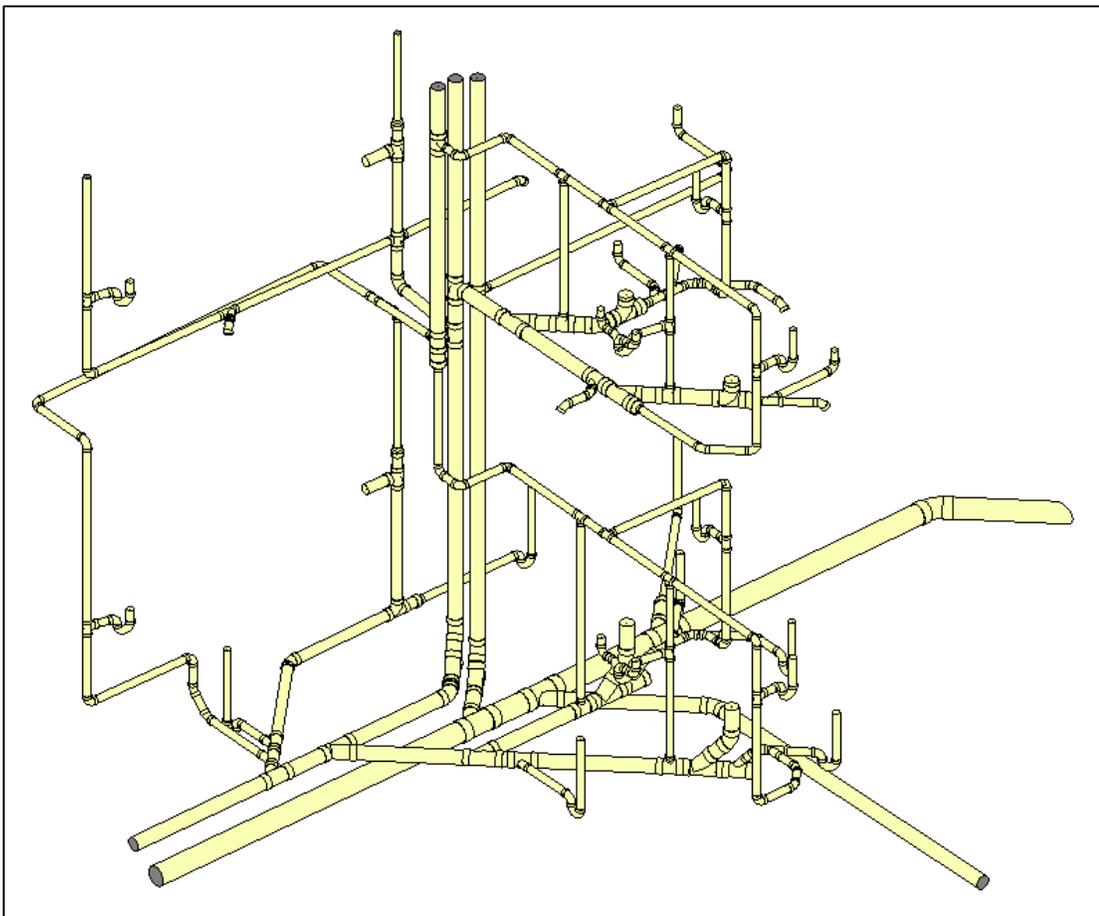


Figura 52. Tuberías de A.N. y drenaje de P1 y P.B.
Fuente: Autores.

Además de las distintas incongruencias de las tuberías con otras disciplinas, también fue posible detectar otra interacción con la arquitectura; las tuberías que cuelgan del techo en PB, están a solo 2.15 m del suelo, lo cual si bien es aún aceptable, de haber sido más largas hubiesen existido problemas en el diseño general.

Un caso interesante en cuanto a las incongruencias del sistema sanitario, fue el problema del sistema de bombas de planta sótano, que interfería gravemente con componentes estructurales (muros y columnas) y arquitectónicos (como los límites de estacionamiento y el cercamiento del cuarto de bombas). El problema surgió debido a los accesorios que componen el sistema de bombas (como codos, tees y válvulas), que fueron tomados de forma referencial, es decir, tomando en cuenta principalmente sus diámetros (como usualmente se hace en CAD); en Revit esto no es posible, y ya fuera que se modelaran las piezas o se utilizaran las que vienen cargadas por defecto en el programa, el sistema de bombas sencillamente no podía colocarse como en la Torre Asada (ver Figura 53).

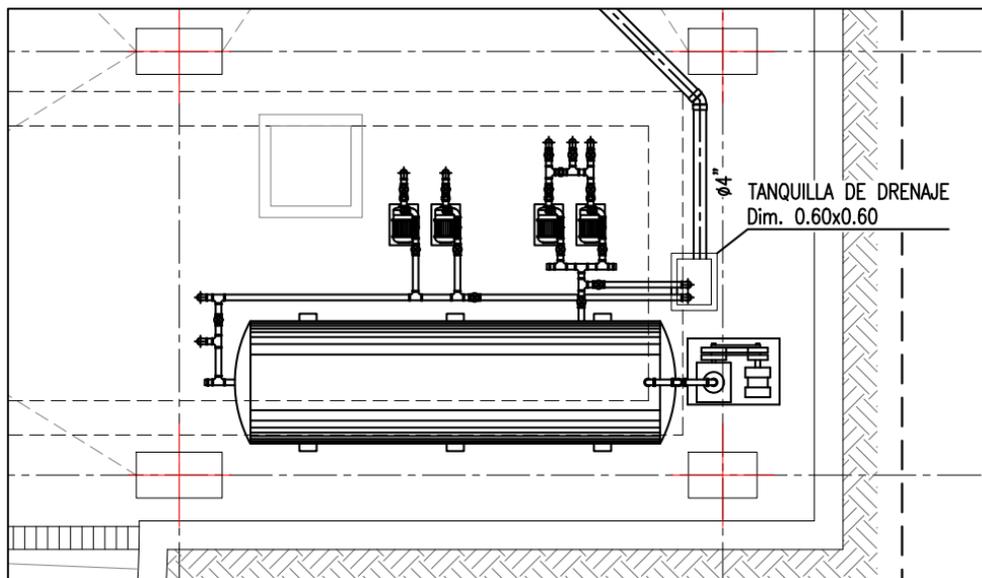


Figura 53. Sistema estanque-hidroneumático-bombas en Torre Asada.

Fuente: Autores.

La solución al problema estuvo marcada principalmente por el cambio en la orientación del hidroneumático, en la redistribución de las bombas, y en la ampliación de la losa de planta baja que está sobre el cuarto de bombas (aumentando asimismo el espacio en planta sótano); también se aprovechó para optimizar el sistema de drenaje de PS, tal cual puede apreciarse en las figuras 54 y 55.

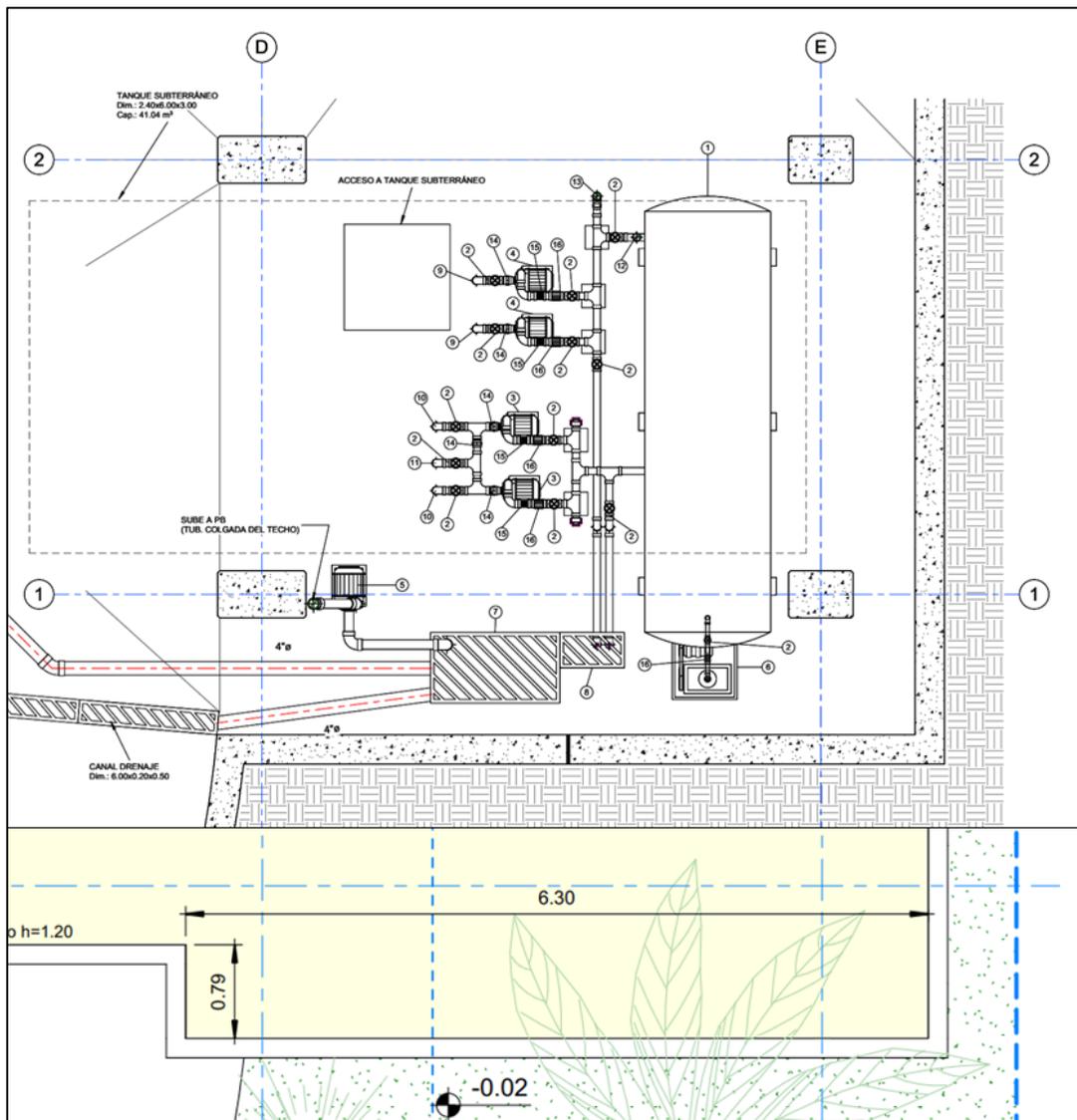


Figura 54. Cambios en el sistema estanque-hidroneumático-bombas en Torre Shinon.
Fuente: Autores.

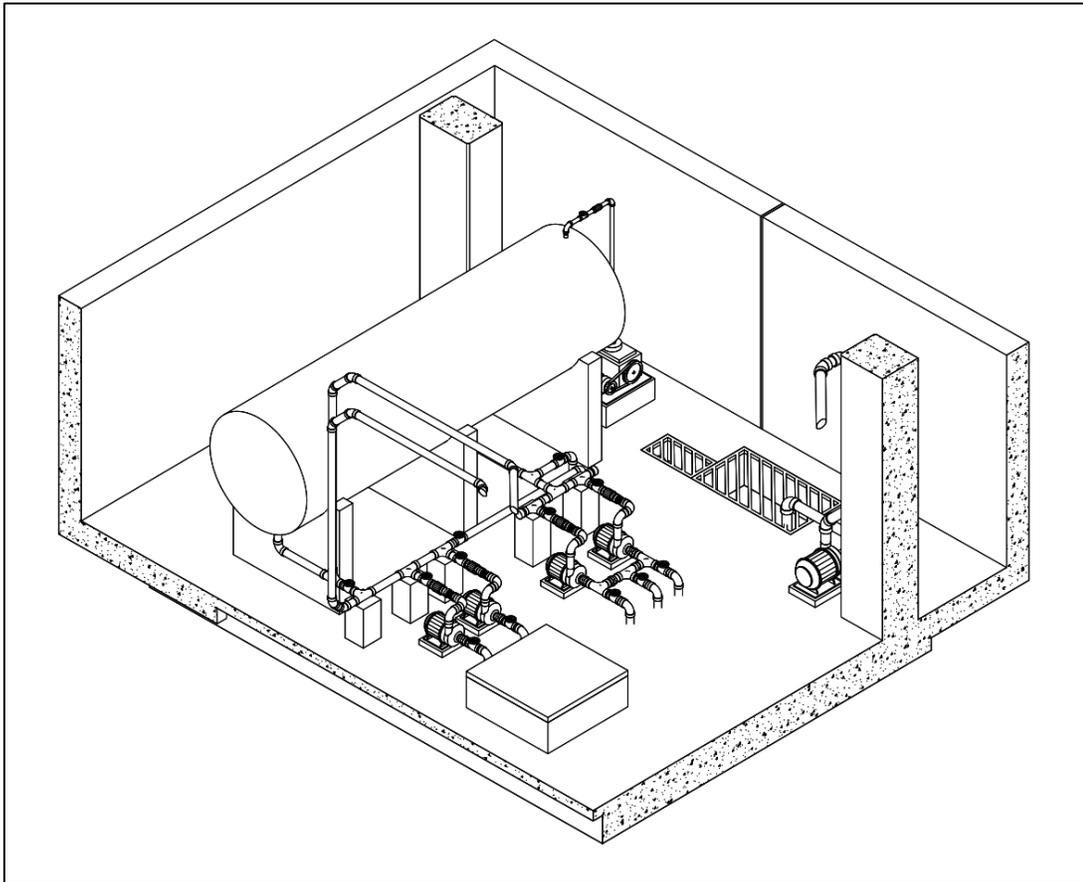


Figura 55. Vista 3D del sistema de hidroneumático en la Torre Shinon
Fuente: Autores.

Asimismo, en Estructura el número de incongruencias no parecía disminuir, pero la capacidad de trabajar en 3D, la facilidad de creación de vistas, la capacidad de realización de dobleces en solapes y nodos, además de una mejor visibilidad en puntos tan densificados como lo son estos últimos, fue determinante para la solución de estos problemas, permitiendo entender mejor el armado del acero, proponer nuevas y más óptimas soluciones, además de verificar las distancias mínimas del acero y la realización de solapes que cumplieran con las normas, tal y como se puede observar en la figura a continuación.

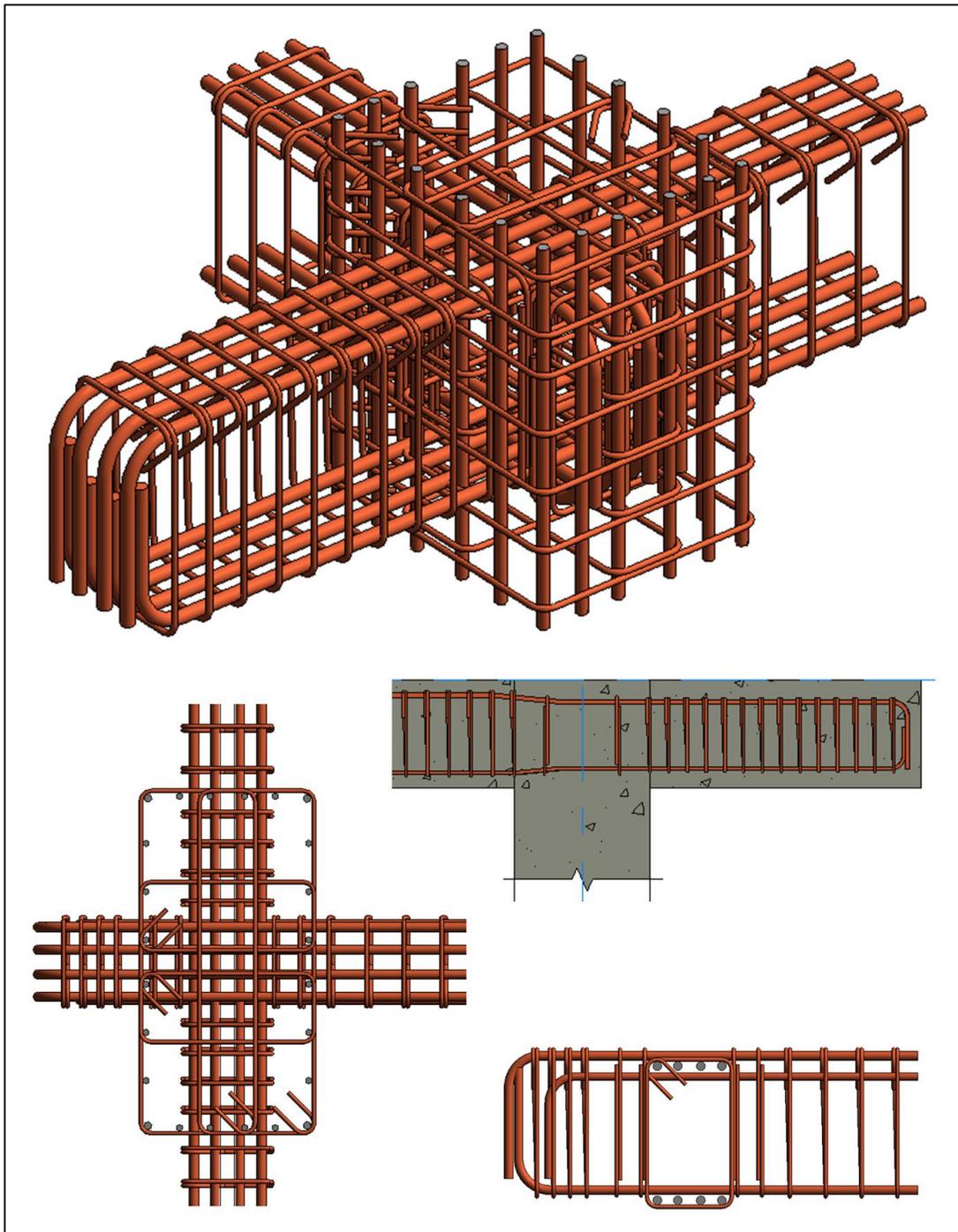


Figura 56. Ejemplos de armado de acero en nodos y vigas
Fuente: Autores.

Uno de los eventos imprevistos en el modelado en Revit, fue el hecho de que el acero de segunda capa no podía estar a 2.50 cm de separación como se había supuesto en CAD, sino que debido a los ganchos de los estribos debían separarse aún más, llegando incluso hasta los 4 cm (ver Figura 57), no pudiendo esta incongruencia ser solucionada de forma óptima en obra, debido a las peculiaridades de armado y disminución considerable en la resistencia de los elementos, que debían ser verificados en ETABS para las nuevas condiciones.

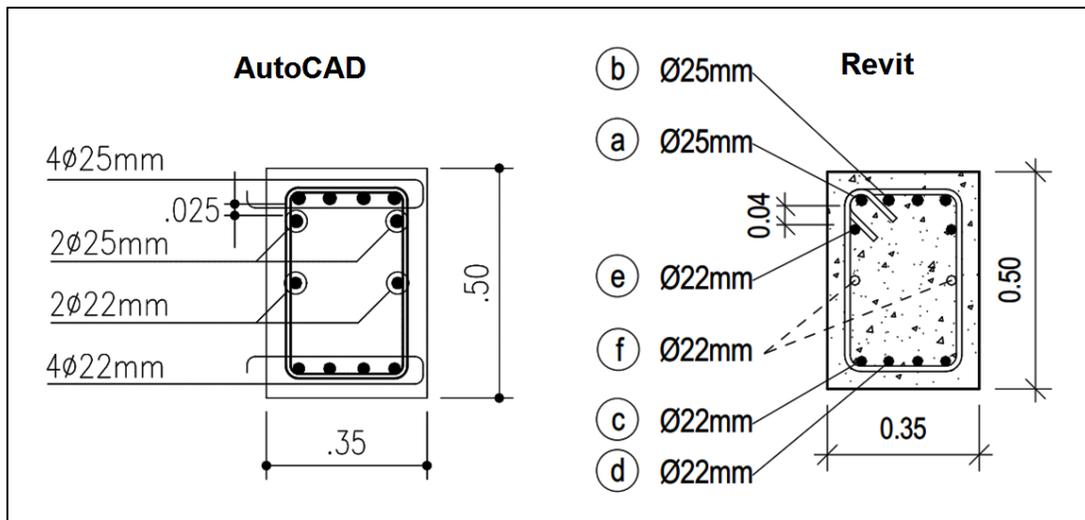


Figura 57. Interferencias del acero en segunda capa con ganchos de estribos.

Fuente: Autores.

Aparte de los problemas entre los aceros, también fue posible identificar las incongruencias entre elementos estructurales, por ejemplo, en el nivel planta techo 1 (PT1), hay una escalera metálica que lleva de ese nivel al cuarto de máquinas del ascensor (ubicado 80 cm más arriba, en PSM), y si bien a lo largo de todo el diseño de la Torre Asada se tuvo mucho cuidado de verificar todos los elementos, en la Torre Shinon fue evidente un error, la escalera se apoya en un tramo de viga que no existe, por lo que el detallado de plancha y pernos es errado también (pues como se puede ver en la Figura 58, uno de los apoyos de la escalera se encuentra realmente en una

columna). La solución en Revit consistió en reconsiderar las condiciones de apoyo de la escalera, y rehacer los detallados de plancha según correspondiera (ver Figura 59).

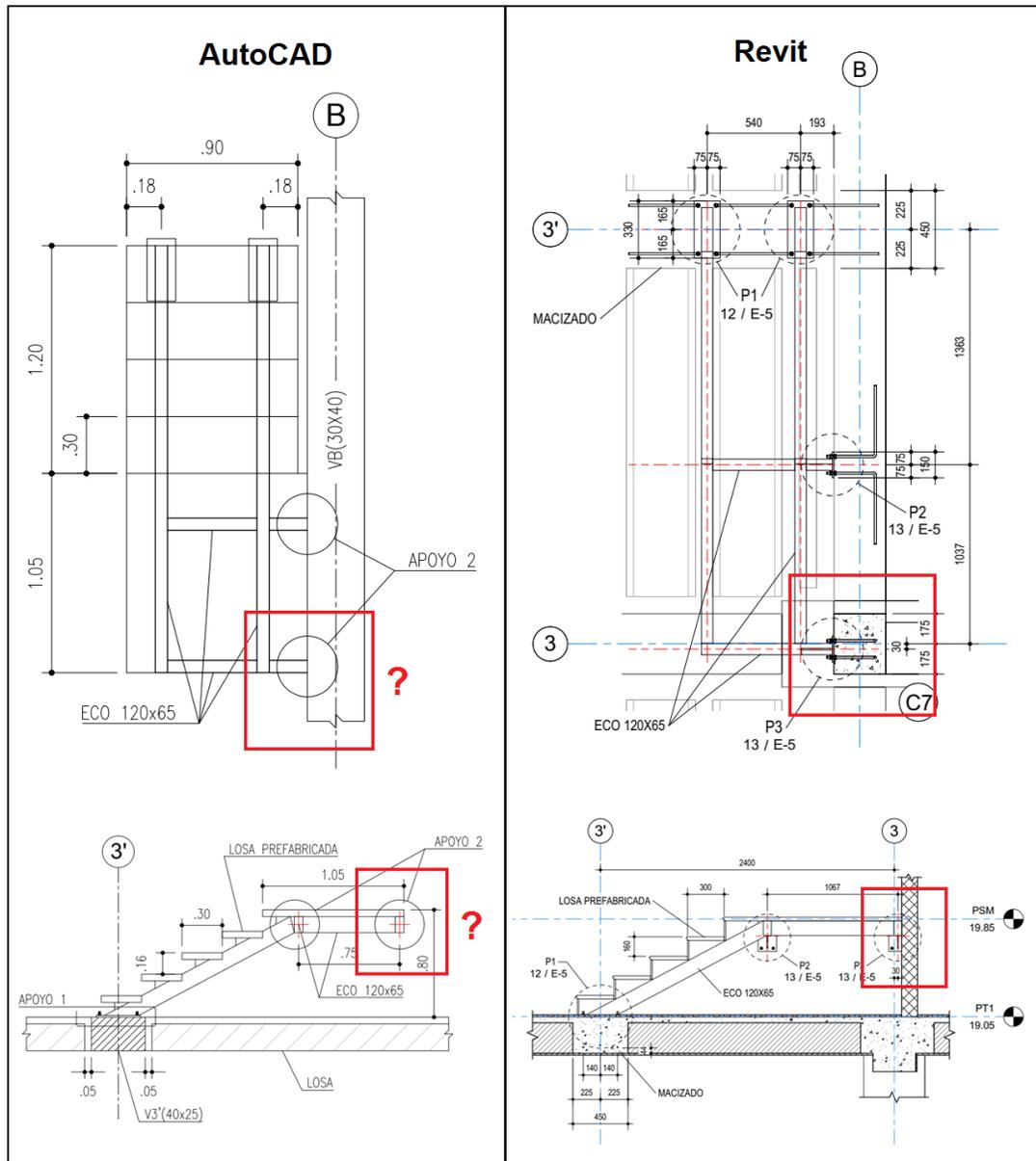


Figura 58. Problemas de apoyo en la escalera de PT1
Fuente: Autores.

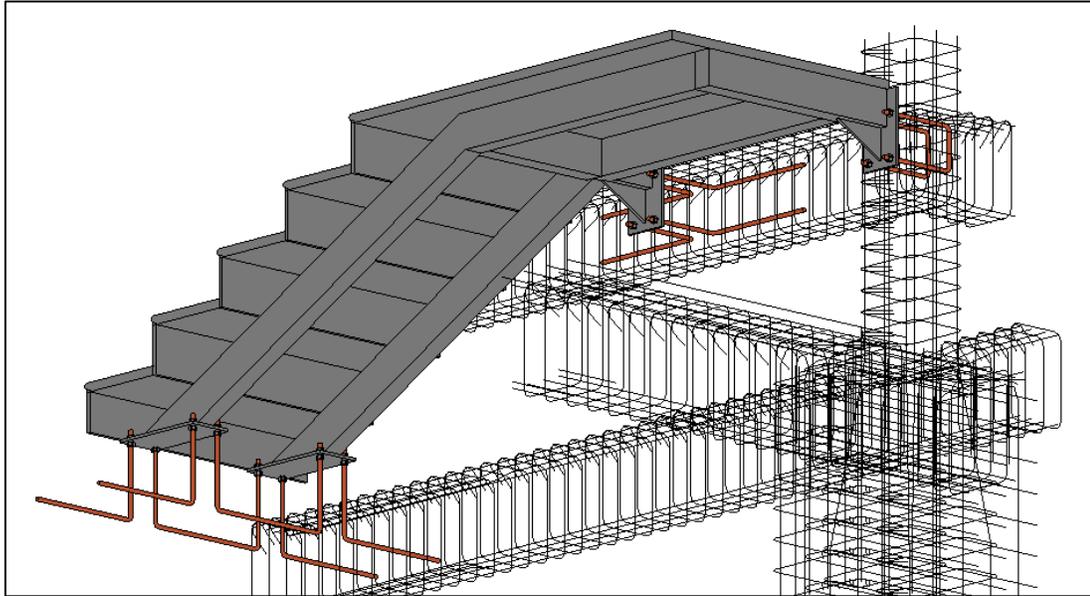


Figura 59. Vista 3D de escalera metálica en PT1 (Torre Shinon)

Fuente: Autores.

1.2.4. Resultado final

Una vez terminado el modelado, fue evidente cómo se diferencia el resultado final tanto en CAD, como en BIM. Ya se había mencionado que el diseño de la Torre Asada fue hecho mediante el uso intensivo de capas. Finalizado el proceso de diseño, el siguiente paso sería la presentación, para lo cual se realizó la activación de las capas de cada nivel y disciplina según fuera necesario, luego se copiarían del modelo madre las distintas capas que se desearan tener por cada vista; el resultado final puede apreciarse en las figuras 60 y 61 (el modelo madre se encuentra resaltado en rojo).

A pesar de que en CAD se trabajó por capas en un solo modelo centralizado, el mismo continúa siendo un conjunto de capas colocadas una sobre otra pero sin asociación real de datos entre ellas. En cambio, la Torre Shinon (Figura 62) cuenta con elementos paramétricos 3D en un mismo archivo, lo que repercute en la forma en que los mismos quedan distribuidos y en la forma en que los planos son generados.

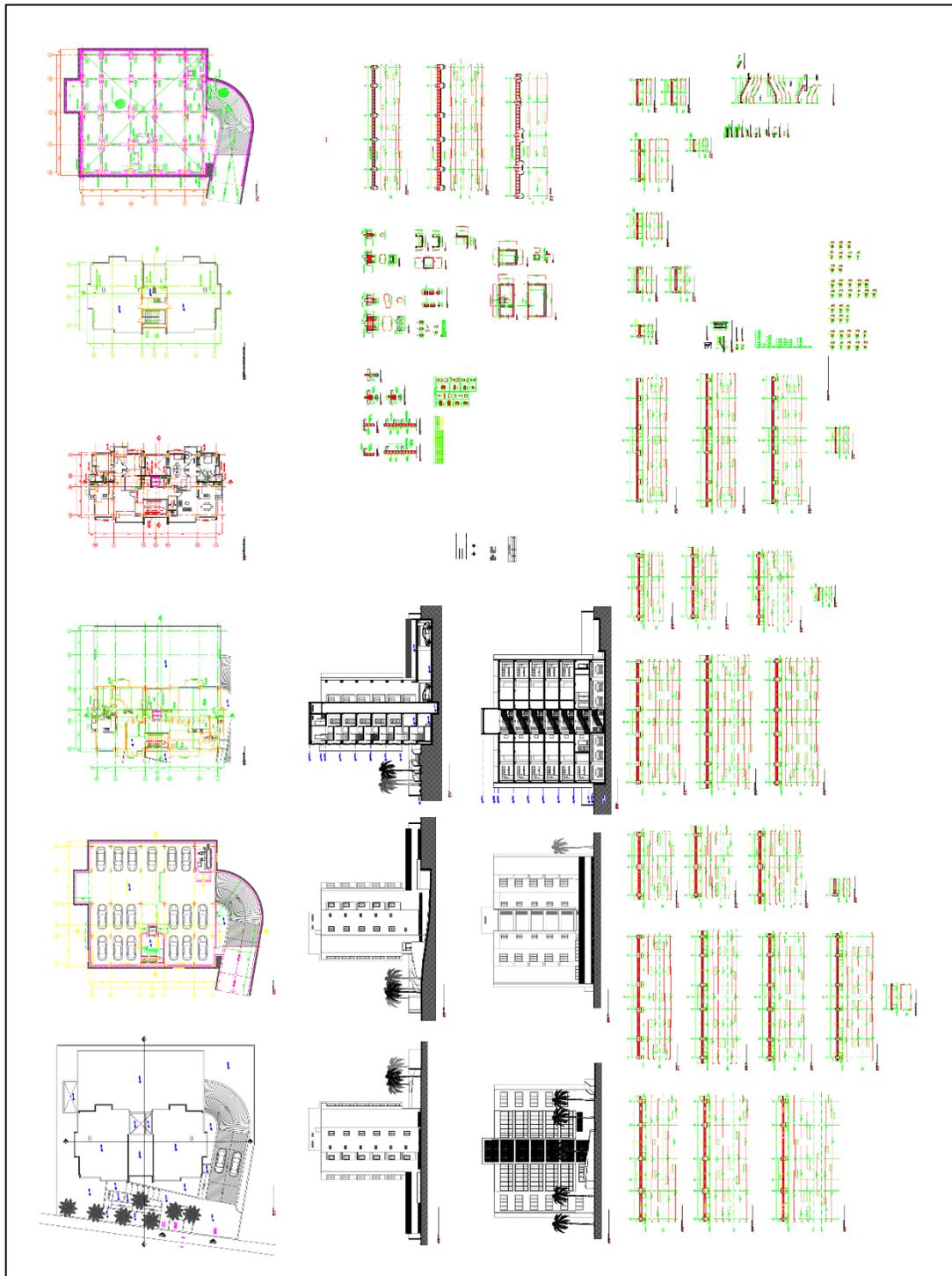


Figura 60. Vista de planos en el espacio de trabajo (*model*) de AutoCAD.
Fuente: Autores.



Figura 61. Vista de planos en el espacio de trabajo (*model*) de AutoCAD. (Continuación)
Fuente: Autores.

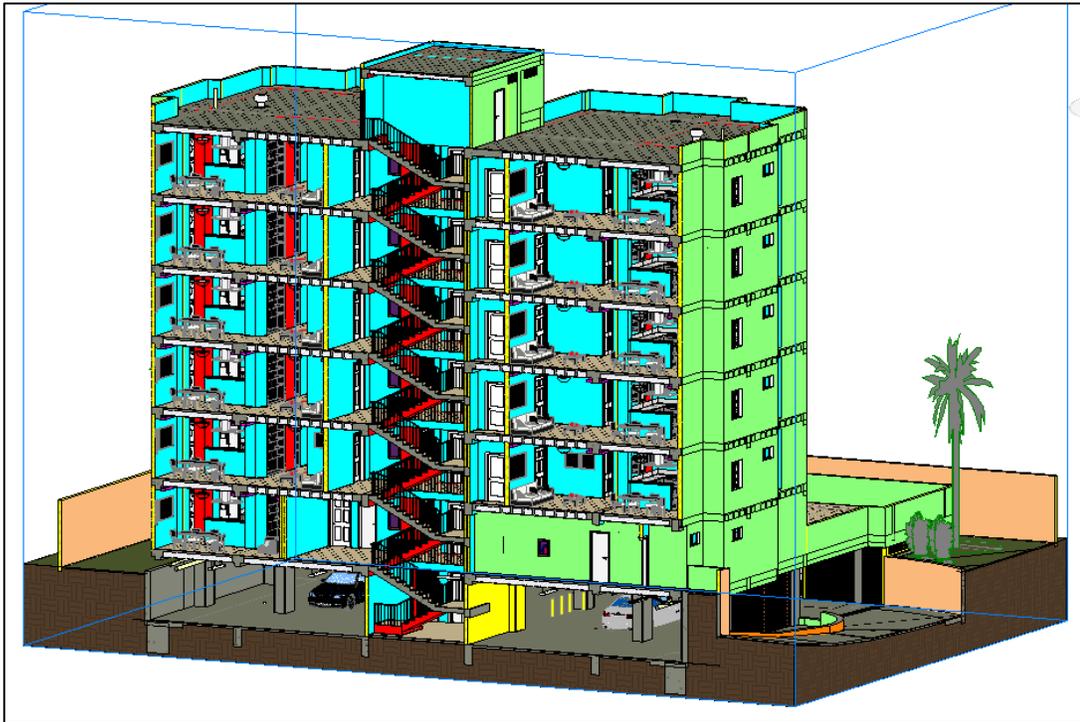


Figura 62. Modelo final en Revit (vista con corte).

Fuente: Autores.

1.2.5. Facilidad de presentación

En CAD (y más específicamente en AutoCAD), el proceso de diseño estuvo definido por el dibujo en dos dimensiones sobre un único plano; todas las vistas en planta fueron creadas utilizando capas en un solo lugar, de forma que para visualizarlas se activarían las capas deseadas y se copiarían a su espacio designado. Adicionalmente, cada una de las isometrías, así como los alzados (como los detallados de vigas, fachadas y cortes), fueron creados teniendo como referencia el modelo en planta. Todas estas vistas serían localizadas con ventanas que se realizan desde el *layout* (lámina destinada para la creación o presentación de los planos); la facilidad de trabajo en él es fácilmente reconocible. En la Figura 63 se puede apreciar cómo se distribuyen las ventanas (marcadas en magenta) en un plano de detallado de vigas.

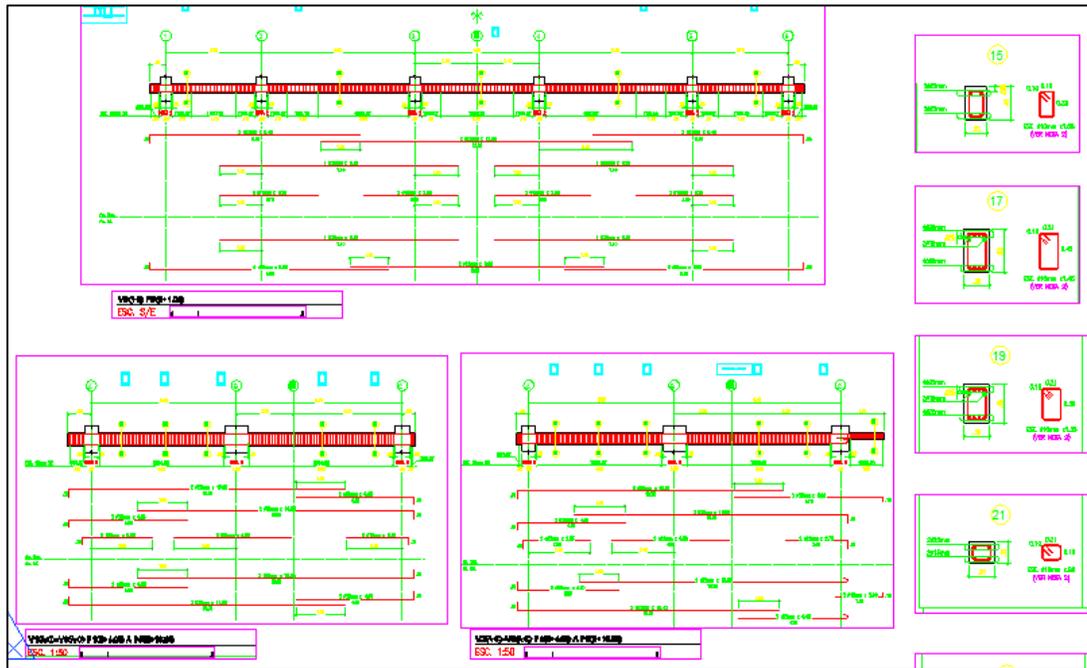


Figura 63. Ventanas en el Layout de AutoCAD
Fuente: Autores.

En AutoCAD hay que dibujar lo que se quiere mostrar y se accede desde el *layout* al espacio de trabajo (el *model*), seleccionando así lo deseado, en un *software* BIM (Revit, específicamente), el proceso de diseño es una construcción digital que implica la existencia de numerosos elementos de distintas disciplinas a lo largo y ancho del modelo, por lo que se crea el problema de cómo se ocultarán los elementos que no se deseen visualizar. Para la creación de planos hay que crear ventanas en donde se elige lo que se ha de mostrar y se oculta lo que no (ver Figura 64), estas ventanas luego se añaden a las láminas del plano en cuestión; el *software* tiene dos formas de mostrar y ocultar objetos, que son:

1. **Ocultar categoría:** el *software* oculta todos los elementos de una familia, por lo que ocultar la categoría del acero no servirá si se quieren mostrar detalles de acero.
2. **Aislar categoría:** se muestran sólo los elementos de una familia (el seleccionar *mostrar acero* mostrará únicamente las familias de dicha categoría).

3. **Ocultar elemento:** se oculta sólo el objeto seleccionado.
4. **Aislar elemento:** se muestra sólo el objeto seleccionado.

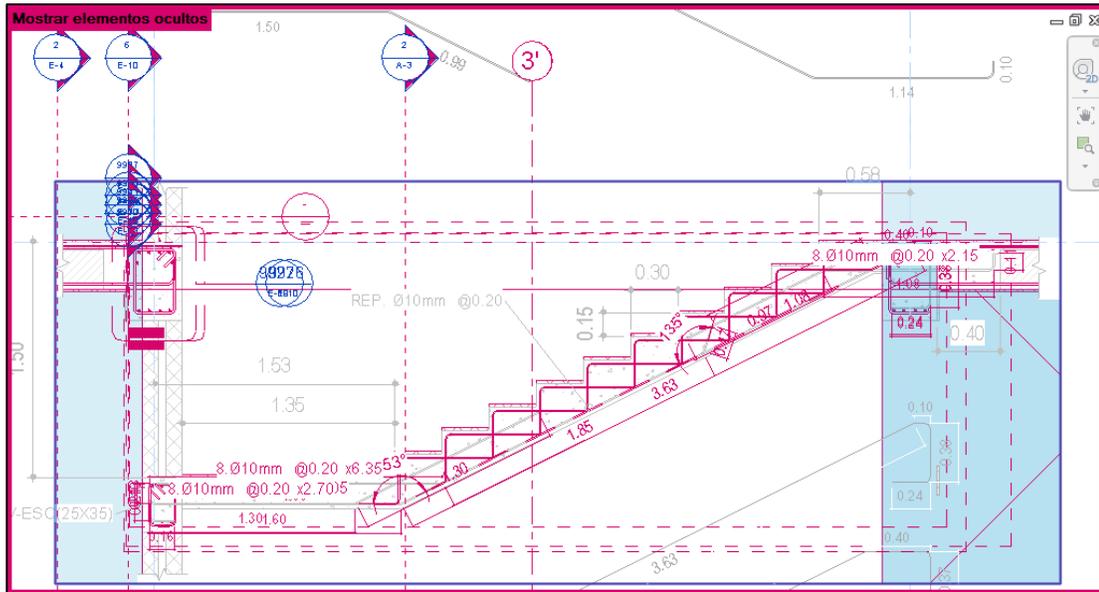


Figura 64. Elementos ocultos en detallado de escaleras.
Fuente: Autores.

Otro aspecto que resalta de Revit, es que cada plano está hecho a partir de numerosas ventanas alineadas una sobre otra (ver Figura 65), lo cual crea un problema (solo visible cuando los planos están siendo presentados o han sido terminados, y se quiere luego hacer una corrección), si se agrega un nuevo elemento, este puede llegar a ser visible en todas las ventanas que muestran esa sección (siempre y cuando el alcance y visibilidad por categorías lo permita). Por lo tanto, si se tienen numerosos detallados como en la Torre Shinon, que alcanza casi las 600 ventanas (solo en detallados de acero), y a pesar de que no se mostrarán las modificaciones mencionadas sino en algunas de ellas (en la Torre Shinon llegaban a ser poco más de 30, pero la cifra dependerá del tamaño y uniformidad del proyecto), el *agregar* un nuevo elemento se vuelve algo a tener en cuenta. Cabe destacar no obstante, que esta deficiencia de Revit podría ser solucionada con *plugins* o versiones el *software* que podrían ser publicados en el futuro.

En la Torre Asada, el detallado de acero de refuerzo de losas, fue realizado en planta, esto tiene la ventaja de reducir el número de detallados adicionales (que se realizan en cortes en alzado), y de esa forma disminuir enormemente la carga de corregir cortes cada vez que ocurre un cambio en la edificación, reducir la probabilidad de errores en la documentación por motivo de correcciones por modificaciones en el proyecto, además de facilitar el entendimiento del proyecto. En el caso de la Torre Shinon, las losas fueron detalladas de la misma forma para reducir el número de ventanas ya existentes en el proyecto (y no por cuestiones de incongruencia de datos como en CAD).

Adicional al detalle de las ventanas, el detallado del acero de refuerzo en Revit es un poco más desafiante que el diseño en CAD (en donde se colocan líneas que se suponen son acero), pues en un *software* BIM el acero (así como casi cualquier cosa) debe tener dimensiones y ubicación reales y no representativas (como usualmente sucede en CAD), por lo que la exactitud y precisión son requisitos al momento de modelar en BIM (después de todo, es así como estará o se doblará el acero en obra; no obstante, todo dependerá de las características y requisitos del proyecto, los niveles LOD deseados, así como de los profesionales que realicen el modelado.

Por otra parte, en BIM los aceros de refuerzo (y muchos otros elementos o sub-elementos) se modelan en planos 2D llamados planos de trabajo, todo objeto dibujado en un plano pertenece a él, y si bien se puede modelar casi cualquier cosa usando este método, en el caso del acero de refuerzo (que en obra puede tener cualquier forma imaginable), se vuelve un desafío que a veces raya en lo imposible el modelarles en un *software* que trabaja con asociaciones de planos 2D. Un caso típico se muestra a la derecha de la Figura 66, allí puede verse cómo el acero transversal está anclado al plano de trabajo resaltado en los extremos (como dos rombos azules), las veces que los estribos se repetirán estarán definida por la distancia de estos planos, así como del espaciamiento entre estribos. Sin embargo (y a pesar de los problemas existentes), cabe

destacar que las capacidades de modelado de acero multiplanar se han ido mejorando en nuevas versiones del programa.

Como muestra del problema de la representación realista del acero en Revit, en el tope de columna mostrado a continuación (lado izquierdo) puede verse cómo a veces las soluciones constructivas del acero de refuerzo no son del todo correctas, sino representativas (se han resaltado algunas barras para una mejor visualización), en este caso muchos de los ganchos de anclaje a las vigas no van en la dirección correcta ni tienen las longitudes requeridas (aunque se indiquen en planos mediante artificios).

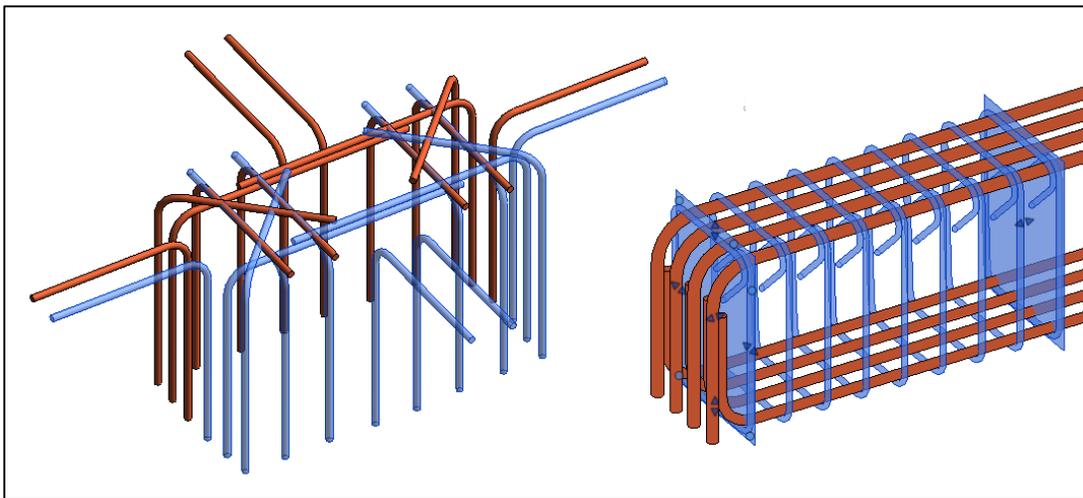


Figura 66. Modelado de acero en Revit.
Fuente: Autores.

1.2.6. Tiempo de desarrollo

En ambos casos, se realizó un seguimiento del tiempo que tomó el desarrollo de los proyectos con cada una de las metodologías (sin contar el tiempo que tomó generar la propuesta inicial), el mismo fue realizado tomando el tiempo relativo de cada actividad dentro de cada disciplina, cabe destacar, que la medición fue hecha sin hacer distinción entre dibujo-presentación y modelado-presentación, debido a lo complejo de

establecer qué tiempo le correspondía a cuál (ya que muchas veces se generaban los planos al mismo tiempo que se dibujaba o modelaba). El resultado final puede apreciarse en detalle en la Tabla 13; en AutoCAD (y con la metodología tradicional) tomó alrededor de 1260 h la obtención de un modelo final con sus planos, mientras que en Revit (con la metodología BIM-VDC), el desarrollo costó alrededor de 1450 h, lo cual representa un 15.08% más que su contraparte CAD.

En principio puede parecer que CAD es mejor que un *software* BIM, y que para este último es la publicidad la que aporta los resultados reales, pero concluir a la primera es un error, pues si bien en AutoCAD se tardó menos con un equipo de dos personas, también es cierto que se utilizó el método de trabajo por capas antes descrito (que de gran ayuda fue en mejorar el rendimiento y disminuir el error humano), no obstante, este método es de escasa aplicación (o nula por completo) en la vida real, en donde los equipos de trabajo son numerosos y el utilizar una metodología de trabajo por capas como la descrita no es eficiente (a más personas, menos eficiente es), por lo que cada integrante del equipo tendría que trabajar en su propio archivo con sus propias capas por archivo, disminuyendo así el rendimiento y la calidad y teniendo que gastar más tiempo en la revisión del modelo.

Tabla 13. Comparación en el tiempo de desarrollo de CAD vs BIM.

Disciplina	Actividad	Tiempo (h)						Diferencia de BIM con respecto a CAD (%)		
		CAD			BIM			Parcial por actividad	Parcial por disciplina	Total general
		Parcial por actividad	Parcial por disciplina	Total	Parcial por actividad	Parcial por disciplina	Total			
Arquitectura	Planta	520			909			+74.81		
	Alzados	73	607		9	922		-87.67	+60.30	
	Cortes	14			4			-71.73		
Instalaciones Sanitarias	Planta	224			124			-44.64		
	Isometrías	17	252		4	131		-76.47	-48.02	
	Detalles	11		1260	3		1450 (+190)	-72.73		+15.08
Estructura	Fundaciones	57			37			-35.09		
	Columnas	98			22			-77.55		
	Escaleras	5	401		9	397		+80.00	-1.00	
	Losas	49			73			+48.98		
	Vigas	192			256			+33.33		

Fuente: Autores.

Del mismo modo, en Revit hay que tomar en cuenta varios factores a fin de concluir correctamente, y se tienen los siguientes:

1. Se modeló a partir de importaciones CAD y no con un proceso nativo, lo que aumentó el rendimiento de Revit (habría que considerar cuánto tiempo es necesario en BIM para desarrollar el proyecto desde cero).
2. El modelado fue parcial, principalmente cuando se habla de acero, tan solo se realizó para la coordinación 3D, la coordinación con cliente y la realización de planos (para alcanzar nuevas dimensiones BIM el modelado debe realizarse por completo).
3. El desarrollo del proyecto fue realizado por dos personas, lo que derivó que CAD fuese más rápido que Revit; sin embargo, al ser posible trabajar de forma simultánea y coordinada en distintas disciplinas en un *software* BIM, el proyecto puede entregarse mucho antes de lo que en CAD es posible (a pesar de ser necesarias más horas de trabajo).
4. En BIM se modela más de lo que se representa, y esto es así, porque BIM no solo es usado para generar planos sino también otros datos como cómputos de materiales (y muchos más), por lo que la cantidad de datos que deben ser gestionados puede ser unos de los causantes de las pérdidas de rendimiento en el desarrollo del proyecto.
5. En Revit fue necesario detallar ampliamente la arquitectura, principalmente por presentación, aunque también fueron evidentes detalles a corregir que en CAD ni siquiera pueden detectarse (usualmente estos problemas no interferían con la estructura).
6. La creación de ventanas para el detallado de acero disminuyó el rendimiento en Revit, siendo los detallados de escaleras, losas y vigas los que más demanda de recursos tuvieron. No obstante, como ya se había mencionado antes, es posible reducir tiempos en BIM con el trabajo en paralelo.

El problema principal de CAD (y lo que más tiempo consumió en el diseño) fueron los ajustes en el dibujo, mover una pared representa un esfuerzo cada vez mayor mientras se multiplicaban los detalles y se consideraban los niveles adyacentes; afortunadamente, el trabajar con capas divididas por nivel (en vez de usar planos individuales) facilitó la tarea grandemente. Cabe destacar, que debido a las peculiaridades de la edificación (como el hecho de tener dependencias y elementos con dimensiones mínimas, irregularidades estructurales, etc.), cada vez que se deseaba utilizar una configuración estructural era necesario revisar extensamente si la arquitectura lo permitía (teniendo que dibujar cada vez), especialmente cuando se habla del tamaño y orientación de columnas, espacio mínimo de ambientes, ubicación de ejes y tamaño máximo de la edificación en la arquitectura como en la estructura (por ejemplo, la relación máxima de ancho x largo, $b = 2b$ de la COVENIN 1756-01). Se probaron diversas combinaciones estructurales, diferentes fusiones con la arquitectura que, si bien muchas implicaban cambios pequeños, el trabajo de incluirlo de forma coherente con los demás niveles o vistas, llevaba consigo una pérdida monumental del rendimiento.

Por el contrario (y a pesar de los cientos de ventanas que deben generarse a veces para los detallados), es muy notoria la diferencia entre hacer planos en términos de rendimiento y el esfuerzo que debe invertirse en ellos, por ejemplo, el conjunto de planos totales de la Torre Asada tan solo tiene dos cortes principales (trasversal y longitudinal) que fueron realizados en aproximadamente 14 h (esto fue así, debido al enorme esfuerzo que representa el realizar un corte o un alzado), mientras que el set de planos de la Torre Shinon tiene un total de 8 (4 transversales y 4 longitudinales), cada uno de los cuales fue obtenido sin detalles ni arreglo alguno de forma inmediata (tomaría 4 h el detallado total).

De lo mencionado anteriormente, se puede decir, que Revit es mejor que AutoCAD en el factor tiempo de la fase de diseño, siempre y cuando se trabaje en

equipo (en CAD, a más personas, mayor coordinación necesaria por lo que el rendimiento por persona disminuye mientras mayor sea el equipo de trabajo), más aún si sumamos el hecho de que si bien se pueden tener los planos listos con CAD antes que con Revit, es solo tiempo prestado, pues en la fase de construcción todas esas incoherencias que se podrían haber detectado con BIM saldrán a la luz, teniendo que rehacer la documentación y generando pérdidas en obra.

6.3. Análisis de los resultados

De todo lo expuesto anteriormente, es posible hacer un resumen comparativo que muestre las similitudes, diferencias, ventajas y desventajas entre la metodología tradicional y la BIM-VDC, así como del *software* que soporta cada uno de estos métodos de diseño, cabe destacar, que se empleó metodología BIM-VDC; este punto puede parecer redundante, sin embargo, hay que tener en cuenta que generalmente cuando se aplica BIM, en realidad se está modelando en un *software* BIM y no aplicando la metodología BIM-VDC; muchos de los cursos en internet en realidad no enseñan BIM, sino a usar *software* BIM, con la herramienta 1, con la herramienta 2, con la herramienta n; no se enseña la metodología BIM-VDC como tal. Dicho resumen se puede apreciar a continuación:

- En CAD se pueden hacer detallados no exactos rápidamente, además de decir que la figura de una columna *es* una columna, en BIM es una columna o no. Esto es así, porque los dibujos en CAD son representaciones (2D o 3D) de un proyecto que solo existe en la imaginación de quienes lo diseñan (por lo cual no es extrañar, que solo pequeñas porciones del mismo estén en la documentación), BIM está hecho para construir proyectos digitales (o lo es lo mismo, el modelo *es* el proyecto), por lo que deben hacerse los objetos con parámetros y dimensiones al menos aproximadas, lo que en etapas iniciales tiende a consumir un exceso de recursos.
- De lo expuesto anteriormente (y de lo observado a lo largo del desarrollo de ambos proyectos) se puede decir, que aplicar BIM en proyectos pequeños puede llegar a ser una auténtica pérdida de recursos, como un misil contra una mosca;

cada *software* y método de diseño está dirigido a un objetivo específico, y su aplicabilidad dependerá de los usos que se le vaya a dar a la información generada, a los objetivos de la implementación BIM y del uso de la edificación (los resultados aquí mostrados corresponden únicamente a proyectos de uso residencial). La gráfica siguiente muestra de forma orientativa la relación esfuerzo invertido vs m^2 a diseñar en el proyecto, así como el desempeño de cada uno de los programas empleados.

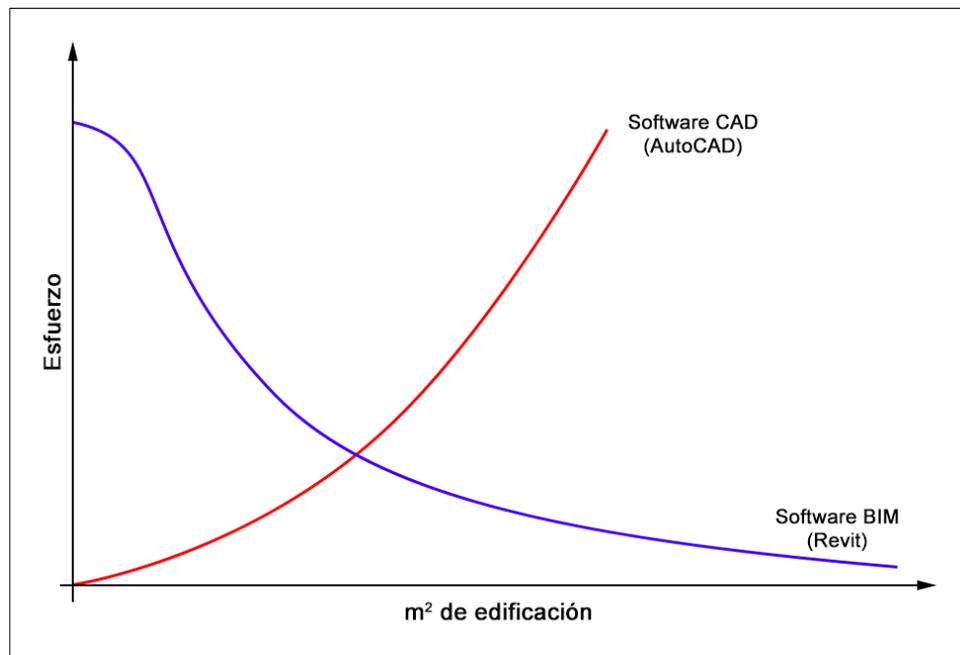


Figura 67. Rentabilidad de utilizar software BIM VS software CAD.

Fuente: Autores.

Debido a que trazar líneas en principio es más sencillo que: esperar a tener un modelo listo para extraer datos, configurar los datos de entrada y tener que modelar cada uno de los elementos que conforman la edificación, se vuelve un auténtico agujero negro devorador de recursos el emplear modelos BIM para proyectos pequeños, y más aún cuando se emplea con una metodología errada o desordenada, o peor aún, cuando se utiliza Revit sólo para hacer modelos 3D.

- Todo proyecto en Revit es virtualmente infinito en su modelado, son los objetivos del modelo (y quien modela) los que definen cuándo se acaba el proceso, la Torre Shinon no fue la excepción.
- A primera vista, se puede decir que tanto Revit como CAD tienen la capacidad de generar planos de increíble detalle, y que la calidad depende de quien desarrolla el proyecto y no del programa en sí; no obstante, si se suman las capacidades 3D del *software*, se incrementa enormemente la comprensión del proyecto y con un mínimo esfuerzo, muchas veces a niveles que no se pueden alcanzar con CAD 3D, tal es el caso de ciertas soluciones constructivas, que solo pueden ser vistas, desarrolladas o aplicadas con *software* BIM.
- A pesar del problema de la visualización de las ventanas en Revit y de las decenas (a veces cientos) de ellas que son necesarias para la construcción de planos, sigue siendo más recomendable su aplicación al dibujo línea por línea en proyectos grandes.
- En esta investigación, y debido a que el equipo de trabajo estaba integrado por sólo dos personas fue posible el diseño por capas antes descrito en AutoCAD, lo que facilitó aumentos en el rendimiento, la coordinación entre las distintas disciplinas y la detección de interferencias, sin embargo, mientras más grande es el proyecto, más complicada es su aplicación; usualmente cada integrante del equipo tiende a trabajar en comunicación con los demás pero con su propio documento, y si bien esto tiene la ventaja de permitir un dibujo fluido de cada pieza, detalle, alzado o planta, también es una de las razones por las cuales se generan las incompatibilidades en el proyecto, y si a eso se suman las capacidades casi nulas de AutoCAD de representar objetos 3D y entender el proyecto, es fácil entender el porqué de sus incoherencias casi omnipresentes.
- En un *software* CAD es posible la detección de interferencias hasta cierto punto, ello dependerá del nivel de detalle y compromiso de quien diseña, así como de la complejidad y tamaño del proyecto (más complejo y más grande, más interferencias pasadas por alto).

- En Revit las colisiones e incoherencias son más fáciles de evitar y/o solucionar y mientras más completo esté el modelo, menos de ellas habrán, esto es así debido a las capacidades 3D del *software*; de hecho, este el buque insignia utilizado por anunciantes publicitarios del BIM (aunque BIM sea mucho más que eso).
- Revit (así como muchos otros *software* de modelado BIM) no es un programa de diseño conceptual (como muchos lo utilizan), para ello existen otros *software* tales como SketchUp y FormIt, de los cuales se puede importar a un entorno BIM; es recomendable utilizar los *software* para lo cual fueron diseñados.
- En cuanto a la ubicación de las tuberías en Revit, fue posible invertir más tiempo en el diseño de las redes en vez de dibujar, y sumado a la posibilidad de ver en 3D lo que se hacía, permitió un diseño más óptimo en comparación a su contraparte en CAD, menos tuberías, y corrección de incompatibilidades con la estructura (como las interferencias con los nervios de la losa).
- La gran mayoría de los proyectos desarrollados con CAD carecen de información asociada, y los pocos que siquiera tienen información no pueden utilizarla dentro del *software*, sino que debe ser exportada a programas como Excel, además de ser muy básica en su contenido.
- El primer objetivo principal del uso de *software* y metodología BIM es la reducción de desperdicio, si este objetivo no se cumple (ya sea porque es innecesaria su aplicación, se sobremodela o porque existe un desorden en la aplicación del método), es preferible seguir con CAD.
- El segundo objetivo principal del uso de *software* y metodología BIM es el empleo de la información que proveen los modelos desarrollados, dicho de otra forma ¿el modelo es sólo 3D o también inteligente?
- Incluso cuando se utiliza CAD de la forma correcta, hay veces (cada vez menos) en las cuales pueden vencer a modelos elaborados con herramientas BIM.

- De implantar BIM errónea o desordenadamente, o en proyectos en donde no se debe, el resultado será un auténtico desastre.
- ¿Es mejor software CAD o BIM? La respuesta final es: depende de numerosos factores.
- ¿Es mejor la metodología VDC a la tradicional? Sí.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con base en investigación referencial se resumieron las variables que pueden afectar el desarrollo de un proyecto de edificaciones, así como el impacto positivo que podría tener en el proyecto el uso de programas BIM; estos pueden ser hallados en la sección 2.2.5.
- Teniendo en cuenta conceptos básicos de arquitectura, estructura y las variables que pueden afectar el desarrollo de un proyecto de edificación, se produjo una propuesta arquitectónica, un edificio residencial de diez (10) niveles ubicado en la ciudad de El Tigre, Edo. Anzoátegui, el mismo posee cinco (5) las plantas altas típicas, un (1) sótano, una (1) planta baja, planta techo 1 (P.T.1), planta techo 2 (P.T.2) y un nivel tipo mezanina que alberga el cuarto de máquinas (P.S.M.). La propuesta puede ser hallada con más detalle en la sección 4.1 así como en el Anexo A.
- Partiendo de la propuesta arquitectónica se realizaron los diseños de dos proyectos, el primero partiendo de la propuesta a lápiz, realizado con software CAD y aplicando la metodología tradicional (la Torre Asada), y un segundo, partiendo del diseño en CAD y realizado con software BIM y con la metodología BIM-VDC (la Torre Shinon). La descripción del proceso de diseño y los inconvenientes superados puede ser encontrada en las secciones 4.1.1 y 4.1.2; los planos de detalle de la Torre Asada pueden ser hallados en el Anexo B y los de la Torre Shinon en el Anexo C. En el Anexo D pueden encontrarse las vistas 3D de la Torre Shinon. En el Anexo E se encuentra la memoria descriptiva y de cálculo del proyecto.

- Se compararon ambas metodologías indicadas inicialmente (CAD y BIM-VDC) así como los programas asociados comúnmente a ellas; en el Capítulo 4 pueden hallarse los resultados de la comparación entre CAD y BIM-VDC de forma detallada, no obstante, de forma resumida son los siguientes:
 - Utilizar CAD para hacer detallados que se necesiten rápidamente es mucho más eficiente que utilizar BIM, debido a que un *software* BIM debe cargarse con información previa (lo que muchas veces toma su tiempo), en CAD solo se inicia y se dibuja.
 - Antes de comenzar a diseñar es necesario analizar los objetivos y usos que tendrá cada modelo (sea paramétrico o no), así se evita utilizar BIM cuando no es necesario, usándose cada método para lo que es mejor, esto permite también evitar el remodelado, que tanto daño puede significar en un modelo BIM.
 - Se puede decir que CAD y BIM tienen la capacidad de generar planos 2D muy bien detallados, pero cuando se añaden las capacidades de visualización 3D instantáneas de este último y la generación de datos, este queda muy bien posicionado.
 - En un *software* CAD es posible la detección de interferencias hasta cierto punto, ello dependerá del nivel de detalle y compromiso de quien diseña, así como de la complejidad y tamaño del proyecto.
 - Es muy recomendable utilizar cada *software* para lo que fue diseñado, de esta forma se aprovechan sus mejores cualidades.
 - La gran mayoría de los proyectos desarrollados con CAD carecen de información asociada, y los pocos que siquiera tienen información no pueden utilizarla dentro del *software*, sino que debe ser exportada a programas como Excel, además de ser muy básica en su contenido.
 - Los principales objetivos del uso de *software* y metodología BIM son: (1) la reducción de desperdicio y (2) el empleo de la información que proveen

los modelos desarrollados, si estos objetivos no se cumplen es preferible seguir con CAD.

- De implantar BIM errónea o desordenadamente, o en proyectos en donde no se debe, el resultado será un auténtico desastre.
- ¿Es mejor software CAD o BIM? Depende de numerosos factores.
- ¿Es mejor la metodología VDC a la tradicional? Sí.

5.2. Recomendaciones

- Para poder tener una muestra mayor de proyectos sobre los cuales concluir qué metodología o *software* es mejor usar, se deben realizar modelos con un uso distinto que residencial, así como de tamaños y condiciones variadas.
- A fin de evaluar por completo la metodología BIM-VDC (4D, 5D, etc.) es necesario el poseer *hardware* más potente, de esta forma se modelarían las instalaciones y aceros restantes, además de poder trabajar con versiones más recientes de Revit (la versión 2017 es muy equilibrada en cuanto a rendimiento del *software* vs capacidad de modelado).
- Evaluar proyectos no solo con la implementación de Revit, sino de otros *software* BIM y, en el caso de seguir utilizando Revit, evaluar el diseño de proyectos junto con su análisis estructural totalmente BIM, utilizando programas como Autodesk Robot Structural Analysis.
- El presente trabajo de investigación es solo referencial, no tomar como una guía absoluta de lo aquí expuesto con propósitos comerciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI (2014). **Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)**. Farmington Hills, USA: The American Concrete Institute.
- ACI (2010). **Recomendaciones para el Diseño de Conexiones Viga-Columna en Estructuras Monolíticas de Concreto Reforzado. (ACI 352-RS 02)**. Farmington Hills, USA: The American Concrete Institute.
- ARIAS, FIDIAS. (2012). **El Proyecto de Investigación**. 6ta Edición. Caracas, Venezuela. Editorial Episteme.
- ARNAL, HENRIQUE; EPELBOIM, SALOMON. (1984). **Manual para el Proyecto de Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones**. Caracas, Venezuela: Colegio de Ingenieros de Venezuela.
- ASCE (2006). **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASCE 7-05**. Reston, USA: American Society of Civil Engineers.
- BALSELLS, JORDI (Julio de 2004). **Guía de diseño de aparcamientos urbanos**. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3388>
- BIM FORUM (Septiembre 2018). **LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION PART I & COMMENTARY**. (Documento en línea). Recuperado de: https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2018_reprint.pdf
- BIMnd (s.f.). **Las 7 Dimensiones BIM**. Recuperado de: <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>
- BIM - VDC - IPD - LEAN**. (7 de Agosto de 2015). EDILIZIA. Recuperado de: http://www.edilizia.com.ar/contenidos/2015/08/07/Editorial_2992.php
- CABRERA, JUSTO (14 de Octubre, 2016). **Virtual Design and Construction (VDC): una nueva era en la construcción. Conexión ESAN**. Recuperado de: <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2016/10/14/virtual-design-construction-vdc-nueva-era-construccion/>

- CÁRDENAS, LÁZARO. (9 de junio de 2015). **La curva de MacLeamy: cuándo cuesta menos construir.** Recuperado de: <https://ingenieriaparadisfrutar.wordpress.com/2015/06/09/la-curva-de-macleamy-cuando-cuesta-menos-construir/>
- CHACÓN, DANIEL; CUERVO, GÉNESIS. (Julio de 2017). **Implementación de la metodología BIM para laborar proyectos mediante el software Revit.** Recuperado de: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/6952/dchacon.pdf?sequence=3>
- COVENIN (1987). **Especificaciones Generales para Edificios 1750-87.** Caracas, Venezuela
- COVENIN (1988). **Guía Instructiva sobre Sistemas de Detección, Alarma y Extinción de Incendios 823:88.** Caracas, Venezuela: Fondonorma.
- COVENIN (1990). **Escaleras, Rampas y Pasarelas. Requisitos de Seguridad 2245-90.** Caracas, Venezuela.
- COVENIN (1998). **Características de los Medios de Escape en Edificaciones Según el Tipo de Ocupación 810:1998.** Caracas, Venezuela: Fondonorma.
- COVENIN (2001). **Edificaciones Sismorresistentes 1756-2001.** Caracas, Venezuela. Fondonorma.
- COVENIN (2001). **Accesibilidad de las Personas al Medio Físico. Edificios. Rampas Fijas. 3656:2001.** Caracas, Venezuela: Fondonorma.
- COVENIN (2002). **Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones 2002-88.** Caracas, Venezuela.
- COVENIN (2003). **Acciones del Viento sobre las Construcciones 2003-83.** Caracas, Venezuela.
- COVENIN (2004). **Entorno Urbano y Edificaciones Accesibilidad para las Personas 2733:2004.** Caracas, Venezuela: Fondonorma.
- COVENIN (2019). **Instalación de Sistemas de Tuberías para el Suministro de Gas Metano o Gas Licuado de Petróleo (Glp) en Edificaciones Residenciales, Comerciales y Otros 928:2919.** Caracas, Venezuela.

- DIAZGRANADOS, MIGUEL. (Mayo, 2018). **Cambiando el Chip en la Construcción, Dejando la Metodología Tradicional de Diseño CAD para Aventurarse a lo Moderno de la Metodología BIM.** (Tesis de Grado). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16606/1/2018.05.22%20Proyecto%20de%20grado%20BIM%20-%20MIGUEL%20BLANCO%20DIAZGRANADOS.pdf>
- EcuRed. (s.f.). **Diseño Asistido por Computadora.** Recuperado de: https://www.ecured.cu/Diseño_asistido_por_computadora
- EspacioBIM (25 de octubre de 2016). **¿QUÉ ES EL LOD? Nivel de detalle.** Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/lod>
- EspacioBim (9 de diciembre de 2016). **LAS 7 DIMENSIONES BIM Y BLANCA-BIM.** Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/dimensiones-bim>
- EspacioBIM. (2017). **Objetivos y usos BIM.** (16 de noviembre, 2017). [Tabla y figura]. Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/objetivos-usos-bim/>
- FERNÁNDEZ, JAVIER. (s.f). **CASO DE ÉXITO BIM: Edificio de viviendas en Mataró.** Recuperado de: <https://www.kubbs.es/articulos/edificio-de-viviendas-en-bim-mataro/>
- FONDONORMA (2006). **Proyecto y Construcción en Concreto Estructural 1753-2006.** Caracas, Venezuela.
- GARNICA, ANDREA. (Junio, 2017). **Diseño de Metodología Integral Orientada a la Gestión de Proyectos de Construcción Civil Empleando la Herramienta Building Information Modeling (BIM) Caso: vivienda unifamiliar.** (Tesis de grado). Recuperado de: <http://www.bimforum.cl/2017/10/19/disenio-de-metodologia-integral-orientada-a-la-gestion-de-proyectos-de-construccion-civil-empleando-la-herramienta-bim-caso-vivienda-unifamiliar/>
- GERDAU AZA (Julio de 2015). **Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón.** 1ra. Edición. Santiago de Chile, Chile. GERDAU AZA S.A.
- GOLDSACK, LUIS. (s.f). **Guía de Estudio No. 11. Evacuación de Basuras.** Santiago de Chile, Chile.
- GROSSO, MANUEL. (s.f). **Curso de Lectura e Interpretación de Planos.**

- HERRERA PEDRO. (12 de julio de 2019). **CAD, BIM, VDC, IPD, LEAN CONSTRUCTION.** Recuperado de: <https://www.arq-herrera.com/post/cad-bim-vdc-ipd-lean-construction>
- HILDEBRANDT GRUPPE. (29 de Abril, 2015). **¿Qué es Revit y para qué sirve en el modelado BIM?** HILDEBRANDT GRUPPE. Recuperado de: <http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>
- HILDEBRANDT GRUPPE. (29 de Junio, 2015). **¿En qué consiste el modelo BIM?** (29 de Junio de 2015). Recuperado de: <http://www.hildebrandt.cl/en-que-consiste-el-modelo-bim/>
- KHAN, R. (18 de Junio de 2015). **BIM and VDC defined, the Mortenson perspective.** SYNCHRO Software. Recuperado de: <http://blog.synchro ltd.com/bim-and-vdc-defined-the-mortenson-perspective>
- Lean Construction Institute. (2017). **GETTING STARTED WITH LEAN.** Recuperado de: <https://www.leanconstruction.org/learning/getting-started-with-lean/#lean-videos>
- LÓPEZ, ANDREW. (20 de febrero de 2017). **BIM Intentando tocar la realidad en España.** Recuperado de: <https://www.esbim.es/bim-intentando-tocar-la-realidad-en-espana/>
- LÓPEZ, LUIS. (Marzo de 1990). **AGUA. Instalaciones Sanitarias en los Edificios.** Edición de prueba. Maracay, Venezuela.
- LYTLE, SAM. (26 de Julio, 2014). **What is Virtual Design and Construction (VDC)?** CIVILFX. Recuperado de: <http://www.civilfx.com/virtual-design-construction-vdc/>
- MANICA C.A. (s.f.). Bloque para placa MANICA. (Tablas de diseño). Recuperado de: <https://www.manica.com.ve/construccion/bloque-para-placa/>
- MEZA, JESUS. (Junio, 2011). **LEAN CONSTRUCTION** (Tesis de Grado). Recuperado de: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4652/tesis%20completa_.pdf?sequence=1
- MILLASAKY, CARLOS. (Abril de 2018). **Cuantificación de los beneficios económicos de subcontratar servicios BIM (Building Information Modeling) en la etapa de diseño para proyectos de edificaciones en Lima metropolitana.** (Trabajo de Grado). Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12112>

- MONFORT, CARLA (2015). **Impacto del BIM en la Gestión del Proyecto y la Obra de Arquitectura.** (Tesis de Grado). Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55201/MEMORIA_TFG_MONFORT_PITARCH%2CCARLA_14411406249496792971937922144995.pdf?sequence=3
- MPASCENSORES. (s.f) **Manual Completo de Ascensores.** Recuperado de: https://www.arquitectosdecadiz.com/wp-content/uploads/2017/12/2.b.2.2.Manual_tecnico_ascensores.pdf
- MUNDOBIM (15 de marzo de 2017). **Niveles de desarrollo (LOD) y su importancia en Revit.** Recuperado de: <https://mundobim.com/2017/03/level-of-development-lod-bim/>
- Normas para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones.** (1988). *Gaceta Oficial N° 4.044 Extraordinario del 8 de septiembre de 1988.* Caracas, Venezuela
- Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico** (2011). Gaceta Oficial del Distrito Federal el 8 de Febrero de 2011. México D.F., México.
- OJEDA, JUAN; SALVADOR, RODRIGO. (Noviembre de 2002). **Recomendaciones para la elaboración de planos estructurales asistido por computadoras.** (Tesis de grado). Recuperado de: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAP8990.pdf>
- ORTEGA, BORJA. (17 de Noviembre, 2015). **Metodología BIM o Building Information Modeling.** Espacio BIM. Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/flujo-trabajo-building-information-modeling/>
- ORTEGA, BORJA. (18 de Noviembre, 2015). **Qué es Revit, o mejor, qué es BIM. Espacio BIM.** Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/que-es-revit/>
- OSERS, HARRY (1982). **Detalles Típicos de Obras Civiles.** 4ta. Edición. Caracas, Venezuela.
- OSERS, HARRY (2010). **Proyectos de Construcción. Casa – Quinta.** 12va. Edición. Caracas, Venezuela. HRT-M Osers, Ingenieros.
- PACHECO, ROBERTO. (14 de Marzo de 2017). **Comparación Del Sistema Tradicional VS la Implementación del BIM (Building Information Management) en la Etapa de Diseño y Seguimiento en Ejecución. Análisis de un Caso de Estudio.** (Tesis de grado). Recuperado de:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7616/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-177.pdf>

PAVCO. (s.f). **Manual Línea Sanitaria. PAVCO de Venezuela S.A.**

PONS, JUAN. (Marzo, 2014). **Introducción a Lean Construction.** (Documento en línea). Recuperado de: www.fundacionlaboral.org/documento/introduccion-al-lean-construction

PONS, JUAN. (22 de Enero, 2016). **Introducción a Lean Construction.** ALARIO. Recuperado de: <https://enriquealario.com/introduccion-a-lean-construction/>

PORRAS, H.; SÁNCHEZ, O.; GALVIS, J. (3 de Junio, 2014). **Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual.** (Documento en línea). Recuperado de: <http://www.unilivre.edu.co/revistaavances/avances-11/art4.pdf>

RODRIGUEZ, JOSE (1 de Mayo, 2017). **Historia del BIM.** Autodesk Knowledge Network. Recuperado de: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit-products/getting-started/caas/screencast/Main/Details/a528433c-1922-48e7-861c-ef15c2e400f0.html>

SABINO, C. (1994). **Cómo hacer una tesis y elaborar todo tipo de escritos.** 3era edición. Caracas, Venezuela. Editorial Panapo.

SALAZAR, MANUEL. (Febrero, 2017). **Impacto Económico del uso de BIM en el Desarrollo de Proyectos de Construcción en la Ciudad de Manizales.** (Tesis de Grado). Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/56964/13/manuelfernandosalazaralzate.2017.pdf>

SIMMONDS, ENRIQUE. (11 de mayo de 2015). **Variables que inciden en el diseño del espacio arquitectónico.** Documento en línea. Recuperado de: https://es2.slideshare.net/kikesimmonds/variables-que-inciden-en-el-diseo-del-espacio-arquitectnico?from_action=save

SOLER M.; PELLICER E.; ÁLVAREZ M. (Marzo, 2017). **Los Métodos Colaborativos (IPD), una Metodología Lean Construction que mejora el Proceso Constructivo.** (Documento en Línea). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/318431628_LOS_METODOS_COLABORATIVOS_INTEGRATED_PROJECT_DELIVERY_UNA_METODOLOGIA_LEAN_CONSTRUCTION_QUE_MEJORA_EL_PROCESO_CONSTRUCTIVO

- SUCCAR, BILAL (18 de Febrero, 2016). **Episodio 8: Comprender las Etapas BIM. Espacio LEAN BIM.** Recuperado de: <http://www.espacioleanbim.com/episodio-8-comprender-las-etapas-bim/>
- SUCCAR, B.; MOSSMAN, A. (26 de Abril, 2016). **Episodio 9: Los Pasos BIM. Espacio LEAN BIM.** Recuperado de: <http://www.espacioleanbim.com/episodio-9-los-pasos-bim/>
- TABOADA, J., ALCÁNTARA, V., LOVERA, D., SANTOS, R., & DIEGO, J. (2011). **Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM. Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Geología, Minas, Metalurgia Y Ciencias Geográficas, 14(28).** Documento en línea. Recuperado de: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v14i28.672>
- The Pennsylvania State University. (2010). **The BIM Project Execution Planning Guide.** (Documento en línea). Recuperado de: https://vdcscorecard.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj8856/f/bim_project_execution_planning_guide-v2.0.pdf
- Trabajar con BIM (Building Information Model).** (s.f.). ESAEDRO. Recuperado de: <https://easaedro.com/bim/>
- TRISTANCHO, J., CONTRERAS, L. y VARGAS, L. (2011). **Aplicación del modelo integrado de desarrollo (BIM) en el diseño de proyectos para oficina abierta.** En Ingeniería, Vol. 16 No. 2, pág. 78-93. (Documento en línea). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4797257.pdf>
- VALDERRAMA R., JESÚS. (30 de Septiembre, 2015). **Usos del BIM ¿Para qué necesito yo un BIM?** APOGEA Virtual Building Solutions. Recuperado de: <http://www.apogeavirtualbuilding.com/usos-del-bim/>
- ¿Qué es Lean Construction?** (s.f.). Construcia. Recuperado de: <https://www.construcia.com/que-es-lean-construction/>
- ¿Qué es Lean Construction?** (s.f.). Lean Construction Enterprise (LCE). Recuperado de: <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>
- ¿Qué es Lean Construction o Construcción sin Pérdidas?** (s.f.). BS Grupo. Recuperado de: <https://bsgrupo.com/bs-campus/blog/Que-es-Lean-Construction-o-Construccion-sin-Perdidas-83>

¿Qué es VDC: Virtual Design and Construction? (s.f.) ESAEDRO. Recuperado de: <https://easaedro.com/vdc-virtual-design-and-construction/>

ZAPATA, PATRICIO (27 de enero, 2017). **Conceptos Fundamentales de ARCHICAD.** GRAPHISOFT Latinoamérica. Recuperado de: <http://blog.graphisoft.lat/conceptos-fundamentales-de-archicad/>

ZOZORANGA, JHANES. (Febrero de 2013). **Categorización sísmica de Edificios.** (Tesis de Grado). Recuperado de: <https://1library.co/document/9ynj5pzv-categorizacion-sismica-de-edificios.html>

3D CAD PORTAL. (s.f.). **Computer Aided Design CAD, Diseño asistido por computadora.** Recuperado de: <http://www.3dcadportal.com/cad.html>

3D CAD PORTAL. (s.f.). **AutoCAD.** <http://www.3dcadportal.com/autocad.html>

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	“Evaluación de la Metodología Tradicional (CAD) y VDC (BIM) en el Desarrollo de Proyectos de Edificaciones”
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Annabel España	CVLAC	24.578.228
	e-mail	annespana23@gmail.com
	e-mail	
Eber Triana	CVLAC	25.567.388
	e-mail	eber.triana2@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

CAD
BIM
VDC
Diseño
Estructura
Arquitectura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

Actualmente hay tantos *software* de diseño, que a veces es fácil entrar en pérdidas de rendimiento porque no se utilizó el adecuado; es por ello que el siguiente trabajo de investigación aborda la tarea de responder qué métodos son mejores en el desarrollo de los proyectos de edificación, si la metodología tradicional o el VDC. Para conocer la respuesta, se realizó el diseño de dos edificaciones de concreto armado, para el diseño de la primera se utilizó la metodología tradicional haciendo uso de, en la segunda edificación se empleó BIM-VDC. Este proyecto de investigación se enmarca en la modalidad de campo con un nivel descriptivo, utilizando técnicas como la revisión documental y la observación directa; se evaluaron varios puntos clave, como son la calidad de presentación de la documentación, la capacidad de generación de datos, la detección de incoherencias, el resultado final, la facilidad de presentación y el tiempo de desarrollo; los *software* de modelado empleados fueron Autodesk Revit 2017 y Autodesk AutoCAD 2017. El presente proyecto servirá para que futuros profesionales mejoren sus métodos de diseño, además de introducir los conceptos del BIM-VDC en el repertorio de enseñanza de la Universidad de Oriente.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Martínez Guerra, Jhonatan Alez	ROL	CA		AS	X	TU		JU			
		x									
		CVLAC	V-15.376.400								
	e-mail	ingmartinezgj@gmail.com									
	e-mail										
Cabrera Velásquez, Daniel Cabrera	ROL	CA		AS		TU		JU			
		x									
		CVLAC	V-17.421.606								
	e-mail	danielcabrera@udo.edu.com									
	e-mail										
Becerra Natera, Margelis Coromoto	ROL	CA		AS		TU		JU			
		x									
		CVLAC	12.503.846								
	e-mail	margelisbc@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2021	07	23
-------------	-----------	-----------

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
PG-EspañaTriana.docx	Aplication/word

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: TEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio:

Educación Mención Ingeniería

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,
[Firma]
JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Annabel del Valle España Laguna

AUTOR

Eber Josué Triana Hernández

AUTOR

MSc. Jhonatan Martínez

TUTOR