

IMPLEMENTACIÓN DE LAST PLANNER SYSTEM Y BUILDING INFORMATION MODELING EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Metodologías de Diseño, Coordinación y Construcción en una
Pequeña Empresa de Desarrollo Inmobiliario.

TOMÁS VEGA TRUJILLO

Trabajo de grado para obtener el título de
Magíster en Ingeniería, con énfasis en Gestión de la Construcción

Asesor: Luis Fernando Botero Botero

Medellín
Universidad EAFIT
Facultad de Ingeniería Civil
2017

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 21 de Julio de 2018

Agradecimientos

A mis padres y hermanos, por el incondicional apoyo en mis proyectos académicos y profesionales.

A María Clara Osorio, Arquitecta, por su acompañamiento durante el proceso y apoyo intelectual en la elaboración de gráficos y contenidos.

A Camilo Ramírez, Arquitecto, mi socio y cómplice en todos mis proyectos profesionales, por el gran apoyo intelectual y participación desde la elaboración de contenidos y procesos en A5 Arquitectura.

A Luis Fernando Botero, Magister en Ciencias de la Administración, tutor del presente proyecto, por guiarme durante proceso y aportarme desde su conocimiento y experiencia.

A los integrantes de A5 Arquitectura que de alguna manera u otra aportaron a la ejecución de este trabajo y al crecimiento de la empresa.

Agradecimientos	3
Lista de Tablas	7
Lista de Ilustraciones	7
Resumen.....	11
Introducción	12
1. Planteamiento del problema	14
2. Justificación	15
3. Objetivos.....	16
3.1. Objetivo General	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. Marco Teórico.....	17
4.1. Lean Construction	18
4.1.1. Modelo de Producción Convencional	22
4.1.2. Modelo de Producción Lean	23
4.2. Last Planner System.....	25
4.2.1. Plan Maestro.....	29
4.2.1.1. Técnicas de Planificación y Visualización	30
4.2.1.2. Estudio de Layout	33
4.2.1.3. Pull Planning	39
4.2.1.4. Indicadores.....	42
4.2.2. Plan Intermedio	43
4.2.2.1. Mecanismo de Comunicación	45
4.2.2.2. Indicadores.....	47
4.2.3. Plan Semanal	47
4.2.3.1. Reunión del Plan Semanal	48
4.2.3.2. Condiciones Locativas.....	49
4.2.3.3. Ejecución de la Reunión	50

4.2.3.4.	Causas de no Cumplimiento	52
4.2.3.5.	Indicadores.....	53
4.3.	Building Information Modeling	55
4.3.1.	Diferencias entre CAD y BIM	57
4.3.1.1.	Tipos de Modelos BIM	58
4.3.2.	Las Dimensiones BIM	61
4.3.3.	Niveles de desarrollo BIM	64
4.3.4.	Conceptos para la Implementación BIM.....	66
5.	Estado del Arte	68
5.1.	Enfoques a la satisfacción del cliente	70
5.2.	Ingeniería a la Orden	73
6.	Marco Práctico.....	78
6.1.	Contextualización.....	78
6.1.1.	Proyectos de Pequeña Escala	79
6.1.2.	Proyectos de Mediana Escala.....	80
6.1.3.	Proyectos de Gran Escala	82
6.1.4.	Actuación de la Empresa	85
6.2.	Metodología	87
6.2.1.	Fase de Diseño	87
6.2.2.	Fase de Construcción	88
6.3.	Desarrollo.....	91
6.3.1.	Descripción del proyecto.....	91
6.3.1.1.	Estrategias Generales de Diseño.....	92
6.3.1.2.	Desarrollo del Diseño.....	97
6.3.1.3.	Programa Arquitectónico	102
6.3.2.	Desarrollo del Diseño: Herramientas BIM	104
6.3.2.1.	Modelado 3D Arquitectura e Interiorismo.....	104

6.3.2.2.	Modelado 3D Estructura	122
6.3.2.3.	Modelado 3D Redes Técnicas	126
6.3.2.4.	Coordinación Técnica	129
6.3.2.5.	Modelado 4D	135
6.3.3.	Desarrollo de la Construcción: Herramientas <i>LPS</i>	142
6.3.3.1.	Organización Preliminar	142
6.3.3.1.1.	Organización Administrativa	142
6.3.3.1.2.	Tiempo de Respuesta	148
6.3.3.1.3.	Organización Técnica.....	149
6.3.3.2.	Plan General	149
6.3.3.2.1.	Estudio de Layout.....	149
6.3.3.2.2.	Programación de obra: Gantt y LOB	151
6.3.3.2.2.1.	Análisis de Inferencias	155
6.3.3.2.2.2.	Ajuste de la Programación	156
6.3.3.2.3.	Reuniones y Niveles de Planificación	159
6.3.3.2.4.	Pull Planning.....	160
6.3.3.2.4.1.	Diseño de la Reunión	160
6.3.3.2.4.2.	Desarrollo de la reunión.....	163
6.3.3.3.	Plan Intermedio	165
6.3.3.4.	Plan Semanal	169
6.3.3.5.	Seguimiento y Control	170
7.	Propuesta de Implementación	171
8.	Consideraciones Finales	174
	Bibliografía	179

Lista de Tablas

Tabla 1: La Producción Convencional y La Producción Lean. Adaptado de (Campero & Alarcon, 2003)	24
Tabla 2: Control de actividades de planificación intermedia.....	46
Tabla 3: Gestión de restricciones.	46
Tabla 4: Formato de control diario de la producción.	49
Tabla 5: Formato de registro de planificación semanal.	52
Tabla 6: Carta descriptiva del proyecto.....	91
Tabla 7: Cuadro de áreas discriminado por zonas.....	102
Tabla 8: Evaluación técnica de contratistas o proveedores.....	145
Tabla 9 Evaluación Financiera de contratistas o proveedores.....	145
Tabla 10: Cuadro Comparativo de Oferentes.	146
Tabla 11: Tiempo de respuesta del equipo de trabajo.....	148
Tabla 12: Lista de Hitos, fechas y localización en zonas.....	153
Tabla 13: Listado de Hitos, fechas y localización en zonas.....	157
Tabla 14: Lista de Chequeo para la reunión de Pull Planning.....	162
Tabla 15: Segmento del plan Intermedio.	167
Tabla 16: Gestión de restricciones, detalle de algunas de las restricciones.	168
Tabla 17: Segmento de la planificación a corto plazo.....	169
Tabla 18: Segmento de lista de chequeo. Metodología de Gestión de proyectos.	172
Tabla 19: Segmento de lista de chequeo. Metodología de Gestión de proyectos.	173

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Filosofía de planeación Convencional y filosofía de planeación Lean.....	27
Ilustración 2: Sistema del LPS.....	28
Ilustración 3: Programación de obra CPM visualizado mediante Gantt en Microsoft Project.....	31
Ilustración 4: Programación de obra en el sistema de Línea de Balance (LOB).....	33
Ilustración 5: Principios fundamentales del Estudio de Layout.....	34
Ilustración 6: Las 4 Fases del Estudio de Layout.	37
Ilustración 7: Tarjetas para la sesión de Pull Planning.....	42
Ilustración 8:LOD, Nivel de desarrollo BIM	65
Ilustración 9: Diagrama de funcionamiento de proyectos de pequeña escala.	79
Ilustración 10: Diagrama de funcionamiento de proyectos de mediana escala.	81
Ilustración 11: Diagrama de funcionamiento de proyectos de mediana escala.	83

Ilustración 12: Diagrama de objetivos funcionales de A5 Arquitectura	86
Ilustración 13: Uso de los contenedores como punto de partida del diseño.	92
Ilustración 14: Preexistencia. Bodega industria ubicada entre medianeros.	93
Ilustración 15: Levantamiento del estado inicial de la bodega. Corte transversal.....	94
Ilustración 16: Propuesta de diseño atendiendo las necesidades espaciales y técnicas. Corte transversal.	95
Ilustración 17: Resultado del reemplazo de la cubierta existente.	96
Ilustración 18: Intervención en la fachada frontal de la bodega.	96
Ilustración 19: Asociación de contenedores en un sistema 1 a 2. En azul las 6 modulaciones utilizadas.	97
Ilustración 20: Ubicación de los módulos de contenedores en el espacio.....	98
Ilustración 21: Sistema de circulaciones del proyecto.....	99
Ilustración 22: Sistema de patios y zonas verdes.	100
Ilustración 23: Planteamiento de la nueva cubierta.....	101
Ilustración 24: Planta primer piso.	103
Ilustración 25: Planta segundo piso.....	103
Ilustración 26: Levantamiento topográfico, Corte y Fachada.	104
Ilustración 27 Levantamiento topográfico, Planta General	105
Ilustración 28: Registro fotográfico interior de la bodega existente.....	105
Ilustración 29: Losa y ejes.....	106
Ilustración 30: Estructura del edificio, sistema de vigas y columnas:.....	107
Ilustración 31: Muros medianeros, fachada frontal y muros interiores.....	107
Ilustración 32: Sistema estructural de la cubierta, cerchas en vigas y corres.	108
Ilustración 33: Cerramientos de la cubierta, sistema estructural y tejas.	108
Ilustración 34: Se demuelen los muros interiores y la cubierta.	109
Ilustración 35: Se incluyen los contenedores en el espacio.	109
Ilustración 36: Se incluyen las circulaciones de primer y segundo piso.	110
Ilustración 37: Se incluye el sistema de zonas verdes y patios.....	110
Ilustración 38: Se incluye la cubierta y sus respectivas aperturas.	111
Ilustración 39: Modelos 3D de los contenedores y escaleras.....	112
Ilustración 40: Modelos 3D de los contenedores con los vanos.....	112
Ilustración 41: Modelo 3D del edificio con los contenedores, plataformas y escaleras.	113
Ilustración 42: Modelo 3D de zonas complementarias.....	113
Ilustración 43: Modelo 3D de la cubierta.....	114
Ilustración 44: Modelo 3D detallado, interior contenedor.....	115
Ilustración 45: Modelo 3D detallado, fachadas del contenedor.....	115
Ilustración 46: Modelo 3D detallado, grupo de contenedores.	116

Ilustración 47: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de los puestos de trabajo.	117
Ilustración 48: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas de reunión pequeñas.	117
Ilustración 49: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas de reunión grandes tipo 1.	118
Ilustración 50: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas de reunión grandes tipo 2.	118
Ilustración 51: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas múltiples.	119
Ilustración 52: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D del auditorio al aire libre.	119
Ilustración 53: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de las cabinas telefónicas.	120
Ilustración 54: Modelos 3D detallados de las zonas de ocio y jardines interiores. Elaboración propia.	120
Ilustración 55: Modelo 3D completo vista 1.	121
Ilustración 56: Ilustración 57: Modelo 3D completo vista 2.	121
Ilustración 58: Modelo 3D de la estructura de la bodega existente.	122
Ilustración 59: Modelo de diseño estructural.	123
Ilustración 60; Modelo 3D estructura de cubierta.	124
Ilustración 61: Modelos 3D del proceso de diseño y coordinación estructural.	125
Ilustración 62: Modelo 3D estructural completo.	126
Ilustración 63: Modelo 3D red eléctrica.	126
Ilustración 64: Modelo 3D Red Hidráulica.	127
Ilustración 65: Modelo 3D sistemas de climatización.	128
Ilustración 66: Modelo 3D del sistema de redes técnicas.	128
Ilustración 67: Interferencia 1, diseño estructural.	129
Ilustración 68: Interferencia 2, diseño estructural.	130
Ilustración 69: Interferencia 3, diseño eléctrico.	130
Ilustración 70: Interferencia 4, diseño eléctrico.	131
Ilustración 71: Interferencia 5, diseño eléctrico.	132
Ilustración 72: Interferencia 6, diseño eléctrico.	132
Ilustración 73: Interferencia 7, diseño hidrosanitario.	133
Ilustración 74: Interferencia 8, diseño hidrosanitario.	133
Ilustración 75: Interferencia 9, diseño hidrosanitario.	134
Ilustración 76: Modelo 3D coordinado, Arquitectura, Estructura y Redes.	134
Ilustración 77: Programación de obra en Gantt adaptada para el modelo 4D.	135
Ilustración 78: Modelo 3D en Navisworks. Desarrollo de los conjuntos de selección.	135
Ilustración 79: Modelo 4D, vínculos entre Modelo 3D y programación de obra.	136
Ilustración 80: Paso 1 simulación 4D.	137
Ilustración 81: Paso 2 simulación 4D.	137
Ilustración 82: Paso 3 simulación 4D.	138

Ilustración 83: Paso 4 simulación 4D.	138
Ilustración 84: Paso 5 simulación 4D.	139
Ilustración 85: Paso 6 simulación 4D.	139
Ilustración 86: Paso 7 simulación 4D.	140
Ilustración 87: Paso 8 simulación 4D.	140
Ilustración 88: Paso 9 simulación 4D.	141
Ilustración 89: Mapa conceptual de la organización administrativa.	143
Ilustración 90: Estudio de Layout. Elaboración Propia.....	150
Ilustración 91: Programación de obra en diagrama de Gantt.	152
Ilustración 92: Esquema de identificación de zonas de desarrollo.....	153
Ilustración 93: Programación LOB Original.....	154
Ilustración 94: Análisis de Interferencias encontradas en LOB.....	155
Ilustración 95: Programación LOB Optimizada.....	158
Ilustración 96: Sistema de reuniones y niveles de planificación.....	159
Ilustración 97: Necesidades espaciales para la reunión de Pull Planning.....	160
Ilustración 98: Registro fotográfico de la reunión de Pull Planning.....	163
Ilustración 99: Registro fotográfico del proceso de programación. Creación de las actividades.....	163
Ilustración 100: Registro fotográfico del proceso de explicación del proyecto.....	164
Ilustración 101: Plan intermedio, Identificación en LOB y listado de actividades.....	166
Ilustración 102: Diagrama resumen de la metodología implementada.....	171

Resumen

El presente trabajo describe las metodologías y herramientas del *Last Planner System* (LPS) y *Building Information Modeling* (BIM), y su implementación en un proyecto de construcción real, con el objetivo principal de consolidar una base metodológica para el diseño y construcción de proyectos en la empresa A5 Arquitectura S.A.S.

Igualmente, expone como los conceptos de *Lean Construction*, LPS, BIM, Ingeniería a la Orden y enfoques a la satisfacción del cliente, aportan dentro de la visión de mejora continua en un sector económico con altos niveles de incertidumbre y pérdidas.

Para la consolidación de la metodología se desarrolló un proyecto piloto desde la fase de diseño arquitectónico hasta la fase de la construcción, iniciando con el modelado y coordinación 3D y 4D, y finalizando con la planeación de obra mediante las técnicas del LPS.

Como resultado se formula una propuesta de implementación basada en los métodos y conceptos estudiados, aplicándolos en el caso de estudio, de manera que la empresa tenga una carta de navegación para el diseño, coordinación y construcción de proyectos futuros.

Palabras Clave

Diseño Arquitectónico, Construcción, *BIM*, *Last Planner System*, *Lean Construction*.

Introducción

La industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AIC) afecta fuertemente a la economía, el medio ambiente y la sociedad en su conjunto. Afecta la cotidianidad de todos, la calidad de vida está altamente influenciada por el entorno construido. Como industria sirve a casi todas las demás industrias, toda creación de valor económico se produce dentro o por medio de edificios u otros activos construidos. Representa el 6% del PIB global, es la mayor consumidora de materias primas a nivel mundial y, adicionalmente, los objetos construidos representan entre el 25% y el 40% de las emisiones totales de carbono del mundo (World Economic Forum, 2016) En este contexto se ubica el interés de la presente investigación, específicamente en el sector privado de las pequeñas y medianas empresas de construcción en Medellín, Colombia.

A5 Arquitectura S.A.S. es una empresa en desarrollo y consolidación, que, como parte de su estructura operativa-funcional, quiere establecer un departamento de investigación que ayude a incrementar su productividad, generar mayor valor, estar a la vanguardia en la gestión de la construcción y generar diferencias competitivas en el mercado laboral local. Actualmente, la empresa cuenta con trayectoria de más de 10 años en el sector del diseño arquitectónico y está incursionando en sector de la construcción y gestión de proyectos inmobiliarios. El autor, como socio y cofundador de la empresa, pretende, por medio del presente trabajo, iniciar la labor investigativa, al igual que hacer un aporte importante al desarrollo y crecimiento del departamento de construcción de la empresa. Para ello, se formularán métodos y principios que actúen como guía para las operaciones de dicho departamento, punto de partida para el desarrollo investigativo y base para la formalización de los departamentos de diseño, de gestión y de administración.

En sus años de actuación en el sector de la construcción, la empresa ha percibido vacíos en sus metodologías de trabajo, planeación, control, manejo de tiempos y recursos. Durante sus procesos de capacitación ha surgido interés por implementar metodologías que permitan disminuir ineficiencias, pérdidas, y costos. En la búsqueda y depuración de la información se formó un interés en dos enfoques de la gestión de proyectos. Por un lado, *Lean Construction* o Construcción Sin Pérdidas, como elemento principal y guía para la investigación; y por el otro, *Building Information Modeling* (BIM), como metodología de apoyo a la conceptualización y diseño de proyectos.

El presente trabajo es la base conceptual e investigativa para A5 Arquitectura, partiendo de la hipótesis de que, mediante la implementación de los principios y herramientas de Lean Construction, los proyectos pueden reducir incertidumbres y pérdidas, mejorando los resultados y aumentando la satisfacción de los clientes. Esta investigación se desarrolla a partir de dos grandes capítulos: el primero, un marco teórico en el cual se exponen los diferentes temas investigados conformando una base conceptual. El segundo, un marco práctico en el que, a partir del estudio de caso, se obtienen conclusiones para el mejoramiento continuo de la empresa y la consolidación de métodos para la construcción de futuros proyectos, unificando los conceptos teóricos estudiados y las experiencias adquiridas en el trabajo de campo.

1. Planteamiento del problema

Tanto los profesionales como las empresas involucradas en el sector de la construcción evidencian la necesidad de mejorar el desempeño de los proyectos, la satisfacción de los clientes y la obtención de beneficios económicos, tratando de reducir el alto nivel de incertidumbre en los procesos que se desarrollan. Sin embargo es común ver en Colombia como se realizan proyectos con un alto nivel de improvisación, dejando la toma de decisiones en manos de personas con muy poco criterio o sesgadas por la premura de un avance de obra ya programado (Aguilar, 2015).

Con el objetivo de disminuir las incertidumbres, aumentar su rentabilidad y alcanzar mayores estándares profesionales, A5 Arquitectura pretende ordenar y estandarizar los procedimientos del Departamento de Construcción. La empresa, que se encuentra en un proceso de desarrollo y formalización, desea pasar de métodos tradicionales y empíricos, que dificultan el correcto desarrollo de los proyectos, a procesos innovadores y de vanguardia, que puedan aumentar su competitividad. Para ello quiere formular metodologías fundamentadas en los principios de BIM y el *Last Planner System*, componente de la filosofía *Lean Construction*, que permitan transformar los departamentos de diseño y construcción en todas las fases del ciclo de vida del proyecto. De esta manera se espera lograr un crecimiento ordenado y claro, garantizando la calidad y aumentando la satisfacción de los clientes.

En la experiencia que A5 Arquitectura ha tenido en construcción ha percibido mucha incertidumbre a la hora de determinar tiempos, costos, y calidad. Parece que no es fácil determinar el costo final de un proyecto, por lo que su viabilidad y correcta terminación se ponen en riesgo, al igual que la total satisfacción de los clientes. Adicionalmente, no se percibe gran integración entre los profesionales, contratistas y la ejecución de los procesos constructivos. Es común que los constructores reciban diseños mal coordinados, sin depuración y con interferencias. En algunos casos, las unidades de producción, transporte y almacenamiento se dejan a conveniencia y responsabilidad de contratistas, anulando la posibilidad de controlar y garantizar resultados eficientes y cumplidos.

La presente investigación pretende responder a la pregunta: ¿cómo desarrollar proyectos de construcción basados en los principios y metodologías del *Last Planner System* y BIM para mejorar el desempeño general de la empresa?

2. Justificación

A5 Arquitectura es una empresa joven en el sector de la construcción, pero con trayectoria en diseño arquitectónico. Es una empresa en crecimiento, interesada en la innovación del sector inmobiliario, tanto así que ha abierto líneas de negocio en la construcción y la gestión de proyectos. Para este crecimiento empresarial, la investigación continua ha sido un elemento clave. Por medio de esta se han visualizado nuevas filosofías y metodologías en la gestión de la construcción, permitiendo a la empresa enfrentarse al mercado con mayor asertividad.

Con el objetivo de mejorar dichas condiciones, la empresa incursiona en el mundo de la construcción con proyectos residenciales unifamiliares. Este nicho de mercado se ha desarrollado y el Departamento de Construcción ha crecido, interesándose por mejorar sus procesos, tanto a nivel del diseño como de la construcción, la gestión, la planificación y el control.

La presente investigación nace de la necesidad de conceptualizar y formalizar los procesos del Departamento de Construcción de A5 Arquitectura, asumiendo que, mediante la investigación y la aplicación de los conceptos abordados, se puede desarrollar una metodología para el diseño, la gestión y la construcción de futuros proyectos.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Implementar principios y herramientas de *Last Planner System* y la metodología *BIM* en un caso de estudio, un proyecto piloto de la empresa A5 Arquitectura, que permita la creación de una metodología de trabajo para el Departamento de Construcción y afiance los procesos del Departamento de Diseño, ayudando al buen desarrollo y administración de proyectos.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el modelado 3D arquitectónico, estructural y de redes técnicas del proyecto piloto.
- Realizar el análisis de interferencias en el proceso de coordinación técnica para obtener un modelo integrado y coordinado entre especialidades.
- Realizar la simulación 4D y verificar el cronograma y ejecución del proceso constructivo.
- Implementar las herramientas de Planificación y control del *Last Planner System* en el proceso de construcción.
- Consolidar una metodología para el desarrollo de proyectos de construcción, aplicando principios *Lean Construction* y la metodología de trabajo BIM.

4. Marco Teórico

La competencia global en el sector de la construcción está aumentando rápidamente. Desde los inicios de la década del 2000 los contratos de construcción ganados en Estados Unidos y Europa por las empresas chinas aumentaron en un 160%, el gasto en construcción se está moviendo hacia China, India, Medio Oriente y África. Es probable que las organizaciones de construcción más competitivas se beneficien de esta tendencia, pero, claramente, nuevos enfoques son requeridos con urgencia para abordar los problemas de la industria. La construcción necesita un mayor sentido de misión, enfoque y apoyo gremial (Forbes & Ahmed, 2010).

En la actualidad el sector de la construcción cuenta con metodologías, técnicas y tecnologías para la fabricación de productos de altos estándares de calidad, con menor uso de recursos y más conscientes de la realidad ecosistémica mundial. El estudio e implementación de dichas metodologías, acompañado del lento cambio de paradigmas culturales/empresariales, podría beneficiar positivamente la industria en cada uno de sus eslabones de la cadena productiva, desde el empresario constructor hasta el consumidor final.

La industria necesita más investigación y desarrollo, ir más allá de la dependencia de las encuestas históricas para identificar nuevos enfoques. Dicho problema no se limita al escenario local. Países como Estados Unidos y el Reino Unido han visualizado necesidades de cambio desde finales de la década del 90. Egan (1998) identificó muchas deficiencias en las prácticas de construcción en el Reino Unido y abogó por un cambio radical: el gobierno nombró un grupo de trabajo que representó a los altos cargos de las organizaciones AIC y a sus clientes, para estudiar industrias conexas a la construcción, con el objetivo principal de examinar la práctica productiva y su potencial de mejora a través de la innovación, logrando identificar acciones específicas y buenas prácticas para la mejora (Forbes & Ahmed, 2010)

Dentro de este escenario de identificación de problemáticas y de búsqueda constante de soluciones para la industria AIC, nacen *Lean Construction* como filosofía y *Building Information Modeling (BIM)* como metodología, útiles para identificar, analizar y mejorar problemáticas actuales de la práctica constructiva. En el presente capítulo se desarrollan los conceptos teóricos que guían la

implementación de los principios *Lean*, especialmente lo relacionado con LPS, y la metodología BIM en el caso de estudio presentado posteriormente.

4.1. Lean Construction

El sector de la construcción, termómetro de la economía colombiana, es un motor que impulsa permanentemente el progreso de la sociedad. Además de ser una industria que da respuesta permanente a las necesidades de la población a través de proyectos de infraestructura y soluciones de vivienda, constituye grandes fuentes de trabajo directo e indirecto. (Botero & Villa, 2004).

Según el World Economic Forum (2016), es una industria crucial para la sociedad, la economía y el medio ambiente:

- Socialmente, es uno de los primeros negocios que la humanidad desarrolló y continúa dando forma a nuestra vida diaria de maneras únicas. Prácticamente todas las demás empresas confían en dicha industria para proporcionar y mantener sus alojamientos, plantas e infraestructura.
- Económicamente, representa ingresos anuales totales de casi \$10 trillones de dólares y un valor agregado de \$3.6 trillones de dólares, representando aproximadamente el 6% del PIB mundial.
- Medioambientalmente, es el mayor consumidor mundial de recursos y materias primas. Consume alrededor del 50% de la producción mundial de acero y, cada año, se utilizan 3.000 millones de toneladas de materias primas para fabricar productos de construcción en todo el mundo.

A pesar de su importancia, es incomprensible que sea uno de los sectores con menor grado de desarrollo en la mayoría de los países latinoamericanos, convirtiéndose en una actividad marcada por grandes ineficiencias y pérdidas. (Botero & Villa, 2004). Se caracteriza por sus procesos de producción artesanal y es criticado por la falta de eficiencia en la respuesta a los requerimientos de los clientes (Tillmann & Formoso, 2008), lo que se traduce en poca competitividad y pone a las empresas constructoras en desventaja frente a los mercados de la economía internacional (Botero & Villa, 2004).

A pesar de que algunas empresas colombianas han adoptado modelos novedosos de gestión de la producción como *Lean Construction*, en términos generales el desempeño del país sigue alejado de los pioneros a nivel mundial. Se visualiza un sector estático, en sus procesos de diseño y construcción y una especial inclinación hacia mantener paradigmas de la cultura constructora tradicional y empírica. Como industria presenta características únicas, lo cual podría explicar el grado de desarrollo en que se encuentra: falta de investigación y desarrollo, poca capacitación, deficiente planificación o ausencia de la misma, curvas de aprendizaje limitadas, actividad basada en la experiencia. Dadas estas condiciones, es una realidad que muchas empresas se ven enfrentadas a grandes demoras y altos porcentajes de desperdicio. (Botero & Villa, 2004)

No obstante, algunos académicos y gremios de empresarios han detectado la necesidad de mejoramiento. Tendencias como *Lean Production* se han implementado en el desarrollo, gestión y administración de proyectos con el fin de mejorar la concepción de dichos procesos y la competitividad de las empresas (Botero, 2006)

El enfoque *Lean* se origina a mediados del siglo XX en la industria automotriz japonesa, con base en el *Toyota Production System*. Este demostró su viabilidad cuando obtuvo beneficios pese a la gran recesión económica global consecuencia de la Segunda Guerra Mundial. Está basado en el uso de la menor cantidad de recursos para producir la mayor cantidad de productos con la mejor calidad (Ohno, 1988). Es decir, disminuir las ineficiencias y pérdidas en la producción industrial. El ingeniero Taiichi Ohno fue quien se encargó de desarrollar y poner en práctica dicho enfoque, a partir de ideas como mantener la menor cantidad de productos en inventario, ofrecer productos que se adapten a las condiciones del cliente, ejecutadas en el momento de la solicitud y según demandas y requerimientos específicos (Matéu, 2015).

A partir del análisis de la producción estandarizada en los Estados Unidos, se visualizó la presencia de actividades que no aportaban valor, logrando clasificar sus causas en siete categorías:

- Sobreproducción
- Transporte innecesario
- Exceso de inventario
- Esperas o tiempo de inactividad
- Sobre-procesamiento

- Defectos de calidad
- Movimientos innecesarios

A comienzos de la década del 90 se introdujo el nuevo sistema de producción en la industria americana y europea, tomando diferentes nombres: manufactura de clase mundial, nuevo sistema de producción, ingeniería concurrente, competición basada en el tiempo, *Just in Time*, reingeniería de procesos, *Lean Production* (Botero, 2006). Krafcik (1988) es quien acuña el término *Lean* y, posteriormente, se difunde con las publicaciones de Womack y Jones (1990) y (1997).

Morgan y Liker (2006), sintetizan los aspectos esenciales de *Lean Production* en catorce principios básicos. Pero sin duda, la base de la integración de dicha visión a la industria AIC se desarrolla a partir de la publicación de Koskela (1992) y su posterior desarrollo a través de los tres objetivos fundamentales: reducción de costes, ahorro de tiempo e incremento de valor para el cliente. Koskela propone once principios generales que ayudan a definir los problemas en el flujo de trabajo, principios guía para posteriores investigaciones y desarrollos:

- Reducir la porción de actividades que no agregan valor.
- Incrementar el valor resultante mediante la consideración sistemática de los requisitos del cliente.
- Reducir la variabilidad.
- Reducir el tiempo de ciclo.
- Simplificar minimizando el número de pasos, partes y enlaces.
- Aumente la flexibilidad del resultado.
- Aumentar la transparencia del proceso.
- Enfocar el control en el proceso completo.
- Desarrollar una mejora continua en el proceso.
- Equilibrar la mejora del flujo con la mejora de la conversión.
- Tener puntos de referencia.

Organizaciones dedicadas a la difusión académica y profesional de las estrategias de *Lean Construction*, definen este término como “el enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción para maximizar el valor y minimizar las pérdidas, mediante la aplicación de técnicas conducentes al incremento de la productividad en los procesos de construcción” (*Lean Construction Enterprise*, 2017).

En 1998, Ballard y Howell presentaron dos estudios en los que analizan las particularidades que presenta la industria AIC y cómo, a través de la integración de la visión *Lean*, se pueden cambiar grandes paradigmas creados por la producción industrial estandarizada propia de la manufactura y por los procesos tradicionales de construcción. Según los autores, las condiciones particulares en las que se desempeña la industria evidencian la pertinencia y necesidad de integrar las estrategias de *Lean Production* a la construcción, enfatizando, incluso, en que dicha condición dinámica y variable, propia de la práctica constructiva, es un escenario ideal para hacerlo.

Lo que llaman 'construcción' abarca un espectro que va desde proyectos lentos, ciertos y simples (pesados), hasta proyectos rápidos, inciertos y complejos (dinámicos). Para el primero, una estrategia de producción industrializada sería apropiada, es decir, hacer que la construcción sea más similar a la fabricación a través de iniciativas de estandarización. Sin embargo, para proyectos dinámicos dicha estrategia no es suficiente. Por su propia naturaleza, la construcción puede ser una de las industrias líderes en el pensamiento *Lean*. Cabe resaltar, que las condiciones del mercado actual hacen que la fabricación se esté pareciendo cada vez más a la construcción. Aprender cómo hacer que la construcción sea más fácil ayudará a mostrar el camino hacia la fabricación del futuro. Según los autores, adoptar una estrategia única para transformar la construcción en producción estandarizada sería precisamente lo incorrecto (Ballard & Howell, 1998).

Lean Construction aparece como una alternativa para mejorar la competitividad de las empresas. Su filosofía se basa en principios que agregan el máximo valor al producto final, mediante la eliminación de pérdidas, es decir, actividades que no general valor (Botero, 2006). Ofrece herramientas para aprender a manejar la incertidumbre, la complejidad y la rapidez dentro de las condiciones particulares de la construcción: la producción en sitio, productos únicos y organización temporal. Otros tipos de producción también poseen una o varias de estas características. Por ejemplo, la singularidad del producto se está volviendo cada vez más característica en la fabricación industrial, queriendo realizar productos personalizados de forma instantánea (Ballard & Howell, 1998).

El enfoque *Lean* es una nueva forma de administrar la construcción y, aunque podría confundirse con la aplicación de una técnica de fabricación que hace que la construcción se parezca más a la manufactura a través de la estandarización, debe ser tomando de manera opuesta. Los objetivos del enfoque *Lean* describen la gestión de proyectos dinámicos, redefiniendo el rendimiento de las tres

dimensiones de la perfección: un producto único personalizado, entregado al instante y sin inventarios. Este es un ideal que maximiza el valor y minimiza el desperdicio, pero exige una nueva forma de coordinar acciones, aplicable a industrias muy distintas de la manufactura (Ballard & Howell, 1998).

4.1.1. Modelo de Producción Convencional

El modelo convencional de producción fue establecido en el siglo XIX cuando las industrias se enfocaron en el proceso de conversión, es decir, la transformación de las entradas (materiales, mano de obra, información) hacia las salidas (productos terminados). Como modelo de producción ha sido aceptado y usado, pero se encuentra subdesarrollado (Botero, 2006). La coordinación entre organizaciones o equipos de trabajo se controla desde un plan central que establece la secuencia de actividades y determina cuándo comenzarán. Los costos, errores y aprendizajes ocurren al interior de las actividades, por lo que la reducción de costos resulta de mejorar la productividad de las conversiones. La duración del proyecto se acorta acelerando actividades o cambiando la lógica de ejecución para permitir el trabajo simultáneo. El desperdicio es definido como el costo que podría haberse evitado, los reprocesos y el sobrecosto generado por la duración prolongada de actividades (Ballard & Howell, 1998).

La falta de dinamismo del modelo convencional de producción da como resultado algunas deficiencias, tales como:

- Falta de consideración de actividades intermedias, aquellas presentes en los flujos, es decir, entre actividades conversión o transformación.
- Control de producción enfocado en actividades de conversión y subprocesos y no en el sistema de producción como un todo.
- Estrategias de mejoramiento con énfasis en la innovación tecnológica descuidando la eficiencia de los flujos, limitando el mejoramiento de la eficiencia global.
- Falta de inclusión del requisito de los clientes, lo que podría generar productos eficientes en términos productivos pero inadecuados para el mercado.

Este modelo es aplicable a sistemas simples de producción centrados en uno o pocos procesos de conversión, pero cuando estos se complejizan, como en la industria de la construcción, el modelo es inadecuado (Botero, 2006)

4.1.2. Modelo de Producción Lean

Según Ponds (2014), *Lean* es un modelo en el que las acciones están encaminadas a producir un valor único para el cliente y está basado en cinco principios básicos:

- Valor: *Lean* es crear valor para el cliente. La comprensión de los valores, desde el punto de vista del cliente, proporciona las bases para un correcto diseño de producto y un proceso de fabricación más efectivo. Valor se podría definir como la calificación que un cliente o consumidor le da a un producto o servicio para satisfacer sus necesidades a un precio concreto, en un momento determinado.
- Cadena de Valor: actividades necesarias para la transformación de materiales e información en un producto o servicio terminado y entregado al cliente, desde la concepción de su diseño hasta su lanzamiento. La Cadena de Valor es el lugar donde se genera el dinero, al igual que donde es más difícil identificar las pérdidas.
- Flujo: es el resultado de la eliminación de las pérdidas/desperdicios en la Cadena de Valor. En la mayoría de cadenas de valor, las actividades que realmente añaden valor percibido representan una pequeña fracción. Es fundamental trabajar en la identificación y eliminación de las actividades que no añaden valor para mejorar la productividad, es decir, para tener una producción fluida.
- Sistema *Pull*: es un sistema de control de la producción en el que las actividades aguas abajo dan la señal de sus necesidades a las actividades aguas arriba de la Cadena de Valor. Es decir, el proceso del proveedor aguas arriba no produce nada hasta que el proceso del cliente/contratista aguas abajo lo señale. Es el cliente quien señala la demanda y no el fabricante o productor quién empuja los productos.
- Perfección: se refiere a la mentalidad de la mejora continua, enfocándose en producir puro Valor. trabajar constantemente para conseguir ciclos de producción más cortos y obtener productos ideales: mayor calidad y cantidad, con cero desperdicios.

Los principios de producción *Lean* ciertamente funcionan en la fabricación y parecen aplicar en cualquier segmento de la industria. Incluso puede decirse que la fabricación es un caso especial de la construcción, porque se caracteriza por múltiples copias del mismo producto (Howell & Ballard, 1998).

Este concepto de producción establece que el proceso productivo se compone de conversiones y flujos, a diferencia del sistema convencional en el que sólo se consideran los primeros. Las conversiones agregan valor, mientras que los flujos, a pesar de consumir tiempo, recursos y espacio, no lo hacen y por lo tanto se denominan pérdidas. Ahora bien, según Botero (2006), optimizar el sistema de producción en la construcción es difícil dada la compleja interacción entre actividades. Implementar la producción *Lean* en la construcción no requiere la estandarización de productos. Comienza aceptando el principio de Perfección *Lean* y comprendiendo la aplicación de cada uno de los otros y la técnica requerida en la práctica constructiva. Implementar *Lean* significa adoptar el enfoque de proyecto como sistema de producción y definir el objetivo en términos de clientes. La duración y el costo están orientadas al proyecto como sistema de producción, por lo tanto, el costo y la duración total son más importante que el de cualquier actividad. La coordinación se ejecuta de forma general, mediante un cronograma central. Los detalles del flujo de trabajo se gestionan por personas que conocen y respaldan el rendimiento de los objetivos del proyecto, en lugar de la actividad particular (Howell & Ballard, 1998).

LA PRODUCCIÓN CONVENCIONAL Y LA PRODUCCIÓN <i>LEAN</i>		
	PRODUCCIÓN CONVENCIONAL	PRODUCCIÓN <i>LEAN</i>
Objeto	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Control	Gestión, asesoramiento, control
Modo de aplicación	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y externos
Conceptualización de la producción	La producción se compone de conversiones (actividades). Todas las actividades añaden valor al producto.	La producción se compone de conversiones y flujos. Las actividades que agregan valor, los flujos no.
Control	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos
Mejora	Implementación de nuevas tecnologías	Reducción de las tareas de flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología

Tabla 1: La Producción Convencional y La Producción *Lean*. Adaptado de (Campero & Alarcon, 2003)

Desde la visión convencional, el proyecto es la transformación de entradas en salidas. La nueva visión incluye el tiempo, la variabilidad y la satisfacción del cliente como variables relevantes para la toma de

decisiones. La planificación debe incluir la organización, es decir, pasar de la asignación pura de tareas a la estructuración de un entorno adecuado para la acción humana. La ejecución tiene que ser un canal bidireccional que logre los objetivos a través del compromiso. La gestión del control pasa de la auditoría a la búsqueda de causas y, en última instancia, a la prevención de problemas futuros (Paez, Salem, Solomon, & Genaidy, 2005).

4.2. Last Planner System

El *Last Planner System*¹ (LPS) es posiblemente la técnica más divulgada dentro de la filosofía *Lean Construction*. En 1994, Ballard hace su primer desarrollo y, posteriormente, en el 2000 termina su estructura conceptualmente. El LPS está especialmente diseñado para mejorar el control de la incertidumbre en los proyectos de construcción, complementando y enriqueciendo los métodos tradicionales de planeación (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011). Es un sistema de planificación y control de la producción que busca maximizar el valor del proceso constructivo, disminuyendo la variabilidad en el flujo de trabajo (Hoyos & Botero, 2017). La implementación del enfoque *Lean Construction* ha permitido que muchas de sus técnicas se trasladen a lo largo del proceso proyectual, introduciéndose en la viabilidad, diseño, contratación, ejecución de obra, suministro, subcontratación, etc., y modificando sustancialmente las relaciones entre los diferentes participantes (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011).

El LPS aumenta la confiabilidad de los proyectos, introduciendo planificaciones intermedias y semanales dentro de un plan maestro o general del proyecto y analizando las restricciones que se interponen al desarrollo de las tareas. El conocimiento de las restricciones permite actuar antes de que las demoras sucedan, evitándolas, con lo que se garantiza el desarrollo de las actividades sin interrupciones (Botero, 2006). La planificación tradicional no considera todas las variables específicas del proyecto, debido a su alto grado de incertidumbre. Algunas variables que normalmente no se

¹ *Sistema del Ultimo Planificador*

Por preferencia del autor, los términos se conservarán en su idioma original durante el desarrollo del texto.

valoran son: la disponibilidad de existencias por parte de los proveedores, la indefinición de diseños y requerimientos, los problemas de disponibilidad de mano de obra, los problemas administrativos y los rendimientos incorrectamente estimados, entre otras. Esto impide el desarrollo normal de los trabajos y provoca constantes interrupciones, afectando la productividad de las actividades y al cumplimiento de plazos. (Rodriguez, Alarcon, & Pellicer, 2011)

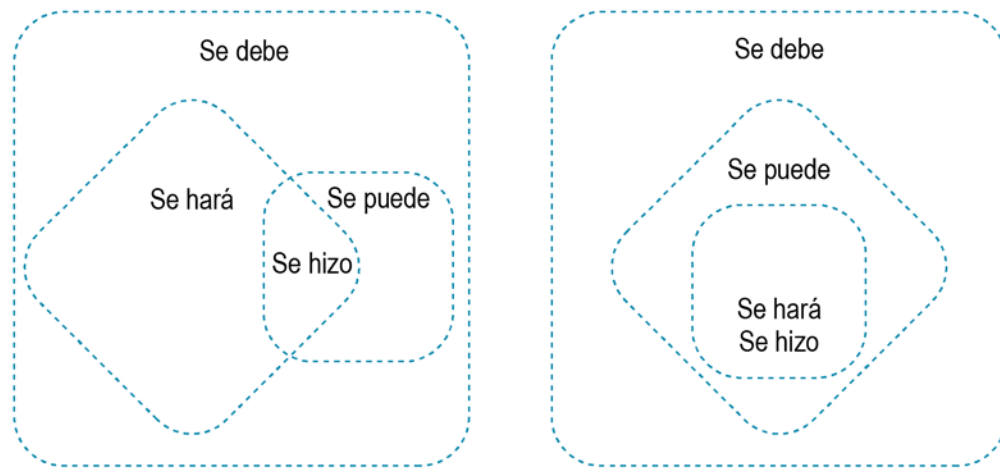
Los dos principios básicos del LPS son: por un lado, la unidad de producción, cuyo trabajo es definir progresivamente mejores asignaciones a los trabajadores directos por medio del aprendizaje continuo y acciones correctivas; y por el otro, el control del flujo de trabajo, cuya función es hacer que la labor fluya proactivamente a través de las unidades de producción en la mejor secuencia y velocidad posible. Las asignaciones aluden al trabajo directo como resultado de la planificación detallada a nivel de unidad de producción, representan un compromiso con el resto de la organización y, según Hoyos y Botero (2017) adaptando a Ballard (2000), deben contar con ciertas características de calidad, tales como:

- Estar bien definidas, es decir, libre de ambigüedades.
- Seleccionarse dentro de una secuencia correcta de trabajo, es decir, que sean consecuentes con la lógica interna del trabajo, los compromisos y metas del proyecto y las estrategias de ejecución.
- Designarse en la proporción adecuada según las ratas de producción de las cuadrillas; la cantidad de trabajo debe ser consecuente con la capacidad de la mano de obra.
- Contar con disponibilidad de recursos y completitud de prerrequisitos.

Si planificar consiste en determinar lo que “se debería” hacer, para completar un proyecto, y decidir lo que realmente “se hará”, en un cierto período de tiempo, hay que reconocer que, debido a distintas restricciones, no todo “se puede” hacer, produciéndose retrasos de forma reiterada. En la mayoría de las obras, lo que “se puede” y lo que “se hará” son subconjuntos de lo que “se debería” hacer. Si el plan, lo que “se hará”, se desarrolla sin saber lo que “se puede” hacer, el trabajo realmente ejecutado será la intersección de ambos subconjuntos (ver ilustración 1).

Es fundamental que antes de decidir lo que “se hará” se tenga un conocimiento adecuado de lo que “se puede” hacer. En procesos periódicos de planificación, los gestores y los ejecutores de las actividades deben primero identificar lo que “se puede” hacer y posteriormente acordar lo que “se hará” durante la semana. De esta manera se evita que las actividades se detengan por alguna restricción no liberada.

El proceso de planificación debe centrarse en la gestión de lo que “se puede” hacer. Mientras más se pueda agrandar el “se puede” mayor será la posibilidad real de avance. Este se verá afectado si la cantidad de actividades que pueden ejecutarse es baja, por lo tanto, los planificadores deben concentrar sus esfuerzos en liberar las restricciones que impiden que la tarea pueda iniciarse o continuar, agrandando así el conjunto de tareas que “se pueden” y aumentando las opciones de avance (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011) (ver ilustración 2).

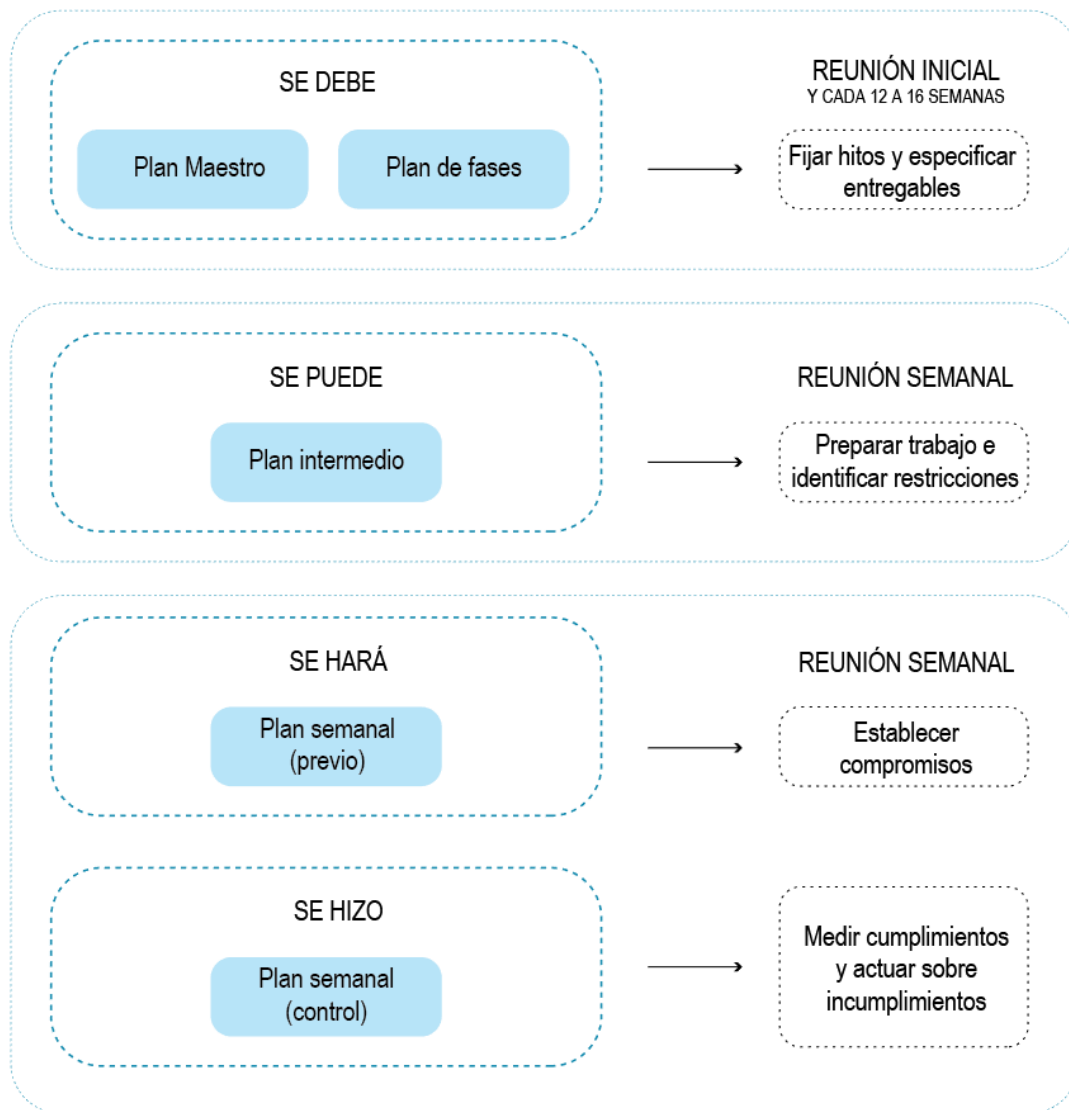


Dentro del marco teórico del LPS se reconocen cuatro niveles de planificación: planificación general o plan general; planificación de fases; planificación intermedia o *Lookahead*; y planificación a corto plazo o semanal. En Colombia, se hace énfasis en solo tres de ellos, dejando a un lado la planificación de fases, que normalmente se utiliza para proyectos de largos tiempos y alta complejidad en los que grandes fases son entendidas como un plan general. Dichos niveles de planificación van de lo general a lo particular, en donde el último eslabón corresponde al *Ultimo Planificador*, quien actúa directamente en la fase de ejecución de las asignaciones (Hoyos & Botero, 2017).

El proceso de aplicación del sistema se realiza de la siguiente forma:

- Elaboración y revisión del plan general o programa maestro de la obra.
- Elaboración del programa de fase. En el caso de proyectos complejos y extensos, se identifica la fase que se va a desarrollar y se elabora su programa.
- Elaboración del plan intermedio. Con un horizonte entre uno y tres meses aproximadamente, realizando análisis de restricciones para eliminar los cuellos de botella.

- Elaboración del plan semanal. Con la participación de los últimos decisores o planificadores, encargados, capataces, subcontratistas, almacenistas, etc., y basado en el inventario de actividades ejecutables obtenido en la planificación intermedia.
- Reuniones de los últimos planificadores. En el que se verifica el cumplimiento del plan semanal, se detectan las causas de no cumplimiento y se establece el plan de la siguiente semana (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011).



*Ilustración 2: Sistema del LPS.
Adaptado de (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011).*

Para el desarrollo de la metodología, Hoyos y Botero (2017) adaptando de Koskela (1999) retoman los siguientes principios básicos:

- Las asignaciones en sintonía con sus prerequisites. No debe iniciarse una actividad hasta que todos los elementos necesarios para su realización se hayan completado.
- La ejecución de las asignaciones debe ser medida y monitoreada mediante indicadores que permiten documentar la trazabilidad de las asignaciones en el tiempo.
- Investigación e identificación de las causas de no cumplimiento con el fin de evitar recurrencia en el futuro y nutrir el proceso de mejora continua.
- Planeación de actividades de reserva. Si por cualquier factor ajeno al control interno de la obra alguna actividad no pudiera realizarse, la cuadrilla debe tener actividades alternas para ocuparse, evitando tiempos muertos o no productivos.

Para medir el desempeño del proceso de planificación existe el indicador de Porcentaje de Actividades Completadas (PAC), que relaciona el número de actividades completadas con el número de actividades planificadas. El PAC resulta ser una herramienta efectiva para ejercer control en el nivel de la unidad de producción. Un PAC elevado indica una alta productividad (Hoyos & Botero, 2017). Tanto el seguimiento y control como el análisis de causas de incumplimiento deberán hacerse al final de cada semana. La confiabilidad de la planificación está directamente relacionada con la productividad (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011).

4.2.1. Plan Maestro

La planificación general, a largo plazo o plan maestro, es el primer eslabón en la cadena jerárquica del LPS. Uno de los propósitos más importantes es el establecimiento de hitos, que consiste en la identificación de momentos clave, capítulos y sub-capítulos principales de la obra. Asimismo, se establecen las fechas de comienzo y fin de las actividades y la relación de dependencia entre las mismas. Por lo tanto, el Plan Maestro tiene alta relación con la programación de obra convencional, el cual se vuelve un insumo importante para elaboración del mismo. En este nivel de planificación se define la estrategia de ejecución del proyecto, la secuencia de actividades y el ritmo al cual se ejecutarán (Hoyos & Botero, 2017).

En los procesos de planificación de proyectos en Colombia es posible evidenciar dos prácticas para la elaboración de la programación de obra. Por un lado, las grandes empresas constructoras habitualmente tienen sus propios departamentos de programación, a través de los cuales hacen este

proceso. En este escenario, la integración de la programación tradicional al LPS es más simple ya que los profesionales con el conocimiento *Lean* pueden hacer un acompañamiento continuo en la organización de tiempos y dependencias entre actividades, evitando reprocesos en el análisis de interferencias y el posterior ajuste de la programación. Por el otro, las compañías medianas y pequeñas, que no cuentan con su propio departamento de programación, la subcontratan con profesionales expertos. En este caso, los profesionales *Lean* deben hacer el empalme y la coordinación de la información, asegurándose de que ésta sea completa y precisa. Una vez elaborada la programación se procede a hacer el análisis de interferencias y un posterior ajuste a la programación inicial.

Es importante que desde la planificación general se tenga conocimiento de los costos y recursos asignados a cada actividad, esto con el fin de tener claridad frente al flujo de caja en la construcción del proyecto, de evitar la sobreasignación de recursos y de poder estimar, de forma adecuada, la relación de demanda/capacidad que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto (Hoyos & Botero, 2017).

Para una correcta elaboración del Plan Maestro se han podido identificar un cuerpo de documentos imprescindibles al iniciar la obra. El estudio e implementación de ellos conlleva a la puesta en marcha de las buenas prácticas *Lean*:

- Programación de obra en técnicas convenciones (Gantt)
- Programación de obra en Línea de Balance
- Presupuesto de obra
- Flujo de Caja
- Estudio de *Layout*
- Diseño y ejecución de las reuniones de *Pull-Planning*
- Desarrollo de indicadores de seguimiento y control

Una adecuada elaboración es clave para garantizar un eficiente uso de recursos y un proceso constructivo con un flujo de trabajo continuo. El equipo de trabajo debe enfocar su mayor esfuerzo desde esta instancia del proyecto (Hoyos & Botero, 2017).

4.2.1.1. Técnicas de Planificación y Visualización

Las técnicas de planificación y visualización son herramientas para materializar el plan maestro. En Colombia la técnica más utilizada es el método de la ruta crítica o CPM (*Critical Path Method*), el cual propone un modelo de programación basado en actividades. Para visualizar el programa se hace uso de Diagramas de Gantt, en donde las actividades se representan mediante barras dispuestas de forma horizontal, a lo largo de la escala temporal representada en celdas verticales o columnas. Cada barra se dibuja desde el inicio hasta la terminación de la actividad, por lo cual la magnitud corresponde a la duración (Botero, 2008). El flujo del trabajo se grafica mediante flechas entre las actividades que indican la relación de dependencia entre ellas. El software comercial más usado para este fin es Microsoft Project, que, aunque permite visualizar las actividades, sub-actividades y las dependencias, no permite la obtención de un nivel de información muy detallado (Hoyos & Botero, 2017) (ver ilustración 3).

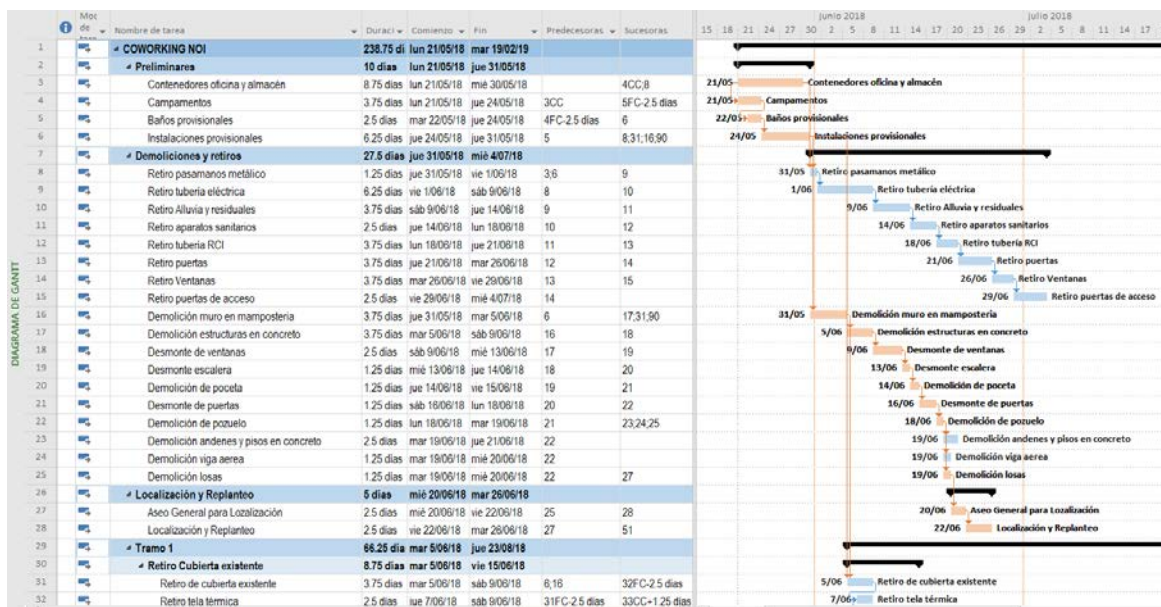


Ilustración 3: Programación de obra CPM visualizado mediante Gantt en Microsoft Project. Elaboración Propia.

En contraste con el modelo de programación basado en actividades, aparece el sistema de planificación basado en localización, *Location Based Management System* (LBMS) o técnica de Línea de Balance, *Line of Balance* (LOB), el cual, además de permitir la visualización de las actividades en una línea temporal, permite entender de forma esquemática su localización. Con el objetivo de alcanzar una alta productividad balanceando todos los recursos del sistema a través del tiempo (duración de la actividad) y el espacio (localización en el proyecto), el método se basa en los mismos principios usados en la manufactura para los procesos de fabricación en serie (Hoyos & Botero, 2017).

La programación de obra en CPM es muy relevante para la construcción de la programación en línea de balance, ya que, para obtener un plan maestro claro y preciso, la construcción de ambos métodos se debe hacer en un proceso iterativo. Inicialmente, la programación en CPM puede ser un insumo para programación en LOB, pero luego de hacer el análisis de interferencias será necesario rehacer y ajustar el programa inicial en CPM.

El análisis de interferencias es el proceso mediante el cual se identifican los lugares físicos o zonas del proyecto en las que una actividad se cruza con otra, generando problemas en la ejecución la obra. Es común encontrar que actividades predecesoras se cruzan con actividades sucesoras, haciendo imposible su ejecución y frenando el flujo de trabajo. La programación en LOB permite la temprana identificación y posterior redistribución de las actividades y tiempos. Una vez realizado el análisis de interferencias, la programación en CPM debe ser ajustará a las nuevas realidades encontradas, para, posteriormente, obtener una nueva versión del CPM que será igual a la programación en LOB (ver ilustración 4). Ambos documentos, serán parte constitutiva del plan maestro.

La planificación mediante LOB trae diversos beneficios para el proyecto, entre los cuales se destacan:

- Permite ilustrar la programación global de la obra.
- Permite identificar las actividades que se van a desarrollar y en dónde se deben ejecutar.
- Permite identificar las fechas de inicio y finalización de las actividades y su ritmo ejecución.
- Permite identificar los traslajos e interferencias entre actividades.
- Permite un ágil reconocimiento de tiempos muertos.
- Posibilita la transformación de tiempos no contributivos en tiempo que agregan valor al proyecto.
- Posibilita detectar errores tempranos para corregirlos con antelación y no cuando la obra está en ejecución, evitando atrasos. (Hoyos & Botero, 2017)

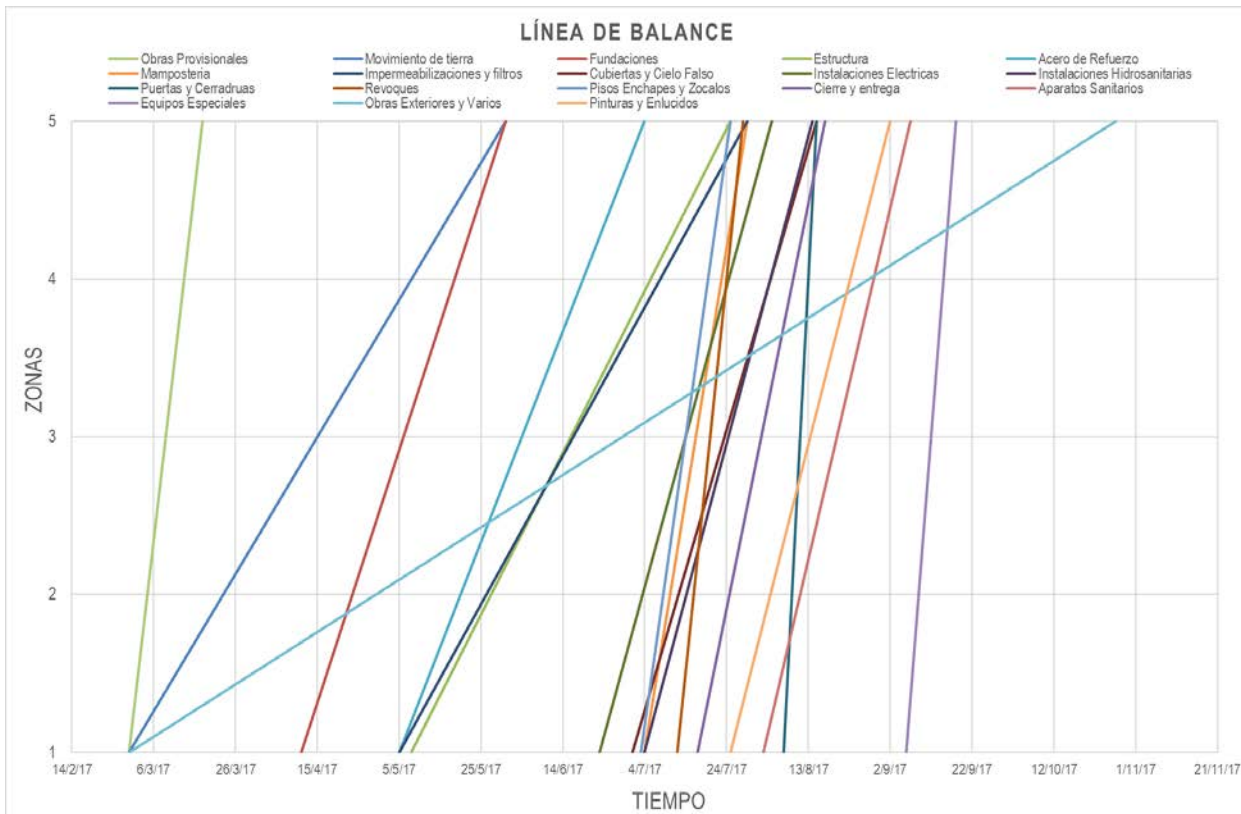


Ilustración 4: Programación de obra en el sistema de Línea de Balance (LOB).
Elaboración Propia.

4.2.1.2. Estudio de Layout

El Estudio de *Layout* o distribución en planta, puede definirse como el proceso de obtención de una óptima disposición de las instalaciones físicas de una unidad de fabricación con el objetivo de “hallar una ordenación en las áreas de trabajo y equipos, que sea la más económica para el trabajo, al igual que la más segura y satisfactoria para los empleados” (Muther, 1982). Como resultado, se mejoran los procesos de planeación y el control, se reducen de costos, se acortan los tiempos de producción, se reduce el inventario, se optimiza el espacio y en general, se propicia un eficiente funcionamiento de la planta de producción (El-Rayah & Hollier, 1970).

En la década del 40 el sector industrial mundial atraviesa por un periodo de transición ya que la mayoría de las industrias, que venían produciendo para la guerra, se ven obligadas a fabricar productos diferentes y en condiciones diferentes. Esto significa que cambia la demanda en cantidades y ritmos de trabajo y en muchos casos se ven obligados a mejorar la calidad. Es en este momento que se evidencia la importancia de desarrollar la distribución en planta. Luego, con los tiempos de paz, viene una reversión a la producción. Desde entonces diversidad de nuevas industrias y multitud de

nuevos productos han entrado en la producción de un modo efectivo y seguro. Este escenario proporcionó una mayor apreciación del papel de la distribución en planta en la fabricación, trayendo consigo el desarrollo de nuevos procedimientos y técnicas en su ejecución (Muther, 1982).

El Estudio de *Layout* tiene como precursor a Richard Muther, quien desarrollo la metodología *Systematic Layout Plannig* (SLP) enfocada en las instalaciones de fábricas industriales y directamente vinculada a la ingeniería industrial. Dicha rama de la ingeniería se ha venido involucrando cada vez más a la construcción, especialmente con la implementación de herramientas y principios de *Lean Manufacturing*.

Tal como lo expresan Forbes y Ahmed (2010), la ingeniería industrial es de gran utilidad para la industria AIC, especialmente cuando no existe una cultura *Lean* desarrollada. Los ingenieros industriales, como integradores de sistemas, puedan proporcionar estrategias para que las partes involucradas trabajen en conjunto, obteniendo la máxima eficacia, se preocupan por mejorar la calidad y el rendimiento, usando herramientas para reducir errores y desperdicios financieros.

Todo Estudio de *Layout* se fundamenta en tres principios básicos (Richard Muther & Associates, 2005):

- Relación entre las actividades del *Layout*.
- Espacio requerido para cada área de actividad, en cantidad, tipo y forma.
- Ajuste de las relaciones y espacio dentro de un plan efectivo.

Aplicando estos tres principios, en el orden indicado, el planificador se asegura mejores decisiones y distribuciones (*layouts*).

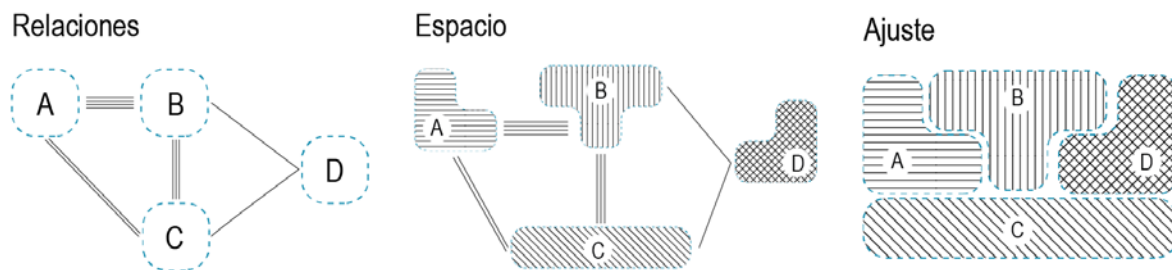


Ilustración 5: Principios fundamentales del Estudio de Layout
Adaptado de (Richard Muther & Associates, 2005)

Los teóricos del diseño de plantas de producción definen tres tipos de disposición:

- Disposición en Línea, *Line Layout*: también conocida como *Product* o *Flow Layout*. Se caracteriza por la secuencia lineal de las operaciones o estaciones de trabajo dadas por el

producto fabricado. Esta disposición, generalmente se usa para la fabricación de un producto o para familias de un mismo producto, ya que las operaciones se realizan de manera sucesiva y siempre con un paso hacia adelante, desde la materia prima hasta el producto terminado.

- Disposición de Proceso o Disposición Funcional, *Process o Functional Layout*: se caracteriza por agrupar las funciones por departamentos especializados, los cuales se ubican de acuerdo con su relación con algún criterio de eficiencia.
- Disposición de grupo, *Group Layout*: tipos de productos y partes son procesadas en grupos de maquilas diseñadas para para realizar la mayor parte, si no todas, de las operaciones requeridas y en donde la planta está compuesta de varios de dichos grupos. Dentro de cada grupo pueden existir sub disposiciones de *Línea, Proceso o Celular* (El-Rayah & Hollier, 1970).

Cuando se aplican las técnicas y teorías de *Layout Planning* (LP) a la construcción se habla de *Construction Site Layout Planning* (CSLP), importante distinción conceptual dada la naturaleza de la industria AIC. Su implementación requiere entender que el *Site Layout* (SL) es un documento técnico ubicado en un punto intermedio entre los diseños arquitectónicos y técnicos y la ejecución de la obra. Por lo tanto, requiere del acompañamiento de los profesionales vinculados al diseño (arquitectos diseñadores y profesionales técnicos), al igual que el grupo de profesionales vinculados a la construcción (gerentes, directores de obra y, de ser necesario, los contratistas).

egún Xin Ning (2011), algunos investigadores del tema han encontrado las siguientes dificultades a la hora de implementar las técnicas del LP en la industria de la construcción:

- Dinamismo del *Layout*: ya que las condiciones locativas de las obras son variables en el tiempo, es decir, la industria AIC no cuenta con instalaciones estáticas, el estudio de *layout* deber ser dinámico. Si los requerimientos de la obra en construcción cambian durante el proceso, el SL deberá cambiar o ser revisado de acuerdo con las nuevas consideraciones. Asimismo, desde la planeación general deben ser tenidos en cuenta puntos críticos que evidencien un posible ajuste en la distribución del *Layout*.
- *Layout* de Áreas Iguales: las instalaciones de la obra han sido diseñadas en formas rectangulares sobre distribuciones reticulares aplicables a cualquier localización o lote de terreno, lo cual funciona muy bien para ejercicios académicos. En situaciones reales, se

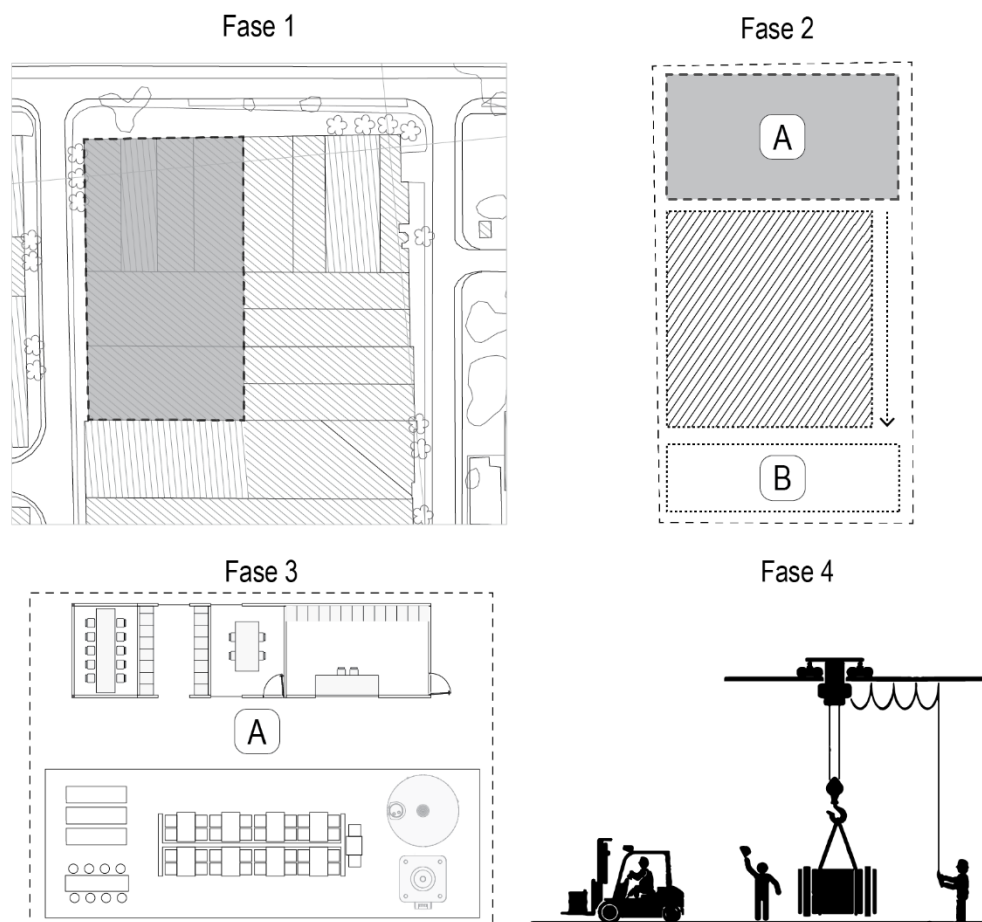
encuentra el problema de la variabilidad de áreas, terrenos con desniveles, espacios restringidos, etc., lo que evidencia brechas de investigación.

- Equilibrio: la mayoría de investigaciones se han enfocado en mejorar las capacidades computacionales de los algoritmos de optimización, pero pocos esfuerzos se han enfocado en cómo evaluar y seleccionar el diseño del SL. Los gerentes de construcción y los planificadores de *Layouts* deben seleccionar el mejor SL entre las alternativas generadas a partir de varios algoritmos de optimización, considerando y equilibrando los atributos importantes, tales como la minimización de costos, el ambiente de trabajo seguro y el transporte de material eficiente, sin sacrificar la calidad requerida.
- Optimización Multi-Objetivo: muchos investigadores trataron los CSLP como problemas de optimización de un único objetivo, por ejemplo, minimizar la frecuencia de viajes realizados por personal de construcción o minimizar los costos totales de transporte de recursos. Hasta ahora, solo unos pocos investigadores han tratado el CSLP como un problema de optimización de múltiples objetivos, que implica una visión más general del problema, es decir dejar de entender el problema de optimización dentro de la actividad y pasar a verlo como un sistema de completo.

En la práctica constructiva y en la gestión de la construcción en Colombia, no es usual que los proyectos cuenten con profesionales expertos en el estudio y diseño las alternativas de distribución en planta. Es común que los proyectos cuenten con diseños y detalles constructivos de los campamentos y las oficinas de obra y, en los mejores casos, con distribuciones de los elementos de transporte vertical y horizontal, pero normalmente no pasan de esquemas básicos que no incluyen parámetros de distribución y organización basados en unidades de producción, menores recorridos, optimización de tiempos, entre otros. Esta situación plantea un nuevo reto, que además de profesional (en cuanto a la capacitación), es cultural, ya que requiere entender e interiorizar los beneficios que puede generar la implementación del Estudio de *Layout* y su necesidad para el óptimo desarrollo de la obra.

Para la elaboración del SL se retoman los principios y técnicas del *Systematic Layout Planning* desarrollado de Muther (2005), quien afirma que a medida que cada *Layout* sigue su curso, desde el objetivo inicial hasta la realidad física instalada, pasa por cuatro fases secuenciales:

- Fase 1, Localización: establecer el área a planificar, determinar el espacio disponible y las influencias circundantes.
- Fase 2, *Layout* General: planificar la disposición de las áreas de las actividades y los departamentos. Definir circulaciones principales
- Fase 3, *Layout* Detallado: planificar la disposición de maquinaria y equipos específicos listos para instalar.
- Fase 4, Instalación: preparar dibujos y especificaciones, obtener e instalar equipos, entrenar a los trabajadores.



*Ilustración 6: Las 4 Fases del Estudio de Layout.
Adaptado de (Richard Muther & Associates, 2005)*

En industrias manufactureras, las fases 1 y 4 a menudo no son parte del rol específico del planificador de diseño, quien se enfoca en las fases 2 y 3 ya que tienen relación directa con las instalaciones internas de la fábrica. Pero en la construcción, las variables de localización e instalación, presentes en las fases 1 y 4, son igual de importantes. De hecho, la condición dinámica de la obra exige que el *Layout* pase por distintas revisiones y actualizaciones, necesitando además de una rigurosa fase de

instalación y montaje, planes de desmonte y demolición una vez se finalizan actividades o, en su defecto, la obra.

En la ingeniería industrial usualmente los *Layouts* son realizados a través de planos bidimensionales y diagramas de funcionamientos que resultan apropiados para procesos industriales lineales o sucesivos. Pero la construcción es un proceso tridimensional, los edificios se ubican en lotes con distintas características topográficas que complejizan la continuidad o linealidad de los procesos. El crecimiento periódico en altura requiere consideraciones adicionales no tan visibles en planos 2D.

La industria de la construcción actualmente está experimentando cambios en el proceso de planificación, migrando hacia procesos de construcción digital. Los modelos 3D pueden ayudar a proporcionar información desde la fase de planificación hasta las fases construcción y operación. A estos modelos es posible integrarles el Estudio de *Layout*, obteniendo un modelo completo de la obra del cual es posible obtener planos 2D, al igual que considerar información de programación de tiempos y estimación de costos en un modelo paramétrico. La combinación y el almacenamiento de toda la información del edificio, en un entorno de datos común, conducirán a una gestión más coherente y evitará riesgos económicos (Schwabe, Liedtke, König, & Teizer, 2016).

Se sugiere, entonces, que la realización del Estudio de *Layout* no sea únicamente en 2D, el entendimiento tridimensional del terreno y la implementación de las variables de la construcción en altura serán claves para una gestión exitosa. La implementación de tecnologías informáticas permite, además de una visualización 3D de elementos, la visualización de procesos y su variación temporal. Entender que el estudio de *Layout* es un producto de diseño técnico, el cual se discute y revisa como parte de los diseños previos al inicio de la obra, es fundamental. Éste debe realizarlo un diseñador capacitado y socializarse con el equipo técnico y los profesionales de la construcción. A diferencia del *Plant Layout*, concepto utilizado para el diseño y distribución de instalaciones industriales, el *Site Layout* es un diseño dinámico que se debe hacer para varios escenarios o momentos de la obra y que debe ser revisado periódicamente. Para una gestión responsable se sugiere la realización de varios *layouts* que ilustren las posibles variaciones temporales de la obra, de acuerdo con los hitos establecidos en el plan maestro, o, de ser posible, mediante la implementación de las técnicas de BIM 4D, haciendo una simulación temporal para visualizar las variaciones.

4.2.1.3. Pull Planning

El *Pull Planning* o planificación jalonada hace parte de las técnicas macro o generales del LPS. Consiste en desarrollar un plan coordinado o mapa estratégico con un enfoque colaborativo, en el que se incluyen a los directamente responsables de supervisar las actividades del proyecto. Puede definirse como la planificación de actividades de atrás hacia adelante, que aparece como contrapunto a la planificación tradicional que se ejecuta de adelante hacia atrás y que podría nombrarse *Push Planning* o planificación empujada. Su objetivo es alinear recursos de forma anticipada, para evitar sobreproducción y mala planificación del proceso constructivo (Hoyos & Botero, 2017). Su desarrollo se consigue con la interacción de todos los expertos que estarán trabajando en la ejecución de contratos. Las actividades propuestas deben ser las que actúen como hito o punto de referencia en la ejecución de la obra. Deben ser de carácter general y de larga duración, suficientes para construir y/o actualizar el plan maestro de la obra (Tiwari & Sarathy, 2012).

La implementación del *Pull Planning* en los proyectos ayuda al equipo de trabajo a encontrar un proceso integral, transparente, flexible, colaborativo y eliminar la sobreproducción. Ayuda a descubrir interpretaciones erróneas y obtener claridad entre los miembros del equipo. Asimismo, se convierte en una herramienta para definir quién debe hacer qué y cuándo, al igual que para hacer un seguimiento de los compromisos obtenidos y garantizar identificación de todas las restricciones antes del inicio de las actividades. El ciclo planificar-hacer-verificar-actuar de *Pull Planning* exige la participación continua de los miembros del equipo y, aunque inicialmente requiere un gran uso de recursos, gradualmente se logra un equilibrio entre el nivel de detalle necesario y el tiempo de colaboración requerido (Tiwari & Sarathy, 2012).

En el proceso convencional de programación se puede ver un flujo de trabajo poco confiable, en el que las actividades se expanden, para llenar el tiempo permitido, o se tratan de contraer, mediante la optimización forzosa de la producción al interior de las actividades. La producción normalmente no es estable, evidenciando tiempos muertos o sobreproducción. El proceso de determinación de tiempos y recursos se ejecuta alejado de las realidades de los contratistas o clientes intermedios (contratistas, subcontratistas, proveedores), los cuales tratan de acomodarse a las condiciones impuestas. Por el contrario, en el sistema *Pull*, las tareas, el flujo de información y las entregas de materiales se planifican

en función de las solicitudes, las cuales son generadas por los clientes intermedios. *Pull Planning* a menudo expondrá la necesidad de lotes controlados de trabajo (segmentación), entregas a tiempo, mejoras en la nivelación de recursos y plazos de entrega reducidos. El flujo de trabajo se vuelve más confiable y eficiente a medida que se eliminan los desperdicios de la espera, la redundancia y el exceso de procesamiento (Lean Construction Institute, 2013).

Algunos autores e instituciones como el Lean Construction Institute (2013), Tiwari y Sarathy (2012) y Hoyos y Botero (2017), recomiendan los siguientes pasos para un correcto funcionamiento del *Pull Planning*:

- Definir los hitos o capítulos del trabajo: haciendo uso de la programación de obra realizada previamente en CRP o en LOB y determinando, de atrás hacia adelante, las fechas de finalización de los hitos, a la luz de la experiencia de los contratistas y a la disponibilidad de recursos.
- Hacer un mapa de las actividades: usando tarjetas tipo *post-it note* o *i-get i-give*, los miembros del equipo determinan cual es la última actividad para finalizar la obra y luego se desarrolla una red de actividades predecesoras y/o necesarias para completar el hito.
- Establecer relaciones: con el uso de las tarjetas, también se deberá establecer la relación proveedor/cliente y así cada equipo podrá aclarar lo que necesitan de los demás y lo que pueden entregar.
- Determinar la duración de las actividades: la duración debe ser neta, es decir, no debe contener holguras o fluctuaciones.
- Reexaminar la lógica: esto con la intención de acortar la duración.
- Determinar la fecha de comienzo: una vez realizado el mapa completo y optimizado, se podrá determinar una fecha de inicio de obra, práctica y cercana.
- Determinar las actividades de amortiguación: se identifican actividades frágiles que puedan generar espacios de trabajo muerto. Luego se determinan actividades que puedan amortiguar esos vacíos. Para ello se hace uso de los siguientes criterios.
 - ¿Qué duración de la actividad es más frágil?
 - ¿Cuáles son los riesgos?
 - Determinar el rango de orden por grado de incertidumbre
 - Asignar el tiempo disponible para las actividades frágiles en orden jerárquico.

- Chequear comodidad: si el equipo se siente cómodo con las actividades amortiguadoras y son suficientes para asegurar la finalización del hito, se sigue adelante, de lo contrario, vuelva a planear o cambie el hito, según sea necesario y posible.

Hoyos y Botero (2017) en su manual de buenas prácticas del *Last Planner*, dan algunas recomendaciones para una acertada implementación del sistema: antes del inicio del proyecto es necesario realizar una o, de ser necesario, dos reuniones de *Pull Planning*, esto con el fin de socializar y conocer la metodología. Durante el desarrollo del proyecto será necesario realizar reuniones antes de iniciar los hitos o grandes paquetes. El número de sesiones de *Pull Planning* está en función del número de hitos principales.

Para que las reuniones sean efectivas, los participantes deben conocer a profundidad el proyecto, sus hitos y su rango de acción particular. Por lo tanto, se sugiere programar las reuniones con antelación de manera que cada contratista o proveedor pueda determinar las dimensiones del proyecto, sus especificaciones, las restricciones, los recursos humanos, los materiales necesarios y un estimativo del tiempo de ejecución. Se recomienda enviar algunas preguntas guía para incentivar a los participantes.

Para la ejecución de la reunión, cada contratista debe contar con una tarjeta *post-it* de un color particular, de manera que, en el mapa estratégico, haya una distinción visual de los participantes y posición de juego. En la tarjeta se deben presentar los requerimientos, en estimación de recursos y duración. Para ello, los investigadores han desarrollado los siguientes formatos de tarjeta:

SESIÓN DE PULL PLANNING	
PROYECTO:	
ACTIVIDAD	
CONTRATISTA	
DURACIÓN	MANO DE OBRA
MATERIALES	HERRAMIENTA Y EQUIPO
RESTRICCIONES	

SESIÓN DE PULL PLANNING	
PROYECTO:	
ALCANCE / DISCIPLINA:	
LO QUE NECESITO DE OTROS	
1	
2	
3	
LO QUE ENTREGARÉ AL PROYECTO	
ENTREGABLES	
TIEMPO DE ESFUERZO CONCENTRADO (HORAS / DÍAS)	
FECHA DE ENTREGA	

Ilustración 7: Tarjetas para la sesión de Pull Planning.
Adaptado de (Hoyos & Botero, 2017) y (Tiwari & Sarathy, 2012)

Finalmente, se exponen algunas de las situaciones de éxito obtenidas de la implementación del *Pull Planning* (Tiwari & Sarathy, 2012): el ejercicio de *Pull Planning* permite que cada prerequisite o restricción, identificada por un cliente intermedio, tenga un proveedor comprometido. Fomenta la interacción, la colaboración y la transparencia, convirtiéndose en una gran ayuda de creación de equipos de trabajo. Mediante la marcación de las tarjetas (con puntos verdes en este caso), se logra identificar cuando un cliente está satisfecho, lo cual asegura un plan de trabajo integral y colaborativo. En el proceso de identificación de clientes y proveedores se logran distinguir las actividades que generan pérdidas, ya que, aunque en principio aparecen dentro de las tarjetas, al no tener un cliente o proveedor no participan del mapa de extracción (*Pull-Map*). Es decir, se logran encontrar las actividades que parecían necesarias y al final no tenía uso. Esto logra que el equipo de trabajo elimine la sobreproducción potencial y el trabajo sin valor.

4.2.1.4. Indicadores

Como herramienta de medición y control para el plan maestro será necesario el uso de indicadores. La idea será poder conocer el estado en términos de avance del plan, de manera que se pueda monitorear periódicamente durante el desarrollo del proyecto.

Hoyos & Botero (2017) proponen un indicador que permite conocer los días de adelanto o atraso acumulado del plan:

Número de días de adelanto o atraso = Días a / a

Días a / a = Días de ejecución proyectados – Días de ejecución programados

Días de Ejecución proyectados = Días ejecutados al corte + días faltantes proyectados

El indicador de adelanto o atraso acumulado permite visualizar el porcentaje de avance:

$$\% \text{ de días de a / a} = \frac{\text{Días a / a}}{\text{Días de ejecución programados}}$$

El uso de estos indicadores, obliga a actualizar permanentemente el plan general.

4.2.2. Plan Intermedio

El plan Intermedio o *Lookahead* es el siguiente nivel de planificación del LPS. Su desarrollo se inicia definiendo un horizonte de tiempo, el cual depende directamente de la complejidad del proyecto, la particularidad de las actividades y la capacidad de respuesta de la empresa constructora y sus proveedores. Para el correcto desempeño del plan, y especialmente para empresas que inician la implementación de las herramientas *Lean*, es recomendable desarrollar un detallado mapeo del flujo de valor de la compañía (*Value Stream Mapping*), con el fin de definir el número de semanas en las que es posible liberar totalmente las restricciones de un bloque de trabajo (Hoyos & Botero, 2017).

El objetivo fundamental es establecer con claridad lo que se puede hacer en relación con los que fue programado y gestionar las restricciones existentes para que no generen retrasos. Para su puesta en marcha se identifican e incorporan los suministros necesarios para el desarrollo de las actividades, al igual que los responsables de ellas. Las tareas de flujo necesarias para avanzar en el plan maestro son programadas en detalle de modo que no sean un foco de desajustes y retrasos. Se revisan los plazos adoptados y la disponibilidad de recursos, al igual que actividades relacionadas con la seguridad industrial, los impactos medioambientales y la gestión de residuos. (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011)

Según Noguera (2015), el *Lookahead* se desarrolla a partir de algunos procesos específicos, entre los que se destacan:

- Horizonte de tiempo: es el rango de tiempo en el que se programarán y ejecutarán un paquete de actividades. Según Ballard, Tommelein, Koskela y Howell (2002) , el horizonte de tiempo típico es de 6 semanas, pero, para adaptarse al proyecto, podría variar en un periodo de 4 a 16 semanas, dependiendo de la capacidad de gestionar información, materiales y servicios (Rodriguez, Alarcon, & Pellicer, 2011).
- Definición de actividades: las actividades del *Lookahead* se obtendrán de la segmentación de los hitos del plan maestro, tomando las que estén contenidas dentro del horizonte previamente definido. Estas tareas tendrán restricciones que determinarán si es posible su realización (Noguera, 2015).
- Revisión de restricciones: una vez identificadas las actividades, se deben revisar las restricciones, de acuerdo con su relación de dependencia, para determinar la probabilidad de eliminarlas antes del comienzo programado. Dicha revisión ayudará a estabilizar el flujo de trabajo y a filtrar, por última vez, la información para conformar el cuerpo de actividades del *Lookahead*.
- Preparación de restricciones: es el proceso de eliminación de las restricciones, el cual se ejecuta a través de tres pasos:
 - Confirmar el tiempo de respuesta: como se hace en la metodología de extracción o *Pull*, se determina quién es el último actor involucrado y, de atrás hacia adelante, se confirma con las condiciones reales de la contratación el tiempo de trabajo, el cual debe ser menor a la ventana de *Lookahead*. De lo contrario este proveedor no podría ser incluido en el programa o la actividad debe modificarse. Este proceso debe generar actualizaciones constantes para evitar imprevistos.
 - Arrastrar: es el proceso de asegurarse de que el proveedor cumpla con las promesas establecidas, se puede hacer por medio de contratos amparados por estrategias reales de manejo del personal o los recursos. Cuando el proveedor es un comercializador secundario (no es el productor del insumo) se recomienda, en lo posible, verificar la disponibilidad directamente con el productor.
 - Apresurar: si el tiempo de respuesta es muy largo, se deben desarrollar estrategias para segmentar, asignar más recursos o repartir la carga, así poder garantizar el cumplimiento del horizonte de tiempo

- Inventario de trabajo ejecutable (ITE): es el inventario de todas las actividades consideradas de alta probabilidad de ejecución y que tienen liberadas todas sus restricciones. El ITE posee tres tipos de actividades:
 - Actividades con restricciones liberadas de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas.
 - Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura que se desea planificar.
 - Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras.

En caso de que alguna actividad del ITE no fuera ejecutada o se adelantara, se tomarían otras actividades del inventario para que los contratistas y sus cuadrillas no paren de crear valor. Por lo tanto, el ITE será el insumo principal para la planificación semanal detallada en el siguiente subcapítulo.

El proceso de liberación de restricciones debe ser un trabajo conjunto entre los profesionales técnicos y administrativos de la obra y los profesionales *Lean*. Para ello se recomienda hacer una reunión semanal con el fin de actualizar el indicador de restricciones liberadas, el ITE y verificar las actividades que ingresan en el horizonte de tiempo (Hoyos & Botero, 2017)

4.2.2.1. Mecanismo de Comunicación

Como parte del proceso de gestión del *lookahead*, deben existir recursos gráficos y mecanismos de comunicación claros, eficientes y efectivos, que permitan transmitir de forma oportuna las necesidades y tareas a los diferentes actores que participan del proceso. Para la ejecución de la reunión semanal del plan intermedio, adaptado de Hoyos & Botero (2017), recomiendan el uso del siguiente formato:

4.2.2.2. Indicadores

Hoyos & Botero (2017) proponen un indicador que permite conocer el porcentaje de restricciones liberadas:

$$\% \text{ de restricciones liberadas} = \frac{\text{No. de restricciones liberadas} - \text{No. de restricciones totales}}{\text{No. restricciones totales}}$$

Recomiendan llevar un control de las restricciones que faltan por liberar, al igual que hacer una revisión semanal acompañada de gráficos que reflejen el comportamiento progresivo de la liberación de restricciones en el proyecto.

4.2.3. Plan Semanal

El plan semanal o planificación a corto plazo es el último nivel de planificación del LPS, por lo tanto, el más detallado. Es el encargado de definir lo que “se hará” durante la semana entrante, en función de lo previsto en la planificación intermedia, las restricciones existentes y los objetivos cumplidos en la semana anterior (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011). En este nivel los últimos planificadores se comprometen a realizar las asignaciones semanales y su cumplimiento afecta directamente la ejecución del proyecto. La participación de directores, contratistas, maestros, encargados y proveedores es indispensable (Hoyos & Botero, 2017).

Según Noguera (2015), el plan semanal debe cumplir con las siguientes características de calidad:

- Definición: concretar las asignaciones revisando la compatibilidad con otras actividades y así poder afirmar su finalización.
- Consistencia: revisar los inventarios reales de material y lo necesarios para las actividades en curso. Y, de acuerdo con esto, analizar si las asignaciones son verdaderamente ejecutables.
- Secuencia: las asignaciones deben realizarse de acuerdo con el orden de prioridad y constructibilidad.
- Tamaño: el tamaño de las asignaciones debe establecerlo el responsable de la ejecución.
- Retroalimentación y aprendizaje: de acuerdo con las causas de no cumplimiento de las asignaciones, se establecerán aprendizajes y acciones correctivas.

El plan semanal se ejecuta por medio de una reunión periódica. El horizonte de tiempo de planificación es normalmente los siguientes siete días a la reunión, obteniendo un rango de análisis de dos semanas: la anterior en sus resultados y la siguiente en su ejecución.

También es posible planificar una semana más adelante de la inmediatamente siguiente, obteniendo un rango de análisis de tres semanas: la anterior en su calificación y resultados, la primera siguiente en su ejecución y la segunda siguiente en programación (Hoyos & Botero, 2017).

4.2.3.1. Reunión del Plan Semanal

Para la correcta ejecución del plan semanal será necesario realizar reuniones periódicas. En términos generales, la reunión tendrá dos objetivos: primero, un análisis del cumplimiento de la planificación vencida, detectando las causas de no cumplimiento, de modo que puedan adoptarse las medidas necesarias para corregir los desajustes. El ataque sistemático a las causas de no cumplimiento puede aumentar la confiabilidad de la planificación futura. Segundo, se planifica el trabajo de la semana entrante (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011).

Hoyos & Botero (2017) hacen algunas recomendaciones para la preparación de la reunión semanal:

- Orden de día establecido: dada la cantidad de participantes, se sugiere que la reunión tenga un orden del día establecido y claro, la improvisación puede restarle formalidad.
- Calificación de asignaciones: previo a la reunión, deben estar listas las calificaciones las asignaciones de la semana anterior, esto con el objetivo de evidenciar el avance y cumplimiento de las asignaciones. Se recomienda llevar los resultados impresos para agilizar el proceso de evaluación y desarrollar la planeación de la nueva semana.
- Asistencia a las reuniones: se recomienda incluir en las minutas contractuales una cláusula que regule la asistencia de los participantes. Es clave establecer qué personas de las empresas contratistas deben participar en la reunión, representante legal, encargado de la obra, jefes de cuadrillas, etc.
- Análisis y liberación de restricciones: para que las restricciones de las actividades puedan estar liberadas, será necesario que la reunión de planificación intermedia sea realizada con

anterioridad a la reunión de planificación semanal y que, entre la una y la otra, exista un lapso que permita una reacción rápida para liberar alguna restricción necesaria.

- Seguimiento al avance: se recomienda realizar una verificación diaria del avance de las actividades comprometidas, haciendo uso de una carta Gantt. Esta debe ser realizada por el responsable de la actividad o frente de trabajo.
- Seguimiento a la productividad: junto con el seguimiento al avance, se recomienda hacer seguimiento a las tasas de productividad y mediciones de las pérdidas. Esto permitirá verificar los rendimientos reales y será base de datos para la planeación futura.
- Control: para hacer el seguimiento diario los investigadores proponen el siguiente formato.

CONTROL DIARIO DE PRODUCCIÓN							
PROYECTO							
FECHA	ACTIVIDAD	UBICACIÓN	CONTRATISTA / CUADRILLA	TASA DIARIA PROGRAMADA	UNIDAD/DÍA	TASA DIARIA REAL	% CUMPLIMIENTO
12/03/2018	Estuco sobre revoque	Piso 1, Ejes A2	Jairo Jaramillo	125	m2	112	89,6%
13/03/2018	Mampostería	Piso 2, Ejes C4	Jesus Marín	20	m2	19	95,0%
14/03/2018	Mampostería	Piso 2, Ejes C5	Wilmar Rodríguez	20	m2	17	85,0%

Tabla 4: Formato de control diario de la producción.
Adaptado de (Hoyos & Botero, 2017).

4.2.3.2. Condiciones Locativas

Para que la reunión del plan semanal pueda ser llevada a cabo cómodamente, será necesario identificar las necesidades espaciales. Deben tenerse en cuenta el número tentativo de participantes, los medios y equipos informáticos y las herramientas gráficas de apoyo. El lugar debe contar con buena iluminación, ventilación, asientos cómodos y, en lo posible, aislamiento acústico hacia la obra. Para que esto sea posible, será clave diseñar y planificar este espacio desde la fase de planificación general o plan maestro, de manera que en los detalles de obra y en el Estudio de *Layout*, se consideren dichos espacios y necesidades (Hoyos & Botero, 2017):

- Se recomienda que la sala de reuniones cuente con medios de proyección como televisor o video beam, con un tablero borrable y una zona de visualización de papelería complementaria como planos, programación, presupuesto, etc.

- Se recomienda el uso de una mesa redonda o de filas horizontales frente al medio de proyección, donde los participantes puedan ubicarse de forma ordenada.
- Se recomienda hacer uso de los indicadores seguimiento como recursos gráficos, de manera que se puedan visualizar fácilmente los avances o retrasos en el plan general, intermedio y semanal. Un espacio acondicionado para el aprendizaje será clave para el éxito.

4.2.3.3. Ejecución de la Reunión

Basado en las experiencias de implementación del LPS en Colombia, Hoyos y Botero recomiendan para la ejecución de la reunión lo siguiente:

- Constancia de asistencia: se recomienda dejar constancia escrita de la participación mediante la firma. Esto será respaldo legal en caso de dificultades futuras.
- Liderazgo de la reunión: el liderazgo de la reunión deberá llevarse a cabo por alguno de los profesionales técnicos o administrativos vinculado a la obra. En caso de ser posible, se recomienda la presencia del profesional *Lean* quien será el apoyo operativo del líder.
- Definición de roles: además de los actores implicados en el desarrollo directo de las actividades y contratos, es necesario que a la reunión asistan los profesionales vinculados a la obra, tales como director de obra, residentes y, en caso de exista, el profesional *Lean*. Se sugiere la siguiente estructura de roles:
 - Director o residente de obra: dirigen la reunión.
 - Profesional o practicante *Lean*: es el apoyo operativo, quien lleva los registros y la documentación.
 - Contratistas o sus representantes legales y encargados en obra: participan activamente y se comprometen con las asignaciones.
 - Maestros: coordinan los procedimientos de inspección y control.
 - Almacenista: coordina los inventarios y las actividades de abastecimiento.
 - Grandes proveedores (grandes contratos y suministros masivos): se comprometen con fechas de entrega, transporte y forma en la disposición del material.
- Duración de la reunión: el tiempo recomendado para la reunión fluctúa entre una hora y media (Hoyos & Botero, 2017) y dos horas (Rodríguez, Alarcon, & Pellicer, 2011). Procesos más largos evidencian ineficiencias o falta de claridad en las asignaciones.

*Tabla 5: Formato de registro de planificación semanal.
Adaptado de (Hoyos & Botero, 2017)*

Para un efectivo control, se sugiere que una vez se finalice la reunión semanal y se establezcan los compromisos, se deben imprimir y entregar a cada contratista (Hoyos & Botero, 2017).

4.2.3.4. Causas de no Cumplimiento

Como se explicó previamente, una de las tareas más importantes del plan semanal es la identificación, análisis y ataque de las CNC. Según Rodríguez, Alarcón, & Pellicer (2011), la primera tarea a abordar en la reunión del plan semanal es el análisis del cumplimiento de la planificación vencida, detectando las CNC de modo que puedan adoptarse medidas necesarias para corregir los desajustes. El aprendizaje es fundamental en todo el proceso. Hoyos & Botero (2017) recomiendan llevar registros de las CNC semanales y acumuladas, usando métodos de representación gráficos como los diagramas de Pareto, en donde se visualizan las causas de mayor impacto en el proyecto.

Según Hoyos y Botero, las CNC se pueden agrupar e ocho categorías o grupos:

- Materiales: hace referencia a todo lo relacionado con los pedidos, despachos y recepción de materiales en la obra, gestión de inventarios, disponibilidad de materiales en el sitio de trabajo, mal estado de los materiales, etc.
- Manos de obra: todas las causas asociadas a la ausencia de mano de obra, insuficiente personal, personal no calificado, deficientes rendimientos, etc.
- Herramientas y equipos: causas generadas por la falta de herramientas y/o equipos en la obra, falta de disponibilidad de herramientas y/o equipos en las actividades en ejecución, daño o mal estado de las herramientas y/o equipos, etc.
- Proveedores: causas generadas por el incumplimiento de los proveedores.
- Error de programación: todo lo relacionado con errores en la identificación de actividades, ritmos de trabajo y rendimientos de mano de obra que generen inconsistencias.
- Condiciones climáticas: causas generadas por el mal tiempo y factores climáticos.
- Prerrequisitos: causas generadas por la no realización de actividades predecesoras o por la eliminación de restricciones.
- Diseños: falta de diseños, especificaciones, incoherencias entre diseños técnicos, mala coordinación de diseños, información insuficiente, etc.

- Gestión administrativa: todas las causas relacionadas con la liberación de restricciones legales, administrativas, pagos de anticipos o cortes de obra, retrasos en la toma de decisiones, entre otras.

Como parte del proceso de mejora continua e identificación clara de problemáticas generadas por las CNC, Hoyos y Botero (2017) proponen el uso de la técnica de los “cinco por qué”, herramienta sistemática de preguntas introducida por Taiichi Ohno en las industrias Toyota. El funcionamiento se basa en el uso sucesivo y repetitivo de la pregunta ¿por qué?, indagando hasta encontrar la causa raíz que originó el problema. Así, se encuentra una respuesta precisa y el factor raíz que originó la CNC, posibilitando un control detallado para una futura mejora. Hoyos & Botero ilustran la técnica con el siguiente ejemplo:

Causa de no cumplimiento inicial: “Falta de materiales”

¿Por qué?: El proveedor lo envió tarde a la obra.

¿Por qué?: La orden de compra se elaboró tarde.

¿Por qué?: El requerimiento de la obra se realizó tarde.

¿Por qué?: Solo se disponía de la información en el último momento.

¿Por qué?: El diseño y las especificaciones fueron entregadas fuera de la fecha acordada por el diseñador.

4.2.3.5. Indicadores

Ballard (2000) propone hacer la medición y control mediante el uso del indicador de Porcentaje del Plan Completado (PPC), en Colombia se conoce como Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y se calcula dividiendo el número de actividades completadas, sobre el número total de actividades planificadas. Al graficar los valores obtenidos, la pendiente positiva (ascendente) significa que la planificación de la producción fue confiable. Los valores de PAC son muy variables, sin el uso de las técnicas de LPS pueden fluctuar entre 30% y 70%. Diversos autores afirman que con las técnicas *Lean* se pueden obtener valores superiores al 70%. El uso del indicador se lleva a cabo mediante modelo de calificación binaria (1 y 0), donde 1 indica que la actividad se realizó en un 100% y 0 indica cualquier porcentaje inferior al 100%. A partir del indicador PAC, se sugieren especificar la entrega de compromisos, el porcentaje a ejecutar en cada asignación y la cantidad en unidades de medida (metros cúbicos, cuadrados, líneas, kg, número de unidades, etc.) (Salem, Solomon, Genaidy, & Luegring, 2005).

Ballard (2000) propone hacer la medición y control mediante el uso del indicador PPC, Porcentaje del Plan Completado; en Colombia se conoce como Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y se calcula dividiendo el número de actividades completadas, sobre el número total de actividades planificadas. Al graficar los valores obtenidos, la pendiente positiva (ascendente) significa que la planificación de la producción fue confiable. Los valores de PAC son muy variables; sin el uso de las técnicas de LPS pueden fluctuar entre 30% y 70%. Los investigadores afirman que con las técnicas *Lean* se pueden obtener valores superiores al 70%. El uso del indicador se lleva a cabo mediante modelo de calificación binaria (1 y 0), donde 1 indica que la actividad se realizó en un 100% y 0 indica cualquier porcentaje inferior al 100%. Se sugieren especificar la entrega de compromisos, el porcentaje a ejecutar en cada asignación y la cantidad en unidades de medida (metros cúbicos, cuadrados, líneas, kg, número de unidades, etc.) (Salem, Solomon, Genaidy, & Luegring, 2005).

4.3. Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) es comúnmente conocida como una herramienta para la visualización y la coordinación de proyectos de AIC. Su correcto uso ayuda a mejorar la productividad y la calidad, ya que facilita la coordinación general del proyecto, puede optimizar la programación, omitir errores y facilitar la administración y el control de costos. BIM incorpora todos los componentes de la construcción en modelos paramétricos en los que se incluye la geométrica, las proporciones espaciales, localización geográfica, cantidades de obra, características técnicas de materiales, entre otros. También se puede generar y almacenar información de todo el ciclo de vida del proyecto, incluyendo las fases de diseño, construcción, operación, mantenimiento, adecuación y/o demolición (Aguilar, 2015).

BIM es un proceso que implica la creación y el uso de un modelo 3D inteligente para informar y comunicar las decisiones del proyecto. Proporciona una visión holística para ayudar a planificar, diseñar, construir y gestionar proyectos de edificaciones y/o infraestructuras. La implementación de las herramientas permite el diseño, visualización, simulación y colaboración, brindando mayor claridad para todas las partes interesadas en el ciclo de vida del proyecto. BIM facilita el alcance de las metas del proyecto y los negocios asociados (Autodesk, 2015).

El Concepto BIM puede traducirse como 'Modelado de Información para Edificaciones'. Es un método que facilita la comunicación entre arquitectos, ingenieros y constructores, ya que con este se genera e intercambia información de manera eficiente, se crean representaciones digitales de todas las fases del proceso de construcción y se simula el rendimiento en la vida real. Esto perfecciona el flujo de trabajo, aumenta la productividad y mejora la calidad (Lean Construction Enterprise, 2017).

Según Matéu (2015), la metodología de trabajo BIM se caracteriza por los siguientes tres principios básicos:

- Base de Datos: BIM engloba los conceptos relacionados con la construcción de un modelo virtual, compuesto por diversidad de información. A medida que el proyecto se desarrolla el modelo adquiere mayor nivel de detalle, luego, el modelo se convierte en una base de datos que genera y produce información, de acuerdo con las necesidades.
- Diseño Paramétrico: al consolidar parámetros o información (geométrica, técnica, cuantitativa, etc.), el modelo BIM permite la interconectividad entre los elementos o componentes del

modelo. Esto hace que cuando se ejecute un cambio, o se actualice información, todos los componentes relacionados y los documentos de representación, se actualicen con todo el proyecto.

- Interoperabilidad: es la capacidad de compartir datos y posibilitar el intercambio de información entre los usuarios que desarrollan partes del proyecto o las distintas herramientas existentes.

Según Aguilar (2015), algunas de las ventajas encontradas en el uso de la metodología BIM son:

- Mejora procesos: las plataformas BIM permiten compartir información y trabajar de forma colaborativa. Esto exige que todos los profesionales involucrados aporten su conocimiento al equipo de trabajo, agregando valor al proyecto y generando dinámicas de mejora continua.
- Diseños detallados y construibles: BIM permite la creación de un modelo virtual detallado en el que se pueden hacer análisis rigurosos antes de construir. A través de herramientas de simulación y usando lenguajes fáciles de entender para personas que no hacen parte del gremio profesional, aporta flexibilidad e inclusión de los clientes.
- Representación gráfica: permite visualizar los elementos compositivos del proyecto en único modelo 3D, identificando posibles fallos o interferencias y proporcionando mayor entendimiento del proyecto. Igualmente, permite la obtención de documentación técnica en varios formatos gráficos, tales como planos de fabricación y construcción, esquemas o diagramas de construcción por fases, despieces de estructura o elementos arquitectónicos, listados de insumos y tablas de cantidades de obra, entre otras.
- Integración de normativa: Es posible integrar las normativas vigentes al modelo BIM, de manera que el software alerte ante su incumplimiento.
- Análisis forense: mediante el uso de sensores ubicados en el edificio y sus partes, algunos softwares BIM pueden avisar sobre un posible fallo estructural o accidente, esto se conoce como *Building Automation Systems*, y proporciona información en tiempo real, aumentando la seguridad y capacidad de respuesta en casos de emergencia.
- Gestión de las instalaciones: BIM permite gestionar y controlar los activos físicos en su ciclo de vida, planificar el mantenimiento, analizar el funcionamiento de las instalaciones, planear y controlar futuras reformas o ampliaciones, entre otras.

- Detección de conflictos y fallos: permite la temprana identificación de interferencias e incompatibilidades entre los distintos diseños que componen el proyecto, evitando reprocesos, sobre costos y mejorando la calidad.
- Control de tiempos y recursos: permite relacionar información tridimensional del modelo geométrico con información de tiempos y recursos, determinar procesos constructivos y estimar costos y desviaciones.

4.3.1. Diferencias entre CAD y BIM

Los planos y dibujos bidimensionales han sido los medios de representación más utilizados para llevar a la construcción todos los diseños arquitectónicos, estructurales y técnicos. Durante las últimas décadas, el sistema de Diseño Asistido por Computador o *Computer Aided Design* (CAD), generó gran progreso en la representación gráfica y documentación de los proyectos AIC, pasando del dibujo en papel, al uso de herramientas informáticas digitales caracterizadas por su precisión. Dicho sistema permitió la obtención de dibujos configurables en diferentes escalas, editables y re-imprimibles, al igual que ventajas como la inserción de bloques prediseñados, lo que suponía grandes ahorros de tiempo productivo. Adicionalmente, hizo posible el diseño colaborativo, ya que los proyectos podían ser diseñados y dibujados de forma simultánea por los diferentes consultores, para luego ser verificada y coordinada (BIM Área, 2017).

Los sistemas de representación CAD permiten la creación de modelos 3D o dibujos 2D virtuales con geometrías definidas y gran precisión, pero sin ninguna relación entre sí. Es decir, cada dibujo o modelo es un elemento independiente que debe ser creado, editado y documentado por separado. Es en este punto donde aparece una de las más grandes diferencias entre CAD y BIM: en BIM, los modelos tridimensionales tienen información que permite la extracción de planos, dibujos, vistas y datos del proyecto, que siempre, están relacionados entre sí. Por lo tanto, si en algún momento se modifica una parte del mismo, estos cambios afectarán a la totalidad, creando vínculos entre las partes y el todo. (Duque, 2014).

Al igual que en CAD, los Software BIM permiten el trabajo colaborativo, de hecho, se han desarrollado plataformas para el trabajo simultáneo en línea. Esta especial característica se denomina Interoperabilidad, proceso mediante el cual varias personas implicadas en un proyecto pueden trabajar

en tiempo real sobre un mismo archivo. Cada participante alimenta una parte del modelo, dotada de toda la información necesaria para su correcta interpretación y posterior ejecución. Luego, es posible la unificación de los modelos o elementos para constituir un todo, es decir, un modelo 3D único en el que se especifican todos los detalles. Sus posteriores modificaciones se ven representadas en tiempo real en los distintos planos y documentos presentados (BIM Área, 2017).

A diferencia de CAD, para usar tecnologías BIM se debe partir de un programa de modelado 3D, pero no todos los programas de modelado 3D son una herramienta BIM, algunos *Software* o herramientas CAD solo permiten la representación geométrica y visual. Las herramientas BIM contienen objetos pertenecientes a categorías o clases constructivas/arquitectónicas con bases de datos relacionales, permitiendo su edición a partir de parámetros prediseñados. Esto, permite establecer características de materiales, añadir factores temporales como el inicio o fin del proyecto, estimar tiempos de ejecución, planificar por fases, cuantificar y valorar el coste y hacer seguimiento durante la operación. En un modelo BIM la geometría tiene relaciones espaciales, información geográfica, medidas como volumen, área o peso, lo que permite extraer cantidades de obra. El modelo BIM se puede utilizar para simular todo el ciclo de vida de la edificación (Duque, 2014).

4.3.1.1. Tipos de Modelos BIM

Los modelos BIM pueden tener distintos niveles de complejidad y objetivos, pero es necesario que, antes de iniciar el modelado, se tenga definido el objetivo de modelación y que los participantes comprendan lo que se busca. Según la etapa de desarrollo del proyecto los modelos se pueden transformar, pero los objetivos deben ser medibles y específicos, tratando de mejorar la planificación, diseño, construcción y operación. Los modelos BIM varían según la etapa de desarrollo o el ciclo de vida del proyecto, por lo que se debe crear un modelo que tenga la mayor cantidad de información o que logre un mayor alcance en el largo plazo. (BIM Fórum Chile, 2017)

Al igual que el proyecto, un modelo BIM es una entidad en constante desarrollo y transformación, el BIM Fórum Chile (2017) establece las siguientes categorías de modelos:

- Modelo de Cabida: Se desarrolla según la normativa específica que aplica a un lote de terreno. Permite determinar las condiciones espaciales para el posterior desarrollo de un anteproyecto arquitectónico, evidenciando el aprovechamiento máximo y los condicionantes normativos.

- Modelo de Topografía: Es un modelo generado a partir un levantamiento topográfico. Con la geometría de las curvas de nivel y la altimetría, se genera una superficie topográfica que permite mostrar gráficamente las propiedades espaciales del terreno existente. Dicho modelo contiene la información paramétrica y planimétrica para calcular volúmenes reales de tierra y si se incorporan los estratos de suelo, puede expresar información mecánica del terreno.
- Modelo de Movimiento de Tierra: A partir del modelo de topografía es posible crear el modelo de movimiento de tierra, en el cual se puede extraer la información paramétrica y planimétrica para calcular la cantidad de tierra a cortar, mover o rellenar.
- Modelo de Anteproyecto de Arquitectura: Es el modelo inicial del diseño arquitectónico, en el cual se plasman los requisitos del cliente, las condiciones normativas y topográficas del terreno. Permite visualizar de forma general el proyecto y hacer análisis rápidos, interactivos e ilustrativos, que apoyan la comunicación y la toma de decisiones con el cliente.
- Modelo de Visualización: Es un modelo volumétrico creado para mostrar gráficamente las propiedades espaciales del proyecto de Arquitectura. Puede ser hecho en base al modelo de Anteproyecto de Arquitectura o el Modelo de Arquitectura. Es un modelo que no contempla información paramétrica o planimétrica, solo cumple funciones visuales. Puede ser usado para la generación de imágenes fotorrealistas.
- Modelo de Arquitectura: Es el modelo que contiene toda la información del diseño arquitectónico. De este se puede obtener los planos 2D para la obtención de licencias o permisos municipales. Es un modelo evolutivo que, dependiente del nivel de detalle, puede concluir en un modelo de cubicación, análisis, coordinación, construcción, fases de construcción, "As Built" o record y de mantenimiento, dependiendo del objetivo trazado. Es por esto que es importante identificar el objetivo previo al inicio del modelado.
- Modelo de Análisis Estructural: Es el modelo que permite analizar el sistema estructural de un edificio y mediante simulaciones virtuales, determinar las dimensiones de elementos estructurales y su comportamiento ante esfuerzos sísmicos, posibilitando la optimización de la estructura planteada.
- Modelo de Estructura: Es el modelo que muestra el diseño estructural del proyecto, cuyos elementos y sus dimensiones responden a un análisis de sus cargas y esfuerzos.
- Modelo de Coordinación de Arquitectura y Estructura: Es un modelo en que se incorporan los modelos de arquitectura y estructura, con el fin de detectar problemas de coordinación

geométrica. Con la identificación de dichas interferencias, se corrigen errores de forma anticipada a la construcción, evitando retrasos y sobre costos en obra.

- Modelo de Instalaciones: Es el modelo en el que se incluyen todas las redes y equipos de los distintos diseños técnicos requeridos en el proyecto. Algunas de las más comunes disciplinas que intervienen en el diseño de redes son: climatización, extracción, redes eléctricas, hidráulicas, sanitarias. Sin embargo, dependiendo de la complejidad del proyecto se pueden involucrar muchas más especialidades.
- Modelo de Coordinación de Especialidades: Es el modelo que incorpora todos los modelos anteriormente mencionados a nivel volumétrico, con el fin de detectar interferencias y problemas entre los trazados de las redes, la estructura o la arquitectura con el fin de corregirlos antes de la construcción. Este modelo no contiene el nivel de detalle de un modelo de ubicación o construcción, ya que la interacción entre tantos elementos disminuye el rendimiento del mismo.
- Modelo de Fases de Construcción: Es el modelo usado por los contratistas, relacionado con la organización de los procesos de producción. Este modelo sirve para planificar los distintos procesos constructivos y llevar un seguimiento del avance de la obra en relación a los tiempos y/o costos estimados inicialmente.
- Modelo de Ubicación: Son los modelos de arquitectura, estructura y redes que contienen el mayor nivel de desarrollo, lo que permite la cuantificación de los elementos constructivos. Es posible que todos los modelos específicos se vinculen mediante referencias externas a un solo modelo base, el cual alberga toda la información de cantidades de obra cada una de las disciplinas intervinientes.
- Modelo de Construcción: Es el modelo de arquitectura con el mayor nivel de detalle. Mediante el uso de referencias externas, este, debe incluir los modelos de estructuras e instalaciones, para ser usados como guía a la hora de tomar decisiones en situaciones complejas.
- Modelo "As Built" o Récord: Es el modelo que contempla todos los modelos BIM involucrados dentro del proyecto, los cuales fueron actualizados durante la construcción. Todas las modificaciones realizadas en obra fueron incluidas y el modelo resultante es totalmente fidedigno con la realidad construida.
- Modelo de Mantenimiento de Instalaciones: Es la puesta en marcha del modelo récord, cuenta la descripción de todos los equipos mecánicos, eléctricos y trazados de instalaciones. El fin de este modelo es mantener en constante actualización las instalaciones del edificio, mediante

una matriz de información que permite añadir datos sobre el ciclo de vida de los equipos o elementos instalados, programando avisos cuando sea necesario el mantenimiento preventivo o renovación.

4.3.2. Las Dimensiones BIM

Lo que resulta realmente novedoso de BIM es que plantea un método de trabajo integrado que abarca todas las dimensiones de los proyectos de AIC. Los investigadores citan principalmente siete dimensiones, teniendo la posibilidad de llegar hasta nueve. Cada dimensión es un nivel que aporta nuevo valor agregado al proyecto, es decir, parámetros nuevos que influyen en el modelo y aportan información adicional (González, 2015).

El método de las nueve dimensiones es un proceso de construcción virtual basado en trabajo colaborativo. Alinea a los distintos agentes que participan en el ciclo de vida del proyecto. Según Pérez (BIM Community, 2017) y González (2015), las nueve dimensiones BIM pueden definirse como:

- Primera dimensión (1D): corresponde a los procesos de investigación, implementación y diseño conceptual:
 - Investigación: análisis de las condiciones contextuales, simulaciones climáticas, orientación geográfica, regulaciones locales, definición del programa funcional.
 - Implementación: creación de los protocolos BIM en un país u organización, definición de software y desarrollo del plan ejecutivo BIM.
 - Diseño conceptual: desarrollo de estrategias, viabilidad, estimación de áreas, estimación básica de costos, volumetría general.
- Segunda dimensión (2D): se basa en la introducción de flujos de trabajo colaborativos e implica las nuevas formas de contratación y compromiso con soluciones integrales de gestión. Corresponde a los procesos de producción, implementación, desarrollo de las bases de datos y aproximaciones a la sostenibilidad:
 - Producción: desarrollo de dibujos 2D, documentación anexa, vistas del proyecto y primeros planos o bocetos.
 - Implementación: programación funcional del espacio, parametrización de componentes, gestión de archivos, desarrollo de estrategias de comunicación.

- Bases de datos: hojas de datos de las secciones o partes del proyecto, listas de entregables, definición de objetivos, definición de cargas estructurales y cargas energéticas.
- Sostenibilidad: estimación del ciclo de vida del proyecto, soluciones para la construcción, primera definición de los sistemas técnicos (mecánicos, eléctricos e hidráulicos) y sistemas de producción y consumo energético, estrategias de certificación.
- Tercera dimensión (3D): se trata del modelado espacial virtual, que, en adición al modelado tradicional con objetivos netamente visuales, en BIM trae parámetros que detallan técnicamente aportando información de dimensiones, materiales, textos o cualquiera característica que defina al objeto (Gozález, 2015). Corresponde a los procesos de representación, implementación, documentación final y sostenibilidad.
 - Representación: visualización 3D, imágenes fotorrealistas, recorridos virtuales, esquemas y diagramas de funcionamiento.
 - Implementación: creación de objetos BIM, programación visual, detección de conflictos espaciales, chequeo de modelos.
 - Documentos finales: diseño detallado, implementación de diseño estructural y diseños técnicos, desarrollo de especificaciones.
 - Sostenibilidad: valores de insolación, estrategias de protección climática, requerimientos de iluminación natural.
- Cuarta dimensión (4D): se trata de la inclusión de la dimensión temporal en el proyecto. Incluye simulaciones de fases de ejecución y revisiones del estado de demora o adelanto. Corresponde a los procesos de producción, sistematización y simulación.
 - Producción: creación de modelos unificados, construcción virtual, programación, definición de fases y línea temporal, planeación de la construcción, validación visual.
 - Sistematización: estrategias de prefabricación, validación de construcción estructural y de redes técnicas.
 - Simulación: simulación del ciclo de vida del proyecto, simulaciones climáticas y energéticas, chequeo de certificaciones.
- Quinta dimensión (5D): comprende todo lo relacionado con el control de costos, es decir cómo cada elemento BIM se sincroniza con su precio, su origen, su instalación y hasta los costos de su mantenimiento. Corresponde a procesos de producción, contratación y sostenibilidad.

- Producción: extracción de cantidades de obra, detalle de los precios unitarios, modelos de fabricación basados en flujo de caja.
 - Contratación: comparativos de precios, selección comercial de proveedores y contratistas, plan logístico basado en flujo de caja.
 - Sostenibilidad: evaluación de las certificaciones, costo del ciclo de vida, estudios comparativos de alternativas.
- Sexta dimensión (6D): hace referencia a lo relacionado con el funcionamiento del proyecto y sus impactos ambientales. Corresponde a los procesos de evaluación de resultados, la ingeniería del valor, la estimación de ahorros, y el rediseño.
- Evaluación de resultados: evaluación de las alternativas y soluciones conocidas, inicio de los procesos de certificación, obtención de un modelo BIM auditado y reporte del rendimiento del proyecto.
 - Ingeniería del valor: simulaciones, análisis de rendimientos; energético, de los sistemas, arquitectónico y constructivo.
 - Estimación de ahorros: hace referencia a la comparación de costos, beneficios en la construcción, retorno de la inversión, al riesgo temporal, selección de ítems para optimización.
 - Rediseño: obtener un modelo BIM certificado.
- Séptima dimensión (7D): está dedicada a la operación y mantenimiento de las instalaciones construidas y activos fabricados. Corresponde a las estrategias de gestión del ciclo de vida.
- Gestión del ciclo de vida: todos los procesos de gestión de mantenimiento, levantamiento y actualización de modelos BIM (BIM As-Built), manuales de operación, planes mantenimiento y soporte técnico.
- Octava dimensión (8D): aunque poco se ha desarrollado, actualmente es una prioridad en los países nórdicos. Está dirigida al concepto de “cero accidentes”. Desarrolla los temas de seguridad y salud durante el funcionamiento del proyecto y su fase de mantenimiento.
- Novena dimensión (9D): Aunque es una dimensión en desarrollo, los autores señalan que se trata de la introducción de la filosofía *Lean Management* en el sector AIC, es decir, es el vínculo entre BIM y *Lean Construction*.

4.3.3. Niveles de desarrollo BIM

El nivel de desarrollo BIM o *Level of Development* (LOD) es un parámetro de referencia que ilustra el nivel de detalle con el que se construye un modelos BIM, o bien, una referencia que permite a los profesionales de la industria AIC especificar y articular, con un alto nivel de claridad, el contenido y la confiabilidad del modelo BIM (BIM Forum, 2017). Con el tiempo, su significado ha cambiado hacia entenderse como una categoría que ayuda a definir el objetivo para el cual se ha desarrollado el modelo (Matéu, 2015).

LOD define e ilustra las características de los elementos modelados, sus sistemas de construcción y nivel de detalle. Esta articulación permite a los usuarios del modelo definir el nivel de confiabilidad y precisión de sus modelos y permite a los usuarios intermedios comprender claramente la usabilidad y las limitaciones. Una clara definición del LOD puede ayudar a los usuarios y propietarios a definir los entregables y tener conocimiento de lo que se incluirá en el modelo BIM, también ayuda a los equipos de diseño a definir la información y los detalles que deben proporcionarse en cada momento del proceso de diseño y a generar protocolos para los planes de ejecución BIM y la futura ejecución de los contratos de obra (BIM Forum, 2017).

La Asociación Americana de Arquitectos define cinco LOD. Cada uno de estos se distingue por la madurez del elemento, ya que a medida que aumenta el LOD son añadidos más parámetros al modelo. Estos parámetros añadidos se van convirtiendo en parámetros modificables. Según Pérez (2015) y Matéu (2015) los cinco niveles LOD podrían definirse así:

- LOD 100: corresponde al modelo conceptual y es el nivel más básico. El proyecto es representado por sus formas generales o por símbolos genéricos. Se define la orientación, la relación y posición de sus elementos y se definen parámetros como el área, volumen o longitud general. Permite programar fases y duraciones generales.
- LOD 200: corresponde al modelo geométrico. Se define con mayor claridad la forma y tamaño del proyecto o de sus elementos, logrando incluir parámetros de peso, fabricantes y manuales. Los elementos pueden ser analizados para su funcionamiento con base en criterios generales del proyecto y, posteriormente, ser coordinados con otros elementos de proyecto con base en dimensiones, ubicación, trayectorias y criterios de prioridades

- LOD 300: corresponde al modelo de construcción. Se definen con precisión las características gráficas del proyecto o elementos. Se define con alto nivel de detalles, su geometría, posición, orientación, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje. Es posible incluir información no gráfica vinculada los elementos de manera que pueden ser valorados los costos de una manera específica y precisa, basados en datos de fabricación y puesta en obra.
- LOD 400: corresponde al modelo de fabricación. El modelo contiene suficiente información para la fabricación o construcción. Dado el nivel de detalle, se puede extraer planos, listados de insumos, diagramas de funcionamiento, manuales de instalación, cantidades de obra y detalles constructivos.
- LOD 500: corresponde al modelo *As Built* (como construido). Es el ultimo nivel de desarrollo y hace referencia a la representación virtual del proyecto construido. Es un nivel prioritario ya que sustituye la información en conflicto de los otros niveles, está pensado para su uso en el futuro, por ello debe incluir toda la información del estado actual, tales como especificaciones, aprobaciones de productos, uso, mantenimiento, costos, gestión, futuras renovaciones o modificaciones.



Ilustración 8: LOD, Nivel de desarrollo BIM

Tomado de: Auditoría técnica y legal de archivos BIM, 2015. <http://bimexperts.com.br/bim-e-os-niveis-de-desenvolvimento/>

4.3.4. Conceptos para la Implementación BIM

“Para implementar adecuadamente BIM en las organizaciones se requiere contar con un enfoque estratégico que involucre a toda la empresa, gran capacidad de liderazgo y un respaldo adecuado por parte de las jefaturas, que permita cambiar los procesos tradicionales e implementar nuevas formas de trabajo que surgirán con el uso adecuado de metodologías BIM. Significará un impacto en la organización y en los procesos productivos y/o administrativos. A medida que la organización comienza la implementación, es importante explicar de manera clara a todos los involucrados, los cambios que se producirán, como también los nuevos procesos y las tecnologías que serán aplicadas.” (BIM Fórum Chile, 2017, pág. 22).

Según Duque (2014), la implementación BIM es el conjunto de acciones que posibilitan el cambio de la metodología tradicional, a una nueva metodología basada en BIM. La implementación en una compañía se realiza en diferentes fases y pueden variar según la estructura operativa. El BIM Fórum Chile (2017) define que su adopción puede iniciarse mediante un proyecto piloto, en el cual se deben medir los resultados y cosechar beneficios que pueden escalar en la empresa. No es muy relevante el tamaño ni tipo de proyecto, ni tampoco si involucra una o varias disciplinas, ya que, para cada caso, existirán estructuras organizacionales y flujos de trabajo BIM adecuados.

Se definen tres estrategias específicas para la implementación (BIM Fórum Chile, 2017):

- **Visión BIM:** Se requiere un visión precisa y bien articulada, alineada con los beneficios para la empresa. También la identificación de los principales elementos de transformación y las etapas de desarrollo, se trata de una proyección al futuro de la empresa, con el fin de posicionar el BIM dentro de los objetivos estratégicos de la misma.
Un proyecto piloto ayudará a dar forma a la visión, el cual contará inicialmente con la ayuda de algún asesor confiable. La capacitación y la definición de logros claros, serán conceptos clave reducir la incertidumbre y visualizar los avances.
- **Liderazgo dirigido:** Al interior de la organización debe existir un equipo de liderazgo BIM, el cual debe propiciar que la visión se refleje en metodologías de trabajo, con el fin de producir los resultados deseados y que el rendimiento sea acorde a los objetivos estratégicos trazados. Además, estrategias complementarias que permitan hacer un seguimiento a la implementación. Entre ellas se resaltan, la evaluación y validación mediante hitos o metas

establecidas; la comunicación desde los líderes mantendrá la motivación e impulsará la mejora; la inversión en capacitación con el fin de adquirir las habilidades y práctica necesaria en los nuevos *Software* y métodos; revisiones periódicas, estableciendo puntos comparativos frente a proyectos anteriores; medición del estado de implementación, determinando indicadores de avance y metas claras a alcanzar.

- Cambio gradual: El proceso de implementar BIM es gradual, por lo cual es recomendable iniciar con proyecto piloto ficticio. Si se quiere hacer la implementación en proyecto real, lo ideal sería seleccionar a un cliente abierto a adoptar nuevas tecnologías y que comprenda las ventajas del nuevo método. Durante el cambio se requiere de un respaldo positivo por parte de la gerencia y el personal, al igual que establecer las expectativas correctas desde el inicio del proceso, formular un plan de acción y garantizar el nivel de capacitación adecuado de los empleados. Es recomendable empezar en proyectos de pequeña escala, desarrollando la confianza, aumentando las capacidades. Cada nuevo proyecto acelerará la transición.

5. Estado del Arte

En el desempeño profesional, A5 Arquitectura ha desarrollado proyectos privados de pequeña y mediana escala, con requerimientos muy específicos, en los cuales, por lo general, se establece una estrecha relación entre los clientes y los arquitectos/diseñadores/construtores. Desde esta realidad se ha formado un interés por estudiar y evaluar procesos y métodos que permitan que cada proyecto se atienda como único, según las demandas y necesidades de los clientes, los cambios que surgen en el camino y el objetivo claro de entregar productos que satisfagan necesidades y superen expectativas.

El sector de la construcción, desde una mirada industrial de producción masiva, parece haber olvidado que los productos en venta tienen un vínculo directo con la satisfacción de los clientes. Tanto a nivel local, Medellín-Colombia, como en el panorama internacional, se percibe un sector estático en términos de personalización y oferta de productos. La poca innovación, la homogeneidad y la construcción basada en la demanda, han generado mercados poco diversos y ciudades saturadas de productos típicos, para públicos genéricos, pero con condiciones económicas/sociales diversas. Una evidente contradicción.

Por otro lado, algunos vanguardistas del desarrollo inmobiliario hablan de conceptos como la producción basada en oferta, los proyectos de nicho y un enfoque disruptivo, como el futuro del desarrollo inmobiliario en Latinoamérica. Entender el impacto social que tiene el desarrollo inmobiliario es fundamental para un crecimiento positivo de las ciudades. Surgen preguntas como ¿qué puede crearse en un lote, que sea un buen negocio financiero, que genere impacto positivo sobre el consumidor directo e impacto positivo sobre la ciudad? (Muñoz, 2015). Otras discusiones sobre el producto inmobiliario involucran a diseñadores y desarrolladores. Plantean que el problema radica en que no se determina el mercado meta del proyecto. Se promueve y se diseña para un mercado genérico. Un mercado bien definido a nivel demográfico y psicográfico incide directamente en el valor que se entrega (Grupo 4S, 2016). Ya que este tipo de proyectos normalmente no son atendidos por las grandes empresas de diseño y construcción, se percibe un nicho de mercado con mucha proyección para A5 Arquitectura.

Dentro de la búsqueda de información para el entendimiento e implementación de la filosofía *Lean Construction*, se encontraron algunos autores y artículos que hablan sobre la personalización y los requerimientos del cliente, especialmente en proyectos de vivienda. En este marco se ubica la temática de interés del presente capítulo, la búsqueda de los conceptos y elementos que permitan formar un estado del arte frente a los proyectos de AIC que incluyen al cliente/consumidor dentro de su cadena productiva, en proyectos de mediana y pequeña escala. La implementación de metodologías y estrategias que permitan mejorar la eficiencia y calidad en los procesos de diseño y construcción en proyectos con orientación al consumidor, serán elementos claves.

El análisis de información se llevó a cabo mediante la revisión sistemática de literatura en bases de datos internacionales, específicamente en el compendio de publicaciones del International Group for Lean Construction (IGLC), organización académica fundada en 1993 y definida como red internacional de investigadores de la práctica y academia en AIC; el *Lean Construction Journal*; y el *International Journal of Construction Management*. Usando las palabras clave *Customisation*, *Customer requirement*, *Consumer*, *Housebuilding* y *Engineer-to-Order* se obtuvieron 44 artículos, los cuales fueron inicialmente filtrados mediante la lectura de sus títulos y resumen en relación con la temática de estudio. Se obtuvieron un total de 26 textos y 4 referencias cruzadas. Por lo que el cuerpo bibliográfico del presente capítulo se compone de 22 referencias.

El análisis de los artículos se categorizó en dos grupos: El primero, "Enfoques a la satisfacción del cliente", que corresponde a los textos relacionados directamente con problemáticas de personalización de producto. El segundo, "Ingeniería a la orden", que se orienta en soluciones y aplicaciones prácticas de *Lean Construction* y BIM, tales como la planificación a través de LPS, simulación con BIM 4D, herramientas gerenciamiento visual, entre otras.

De este análisis se pudo establecer que, en términos cuantitativos, hay muy poca investigación enfocada a temas de la inclusión de clientes en los proyectos AIC. Si bien el IGLC define su objetivo como la mejora en la respuesta a las demandas del consumidor, de los 1432 artículos ubicados en su plataforma en el momento de la búsqueda, solo el 3.07% consideran dichas temáticas. Se evidencia que la falta de una teoría específica y aplicada es uno de los obstáculos para el progreso del sector y la mejora en las relaciones cliente-constructor.

Muchos de los investigadores describen un sector industrial estático, poco flexible y que poco se preocupa por adaptarse a las necesidades de los usuarios. Se evidencia que, entre las dificultades más comunes para implementar estrategias de inclusión de clientes a los procesos de diseño y construcción, son la perspectiva cortoplacista de los constructores de vivienda y la incapacidad de aprender de los errores del pasado (Barlow, 1998).

Dado que implementar requerimientos especiales a los proyectos propicia nuevas complejidades, es necesario desarrollar estrategias para administrar el flujo de información y la transmisión de la misma a través de las etapas del proyecto, al igual que enfocar el alcance de las “personalizaciones”, por ejemplo, tener un número de opciones predefinidas (Rocha, Kemmer, Meneses, & Formoso, 2013). Aproximaciones basadas en componentes ofrecen métodos en los que partes estandarizadas son configuradas en sitio con programas y ensamblajes diversos. Investigadores concluyeron que normalmente entre el 50 y 60% del valor agregado es producido fuera de sitio, es decir en locaciones industriales. Esto reduce significativamente costos y defectos, mejorando tiempos y aumentando calidad. Pero mientras se han hecho intentos de introducir más alternativas para los clientes en los proyectos de vivienda, implementar conceptos reales de *Mass Customisation*² requerirá una reorganización radical de todo el sistema productivo (Barlow, 1998).

5.1. Enfoques a la satisfacción del cliente

El rasgo distintivo del IGLC, como bien se define en su página web, es el énfasis en teoría, consideran que la falta de una teoría específica y aplicada es el obstáculo para el progreso del sector (International Group for Lean Construction, 2015). Su objetivo es mejorar la respuesta a las demandas del consumidor y mejorar dramáticamente tanto los procesos como los productos de AIC. La visión *Lean Construction* se preocupa por atender requerimientos y trabajar en problemáticas que la industria ha tenido olvidadas (Ballard & Howell, 1998).

² Personalización Masiva.

Los proyectos de construcción no serializados presentan un reto clave en el panorama de la construcción actual, ya que, a las ineficiencias y pérdidas que presenta la industria AIC se suma la necesidad de un producto personalizado, dando origen a conceptos como *Mass Customisation* o *Customer-Focused Approaches*³, enfoques hacia la personalización y la satisfacción del cliente. Por ejemplo, el concepto de *Mass Customisation* se refiere al suministro de productos y servicios a través de procesos flexibles, a tarifas y condiciones similares a los de la producción estandarizada (Marinho, Veras, & Barros, 2014). Tema de alto interés para la presente investigación.

Es posible afirmar que la necesidad de un producto personalizado se evidencia con mayor frecuencia en los proyectos de vivienda, en los que la creciente demanda de variedad y flexibilidad alienta a las empresas a considerar la construcción de nuevos proyectos, tipos de productos y procesos, creando una relación más estrecha entre cliente-constructor. Condición emergente en la producción industrial en AIC: personalización y la elección como un factor diferenciador en el mercado inmobiliario (Marinho, Veras, & Barros, 2014).

Cronológicamente, la primera referencia encontrada con temas del “enfoque al cliente” es un texto Barlow (1998) que habla sobre la insatisfacción de los consumidores de proyectos de vivienda en el Reino Unido: el “enfoque al cliente” que se ha extendido a través de varios sectores industriales y de venta al por menor, ha pasado de largo la industria de construcción de vivienda. En las nociones de ‘producción ágil’ se encuentran lecciones para los constructores de vivienda, se evidencia la necesidad de adoptar conceptos de *Mass Customisation*, en donde los productos de alta personalización son entregados a costos comparables a la producción masiva.

Posteriormente, Cuperus (2002) describió el sector AIC como una de las industrias que, dada su rentabilidad, es estática por naturaleza. Cada cambio interrumpe la rutina diaria y por lo tanto eleva los costos, reduciendo los beneficios. Si el negocio es rentable, no hay necesidad de innovación y, en el caso de una recesión, tampoco habría presupuesto. Por esto, entre otras razones, dicha industria lleva décadas resistiéndose a migrar de la construcción serializada y homogénea, a productos

³ *Aproximaciones al enfoque-al-cliente.*

Por preferencia del autor, los términos se conservarán en su idioma original durante el desarrollo del texto.

personalizados orientados al consumidor, olvidando la atención a las transformaciones y comportamientos sociales: la diversidad de los residentes y el cambio en el estilo de vida son factores que indican las realidades heterogéneas actuales y son las principales causas de la necesidad de cambio en el diseño de las unidades de vivienda (Marinho, Veras, & Barros, 2014). La adopción de estrategias de personalización por las empresas constructoras aumentará el valor del producto. Sin embargo, un gran desafío es cómo aumentar la variedad de productos manteniendo un proceso de producción eficiente (Kemmer, Rocha, Meneses, Pacheco, & Formoso, 2010).

Dicha dificultad de atender requerimientos especiales/personales en la industria AIC no es solo una problemática de los procesos de construcción. La falta de vínculos entre el diseño y la construcción aparece con un punto importante, ya que en la construcción no existe ningún método de “mejores prácticas” que ayude a los diseñadores a traducir las necesidades de los usuarios a parámetros físicos de diseño. En la comunidad *Lean* se han propuesto métodos que ayudan a capturar dichos valores, como el “universo de valores”, o métodos que transmiten la toma de decisiones hasta el último responsable, como el “diseño basado en conjuntos” (Björnfot & Bakken, 2013).

En el sector de la construcción residencial han sido abordados otros conceptos como la “cadena de suministros”. En Reino Unido, Childerhouse, Hong-Minh y Naim (2000), Señalaron que el hecho de que la demanda superara a la oferta generaba poca o ninguna atención a las necesidades de los clientes. Los constructores de viviendas perciben un ambiente de ‘fiesta y hambruna’, los resultados financieros a corto plazo son lo primordial.

Desde el mismo enfoque se realizaron otras investigaciones en Suecia: Lindfors (2000) analizó la “cadena de suministros” desde la diferencia entre las actividades de valor y las de no-valor. Investigó las posibilidades de mejorarla en términos de tiempo, costo y calidad. Indicó que el flujo de información y comunicación se ha vuelto más importante de controlar cuándo se intenta reducir los tiempos de entrega. Señaló que desarrollar la información correcta en el lugar adecuado, a través de todo el proceso, ayudará a eliminar un alto número de actividades de no-valor agregado.

Posteriormente, Höök (2006) se enfocó en la reducción de pérdidas y mejora de la productividad desde la prefabricación. Indicó que la reducción de residuos suele estar relacionada con una mayor cantidad de repeticiones de productos o procesos, visión relacionada con la producción industrial. Mientras que

la generación del valor se ha relacionado con la reducción de desperdicios. Por lo tanto, el grado de personalización de un producto se considera a menudo sólo en términos de repetitividad, sin considerar el proceso de diseño y su relación con la generación de valor. Finalmente, indicó que el reto es entender la personalización como un proceso de generación de valor y aprender a integrar el diseño y la repetición, sin sacrificar la naturaleza esencial de cualquiera de ellos.

En el 2012, compañías constructoras de vivienda realizaron investigaciones aplicadas. En Brasil y el Reino Unido se analizaron estrategias de personalización desarrolladas por cuatro organizaciones del sector de la construcción de viviendas, diferentes en la escala del producto suministrado, la cantidad de años de operación y el avance en el desarrollo del producto. Los investigadores exploraron cómo las estrategias de personalización, basadas en el enfoque de *Mass Customization* pueden ser llevadas a cabo bajo diferentes contextos organizacionales. (Rocha, Formoso, & Santos, 2012).

En estudios posteriores, Rocha, Kemmer, Meneses y Formoso (2013) revelaron que la inclusión de los clientes, en el proceso de diseño y construcción de proyectos de vivienda, no resulta tan exitosa si esta no se hace con estrategias y metodologías que permitan un flujo correcto de la información. La adopción de estrategias de personalización aumenta el grado de participación de los clientes en el desarrollo y la producción de edificios de vivienda, por lo tanto, aumenta la cantidad de información que debe ser administrada. En estas estrategias, los requisitos específicos de los clientes deben traducirse en instrucciones de diseño y construcción. Tener un flujo de información adecuado entre empresas, clientes y proveedores es un factor de éxito importante para una estrategia de personalización.

5.2. Ingeniería a la Orden

El enfoque de *Engineer-to-Order*⁴ (ETO) es aquel en el que una empresa diseña y fabrica un producto basado en requisitos muy específicos del cliente. Debido a que el producto final tiende a ser complejo,

⁴ *Ingeniería a la Orden*. Por preferencia del autor, el término se conservará en su idioma original durante el desarrollo del texto.

los clientes se involucran con la compañía a lo largo de las fases de diseño y fabricación, para asegurar que se cumplan sus requerimientos y especificaciones (Arena Solutions Inc., 2017). Esto se puede evidenciar en proyectos privados de prestación de servicios profesionales, en los que no hay una venta de productos inmobiliarios, sino un acompañamiento profesional en donde los requerimientos de los clientes juegan un papel fundamental en el alcance de metas y objetivos de tiempo, presupuesto y calidad. Algunos investigadores han desarrollado el concepto de "Ingeniería a la Orden" en la industria de la construcción, aplicando técnicas y principios de *Lean Construction* y BIM. A continuación, se presentan los textos encontrados con los criterios de búsqueda anteriormente explicados.

Vaidyanathan (2003) definió que las empresas ETO son una categoría distinta dentro de las industrias manufactureras, cuyas necesidades de planificación y producción son diferentes. En las industrias de fabricación contra inventarios, una empresa produce basado en pronósticos históricos o metas de ventas. Almacena, distribuye a centros de comercialización y vende. En este caso, la compañía tiene un conjunto estándar de productos terminados, de manera que estos se fabrican exactamente igual para diferentes clientes, los pasos de fabricación son idénticos y la lista de materiales es estática. Pero las empresas ETO construyen sobre pedido, cada parte se fabrica solo después de recibir la orden de un cliente, la lista de materiales es dinámica, el pedido se configura de forma independiente y muchos detalles se clarifican como parte del proceso de diseño que precede al proceso de fabricación.

En el medio local, es común ver productos ETO en la construcción de viviendas privadas. Los requerimientos, necesidades y gustos del cliente juegan un papel fundamental en el diseño y la fabricación del producto. Dallasega et al (2016) analizaron que en la construcción de industrias y fábricas donde los resultados espaciales deben ser muy precisos, el concepto ETO está presente y tiene gran incidencia. Cada proyecto está diseñado, fabricado e instalado de acuerdo con un pedido específico. Encontraron que existen dificultades a lo largo del proceso de diseño y fabricación, evidenciando que tradicionalmente los departamentos de ingeniería, fabricación e instalación están desconectados. Son comunes las grandes órdenes de trabajo que inducen altos niveles de trabajo sobre la marcha y hacen difícil la paralelización de los tres grupos de actividades. Con mucha frecuencia, en proyectos de pequeña y mediana escala, la planificación organizacional se hace muy superficialmente. Los presupuestos limitados hacen que la planificación y control pasen a un segundo plano. Como resultado, siempre es difícil obtener información en tiempo real sobre el progreso de la construcción y un pronóstico confiable de la demanda, requisitos fundamentales para la entrega del producto ETO.

Vacíos en la administración de proyectos ETO fueron encontrados a causa de la imprecisión en el tratamiento de la información y los datos, aumentando el grado de incertidumbre. Factores ambientales, errores de diseño, cambios tardíos en este, falta de información, fallas de comunicación, demoras en la entrega de materiales, entre otros problemas fueron evidenciados. Algunos autores señalan que el alto nivel de personalización de productos tiende a incrementar costos, aumentar riesgos y alargar tiempos. La complejidad de la estructura de los productos dificulta la tercerización, al mismo tiempo que la diversidad de proyectos implica mucha variabilidad en la relación con proveedores. La planeación y control logístico son extremadamente importantes para alcanzar los objetivos de tiempo, costo, calidad y seguridad de las edificaciones (Bortolini, Shin-Iti Shigaki, & Formoso, 2015).

Otras investigaciones recientes afirman que la desconexión entre los procesos de planeación y ejecución genera un alto nivel de trabajo sobre la marcha y largos tiempos de espera. Esto impacta negativamente el proyecto y produce sobre costos en almacenamiento intermedio y extensión del tiempo de entrega. Metodologías de apoyo, como el LPS y el *Location Based Management System* (LBMS), se reconocen como ayudas para aumentar la colaboración en sitio y mejorar la credibilidad de los cronogramas de construcción (Dallasega, y otros, 2016). Otros afirman que, en entornos de producción caóticos y no predecibles, el desarrollo de herramientas para compartir la información correcta es una forma de mitigar la complejidad. Se identifica un fuerte vínculo entre la incidencia de actividades que no agregan valor y los déficits de información en el lugar de trabajo. En lugar de llevar a cabo actividades de valor agregado, las personas a menudo pasan la mayor parte del tiempo buscando o esperando las herramientas, los materiales y la información que necesitan para hacer su trabajo (Viana, Formoso, Wesz, & Tzortzopoulos, 2014)

En la observación de las compañías ETO, investigadores identificaron la necesidad de implementar la planeación logística del sitio de construcción, con el objetivo de reducir pérdidas originadas por excesos de transportes de materiales y equipos y mejorar la organización de los componentes de la obra. Soluciones como la modelación y simulación 4D permiten analizar y detallar tiempos para cada proceso, aumentando la productividad del ensamble en sitio y reducir inventarios en busca de un flujo continuo de producción. La combinación de modelos BIM 4D y el gerenciamiento visual genera una

interacción positiva entre los participantes del proceso tales como investigadores, coordinadores, residente de obra, contratistas y clientes (Bortolini, Shin-Ichi Shigaki, & Formoso, 2015).

Otras investigaciones se han enfocado en implementar algunos conceptos y principios de *Lean Production* en proyectos ETO, orientados a problemas específicos como la reducción del tamaño del lote, la reducción del trabajo sobre la marcha, la implementación de la producción jalonada (*Pull Production*) y el gerenciamiento visual, así como la adaptación del LPS. En dicha investigación se evidenció que a pesar del éxito de LPS en todo el mundo, su implementación se ha enfocado en la etapa de instalación del sitio, dejando un gran vacío en las etapas de diseño (Viana, Bulhões, & Formoso, 2013).

Investigaciones con enfoque ETO en proyectos con sistemas prefabricado se llevaron a cabo en el 2015 y 2016. Algunos objetivos fueron proponer directrices para la planificación y control de la producción integrada. Se identificó que el uso de sistemas de construcción prefabricados ha crecido en varios segmentos de la industria de la construcción, especialmente en economías emergentes. En este tipo de entornos productivos existe una fuerte dependencia del sistema de producción y las decisiones del cliente, lo que podría interferir, incluso, en la especificación del producto durante el proceso de fabricación. Por lo tanto, una dificultad importante en la gestión de sistemas de construcción prefabricados de proyectos ETO es integrar la planificación y el control de diferentes procesos, como el diseño, la fabricación y el montaje in situ (Peñaloza, Viana, Bataglin, Formoso, & Bulhões, 2016). Es importante resaltar que el uso de componentes industrializados en la construcción contribuye a que la industria sea más eficiente, aumentando la confiabilidad en términos de tiempo y calidad, reduciendo la exposición al riesgo en la instalación en sitio (Viana, Tillmann, Sargent, Tommelein, & Formoso, 2015).

En empresas simples de fabricación a la medida, en donde la variación de la lista de materiales es relativamente mínima, componentes estándares son ensamblados después de recibir la orden del cliente. En sistemas más complejos, hay unas fases de diseño e ingeniería previas a la fabricación, las órdenes de producción se manejan como proyectos y la planificación de la producción se realiza utilizando las teorías tradicionales de gestión de proyectos, en lugar de las teorías tradicionales de planificación de la producción. La gestión de proyectos tradicional está plagada de problemas que

dificultan la gestión del negocio, el dinamismo del mercado requiere flexibilidad del sistema ETO para hacer frente a las fluctuaciones de la demanda (Vaidyanathan, 2003).

Otros investigadores mostraron algunas realidades empresariales, establecieron que los gerentes trazan objetivos antes del inicio del proyecto y el control se limita a monitorear el progreso de las actividades en relación con un plan. Pero los enfoques de producción a la medida necesitan nuevas estrategias que permitan desarrollar productos competitivos en cuanto a precio, tiempo y calidad. BIM y *Lean* plantean herramientas que facilitan la gestión y el correcto desarrollo de las etapas de diseño, fabricación e instalación en sitio. (Peñaloza, Viana, Bataglin, Formoso, & Bulhões, 2016)

Otra de las estrategias encontradas en el análisis de literatura fue el gerenciamiento visual (VM), enfoque clave en la implementación de los conceptos de *Lean Construction* en proyectos ETO. El VM proporciona una forma fácil de entender la información de producción e ilustrar partes, procesos, flujos de trabajo e, incluso, mejorar la seguridad industrial a través de ayudas visuales. Viana, Formoso, Wesz y Tzortzopoulos (2014) evidenciaron la necesidad de hacer visibles y fáciles de comprender los flujos principales del proceso a través de medios físicos y de organización, mediciones y exhibición pública de la información. VM promueve la transparencia al compartir la información más valiosa, entendiendo que la forma en que se comparte la información también afectará la forma en que se gestiona la producción.

6. Marco Práctico

Después de estudiar los aspectos teóricos, metodologías y las herramientas de LPS y BIM, en el presente capítulo se consigna la implementación conjunta de dichos elementos, con el objetivo de mejorar tanto los procesos de diseño como de construcción, buscando disminuir pérdidas e ineficiencias en el proceso. Cabe resaltar que, en la implementación, cada componente actúa de acuerdo con sus ventajas y estrategias de mejora. BIM, desde la fase de diseño, se orienta en la elaboración de un único modelo que contenga la información arquitectónica, estructural, redes hidráulicas y eléctricas. LPS, desde la fase de planificación de obra, hace un puente entre la ejecución del diseño y la construcción, haciendo seguimiento y sirviendo de guía a lo largo del proceso constructivo.

Para la implementación se escogió un proyecto de la empresa A5 Arquitectura, el cual fue desarrollado en la fase de diseño en sociedad con la empresa Masif Asuntos de Diseño, y en la construcción por A5 Arquitectura. Los propósitos de dicha implementación fueron:

- Fortalecer los procesos y metodologías de trabajo de la empresa, dejando una guía para el desarrollo de nuevos proyectos.
- Aportar a los procesos locales de gestión de la construcción.
- Evidenciar como la implementación conjunta de las dos herramientas ayuda a reducir incertidumbres y problemas que surgen entre la planeación y la ejecución.
- Verificar ventajas de la implementación de los dos sistemas LPS y BIM y evidenciar dificultades.

Con la implementación en el proyecto piloto se pretendió detectar, de forma temprana, posibles errores o interferencias entre los diseños arquitectónicos, estructurales y técnicos, al igual que mejorar las metodologías y procesos que tradicionalmente se usan, para elevar los estándares de calidad empresarial y disminuir las incertidumbres en el proyecto. Para ello, fue necesario un trabajo colaborativo de la mano de los propietarios, gerentes, consultores técnicos, contratistas y todos los agentes participantes del proyecto.

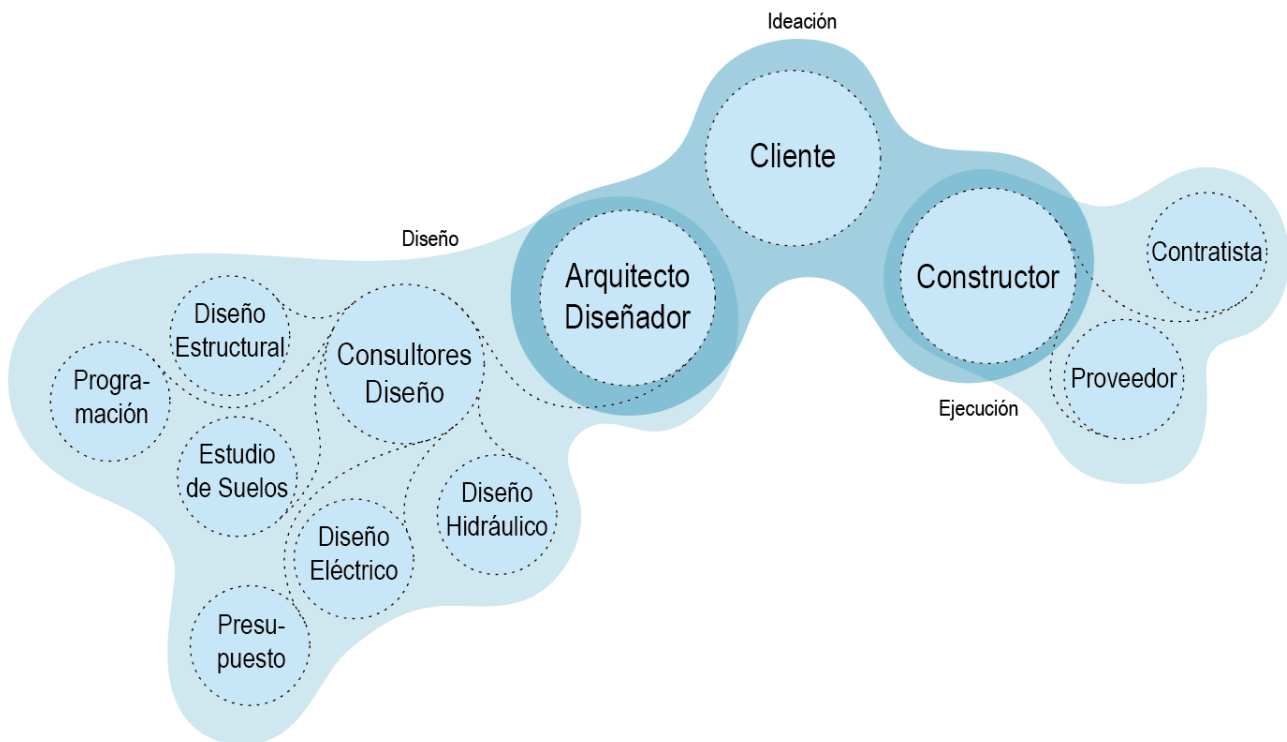
6.1. Contextualización

En el desarrollo profesional de A5 arquitectura y sus socios, se han logrado determinar tres categorías de proyectos privados en las que los actores y proceso de desarrollo se diferencian. Cada categoría

presenta aspectos particulares que condicionan el desarrollo, desde el diseño hasta la construcción. Uno de los aspectos de mayor interés para el presente trabajo, fue la relación con los clientes, es decir, todo lo vinculado con el desarrollo de proyectos ETO. La empresa, dentro de sus líneas de negocio, desarrolla proyectos con altos niveles de personalización que condicionan su método de trabajo al igual que su estructura operativa. A continuación, se enuncian las tres categorías de proyectos y su estructura operativa basada en experiencias anteriores y el caso de estudio propuesto.

6.1.1. Proyectos de Pequeña Escala

Son aquellos proyectos en los que hay una estructura jerárquica simple. Se caracterizan por tener tres actores principales que lideran el proceso desde el primer momento de ideación, hasta la entrega y cierre del proyecto.



*Ilustración 9: Diagrama de funcionamiento de proyectos de pequeña escala.
Elaboración propia.*

Este tipo de proyectos, normalmente tienen un nivel alto de personalización. Entre ellos se encuentran casas unifamiliares; adecuaciones de locales comerciales y restaurantes; y reformas de apartamentos, casas u oficinas, entre otros.

La participación de los actores se podría enmarcar dentro de la siguiente descripción:

- El cliente: es la persona, o grupo de personas, que generan la idea del proyecto, quieren construir su casa, abrir un negocio, reformar su apartamento, etc. Son los encargados de buscar el equipo de trabajo principal, que inicialmente se conforma por el arquitecto diseñador y, posteriormente, por el profesional constructor. El cliente es el dueño o arrendatario del lote o local, o inmueble en el que se desarrollará el proyecto. El cliente es la persona que emite todos los requerimientos y expresa las necesidades del proyecto, en términos del programa arquitectónico, las áreas o espacios que desea y su estilo de preferencia.
- El arquitecto diseñador: es el profesional, o grupo de profesionales, que se encarga de estudiar y analizar los condicionantes del proyecto para brindar una solución de diseño acorde a las necesidades y requerimientos del cliente. Inicialmente estudia, de forma paralela, dos temas: la idea inicial del proyecto y las normativas locales vigentes. Una vez confirmada la viabilidad, se encarga de formalizar las necesidades espaciales del programa y las áreas propuestas por el cliente, en relación con el lote donde se localiza el proyecto. Normalmente, el arquitecto diseñador es el que se encarga de proponer los consultores técnicos que realizan los diseños técnicos, a menos que el cliente proponga otros profesionales de su preferencia. El arquitecto diseñador coordina los diseños para que cumplan con las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos.
- El constructor: es el profesional, o grupo de profesionales, que se encarga de ejecutar el proyecto, de acuerdo con los diseños previamente elaborados y a todas las normativas técnicas vigentes. Se encarga de la relación con todos los proveedores y contratistas que llevaran a cabo la ejecución del proyecto. Es importante que el constructor se vincule al proceso de diseño, desde la etapa de coordinación técnica, ya que en este proceso hay muchas decisiones que afectan la viabilidad técnica y financiera del proyecto.

6.1.2. Proyectos de Mediana Escala

Son proyectos con una estructura jerárquica más compleja, apareciendo nuevos actores y nuevos intereses de desarrollo inmobiliario. Además de los tres actores ya mencionados y teniendo en cuenta que el cliente podría ser un grupo promotor, aparece el grupo de gerencia. En esta escala, a diferencia de la anterior, los proyectos normalmente tienen un interés económico y un modelo de negocio que los respalda.

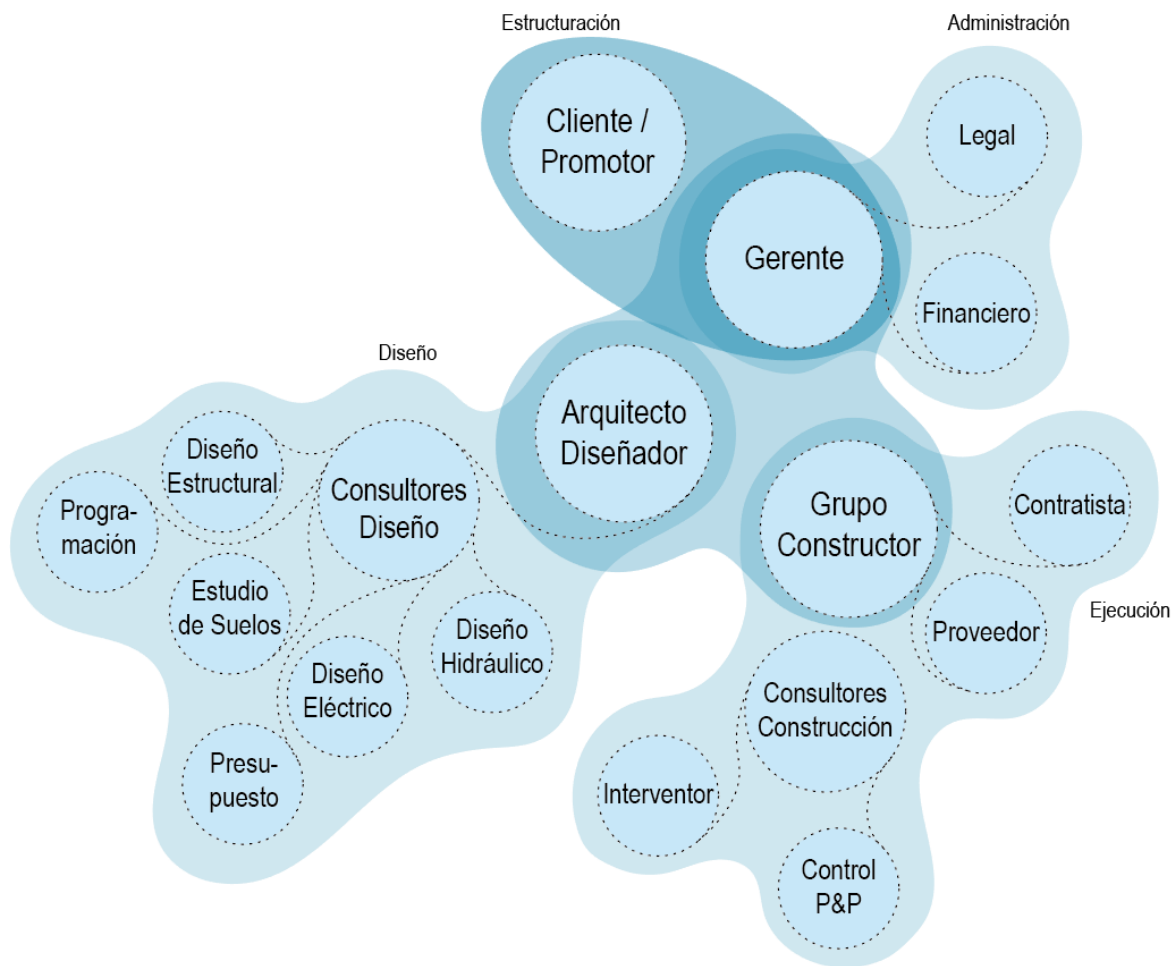


Ilustración 10: Diagrama de funcionamiento de proyectos de mediana escala.
Elaboración propia.

La participación de los actores se podría enmarcar dentro de la siguiente descripción:

- Cliente o Promotor: es la persona, o grupo de personas, que genera la idea del proyecto y estructuran un modelo de negocio basado en proyecciones financieras y estudios de mercado.
- Promotor: es la persona, o grupo de personas, que se encarga de buscar el equipo de trabajo principal, inicialmente conformado por la gerencia, arquitecto diseñador y grupo constructor. El promotor es normalmente el poseedor del lote de terreno donde se ubicará el proyecto, sino será, con la gerencia, el encargado de la negociación y desarrollarlo de la figura financiera para la obtención del lote. Generalmente, el promotor es quien define el producto inmobiliario, determinando las áreas a vender o a usufructuar de acuerdo con los modelos financieros y las estrategias comerciales.
- Gerencia: es la empresa, o persona, encargada de las funciones administrativas del proyecto. Estructura el negocio inmobiliario desde el punto de vista financiero y legal. Dirige todas

las operaciones financieras, gestiona recursos, estima flujos de fondos y lidera, con el promotor, todas las negociaciones del proyecto. Durante la ejecución del proyecto, audita y supervisa el uso de los recursos.

- Arquitecto diseñador: es el profesional, o grupo de profesionales, que se encarga de estudiar y analizar las condicionantes del proyecto para brindar una solución de diseño, acorde a las necesidades y requerimientos del cliente. Normalmente, el primer paso es realizar una cabida arquitectónica, en la cual se valida si las ideas y necesidades comerciales son viables, según la normativa vigente y las condiciones espaciales del lote.

Una vez el proyecto es viable y la cabida responde las necesidades comerciales del lote, se formalizan las necesidades espaciales, programáticas y comerciales en una propuesta de idea básica. En proyecto de escala media, los consultores técnicos pueden ser propuestos por el arquitecto, el promotor o la gerencia, los vínculos que se generan son un ánimo comercial, por lo que las sugerencias siempre se evalúan comparativamente. El arquitecto diseñador coordina los diseños para que cumplan con las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos.

- Constructor: es el profesional, o grupo de profesionales, que se encarga de ejecutar el proyecto de acuerdo con los diseños previamente elaborados y a todas las normativas técnicas vigentes. Se encarga de la relación con todos los proveedores y contratistas que llevarán a cabo la ejecución del proyecto. Normalmente, en esta escala de proyectos el constructor se vincula al proceso desde las etapas de estructuración y factibilidad, ya que hace parte esencial del proceso de viabilidad técnica y financiera. Dado que la estructura operativa es más compleja y los montos de inversión más altos, a la ejecución del proyecto se le suman algunos consultores, como la interventoría y los profesionales de control de presupuesto y programación de obra.

6.1.3. Proyectos de Gran Escala

Son proyectos en los que la estructura jerárquica llega a su máxima expresión. Aparecen dos grupos de actores nuevos: los inversionistas y el grupo dedicado a las ventas. En esta escala, los proyectos tienen un interés económico, un modelo de negocio y un estimado de ventas que los respaldan.

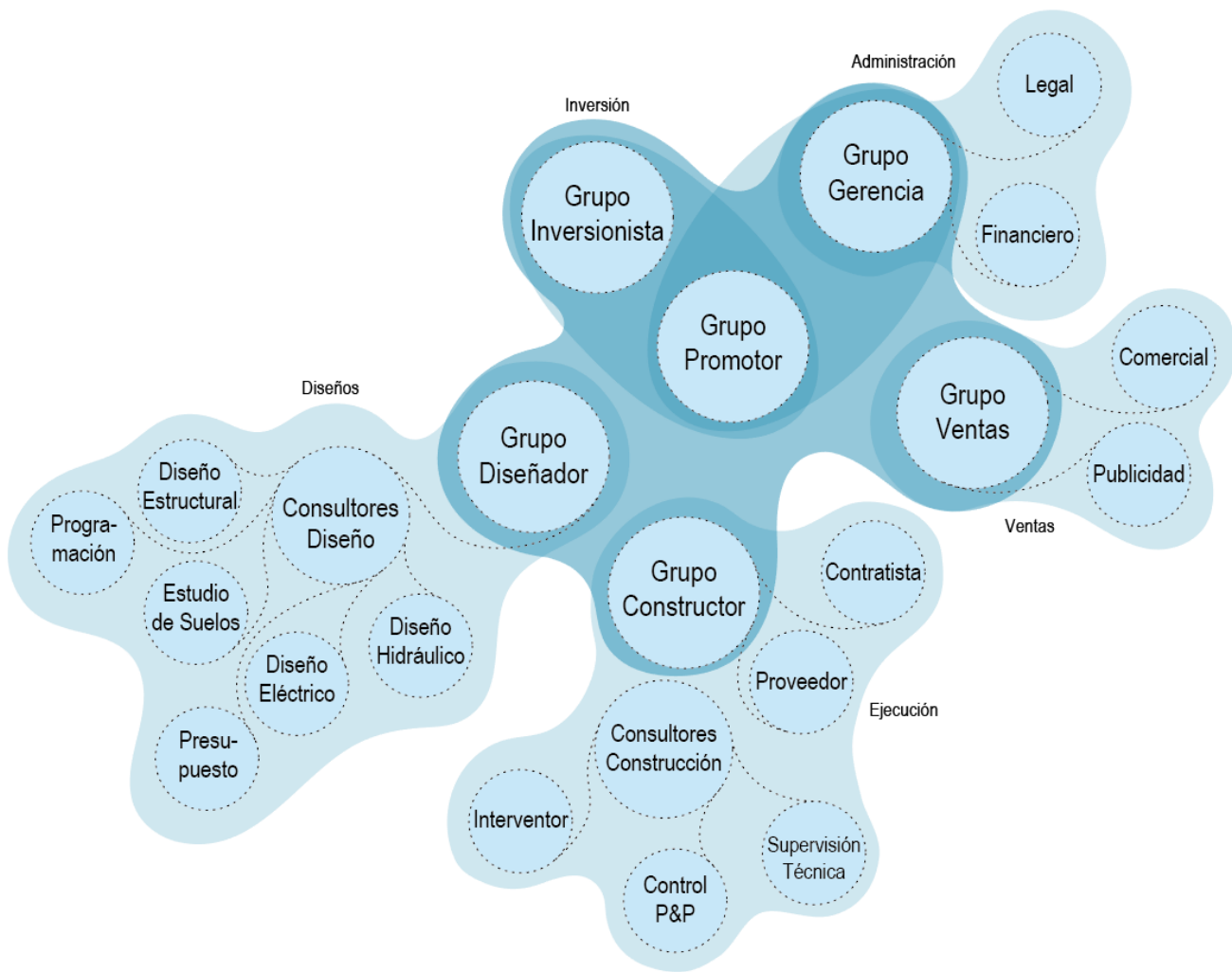


Ilustración 11: Diagrama de funcionamiento de proyectos de mediana escala.
Elaboración propia.

La participación de los actores se podría enmarcar dentro de la siguiente descripción:

- Grupo Promotor: Es el grupo de personas encargadas de la gestión del proyecto, la idea, estructuración del modelo de negocio, las proyecciones financieras y el estudio de mercado. Se encargan de buscar el equipo de trabajo principal: grupo de inversionistas, grupo de gerencia, grupo de ventas, grupo diseñador y grupo constructor. Junto al grupo inversionista gestionan la compra del lote donde se ubicará el proyecto, al igual que la consecución de los recursos para los gastos indirectos iniciales. Generalmente, son quienes definen el producto inmobiliario, determinando las áreas a vender o a usufructuar de acuerdo a los modelos financieros y las estrategias comerciales.
- Grupo Inversionista: Es el grupo de personas encargadas de la consecución y disposición de los recursos para la compra del lote, los costos indirectos de los diseños y estudios técnicos

de viabilidad y en ocasiones, aportan recursos para llegar a punto de equilibrio, dependiendo de las estrategias comerciales. Su aporte, a diferencia de los demás actores, es solamente económico y requiere un retorno definido en las utilidades del proyecto.

- Grupo de Gerencia: es el grupo de personas encargadas de las funciones administrativas del proyecto. Después de concretar el tipo de negocio inmobiliario con el grupo promotor, detallan la estructura del modelo financiero, legal y operativo; elaboran la carta descriptiva y el cronograma general de gerencia, el cual indicará en detalle las funciones, tareas y tiempos de cada grupo participante; direccionan todas las operaciones monetarias, gestionan la disponibilidad de recursos, estiman flujos de fondos y colaboran con los grupos promotor e inversionista en todas las negociaciones del proyecto. Durante la ejecución del proyecto, auditan y supervisan el uso de los recursos y el cumplimiento de actividades en los plazos acordados.
- Grupo de Ventas: es el grupo de personas encargadas de vender o arrendar las unidades inmobiliarias del proyecto, de manera que en un tiempo estimado se puedan captar los recursos necesarios para la viabilidad financiera. Unas ventas rápidas que generen un flujo de recursos continuo vuelven el proyecto más rentable, por lo que el ritmo de ventas será una variable fundamental para alcanzar el punto de equilibrio y éxito financiero del proyecto.
- Grupo Diseñador: son el grupo de profesionales encargados de estudiar y analizar las condicionantes del proyecto para brindar una solución de diseño, acorde a las necesidades y estrategias comerciales del proyecto. La cabida arquitectónica se contrapone a las factibilidades financieras antes de iniciar procesos avanzados de diseño. Una vez el proyecto es viable, se formalizan las necesidades espaciales, programáticas y comerciales, en una propuesta de idea básica y en las demás etapas de diseño. En un proyecto de gran escala, los consultores técnicos los proponen y contratan desde la promoción y gerencia. El grupo diseñador coordina los diseños para que cumplan con las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos.
- Grupo Constructor: son el grupo de profesionales que se encargan de ejecutar el proyecto, de acuerdo con los diseños previamente elaborados y a todas las normativas técnicas vigentes. Se encarga de la relación con todos los proveedores y contratistas que llevarán a cabo la ejecución del proyecto. En proyectos de gran escala, el constructor se vincula al proceso desde las etapas de estructuración y factibilidad, hace parte esencial del proceso de viabilidad técnica y financiera. Dado que la estructura operativa es más compleja, los montos de

inversión más altos y las áreas del proyecto son mayores, para la ejecución del proyecto se necesitan consultores técnicos expertos en temas técnicos y financieros. La normativa vigente exige la participación de revisores técnicos que certifiquen la seguridad y estabilidad de la obra en el tiempo.

6.1.4. Actuación de la Empresa

Previo a la constitución de la empresa, los arquitectos socios de A5 Arquitectura se desempeñaron de forma independiente en el campo del diseño arquitectónico, alcanzando conocimientos y experiencias que luego los llevó a estructurar un departamento de diseño sólido, con un flujo de trabajo continuo. Posteriormente, se vinculan al mundo de la construcción mediante la dirección arquitectónica de obras, haciendo seguimiento continuo de estas y con el objetivo de construir productos con altos estándares de diseño y calidad.

Con el nacimiento de la empresa se inicia el proceso de creación del departamento de construcción. Se participa en proyecto de pequeña escala y se establecen nuevos objetivos para el futuro de la compañía. Con los años, la empresa se ha involucrado en proyectos de una mayor envergadura, desarrollando, desde el Departamento de Diseño, proyectos internacionales de mediana y gran escala, e incursionando, desde Departamento de Construcción, en proyectos de mediana escala.

Con miras al futuro, la empresa inicia procesos de investigación, de los cuales el presente trabajo hace parte esencial. A la par, junto con la actuación en proyectos de mayor escala, A5 Arquitectura S. A. S. decide involucrarse dentro del desarrollo inmobiliario, estableciendo como objetivo, a mediano plazo, desarrollar el Departamento de Gestión. En este este escenario, la empresa, a través de la investigación y la obtención de nuevas experiencias, quiere enfocar sus esfuerzos en el desarrollo de proyectos de mediana escala, en los que pueda tener actuaciones como diseñador, constructor y promotor.

Como se muestra en la ilustración 12, la empresa se enfoca en tres funciones: diseño, construcción y promoción/gestión. A través de la investigación y la implementación de métodos y enfoques de vanguardia como *BIM* y *Lean*, quiere competir en el mercado. Y, a partir de alianzas estratégicas,

pretende establecer relaciones con las demás partes involucradas: inversionistas, grupos de ventas, gerencia y todos los demás consultores y terceros que participan en la cadena de valor.

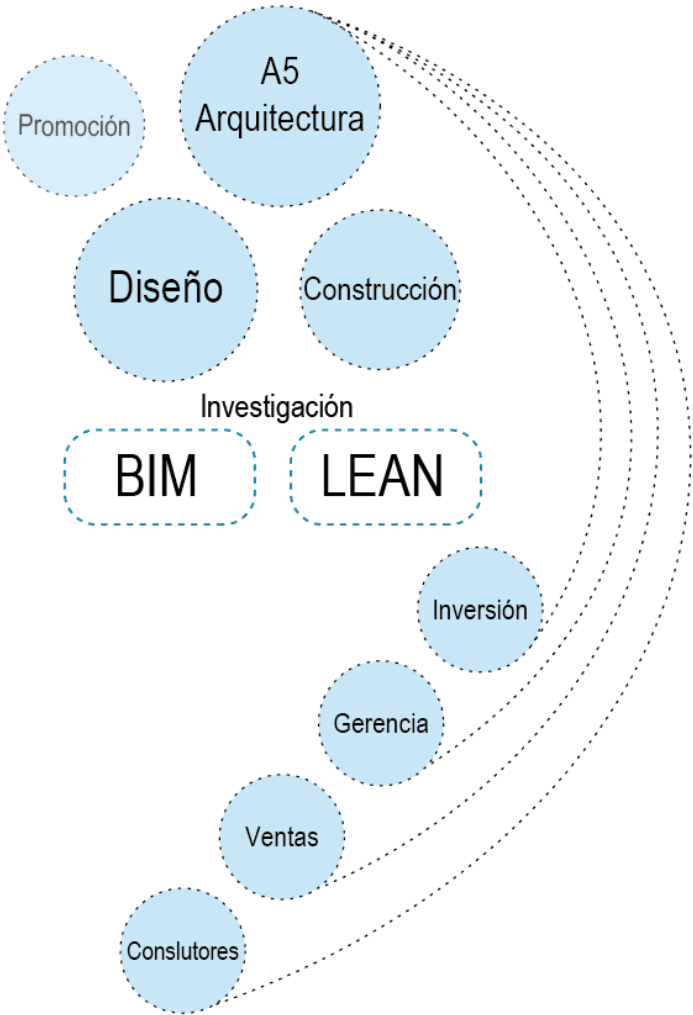


Ilustración 12: Diagrama de objetivos funcionales de A5 Arquitectura.
Elaboración propia.

6.2. Metodología

El presente trabajo es un caso de estudio de un proyecto de diseño y construcción de una edificación. Se enmarca en los parámetros de investigación descriptiva, que según Toro y Parra (2006) se dedican a medir y evaluar diversos aspectos, dimensiones o componentes de un fenómeno en particular, lo que permite descubrir y comprobar las posibles asociaciones de las variables de investigación. Los procesos implementados son el resultado de la revisión de la literatura y las experiencias de A5 Arquitectura. y se desarrollaron en dos fases:

- La Fase de Diseño se desarrolló sumando la experiencia profesional de la empresa y las herramientas y métodos BIM, obteniendo un modelado LOD 400. Adicionalmente se incluyeron consideraciones y recomendaciones obtenidas de la literatura de proyecto ETO.
- La Fase de Construcción se desarrolló sumando la experiencia profesional de la empresa y las herramientas del *Last Planner System*.

6.2.1. Fase de Diseño

En la parte inicial, el proceso de diseño se llevó a cabo mediante reuniones colaborativas, en las que los clientes/promotores y los gerentes describieron las necesidades espaciales, programáticas, técnicas y financieras. El equipo de diseño recibió y analizó los requerimientos y desarrolló el diseño en 4 etapas:

- Idea Básica: corresponde a la concepción y delineamiento inicial del proyecto. Se tuvieron en cuenta los acuerdos preliminares, las necesidades del cliente y las normativas vigentes. El alcance fue el desarrollo de la idea general del proyecto, planos básicos y modelo 3D LOD 100, cuya finalidad era indicar el funcionamiento general, la relación entre los espacios y la propuesta volumétrica del proyecto. Fue el punto de partida para la toma de decisiones que darán lugar al anteproyecto.
- Anteproyecto: se desarrolló con base a la idea básica aprobada. Se incluyeron las necesidades específicas, de tipo espacial y técnico. También se consideró el monto probable de la inversión. El alcance se compuso de dibujos planimétricos a escala, tales como plantas, cortes y fachadas, para la comprensión formal y funcional del edificio. Se continuó con el

modelo 3D, llevándolo al LOD 200. Se desarrollaron imágenes foto realistas básicas, para la visualización de los materiales y espacios.

- Proyecto: Se elaboró con base en el anteproyecto aprobado. El alcance fue el desarrollo de toda la información arquitectónica para la obtención de licencias y construcción del proyecto: plano de ubicación, sección vial, plantas, cortes, fachadas, cuadros de áreas. En esta etapa se realizó la coordinación técnica de los diseños estructurales, hidráulicos, sanitarios, eléctricos, ductos, sonido, gas, red contra incendios, paisajismo, y cualquier otro estudio que fue necesario.

En este punto los clientes hicieron una revisión detallada de los planos, imágenes y toda la información correspondiente al proyecto arquitectónico y técnico. Se continuó con el modelo 3D, llevándolo al LOD 300, e incluyendo los modelos de diseños técnicos.

- Detalles: Se elaboró con la aprobación de la etapa anterior. Su alcance fue el desarrollo de todos los planos de detalle y modelos 3D LOD 400. Se suministró toda la información necesaria para la construcción del proyecto.

En cada etapa se expuso para los clientes, mediante presentaciones gráficas y orales, la totalidad del proyecto, despejando dudas y expresando necesidades. En el proceso, fue fundamental que los clientes hicieran una revisión rigurosa de la información entregada y elaboraran informes de aceptación o necesidad de cambios, ya que cambios tardíos podrían afectar el correcto desarrollo del proyecto.

6.2.2. Fase de Construcción

La construcción del proyecto se llevó a cabo mediante un contrato de administración delegada, en el que los arquitectos actuaron como representantes o delegados del cliente. Todos los costos directos e indirectos de la obra se pagaron a nombre y por cuenta y riesgo del cliente. Para ello, los arquitectos, en su ejercicio profesional, hicieron un seguimiento técnico y administrativo, pero las decisiones relacionadas con la contratación, pago a proveedores, negociación de formas de pago, plazos de entrega, entre otras, se hicieron de manera conjunta entre constructores, clientes y gerentes.

Para la ejecución de la obra, la empresa contó con el personal de apoyo, el cual realizó las siguientes actividades:

- Dirección técnica y administrativa de la obra.
- Capacitación y explicación de planos y dibujos a los operarios y subcontratistas.
- Consecución de materiales, herramientas y equipo.
- Consecución, selección, dirección y pago al personal de la obra.
- Rendición periódica de cuentas a los clientes según los plazos pactados.
- Cumplimiento de todas las actividades necesarias para la completa terminación de la obra.
- Entrega del manual de operación para el uso y mantenimiento del edificio, dentro del cual estén incluidos los planos actualizados y modelos 3D (*BIM as built*).

Previo al inicio de obra, la gerencia del proyecto suministró toda la información necesaria para la construcción:

- Licencia de construcción.
- Estudio de suelos.
- Planos de localización:
 - Planta de localización con mojones georreferenciados.
 - Planta de niveles y/o terrazas de ubicación del proyecto.
- Diseño arquitectónico completo: Escalas 1:100 a 1:50:
 - Plantas completas con cotas, notas y especificaciones.
 - Planta de bordes de losa acotada y referenciada con ejes.
 - Cortes completos para la total compresión de niveles, alturas de techos, sillares, dinteles, etc.
 - Fachadas completas con especificaciones de material.
- Detalles generales:
 - Cortes por fachada, donde se puedan comprender los bajantes de aguas lluvia.
 - Detalles de modulación de mampostería, cuando lleve adobe o bloque a la vista.
 - Detalles de elementos espaciales de estructura y sub-estructura.
 - Detalles de modulación de techos y tejas.
- Detalles específicos. Paquete completo de detalles:
 - Escalera y pasamanos.
 - Baños: acabados, aparatos, cabinas y muebles.
 - Cocinas: acabados, aparatos y muebles.
 - Pisos y *decks*: material, modulación, madrinas, juntas, color de junta.
 - Cielos: material, modulación, color, vacíos.

- Puertas: material, ranuras, especificación de cerraduras
- Ventanas: tipo de sistema, color, especificación de cerraduras, apertura.
- Detalles especiales: pérgolas, muebles especiales, BBQ, etc.
- Exteriores: urbanismo, senderos, parqueaderos, etc.
- Diseño Estructural:
 - Memorias de cálculo estructural
- Diseños hidrosanitarios y red de gas
- Diseños eléctricos y de iluminación: con especificaciones de aparatos.
- Presupuesto y programación de obra.
- Diseños de ductos, aire acondicionado u otros diseños especiales.

Luego de obtener toda la información de diseños y pactar las fechas de inicio de obra, por parte de A5 Arquitectura se ejecutaron las siguientes actividades:

- Organización preliminar: roles, procesos y tiempos.
- Plan Maestro:
 - Estudio de *layout*.
 - Definición de zonas de trabajo.
 - Programación de obra en Gantt.
 - Programación de obra en Línea de Balance.
 - Análisis de interferencias.
 - Ajuste de la programación de obra.
 - Definición del sistema de reuniones y niveles de planificación.
 - Diseño y ejecución de las reuniones de *Pull Planning*.
- Plan Intermedio:
 - Formato ejecución del Plan Intermedio.
 - Formato de gestión de restricciones.
- Plan Semanal:
 - Formato control del Plan Semanal.

6.3. Desarrollo

6.3.1. Descripción del proyecto

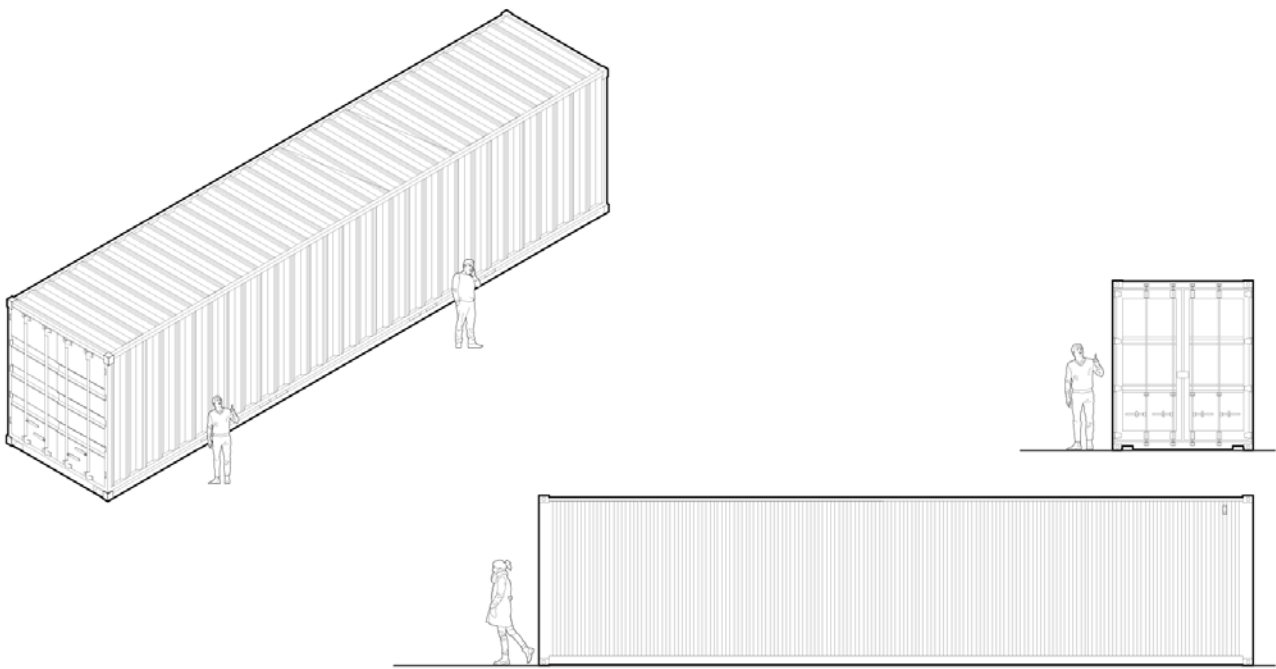
El proyecto piloto es un edificio con destinación de servicios, específicamente de oficinas tipo *coworking*. Se caracteriza por estar ubicado dentro de un edificio existente, una bodega industrial de dos naves, la cual se adecuará para recibir el nuevo proyecto. Las empresas A5 Arquitectura y Masif Asuntos de Diseño desarrollaron los diseños arquitectónicos e interiores en sociedad, además participaron en la etapa de conceptualización del proyecto, en la que se generó la idea de negocio y se estableció la factibilidad financiera y programática del edificio. Igualmente, recomendaron a los consultores técnicos que elaboraron todos los diseños estructurales, de redes, bioclimática, presupuesto y programación. A5 Arquitectura estuvo a cargo de la construcción.

Carta Descriptiva	
Categoría	Descripción
Nombre	Coworking NOI
Ubicación	Medellín, Barrio El Poblado
Uso	Oficinas tipo Coworking
Tipología	Edificio en contenedores
Cliente / Promotor	Granado Sánchez S.A.S.
Gerencia	Alberto Alvares S S.A.
Diseño Arquitectónico	A5 Arquitectura S.A.S
Diseño Interior	Masif Asuntos de Diseño S.A.S.
Diseños Técnicos	PVG Arquitectos S.A.S
Control P&P	Lotus Ingeniería
Construcción	A5 Arquitectura S.A.S

*Tabla 6: Carta descriptiva del proyecto.
Elaboración propia.*

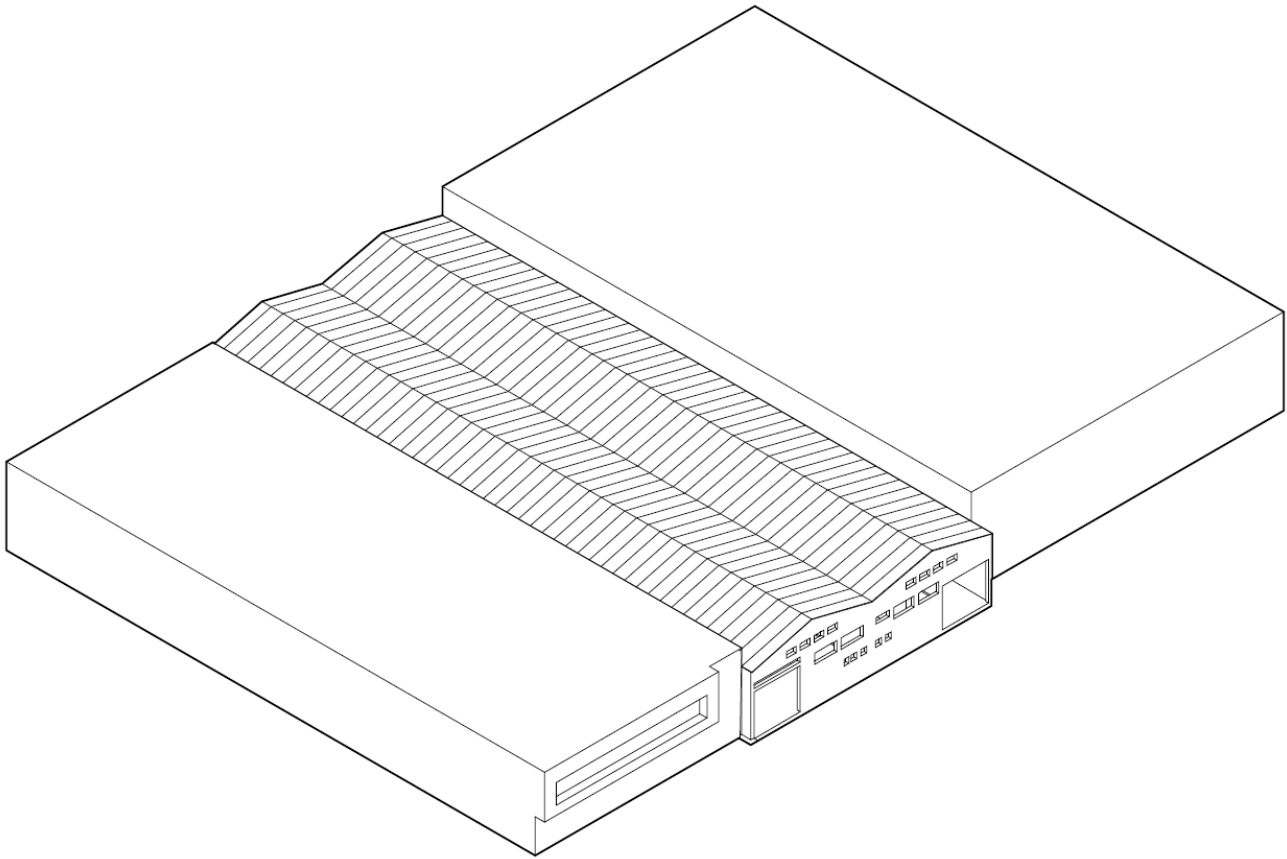
6.3.1.1. Estrategias Generales de Diseño

Con el objetivo de hacer una intervención de rápida instalación, sin grandes impactos sobre la preexistencia e innovadora desde el diseño, se planteó por parte del equipo de diseño hacer el proyecto en contenedores marítimos. Los contenedores tienen la ventaja de ser estructuras móviles, auto portantes y apilables.



*Ilustración 13: Uso de los contenedores como punto de partida del diseño.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

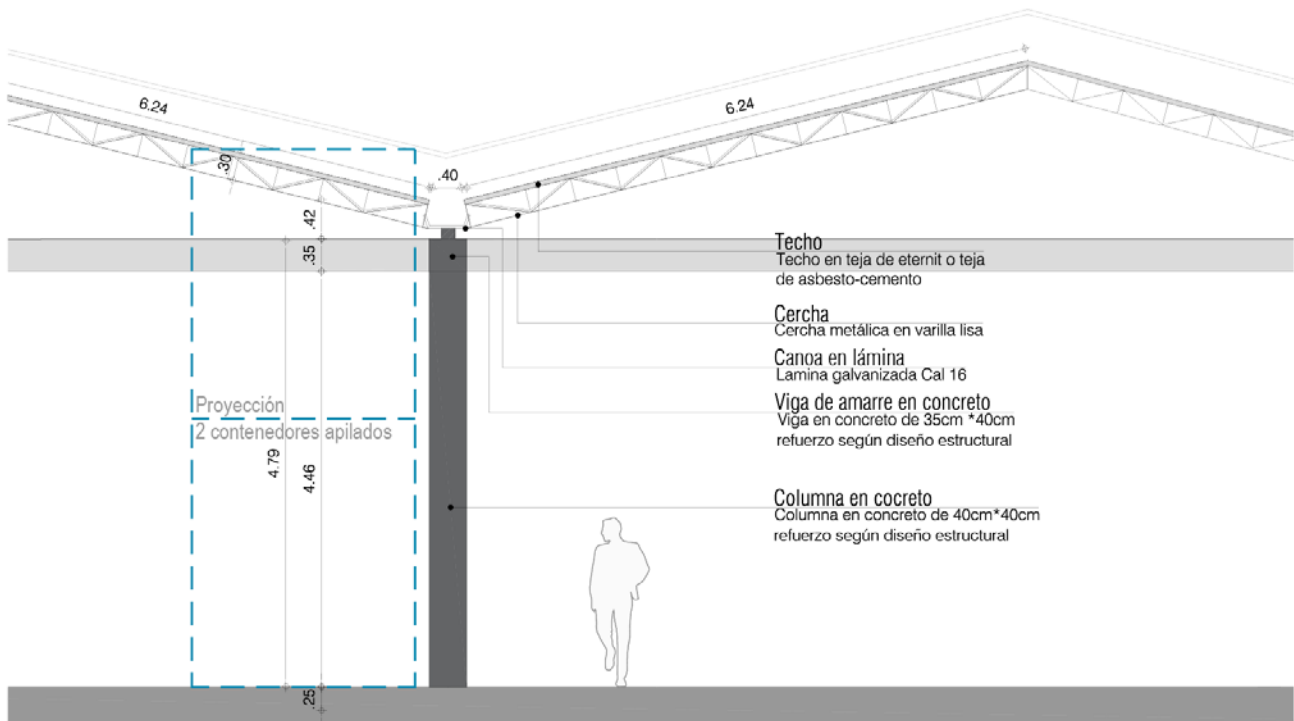
La idea del proyecto era poder convertir una bodega industrial en un nuevo lugar para el trabajo colaborativo y la integración empresarial. Dada su ubicación estratégica tiene gran proyección y su apuesta por la innovación en el diseño y el modelo de negocio intentan generar un icono local.



*Ilustración 14: Preexistencia. Bodega industria ubicada entre medianeros.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Para iniciar el proceso de diseño se realizó un levantamiento completo del inmueble existente: se hizo un peritaje estructural y un levantamiento topográfico a nivel estructural y arquitectónico. Con este insumo se analizaron las necesidades espaciales y programáticas, y en primera instancia se evidenciaron dos particularidades:

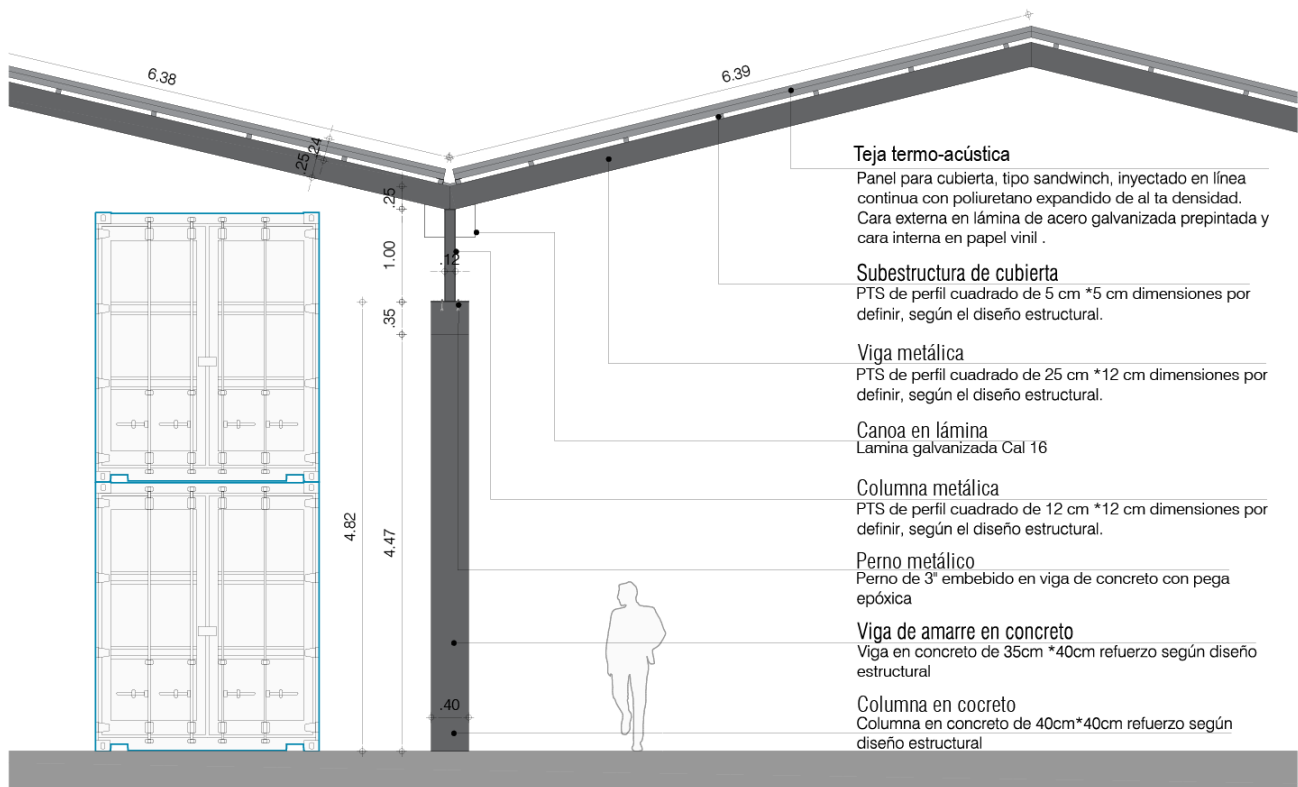
- La condición espacial: La baja altura interna de la bodega determina la intervención.
- El mal estado de la cubierta: La cubierta existente presentaba unas malas condiciones estructurales, acústicas y térmicas.



*Ilustración 15: Levantamiento del estado inicial de la bodega. Corte transversal.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

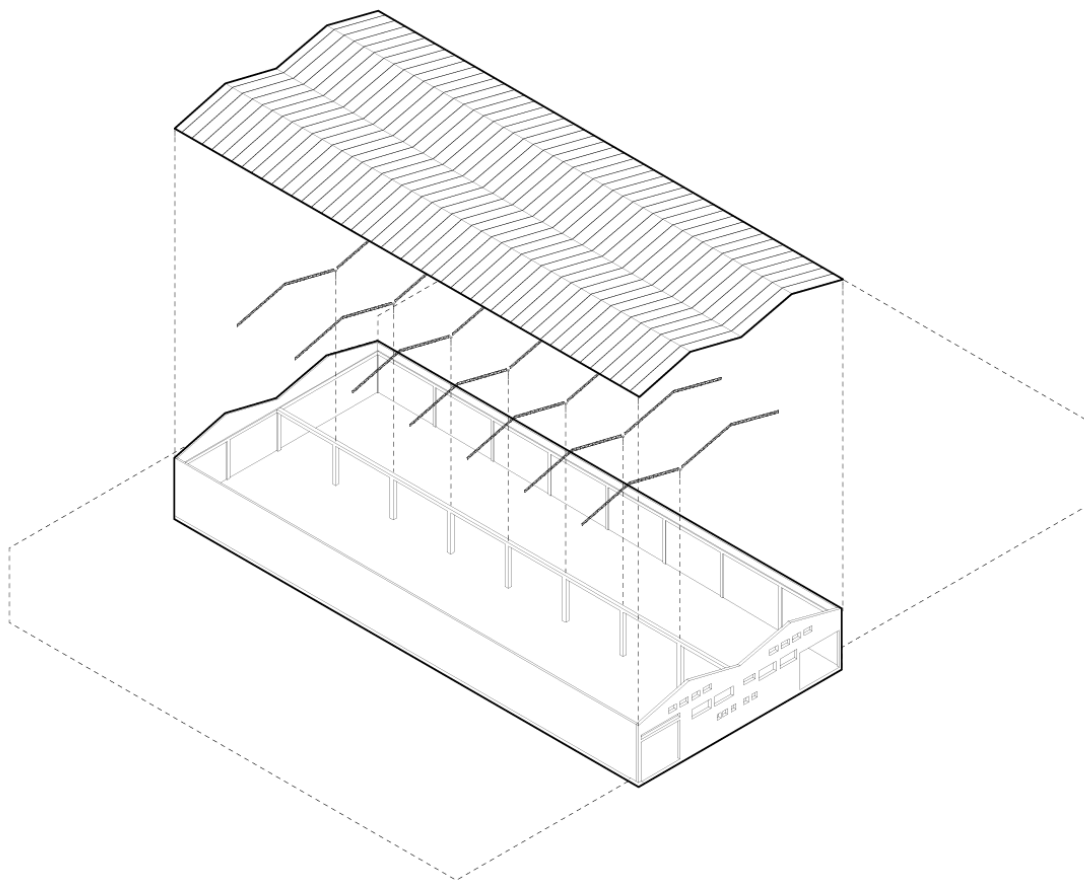
Dado el estado de los materiales y las bajas especificaciones, se determinó que la cubierta debía ser demolida y reemplazada en su totalidad: su estructura compuesta por cerchas en barras metálicas de sección redonda y todo el sistema de desagües para las aguas lluvias. La nueva cubierta debía ser diseñada con materiales aislantes térmicos y acústicos, y una estructura adecuada para las normativas actuales y los estándares de seguridad. En términos espaciales, se evidenció que además del reemplazo de la cubierta, esta debía aumentar su altura con el objetivo de albergar dos contenedores apilados (ver ilustraciones 15 y 16).

Se conservan entonces los muros medianeros que separan los edificios aledaños, los pórticos en concreto que soportan los muros y cubierta, y la losa de piso, la cual, al ser de uso industrial permite que se apoyen las nuevas estructuras a manera de cargas distribuidas.



*Ilustración 16: Propuesta de diseño atendiendo las necesidades espaciales y técnicas. Corte transversal.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

De las operaciones mencionadas se obtiene una bodega vacía de dos naves con un pórtico central en el cual se apoyan las vigas de cubierta. Se genera un espacio más amplio que logra, efectivamente, albergar los dos pisos de contenedores necesarios para ubicar las partes del programa. Fue necesario entonces hacer un diseño estructural nuevo, este incluyó unos puntales metálicos apoyados sobre las columnas existentes para lograr levantar las vigas IPE que soportan toda la cubierta.



*Ilustración 17: Resultado del reemplazo de la cubierta existente.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Continuando el proceso de diseño, se evidenció la necesidad de hacer una intervención en la fachada frontal de la bodega, ya que esta no contaba con vanos lo suficientemente grandes para el paso natural de luz y aire. Se propuso un muro en mampostería dispuesto en forma de calado que le otorga permeabilidad a la fachada, logrando el paso del aire y la luz en proporciones mayores.

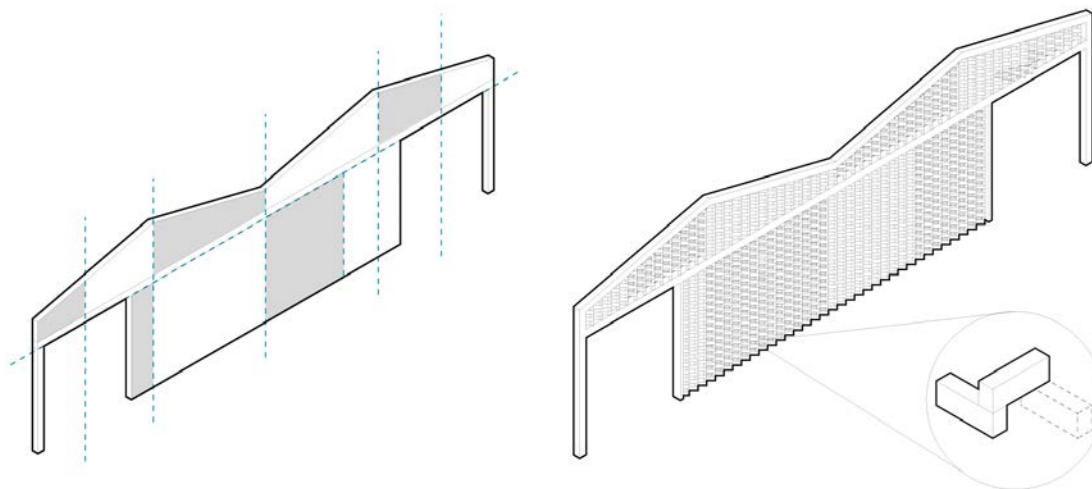
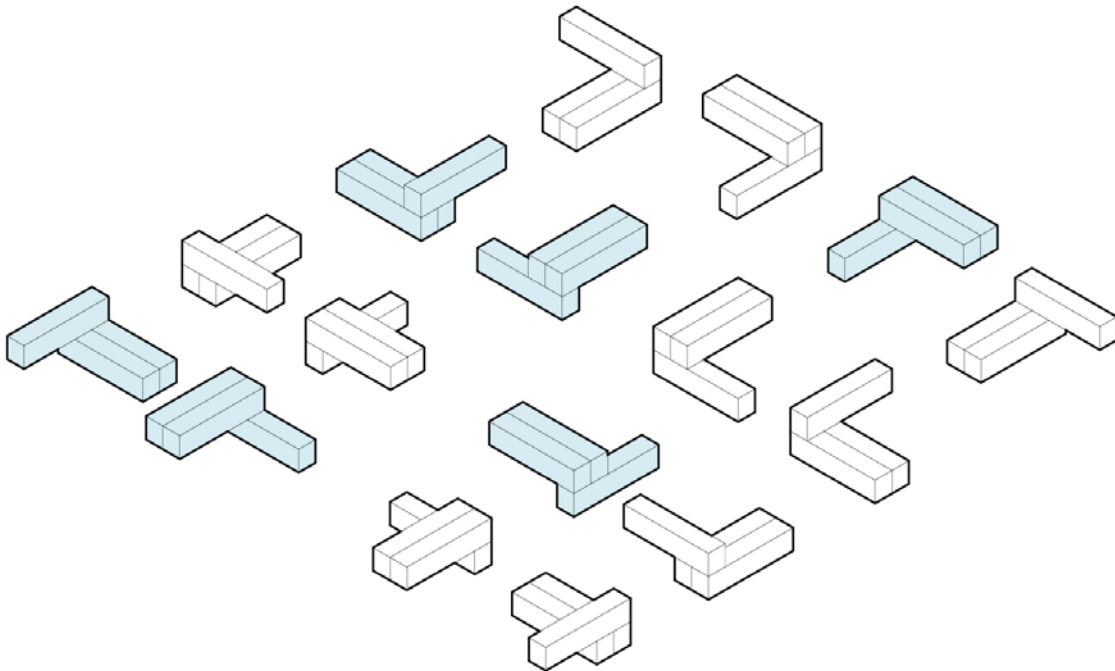


Ilustración 18: Intervención en la fachada frontal de la bodega.

6.3.1.2. Desarrollo del Diseño

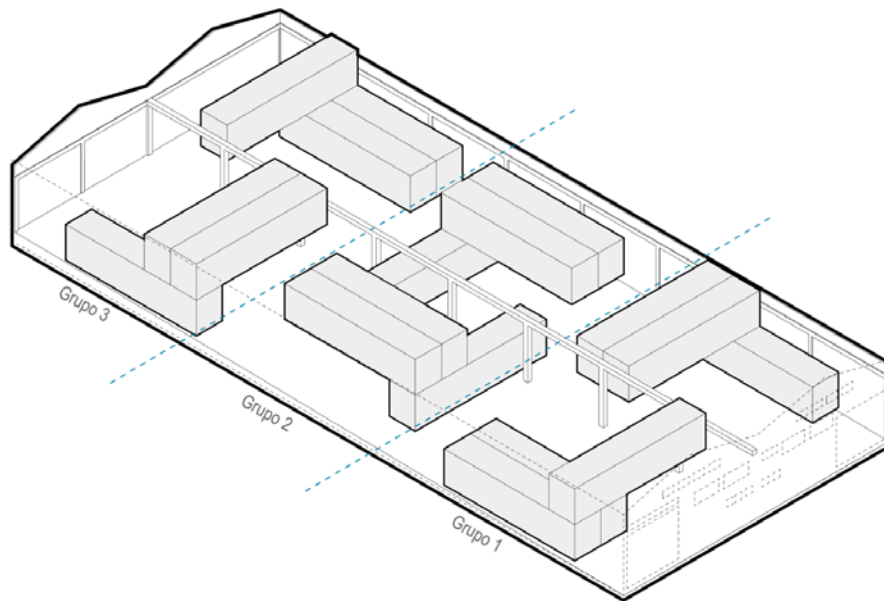
Luego plantear las estrategias generales para el desarrollo del proyecto, se inició el proceso de diseño arquitectónico. Dadas las condiciones especiales, el proyecto se puede categorizar como un proyecto ETO, en el cual se formularon unas condiciones muy específicas por parte de los clientes/promotores, las cuales fueron analizadas y complementadas por los demás equipos consultores.

Desde el diseño arquitectónico, se continuó con la exploración formal y funcional del espacio, para lo cual se hizo un ejercicio de modulación de contenedores y se concluyó que la mejor forma de asociación, era en módulos de 3 contenedores agrupados 1 a 2 siempre intercalando: 1 contenedor en primer piso y 2 en segundo piso, o lo contrario. En este proceso surgieron 16 posibilidades de modulación. Luego, ubicando los módulos en el espacio se decidió usar solo los 6 tipos, dada su buena adaptación a la bodega existente (ver ilustración 19, en azul las 6 modulaciones usadas).



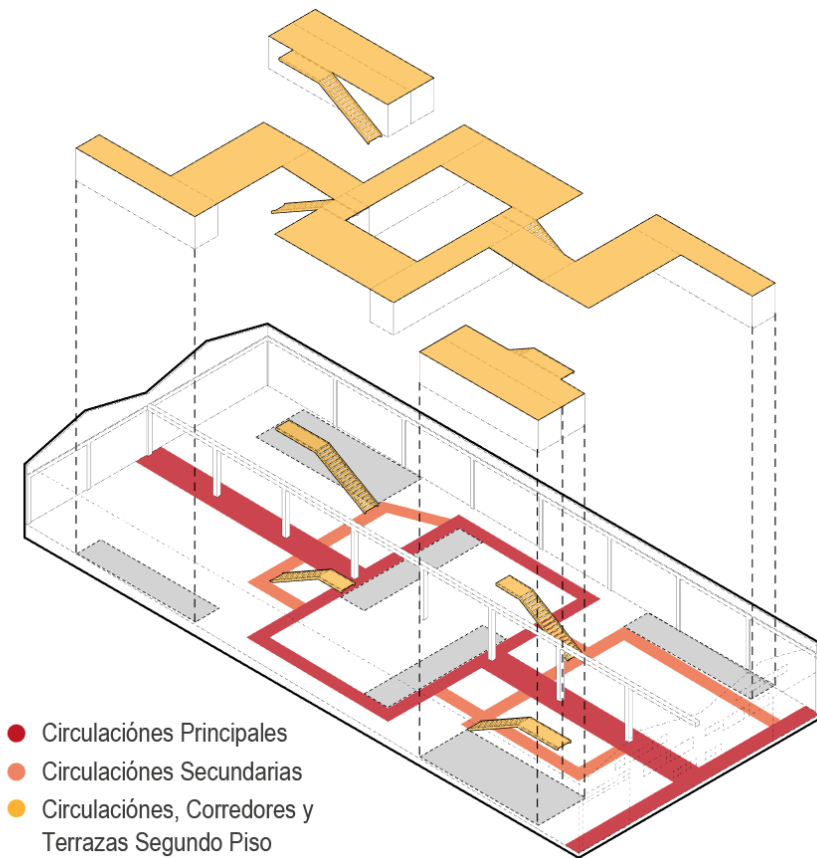
*Ilustración 19: Asociación de contenedores en un sistema 1 a 2. En azul las 6 modulaciones utilizadas.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Continuando, se ubicaron los 6 módulos seleccionados en el espacio interior de la bodega y así se obtuvo una composición de 18 contenedores en 3 grandes grupos, que determinaría en el futuro, la logística de construcción.



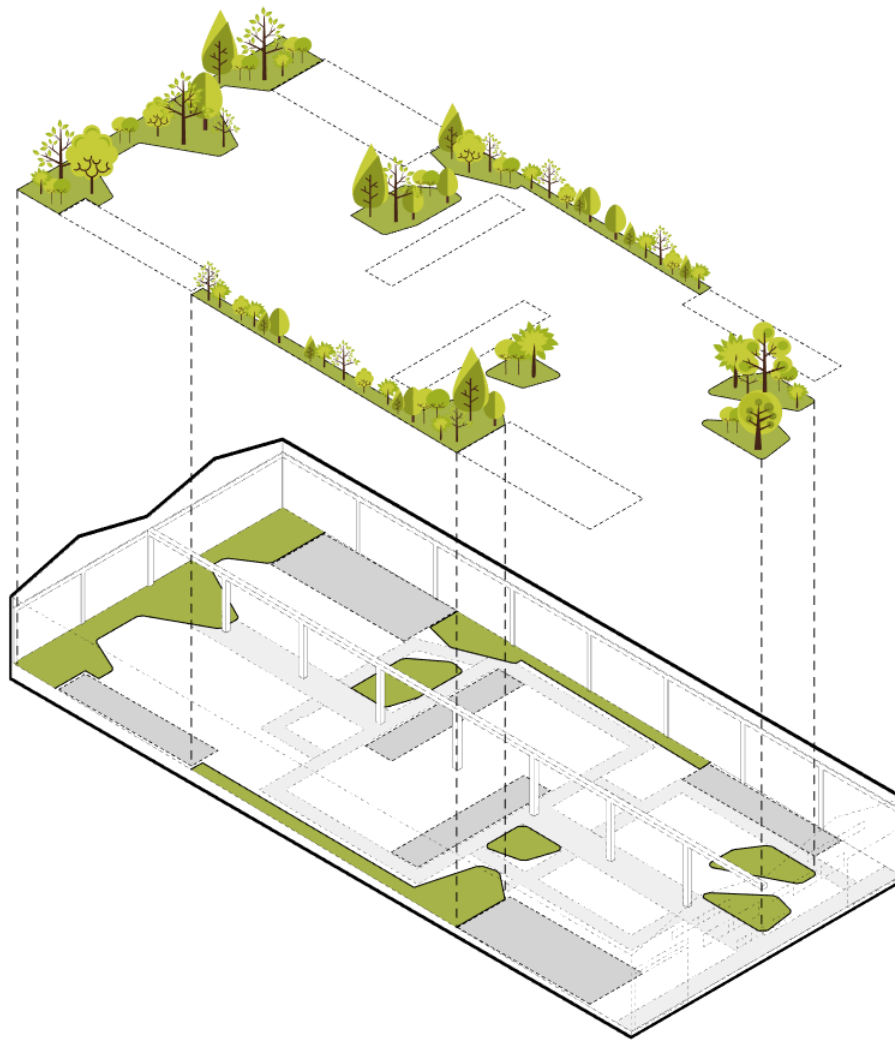
*Ilustración 20: Ubicación de los módulos de contenedores en el espacio.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Con la disposición de los contenedores lista, se diseña el sistema de circulaciones horizontales y verticales del proyecto, definido por un gran corredor central que reparte el flujo en el centro del proyecto.



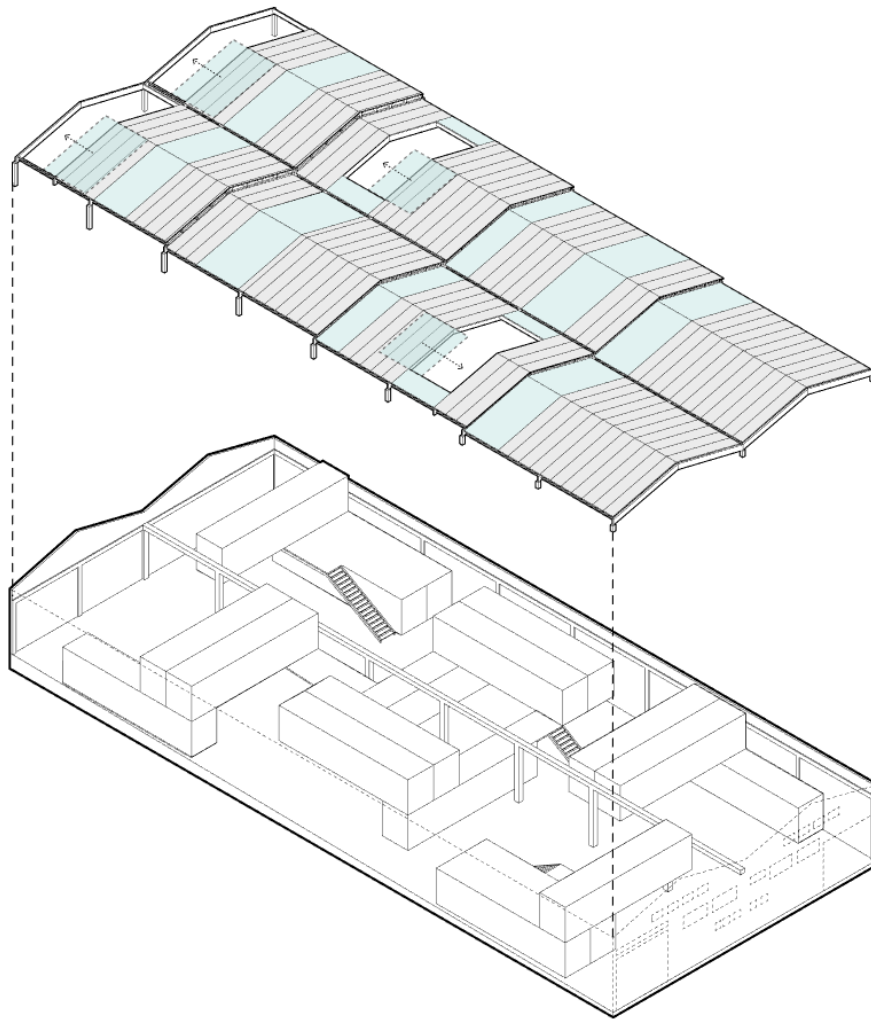
*Ilustración 21: Sistema de circulaciones del proyecto.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

La ubicación de contenedores y circulaciones condicionaron la localización de los patios interiores, jardines y zonas de ocio. El componente paisajístico nace como una premisa de diseño que intenta disminuir la dureza del espacio interior y aportar nuevos elementos al programa que complementen la actividad principal.



*Ilustración 22: Sistema de patios y zonas verdes.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Estos espacios se caracterizan por su función colectiva, es allí donde se propicia el encuentro y se promueve la interacción. Una mezcla equilibrada entre espacios duros y blandos aporta valores estéticos y funcionales, teniendo siempre muy presente su diseño y entendimiento técnico. Por esto, en la cubierta se determinaron tres grandes aperturas que permiten el ingreso de luz natural y agua lluvia al interior, y así conservar la vegetación. Como mecanismo de control, se planteó un sistema de techos móviles que se cierra y abre según las necesidades del espacio, el control térmico y el control del ingreso del agua lluvia.



*Ilustración 23: Planteamiento de la nueva cubierta.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Con el objetivo de mejorar las condiciones térmicas del espacio, la cubierta se diseñó escalonada en 4 tramos de forma que, entre cada uno de ellos, se posibilitara la salida del aire caliente que se acumula en la parte superior del techo. La cubierta, compuesta por paneles termo-acústicos de teja opaca y translúcida, se soporta sobre vigas y correas metálicas. La teja opaca contiene una capa de 5 cm de lana mineral aislante, recubierta por dos capas de lámina metálica, grafiadas y pinnadas entre sí. Las zonas translúcidas, también en paneles tipo de sándwich, se compone de dos capas de teja plástica de color blanco que disipan el rayo de luz directo y controlan el calor mediante una cámara de aire. Lo techos móviles se diseñaron en lonas flexibles que permiten el movimiento y tienen alta durabilidad en el tiempo.

6.3.1.3. Programa Arquitectónico

En la bodega de 1427 m² en primer piso, se ubican los 18 contenedores, dispuestos en 2 pisos articulados por estructuras metálicas que conforman plataformas, escaleras y circulaciones. Se obtiene un total de 2146 m² distribuidos en 5 zonas o tipos de espacios:

- Zonas de Creación: son los puestos de trabajo conformados por estaciones modulares de 1, 4, 6 y 8 personas.
- Zonas de Colaboración: espacios de trabajo compartido compuestas por salas de reuniones abiertas y cerradas con capacidad para 2, 4, 6 y 12 personas; salas múltiples para 20 personas, un auditorio abierto para 60 personas, salas creativas para 6 personas y cabinas de llamadas individuales.
- Zonas de Ocio: espacios de descanso dotados con jardines, sillones y sillas, y cocinetas adecuadas como cafetines.
- Zonas de Servicios: compuesta por la recepción, baños comunes, circulaciones y escaleras.
- Zonas Técnicas: cuartos técnicos, data center y bodegas.

Cuadro de Áreas	
Áreas	M²
Zonas de Creación	794
Zonas de Colaboración	309
Zonas de Ocio	585
Zonas de Servicios	431
Zonas Técnicas	28
Total	2146

*Tabla 7: Cuadro de áreas discriminado por zonas.
Elaboración propia.*

Dentro de cada una de las zonas mencionadas el programa se compone de:

- 350 puestos de trabajo
- 2 Salas de reuniones (12 personas)
- 6 Salas de reuniones (6 personas) 2 abiertas / 4 cerradas
- 6 Salas de reuniones (8 personas) 2 abiertas / 2 cerradas
- 8 Salas de reuniones (4 personas) 4 abiertas / 4 cerradas
- 5 Salas de reuniones (2 personas) abiertas
- 8 Cabinas (1 persona)

- 2 Salas múltiples (20 personas) cerradas
- 1 Auditorio (60 personas) abierto
- 1 Cafetería (interior / exterior)
- 1 Baños (hombres / mujeres)
- 1 Data center



*Ilustración 24: Planta primer piso.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*



*Ilustración 25: Planta segundo piso.
Cortesía de: A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

6.3.2. Desarrollo del Diseño: Herramientas BIM

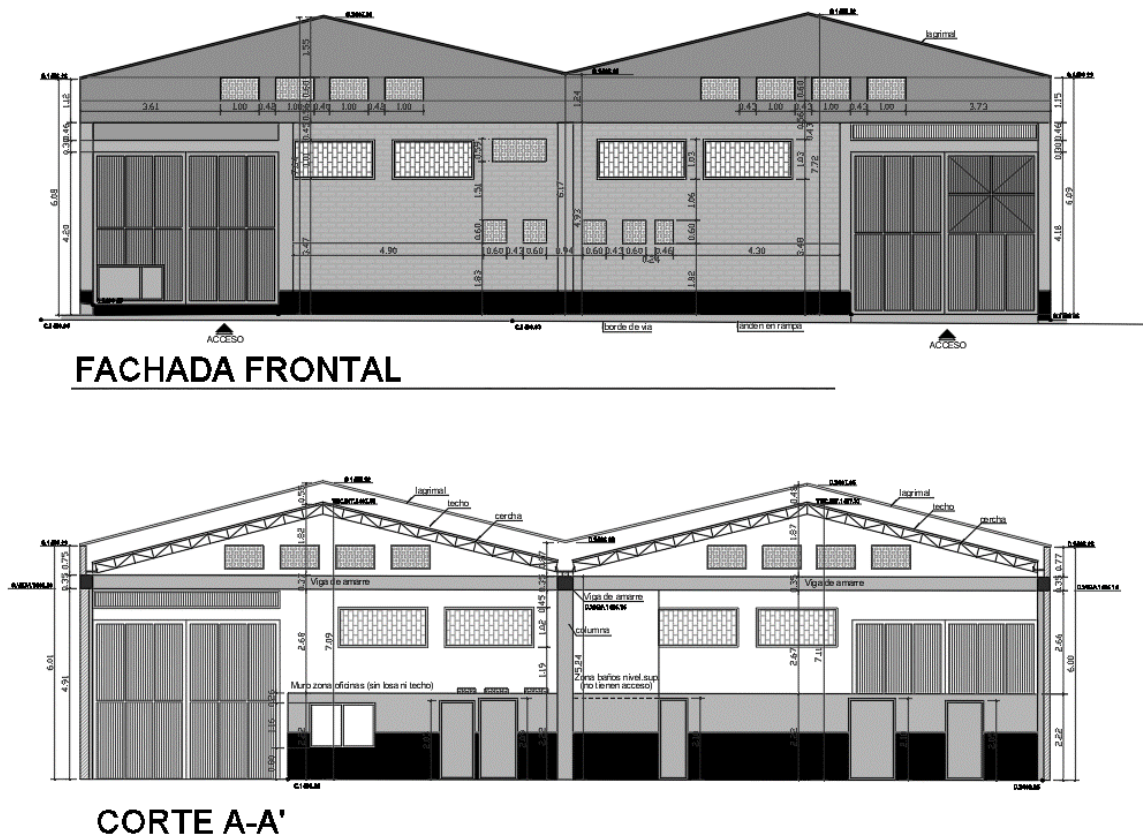
En el presente capítulo se muestra el proceso de modelado BIM 3D de la arquitectura, diseño interior, estructura, redes y el proceso de coordinación técnica. Posteriormente se presenta la simulación 4D en la que se integran los modelos 3D con la programación de obra.

6.3.2.1. Modelado 3D Arquitectura e Interiorismo

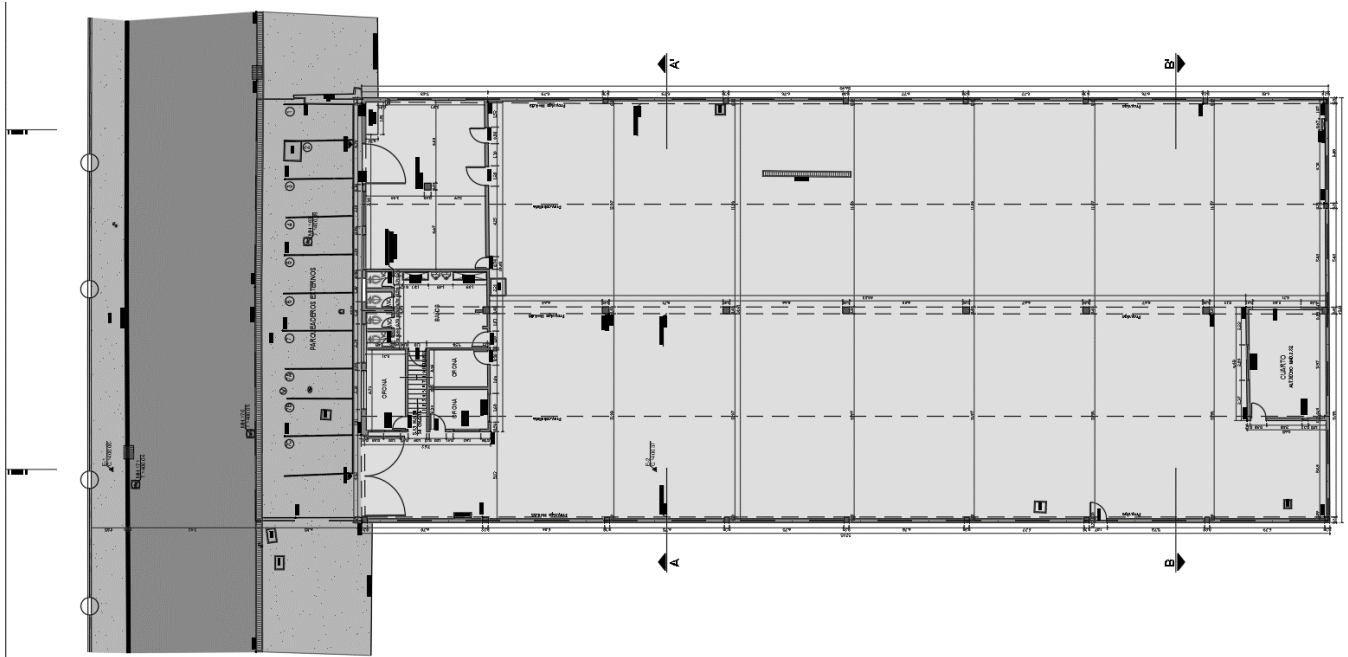
La construcción de los modelos 3D arquitectónicos se llevó a cabo en el siguiente orden:

- Modelos de la preexistencia, LOD 200:

Para la construcción del modelo 3D de la bodega existente, fue necesario hacer un levantamiento topográfico arquitectónico y estructural. Al grupo diseñador les fueron entregados los planos completos, compuestos por planta general, planta de cubierta, 2 cortes y la fachada frontal.



*Ilustración 26: Levantamiento topográfico, Corte y Fachada.
Elaborado por Arquitop LTDA., cortesía de Alberto Alvares S.S.A.*



*Ilustración 27 Levantamiento topográfico, Planta General
Elaborado por Arquitop LTDA., cortesía de Gerencia y Promoción.*

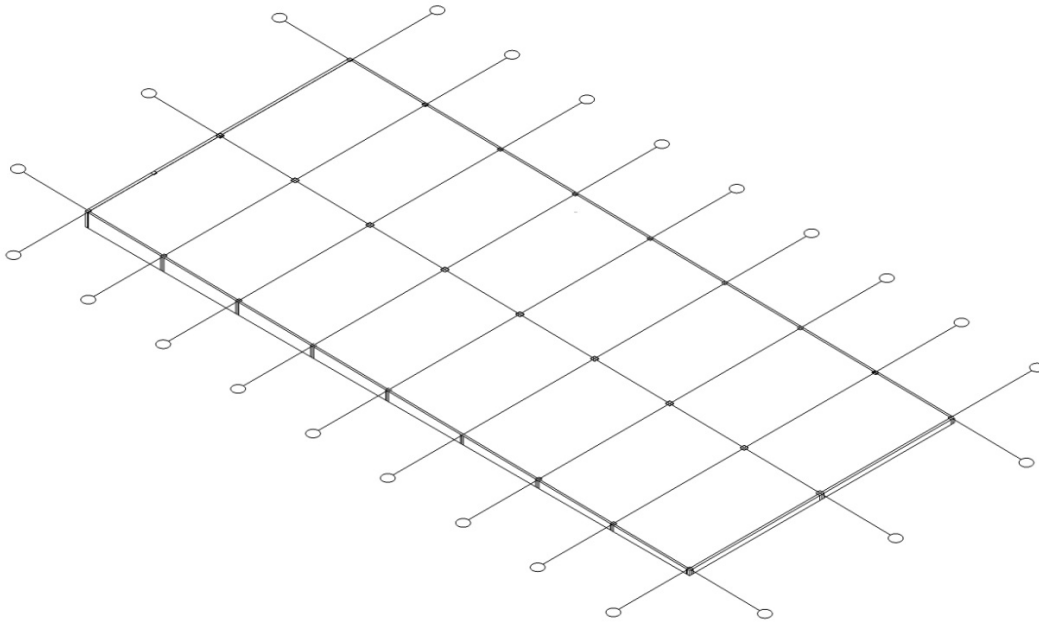
Posteriormente, en la visita al sitio se hizo un registro fotográfico. Con estos dos insumos se obtuvieron las dimensiones al igual que las especificaciones de materiales, acabados y su estado real.



*Ilustración 28: Registro fotográfico interior de la bodega existente.
Elaboración propia.*

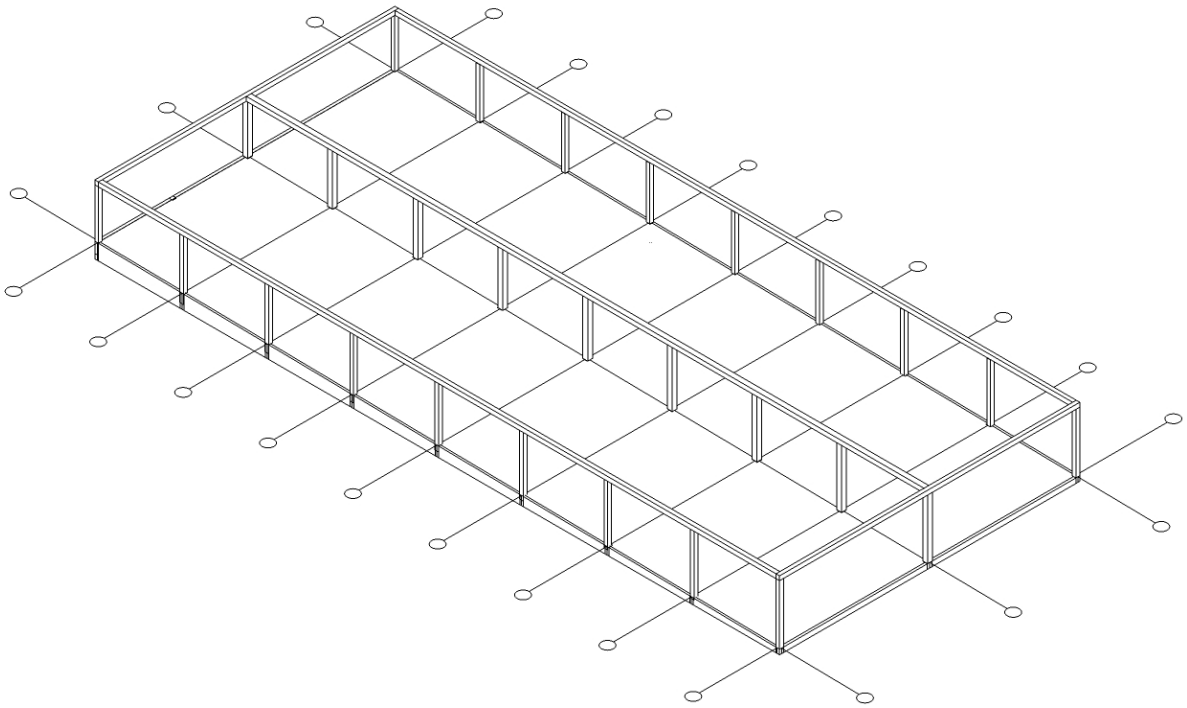
Una vez reunida y analizada la información se inició el proceso de modelado 3D. La antigua bodega está cimentada sobre una losa flotante apoyada en una primera base compactada de arena y luego una sub base en material granular. Para conocer esto, se realizaron apiques en losa y terreno y así poder obtener los datos necesarios para el diseño estructural y calcular el sistema de cargas del

edificio. En primer lugar, se trazaron los ejes que sobre los que se ubican los pórticos del edificio. Luego, se modeló la losa con su respectiva pendiente evidenciada en el levantamiento.



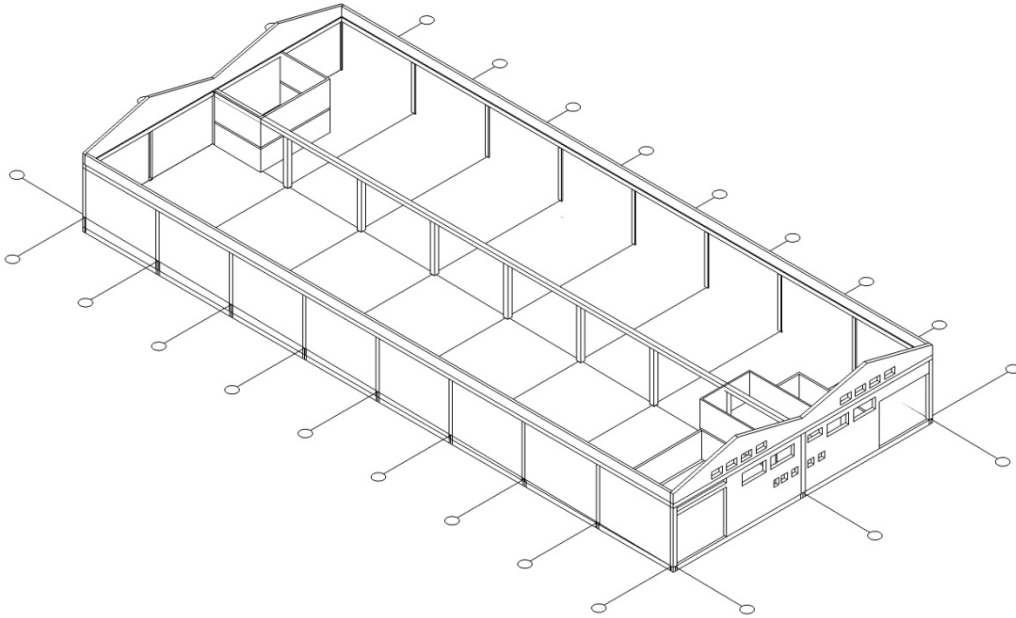
*Ilustración 29: Losa y ejes.
Elaboración propia*

Posteriormente, se construyó el pórtico: la estructura de vigas y columnas de concreto que apoyan la cubierta y confinan los muros medianeros y frontales.



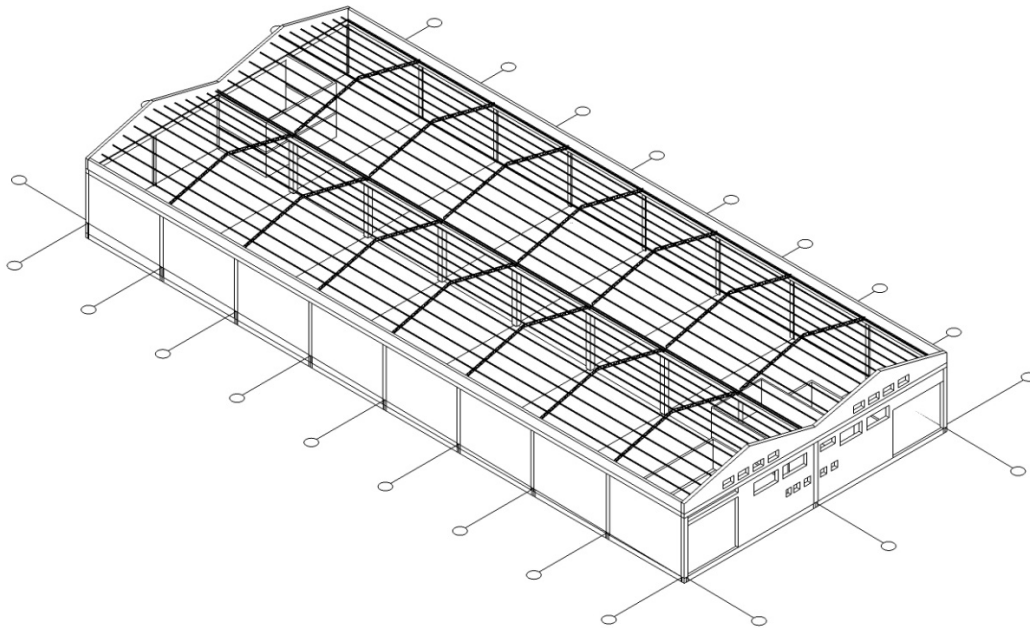
*Ilustración 30: Estructura del edificio, sistema de vigas y columnas:
Elaboración propia*

Luego se modelaron los muros: fachada frontal, muros medianeros y muros internos, construidos en mampostería estructural de adobes macizos sin confinamiento. La fachada frontal se conforma por dos grandes puerteadas metálicas que permiten el acceso independiente a cada una de las naves de la bodega. La presencia de pequeñas ventanas no favorece el paso de luz y aire al interior del proyecto.



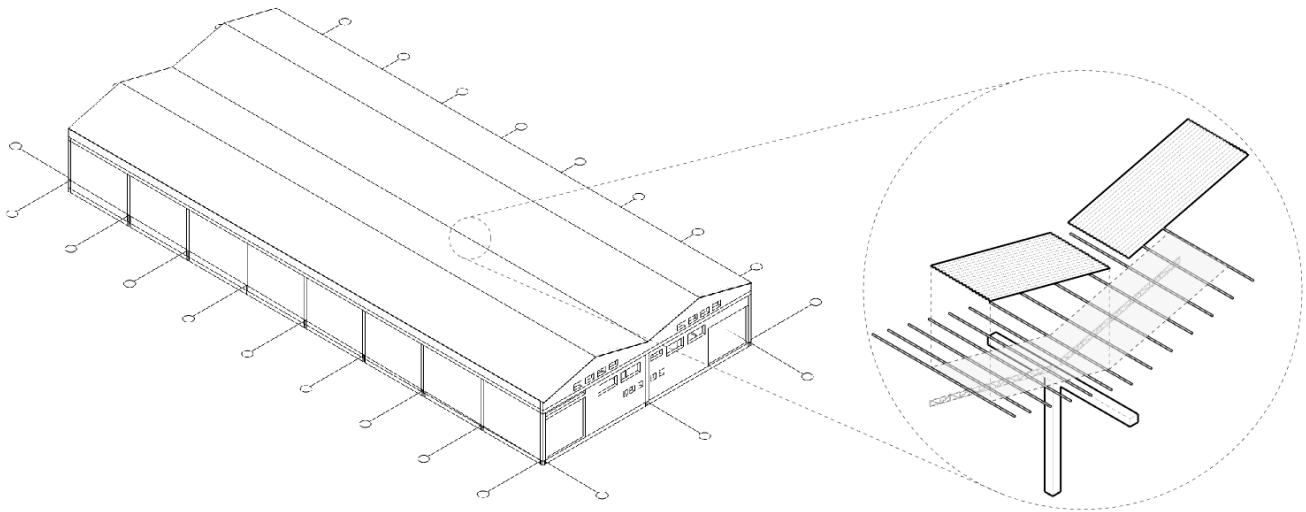
*Ilustración 31: Muros medianeros, fachada frontal y muros interiores.
Elaboración propia.*

El modelo continuó con la estructura de cubierta compuesta por cerchas metálicas en barras de acero que hacen las veces de vigas principales y correas de amarre.



*Ilustración 32: Sistema estructural de la cubierta, cerchas en vigas y correas.
Elaboración propia.*

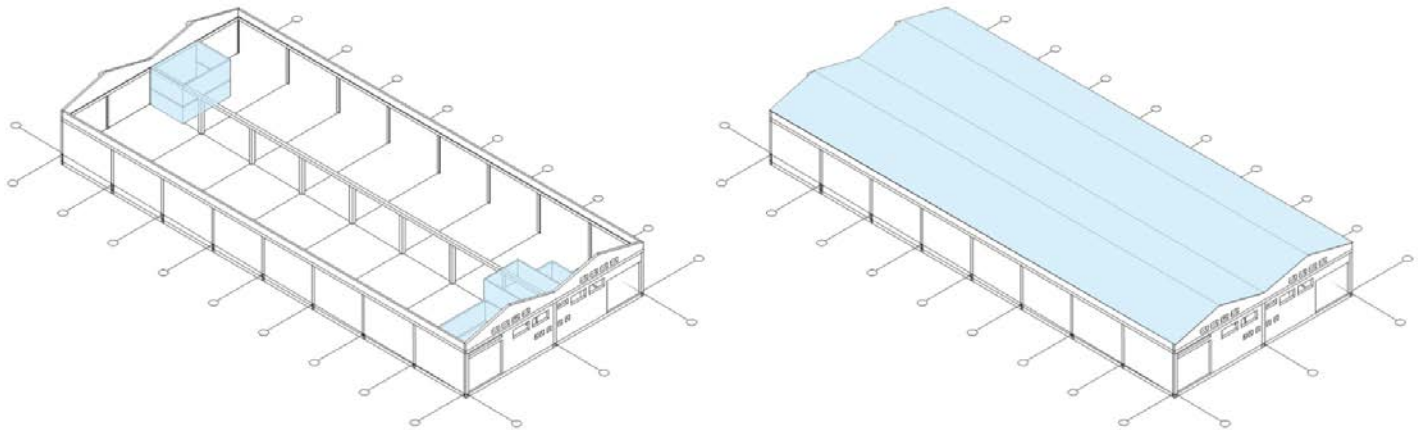
Finalmente, se modela la cubierta. El edificio existente cuenta con un sistema de tejas de asbesto cemento amarradas a las cerchas y correas. Con ese proceso se culmina el primer paso del modelado y se deja la bodega en su estado original.



*Ilustración 33: Cerramientos de la cubierta, sistema estructural y tejas.
Elaboración propia.*

- Modelos de idea: LOD 100 y 200

De acuerdo al análisis del levamiento topográfico, a las condiciones encontradas en la visita al sitio y a las necesidades funcionales del nuevo proyecto, se toma la decisión de reemplazar la cubierta existente y demoler los muros interiores. El modelo se limpia y dispone para la nueva intervención.



*Ilustración 34: Se demuelen los muros interiores y la cubierta.
Elaboración propia.*

Luego de hacer los primeros bocetos y dibujos en planta, se procedió con la distribución del espacio interior de la bodega. Para ello, se ubicaron los elementos con mayor influencia espacial: los contenedores. En esta etapa se modelan solo como cajas conceptuales.

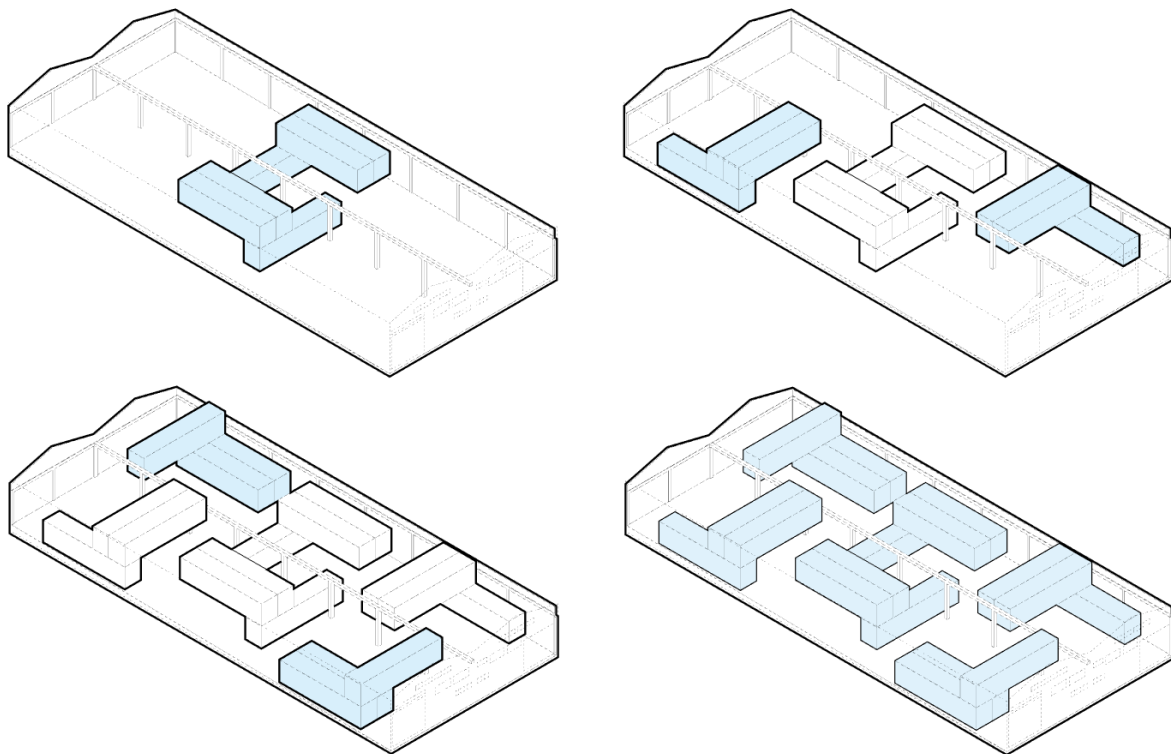
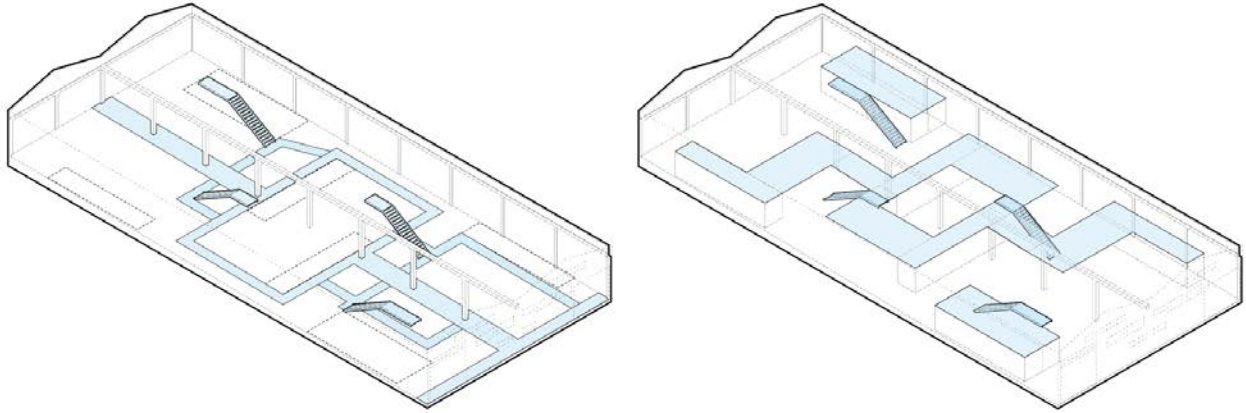


Ilustración 35: Se incluyen los contenedores en el espacio.

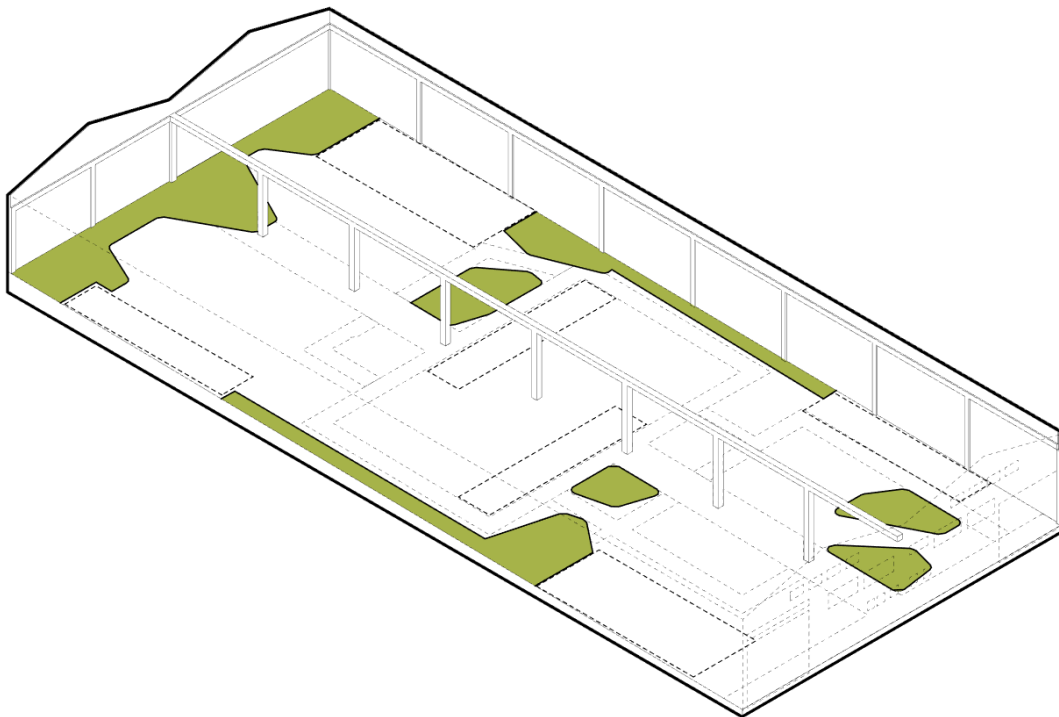
Elaboración propia.

Después de los contenedores, se incluye el sistema de circulaciones: pasillos, plataformas y escaleras, de primer y segundo piso. En este nivel de desarrollo se modelan como superficies simples sin mucho detalles geométrico o técnico.



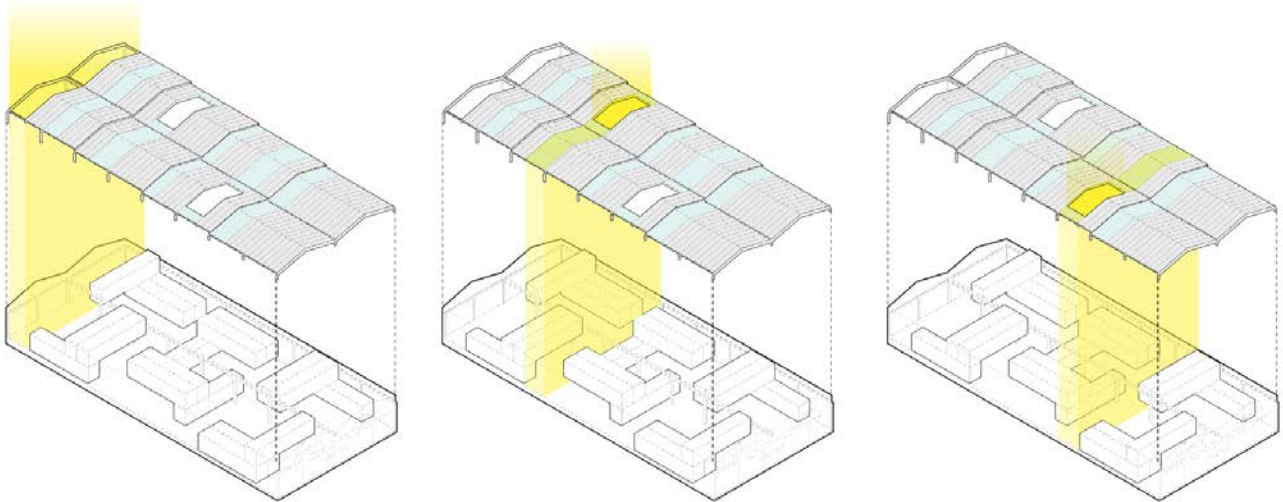
*Ilustración 36: Se incluyen las circulaciones de primer y segundo piso.
Elaboración propia.*

Posteriormente se incluyen los patios y zonas verdes. Se define su localización y forma y básica.



*Ilustración 37: Se incluye el sistema de zonas verdes y patios.
Elaboración propia.*

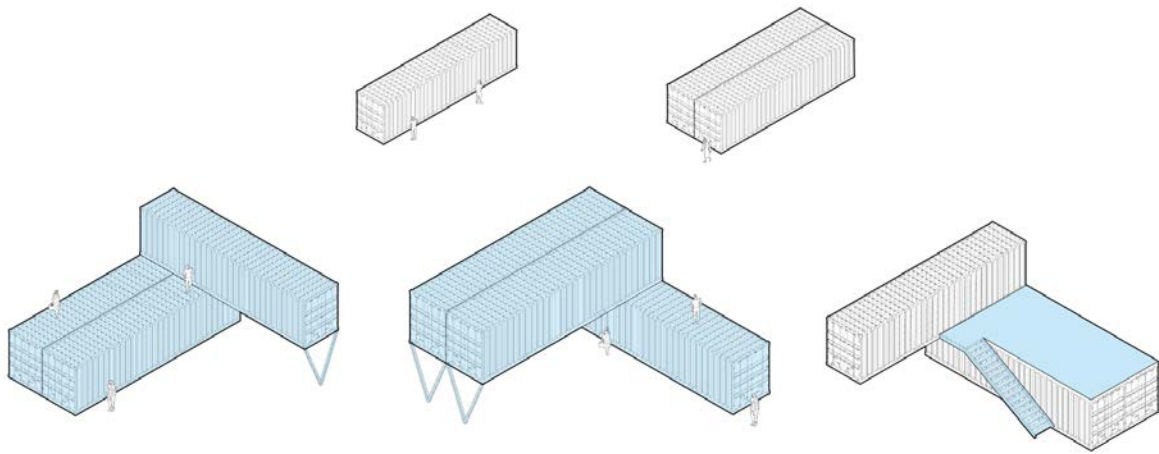
Con el modelado de la cubierta se finaliza este nivel de desarrollo. Interesó definir las aperturas principales vinculadas directamente al sistema de patios y zonas verdes. Se define una cubierta en 4 módulos escalonados con 3 grupos de aperturas y un sistema tejas translucidas.



*Ilustración 38: Se incluye la cubierta y sus respectivas aperturas.
Elaboración propia*

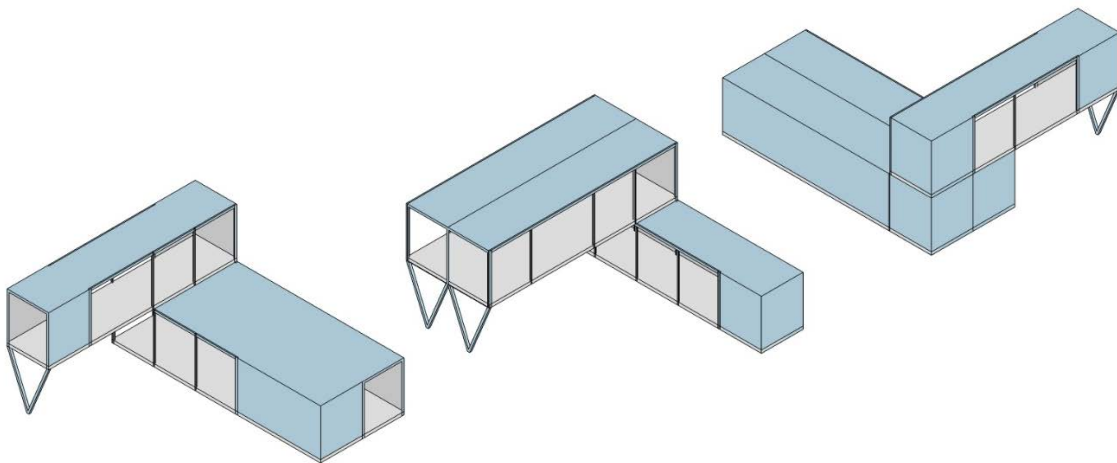
- Modelos de desarrollo: LOD 300

Para iniciar este nivel de desarrollo, el primer paso fue modelar los contenedores con todas sus características geotérmicas (dimensiones y tamaños); funcionales (estructura, puertas, dados, pasadores, etc.) y técnicas (espesores reales y características de los materiales). También se incluyeron, a manera de pre-dimensionamiento arquitectónico las columnas que sostienen los contenedores del segundo piso cuando estos quedan en voladizo.



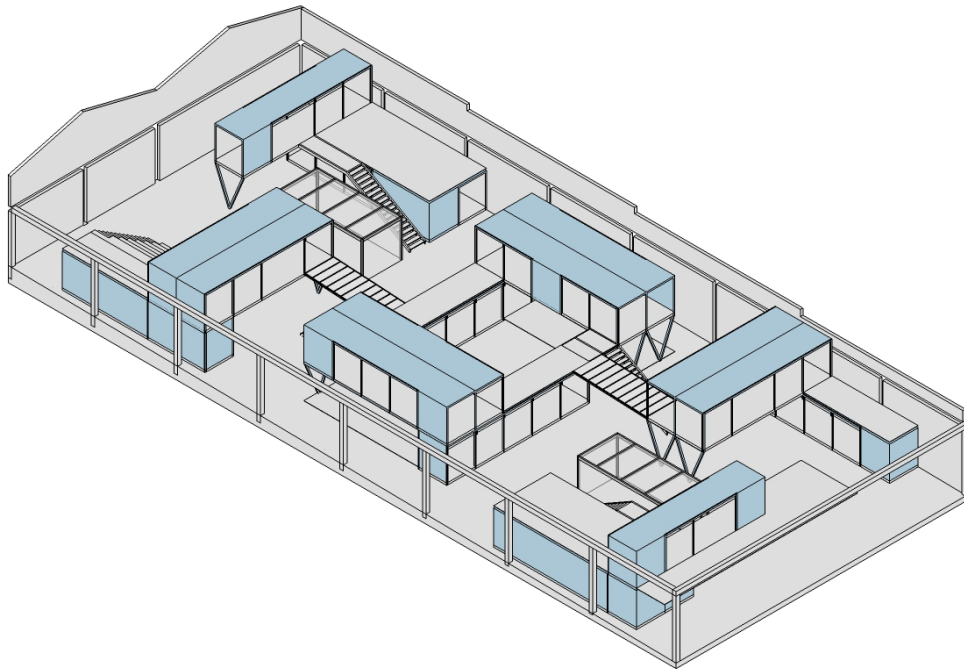
*Ilustración 39: Modelos 3D de los contenedores y escaleras.
Elaboración propia*

El siguiente paso fue modelar el sistema de aperturas o vanos de los contenedores, con el objetivo de desarrollar el sistema estructural complementario, el sistema de pieles o fachadas que conforman los cerramientos y determinar la permeabilidad de los espacios interiores.

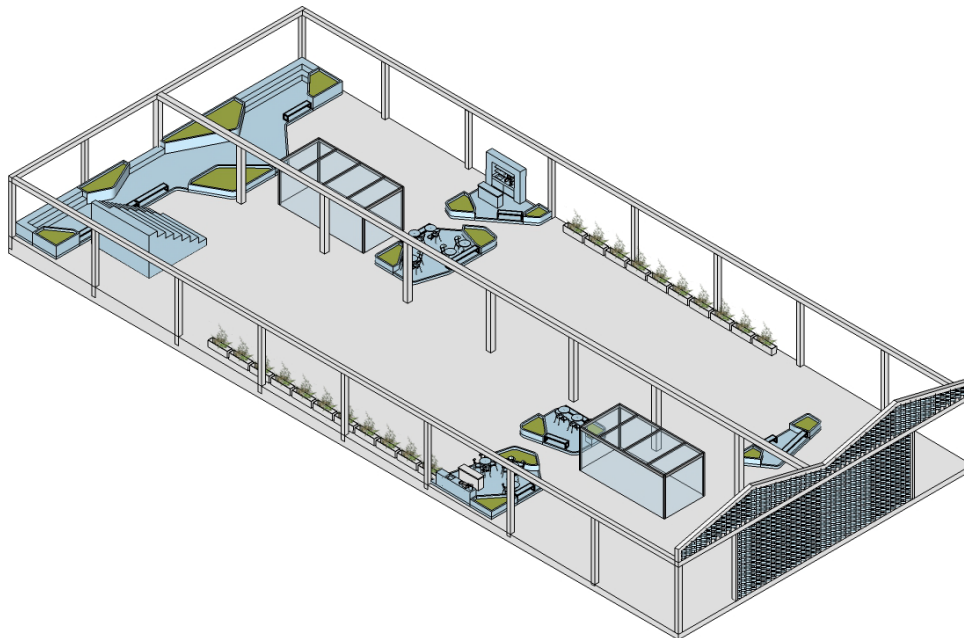


*Ilustración 40: Modelos 3D de los contenedores con los vanos.
Elaboración propia*

Los vanos de los contenedores fueron definidos de acuerdo al programa arquitectónico interior y a todos los sistemas previamente desarrollados (circulaciones, patios, estructura, etc.). En este modelo fueron incluidos otros elementos complementarios como plataformas, escaleras, zonas de ocio, jardinearas, fachada con los mampuestos en calado, graderías para el auditorio al aire libre y las estructuras vidriadas que contienen las salas de reuniones.

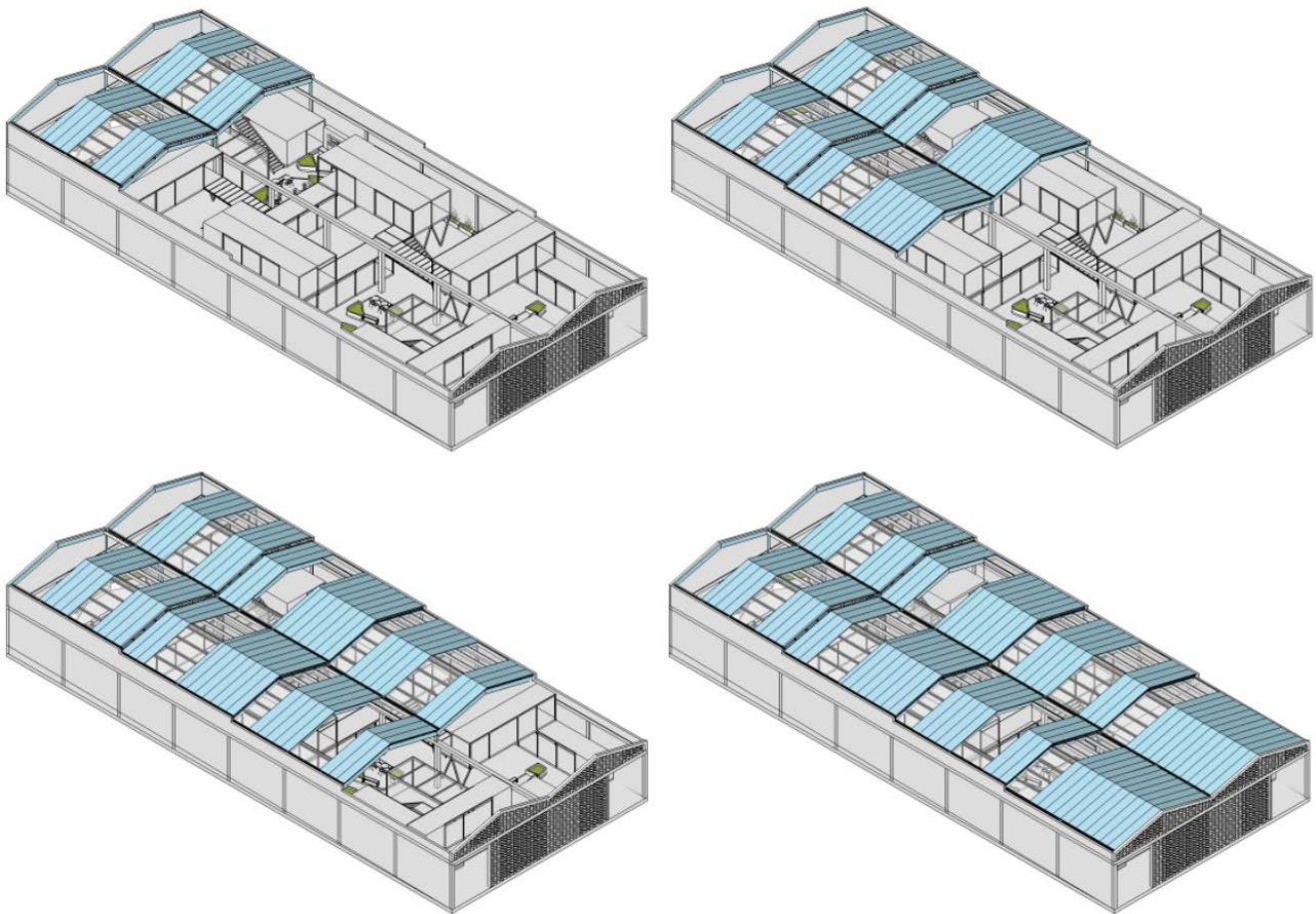


*Ilustración 41: Modelo 3D del edificio con los contenedores, plataformas y escaleras.
Elaboración propia*



*Ilustración 42: Modelo 3D de zonas complementarias.
Elaboración propia*

Con la arquitectura definida, se inicia el proceso de modelados de los sistemas estructurales y de redes técnicas. El detalle de estos modelos se mostrará en los próximos capítulos, en este interesa evidenciar la aparición de la cubierta en sus 4 tramos. En este nivel de desarrollo ya se tenía una primera versión de los diseños estructurales, por lo cual, los modelos de cubierta están coordinados y ajustados a las necesidades espaciales y técnicas. Con este modelo termina este nivel de desarrollo.



*Ilustración 43: Modelo 3D de la cubierta.
Elaboración propia*

- Modelos de detalle: LOD 400

En este nivel de desarrollo se definieron todas las características técnicas faltantes y se elaboraron los modelos de detalle de cada una de las zonas y partes que componen el proyecto. El primer paso fue definir el funcionamiento interno de cada contenedor de acuerdo con sus necesidades de espacio y programa. En este proceso se definieron los tamaños de los puestos de trabajo, su distribución y el detalle de los cerramientos de cada contenedor.



*Ilustración 44: Modelo 3D detallado, interior contenedor.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*



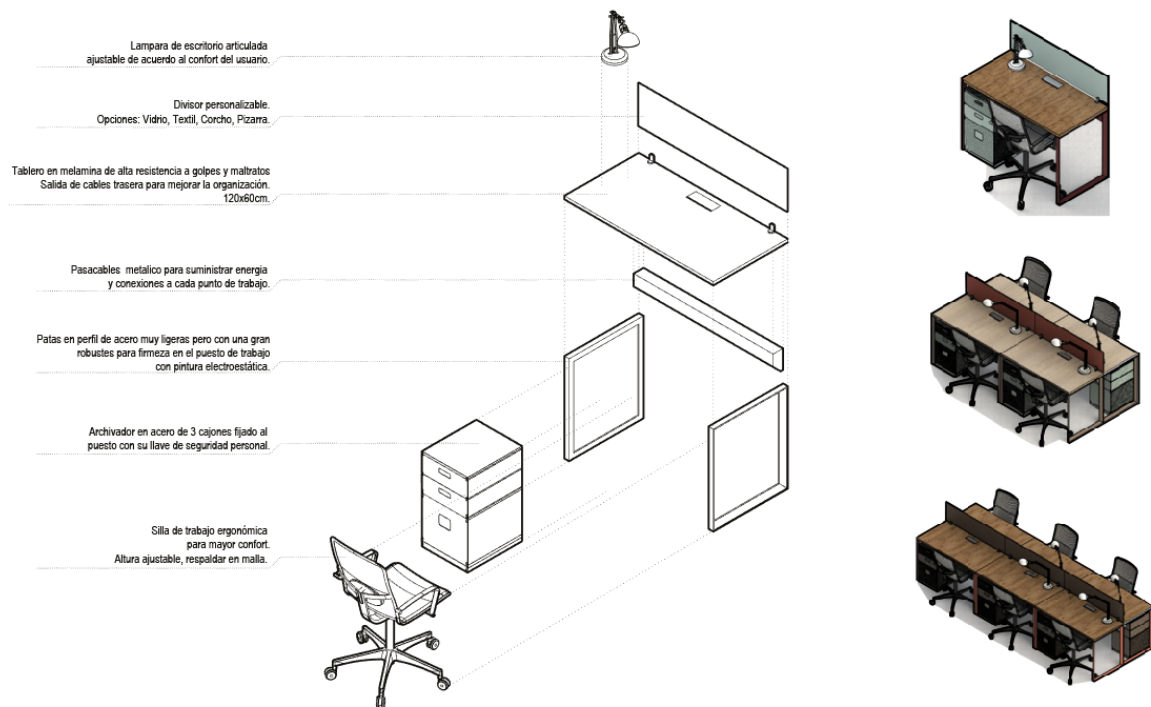
*Ilustración 45: Modelo 3D detallado, fachadas del contenedor.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Con la elaboración de estos modelos se pudieron definir materiales, sistemas de cerramiento y estética proyectada. Igualmente se pudo verificar que los elementos compositivos de los puestos de trabajo definidos en los *layout* diseñados en planos 2D, tuvieran concordancia con el espacio en 3D.

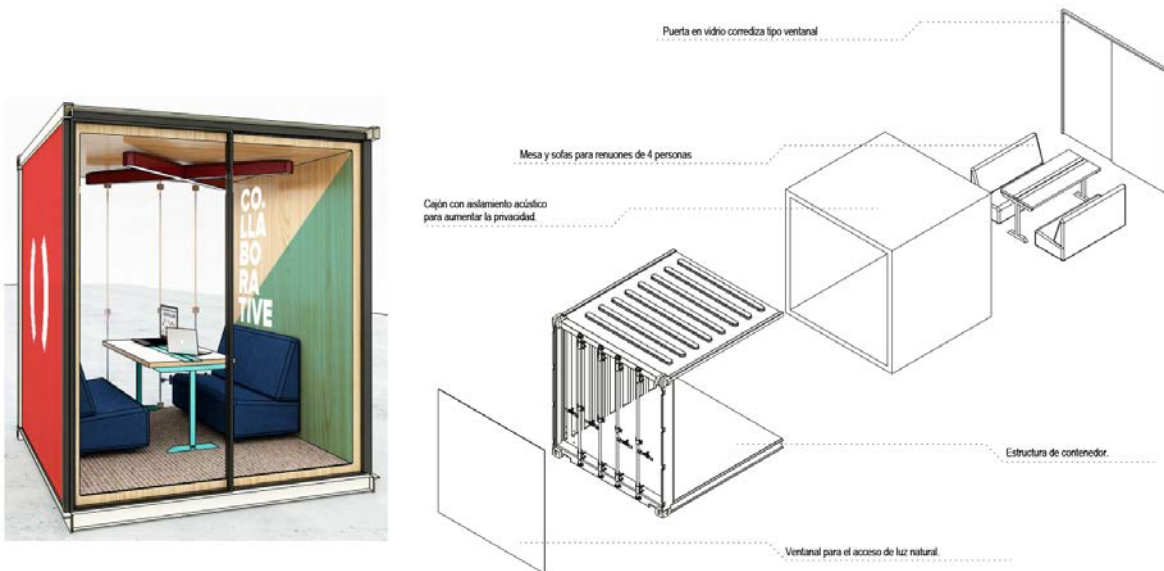


*Ilustración 46: Modelo 3D detallado, grupo de contenedores.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Con los módulos de contenedores modelados en detalle, se procedió a hacer el despiece de cada uno de los elementos compositivos de la arquitectura y el diseño interior. De los modelos se obtuvieron los planos de detalle y las especificaciones técnicas. A continuación, se muestran algunos de los modelos y planos desarrollados en las últimas etapas de diseño, correspondientes a detalles y especificaciones.



*Ilustración 47: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de los puestos de trabajo.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*



*Ilustración 48: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas de reunión pequeñas.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*

Como se mencionó, el proceso de modelado LOD 400 se desarrolló en la etapa de detalles. Para ello se elaboraron modelos independientes que luego se importaban al proyecto completo, de manera que se pudiera obtener información gráfica por grupos o pequeños modelos de forma más ágil, para luego revisar interferencias en el modelo completo.

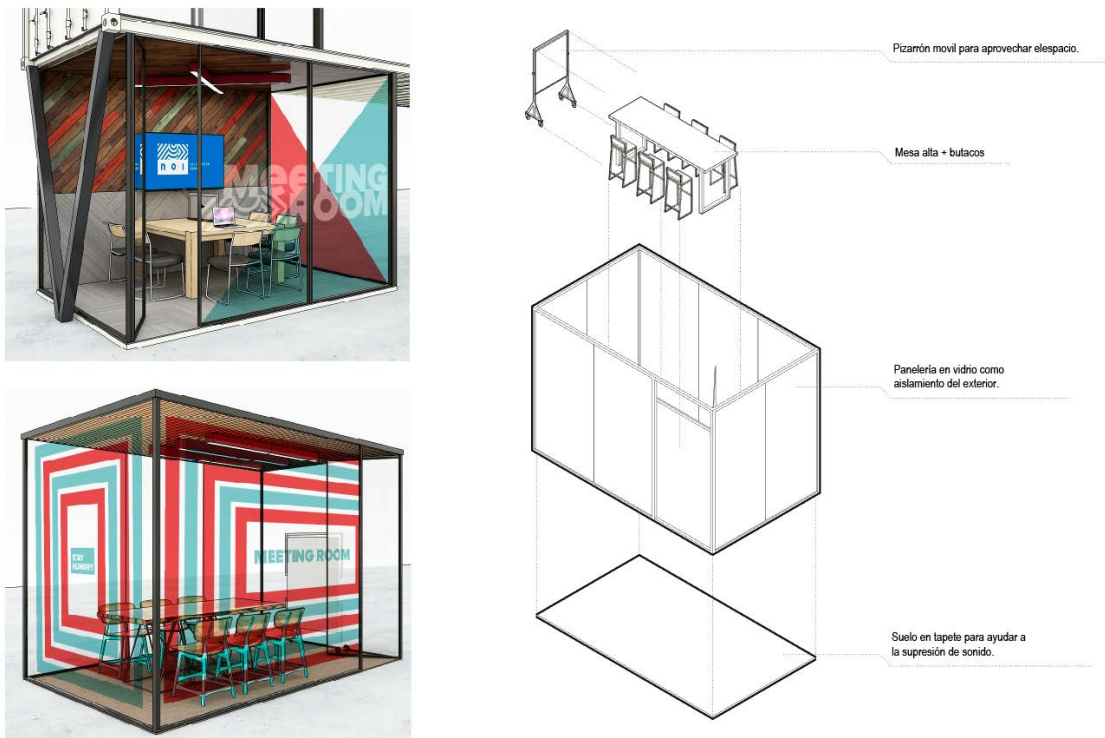


Ilustración 49: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas de reunión grandes tipo 1.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.

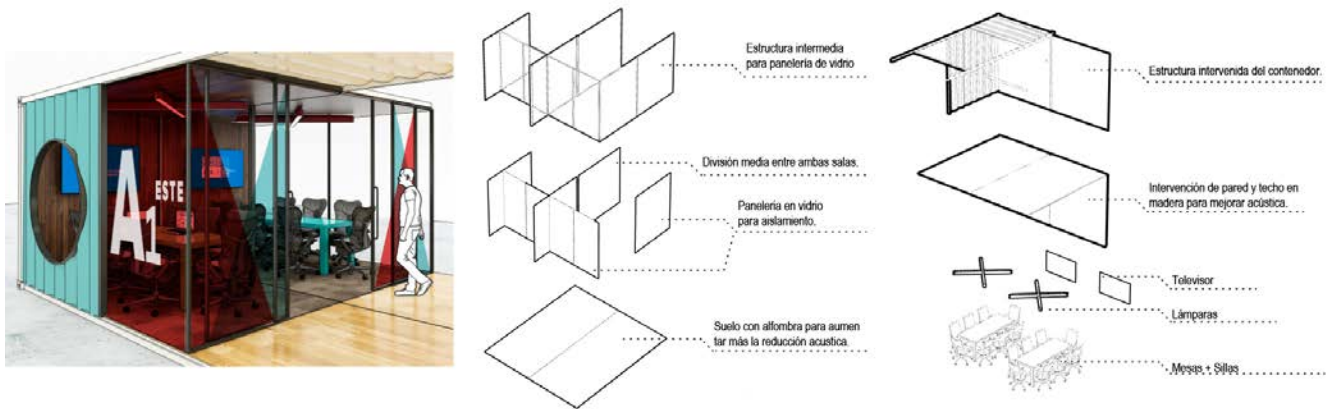


Ilustración 50: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas de reunión grandes tipo 2.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.

Para la presentación de los modelos, se utilizaron vistas explotadas e imágenes foto realistas, de manera que todos los integrantes del proyecto (clientes, gerentes, técnicos, etc.) pudieran visualizar de forma clara como están compuestos cada uno de los espacios del proyecto. Esta metodología facilitó la comprensión y proporcionó agilidad en la toma de decisiones y definición de los detalles.

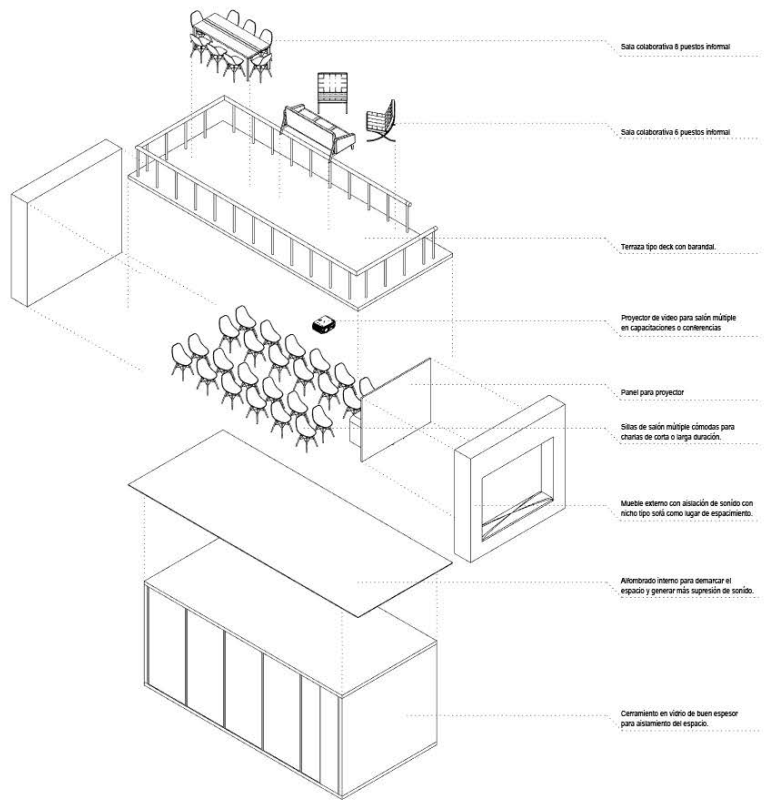


Ilustración 51: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de salas múltiples. Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.

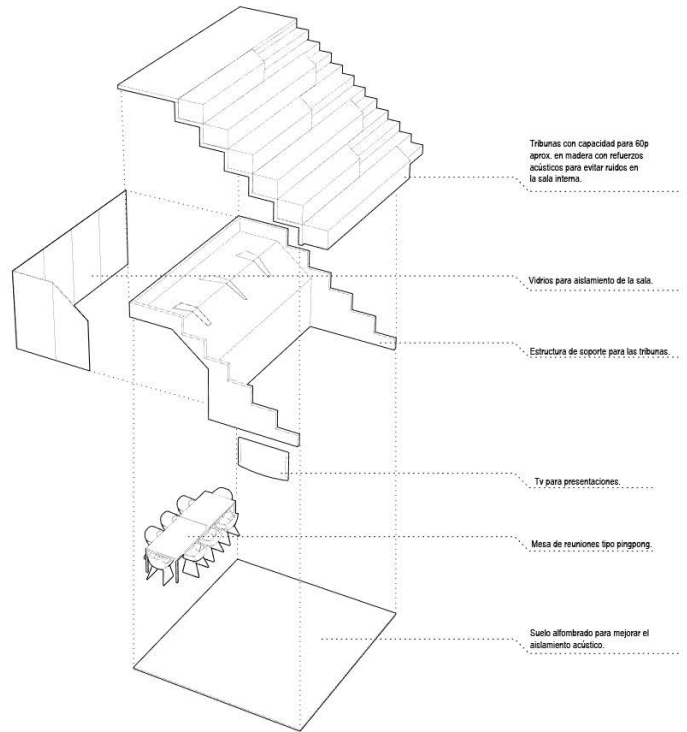
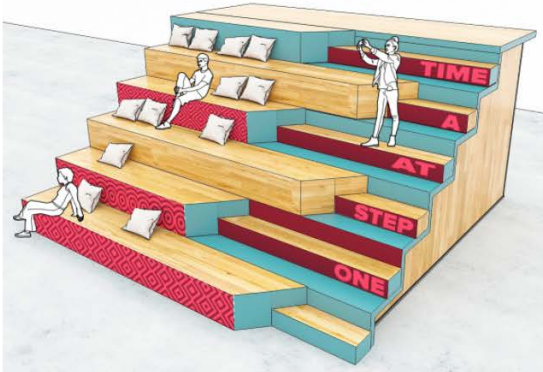


Ilustración 52: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D del auditorio al aire libre.

Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.



Ilustración 53: Vista explotada y foto realista de los modelos 3D de las cabinas telefónicas
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.

Las zonas de ocio y jardines también fueron modeladas. Las imágenes, detalles y especificaciones fueron entregadas a los paisajistas con el fin de que ellos determinaran el tipo de especies, sus tamaños reales, los sistemas de riego, entre otros.

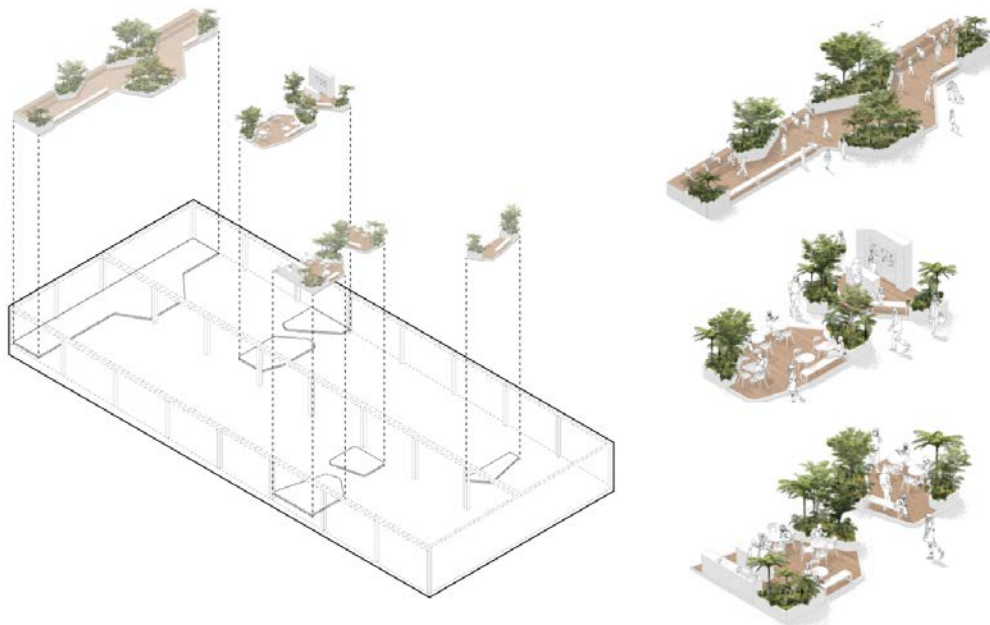


Ilustración 54: Modelos 3D detallados de las zonas de ocio y jardines interiores. Elaboración propia.

Finalmente, se obtiene un modelo 3D con todos los elementos compositivos del proyecto. Cabe resaltar que en las últimas dos etapas de diseño (proyecto y detalles), se desarrolló todo el proceso de coordinación técnica, el cual se muestra en los siguientes capítulos.



*Ilustración 55: Modelo 3D completo vista 1.
Cortesía de A5 Arquitectura y MASIF Asuntos de diseño.*



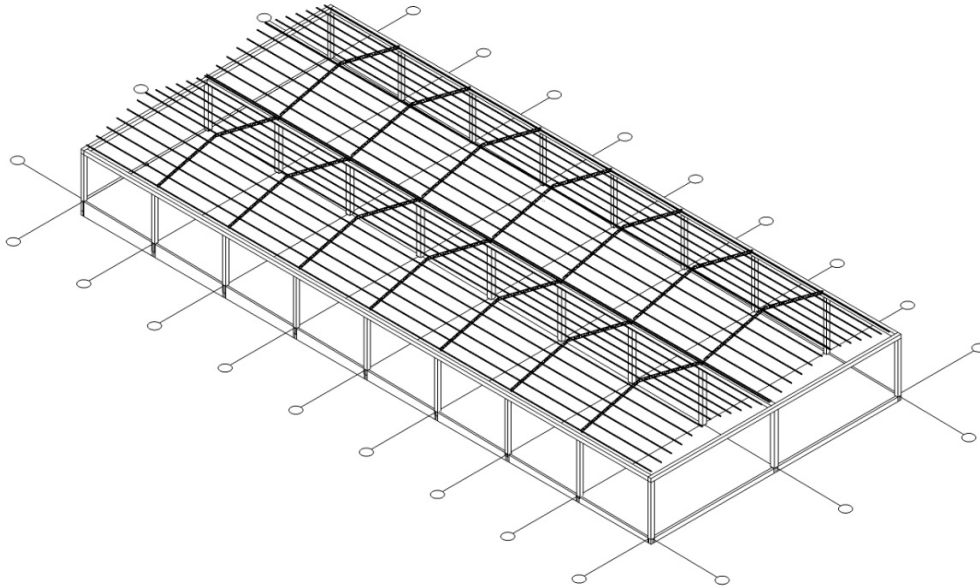
Ilustración 56: Ilustración 57: Modelo 3D completo vista 2.

6.3.2.2. Modelado 3D Estructura

La construcción de los modelos 3D de la estructura se llevaron a cabo en tres etapas o momentos:

- Modelos de la preexistencia, LOD 200:

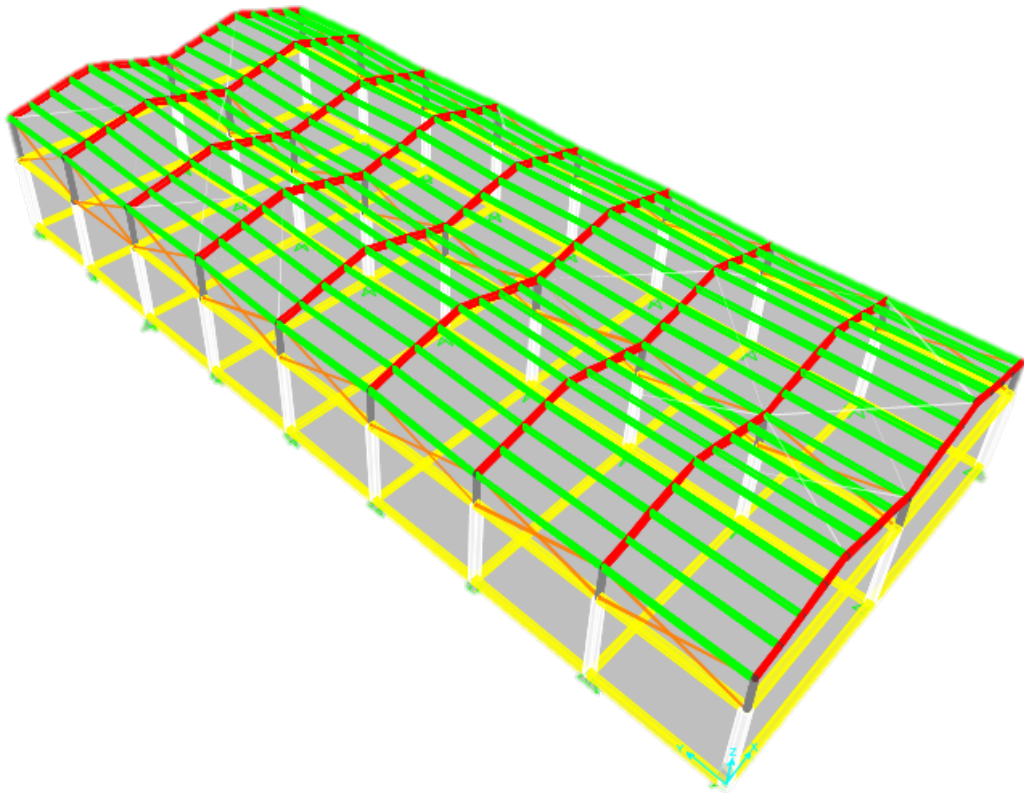
El modelo se construyó de acuerdo al levantamiento de la bodega, en el capítulo anterior se muestra el proceso con mayor detalle.



*Ilustración 58: Modelo 3D de la estructura de la bodega existente.
Elaboración propia.*

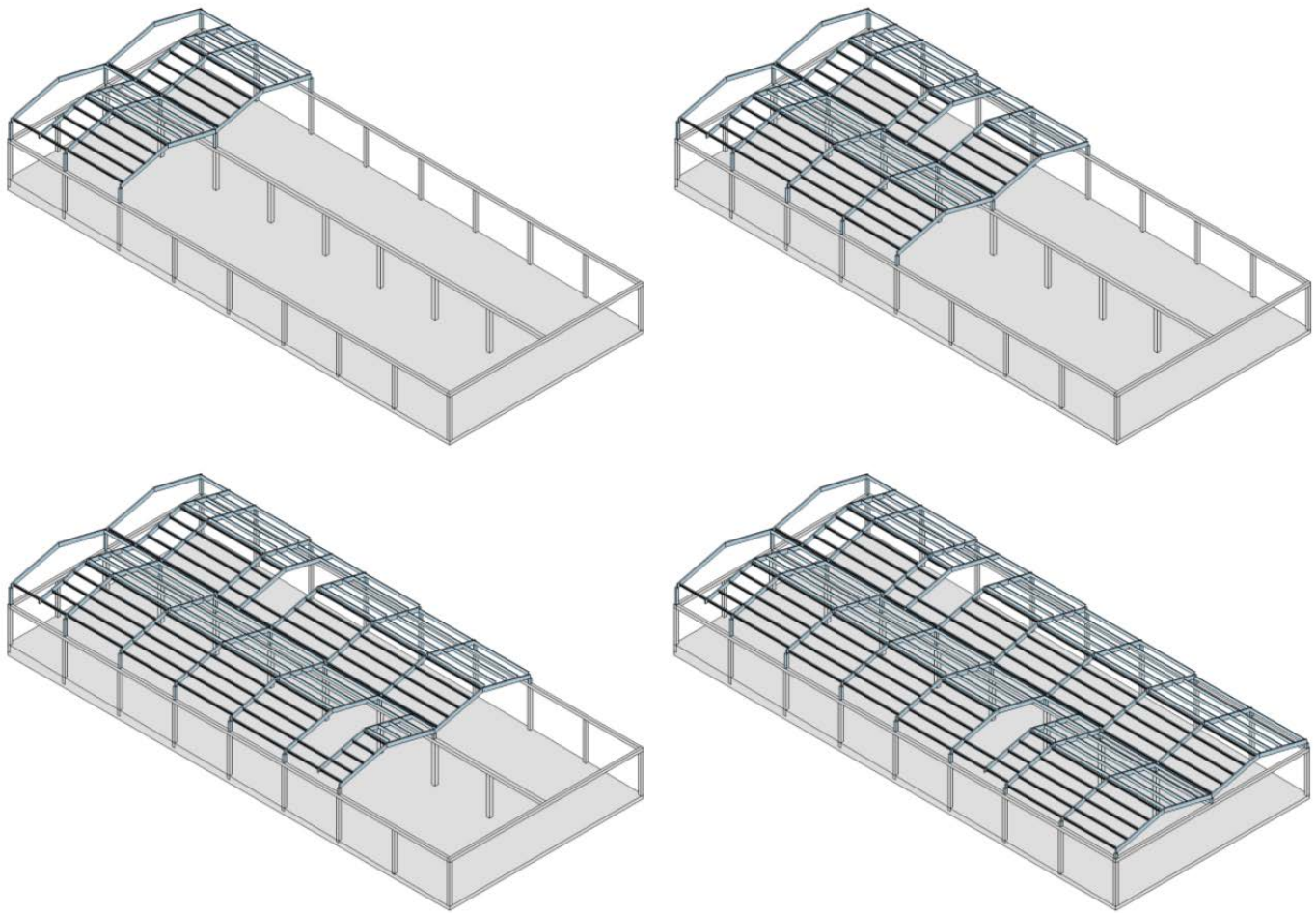
- Modelo de la cubierta, LOD 300:

Todos los modelos 3D estructurales fueron realizados de acuerdo a los planos y especificaciones entregadas por el diseñador estructural. El grupo de arquitectura se encargó de ejecutar el modelado y coordinar que la información suministrada correspondiera a las características determinadas en la arquitectura y necesidades de los clientes.



*Ilustración 59: Modelo de diseño estructural.
Cortesía de PVG Arquitectos, consultores técnicos.*

El modelo realizado para por los diseñadores estructurales se hizo únicamente para la simulación de cargas, por lo que no se obtuvo ninguna utilidad significativa para el modelado y coordinación BIM. Como parte de la entrega de información estructural y para facilitar la comprensión del funcionamiento de la estructura, los consultores enviaron planos de formato CAD e imágenes de referencia. Con la información recibida, el grupo de arquitectura realizó la primera versión del modelo estructural de la cubierta en el que se hizo también el primer análisis de interferencias. La versión que se presenta a continuación, fue la versión enviada a los consultores para su revisión y aprobación.



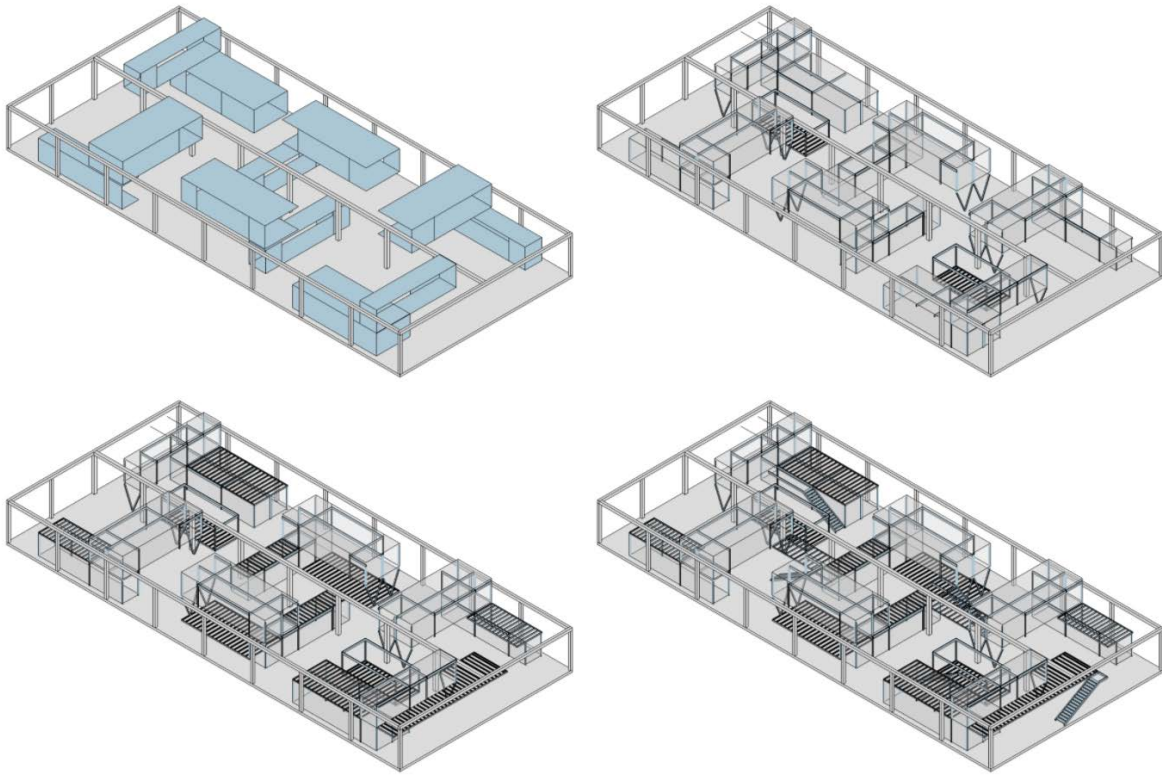
*Ilustración 60; Modelo 3D estructura de cubierta.
Elaboración propia.*

- Modelos de los contenedores, LOD 300:

El proceso de elaboración de los modelos 3D de las estructuras complementarias de los contenedores se realizó, al igual que la cubierta, con la información planimétrica suministrada por los consultores. El proceso de diseño estructural se hizo en un flujo iterativo de información, en el cual se elaboraron unos modelos arquitectónicos con superficies que marcaban las aperturas y un pre-dimensionamiento de columnas y vigas en su tamaño y forma, de manera que no se diseñaran elementos con dimensiones muy lejanas a las necesarias. Una vez recibida la información técnica en planos, se modelaron todos los elementos en 3 grupos:

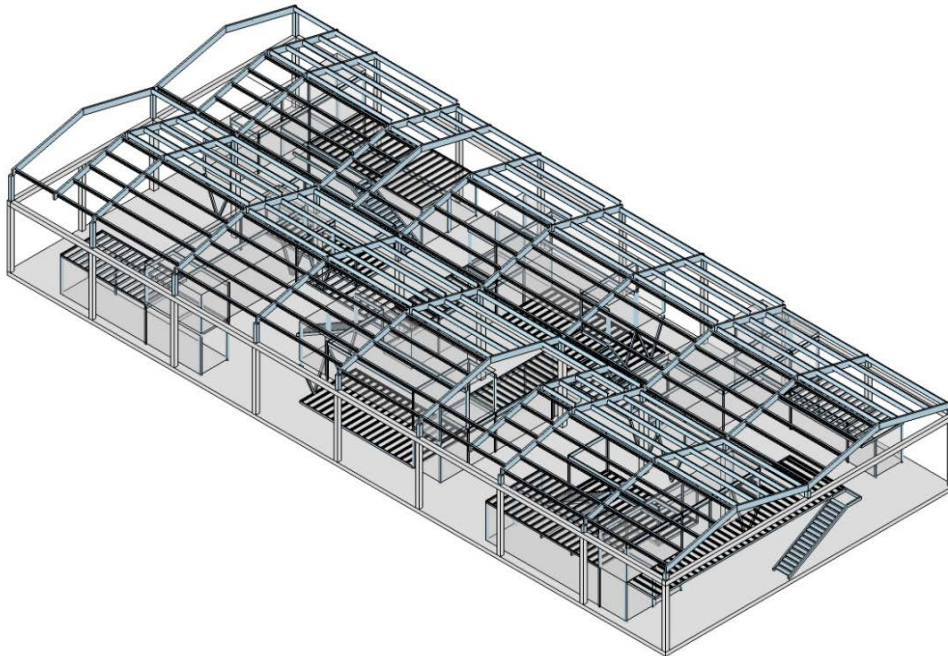
- Columnas y vigas principales
- Estructuras de decks y plataformas
- Escaleras y puentes conectores.

A continuación, se muestran los modelos en su orden de construcción.



*Ilustración 61: Modelos 3D del proceso de diseño y coordinación estructural.
Elaboración propia.*

Finalmente, después de las respectivas correcciones y ajustes, se obtiene un modelo completo de la estructura del proyecto.

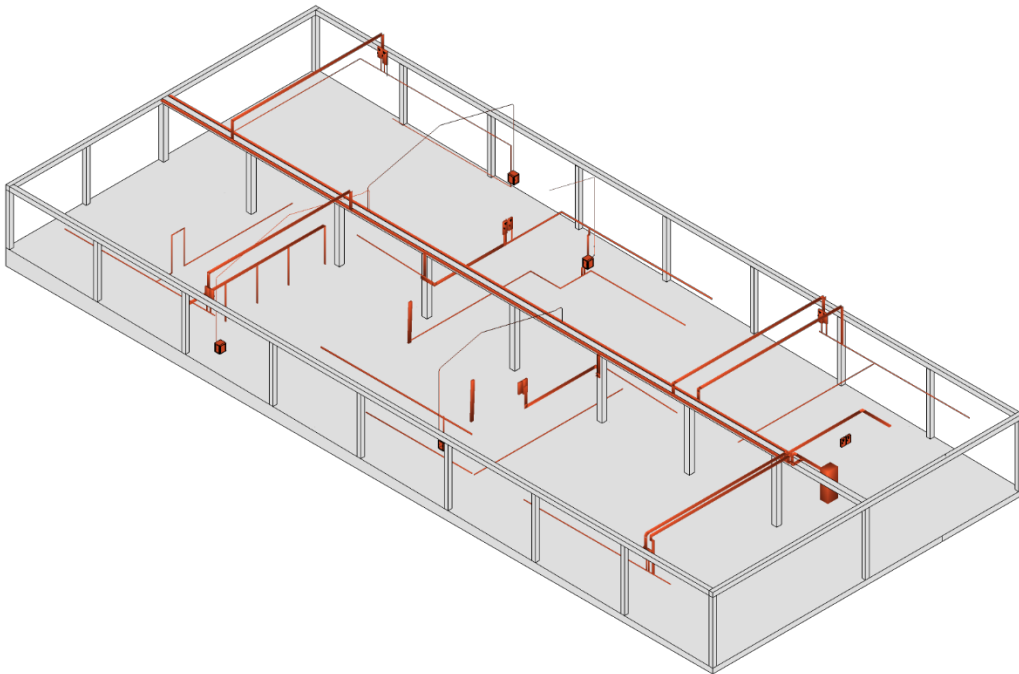


6.3.2.3. Modelado 3D Redes Técnicas

La construcción de los modelos 3D de las redes técnicas se realizó una vez se terminaron los modelos de la arquitectura y la estructura. El trabajo se ejecutó de forma colaborativa con cada uno de los consultores técnicos que diseñaron los sistemas:

- Modelos diseño eléctrico:

El proceso de modelado se llevó a cabo después de hacer una primera revisión de los diseños en planos bidimensionales, en los que se trazaron las rutas principales y se definió que todas las redes serían aéreas. El modelo muestra como a través de una canaleta principal adosada a la estructura de cubierta y pórticos en concreto, se reparten los circuitos, que luego, con redes secundarias ingresa cada uno de los espacios.

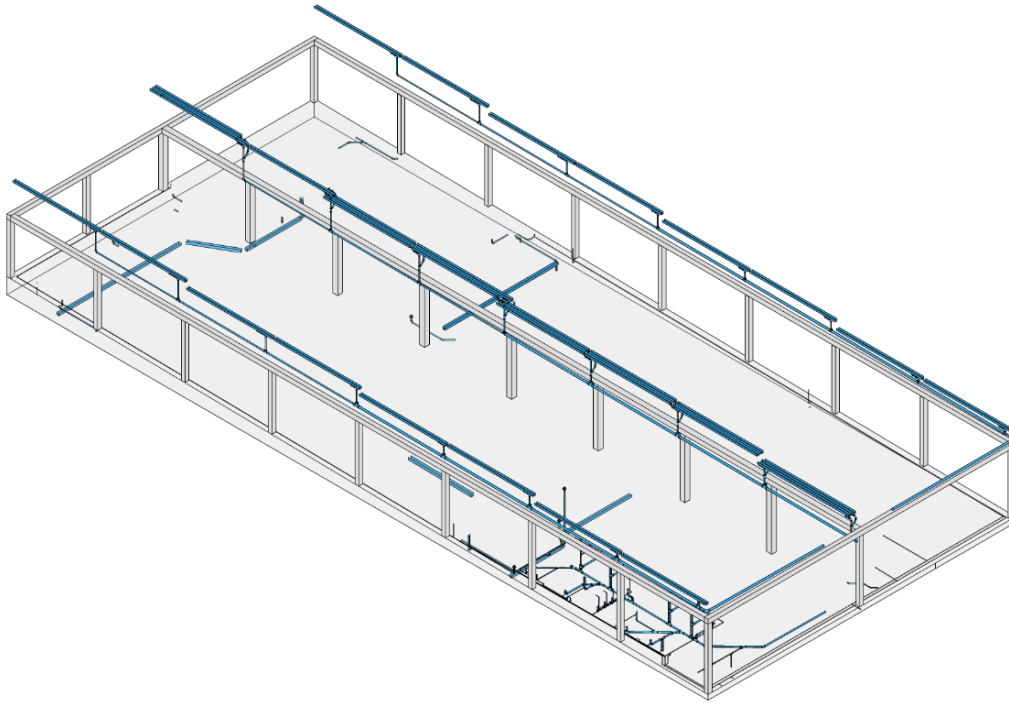


*Ilustración 63: Modelo 3D red eléctrica.
Cortesía de PVG Arquitectos, consultores técnicos.*

- Modelos diseño hidráulico, sanitario y aguas lluvias

Al igual que el modelo eléctrico, primero se hicieron revisiones y ajustes en planos. Allí se definió la ubicación y funcionamiento de las zonas húmedas para luego ser modeladas. El diseño se compone por un sistema de desagües para aguas lluvias, canales, bajantes y colectores; sistema de desagües

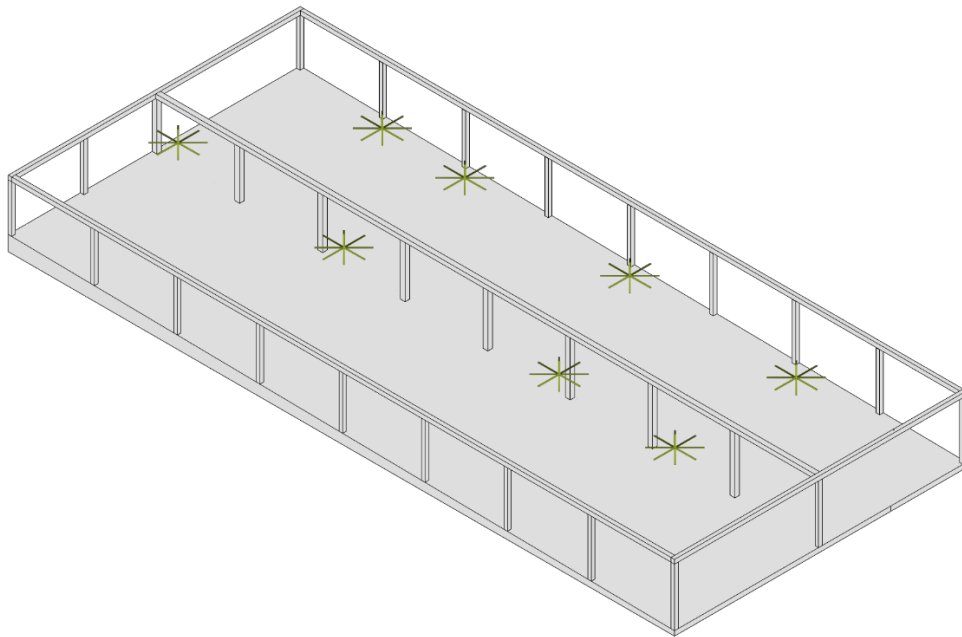
de piso y cárcamos, asociado a patios y jardines; sistema de desagües para aguas residuales, baños y cocinas; y sistema de abastos.



*Ilustración 64: Modelo 3D Red Hidráulica.
Cortesía de PVG Arquitectos, consultores técnicos.*

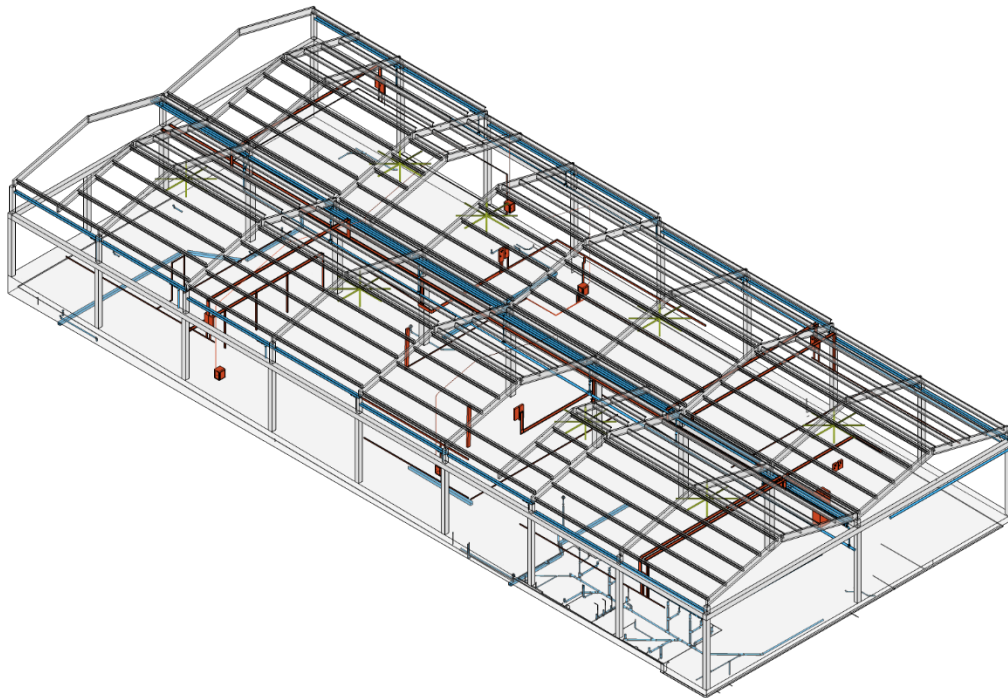
- Modelos sistema de climatización:

Los sistemas de ventilación se localizaron en la planta de cubiertas que contenía la información estructural. Una vez definidas las vigas de las cuales se adosarían los ventilares de baja velocidad y alto caudal, se procedió a modelarlos.



*Ilustración 65: Modelo 3D sistemas de climatización.
Cortesía de PVG Arquitectos, consultores técnicos.*

Finalmente, se obtiene un modelo de las redes técnicas del proyecto.



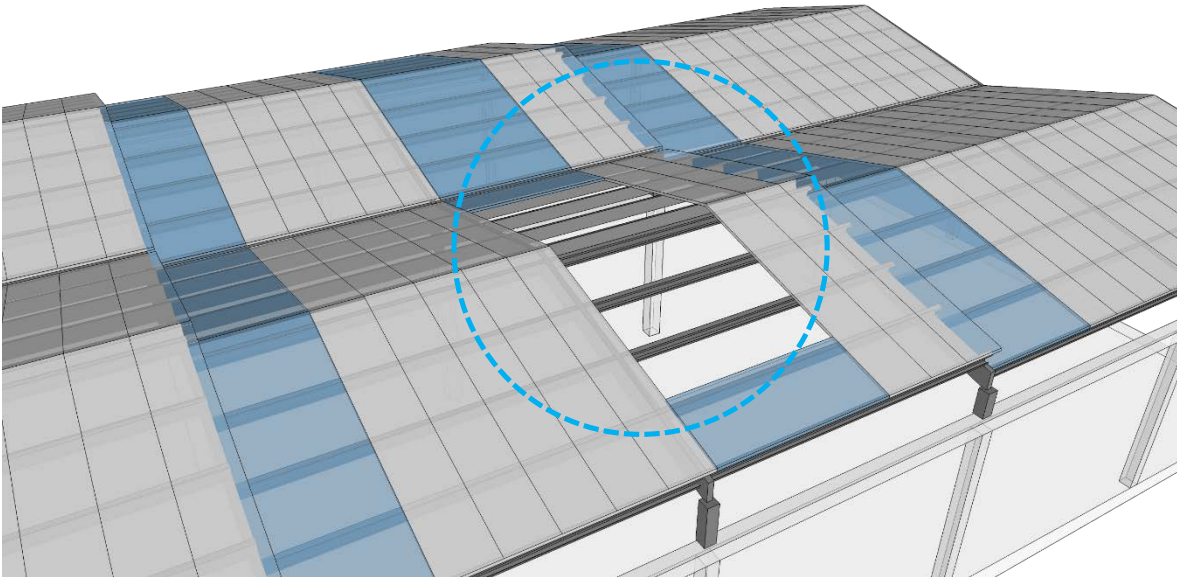
*Ilustración 66: Modelo 3D del sistema de redes técnicas.
Elaboración propia.*

6.3.2.4. Coordinación Técnica

El proceso de coordinación técnica se llevó a cabo en dos etapas. La primera, la revisión de los diseños preliminares en planos. La segunda, el proceso de modelado 3D en el cual se evidenciaron las interferencias. El equipo de arquitectura, encargado de la coordinación técnica, realizó informes de las interferencias encontradas, algunas de ellas se reportan a continuación:

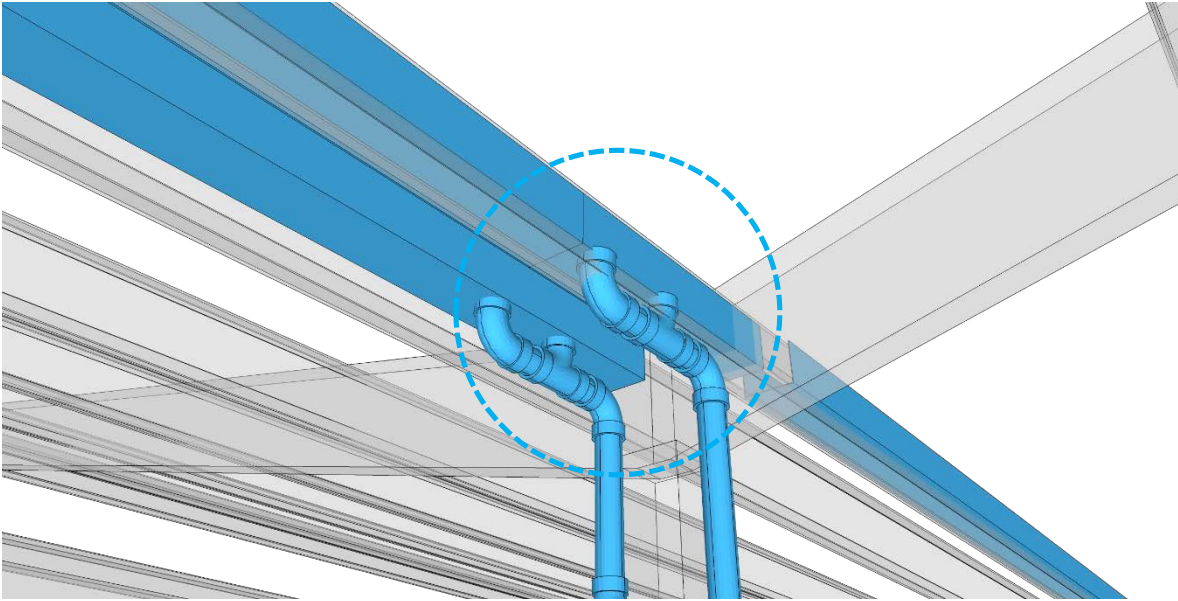
- Diseño Estructural:

El proceso de coordinación del diseño estructural fue muy sencillo, ya que desde el diseño arquitectónico se planteó el sistema columnas y vigas con su localización y tamaños máximos pensando en los perfiles comerciales. Por lo tanto, en el diseño estructural de los contenedores no se encontraron interferencias. En el diseño estructural de la cubierta, se encontraron interferencias en las zonas de vacíos para patios. Las correas longitudinales de la cubierta pasaban de lado a lado sin necesidad. En el diseño definitivo, se planteó una nueva viga transversal y se cortaron las correas, de manera que, a futuro se pueda instalar un sistema de techo móvil sin problemas.



*Ilustración 67: Interferencia 1, diseño estructural.
Elaboración Propia.*

También se encontró que las correas que llegan al punto más bajo del techo, donde están las canoas, habían quedado muy cercanas entre sí. Fue necesario despegarlas un poco para que las dos canoas y sus bajantes pudieran instalarse sin problema.



*Ilustración 68: Interferencia 2, diseño estructural.
Elaboración Propia.*

- Diseño Eléctrico:

El sistema principal de distribución de circuitos que cruza longitudinalmente la bodega para alimentar todas las estaciones de trabajo, se compone de 2 bandejas porta cables. Una de ellas, al estar al mismo costado que los bajantes de aguas lluvia centrales, genera un choque que imposibilitaba la construcción de la red. Dado el corto espacio entre las redes y los contenedores no se podía mover ninguno de los dos sistemas por completo, la solución encontrada fue hacer desvíos en las bandejas eléctricas solo en las zonas de choque.

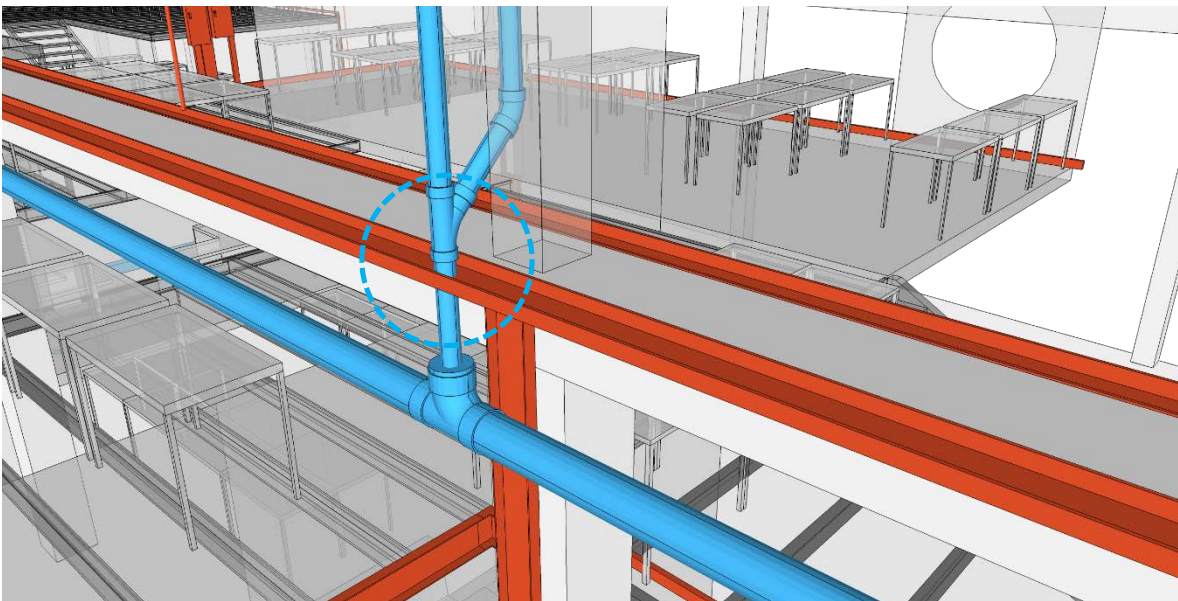
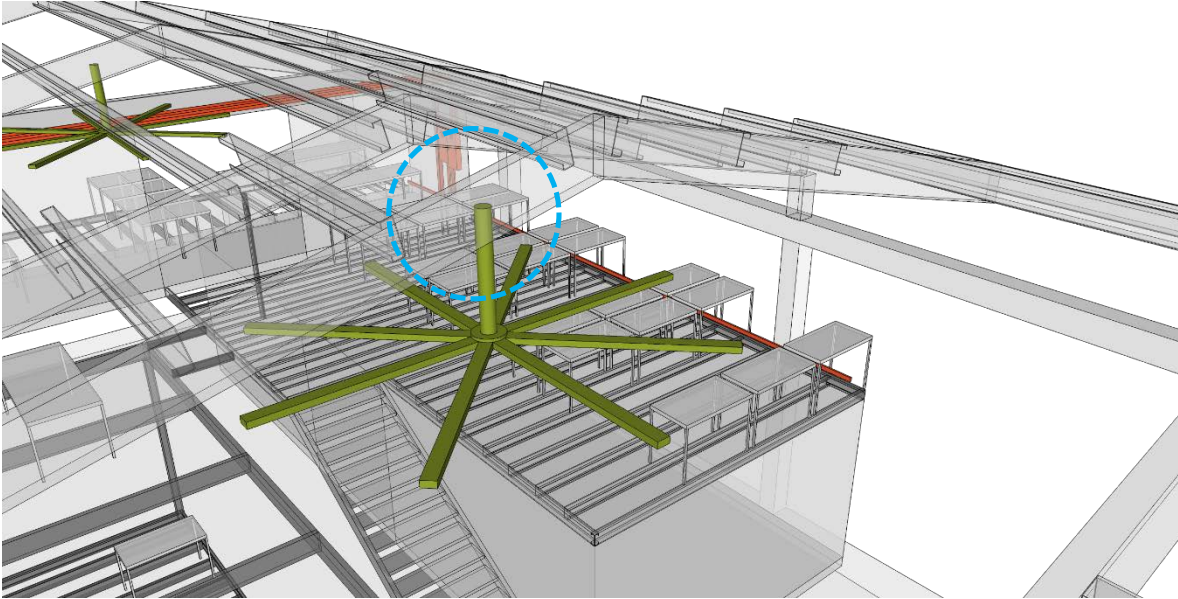


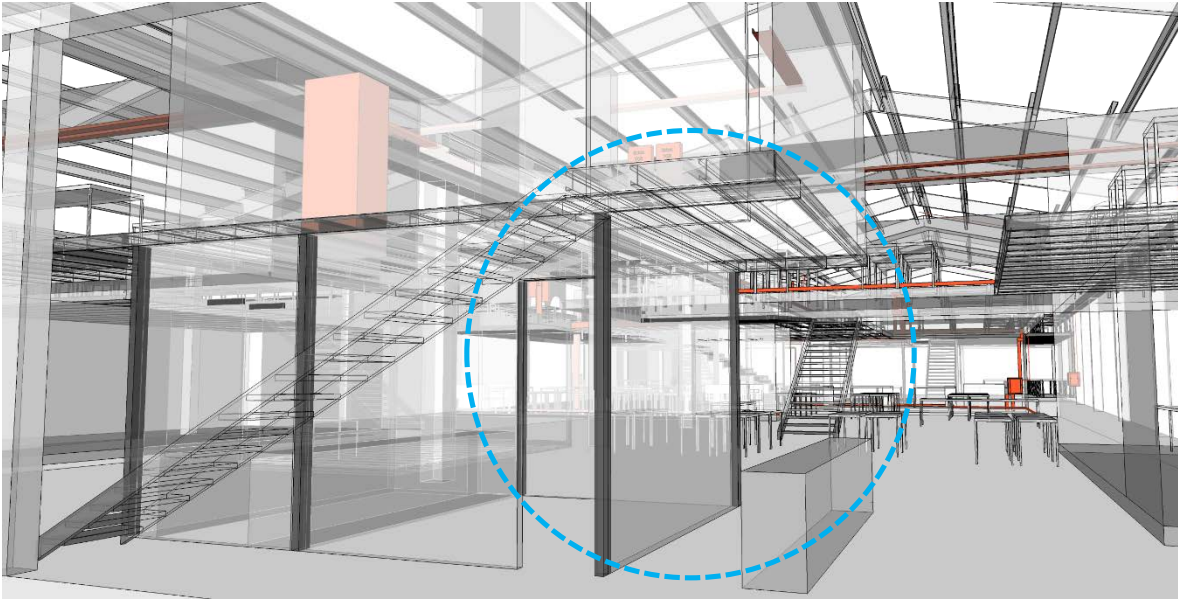
Ilustración 69: Interferencia 3, diseño eléctrico.

Los ventiladores dispuestos para el sistema de climatización, estaban desabastecidos de energía eléctrica.



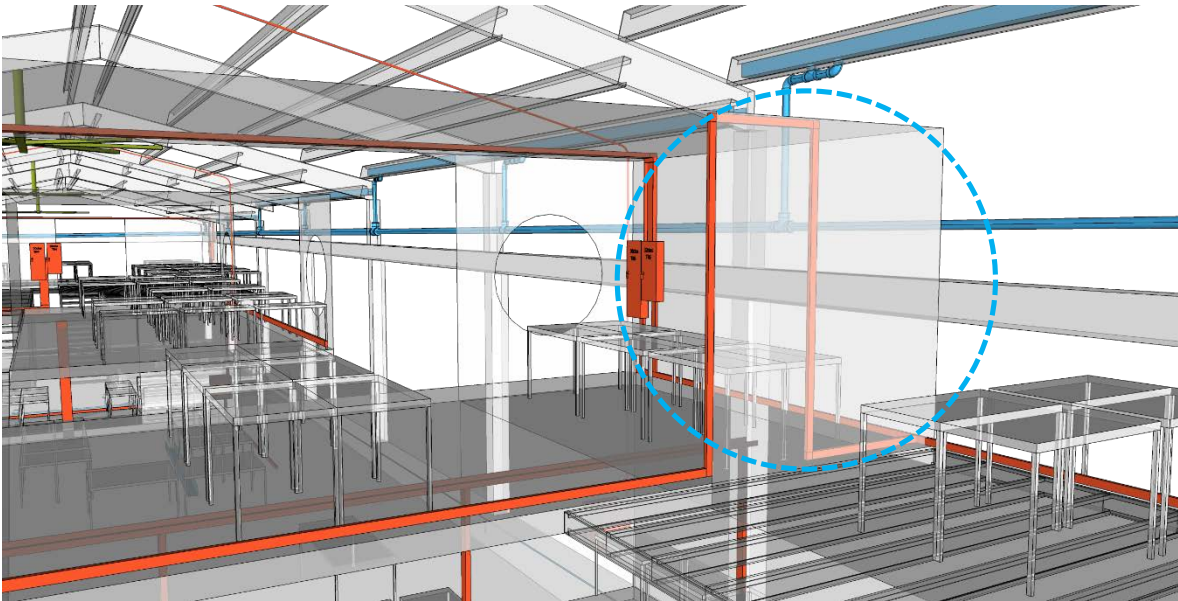
*Ilustración 70: Interferencia 4, diseño eléctrico.
Elaboración Propia.*

Dentro de los planos suministrados por los diseñadores, todas las zonas del proyecto se encontraban abastecidas por red eléctrica. Pero cuando se iniciaron los modelos, algunas zonas quedaron desabastecidas, tales como: recepción, auditorio al aire libre, algunos puestos de trabajo en el primer piso, las cabinas telefónicas, entre otros.



*Ilustración 71: Interferencia 5, diseño eléctrico.
Elaboración Propia.*

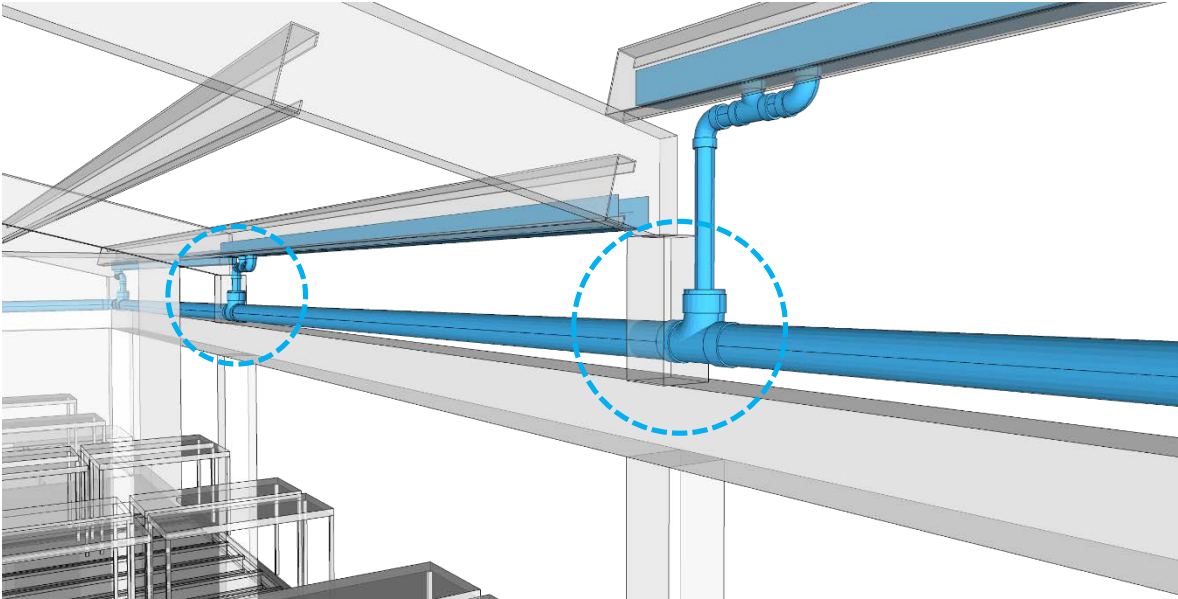
En algunos contenedores, las redes no coincidían con los vanos dispuestos en la arquitectura, debido a que los consultores estaban trabajando sobre modelos 3D desactualizados.



*Ilustración 72: Interferencia 6, diseño eléctrico.
Elaboración Propia.*

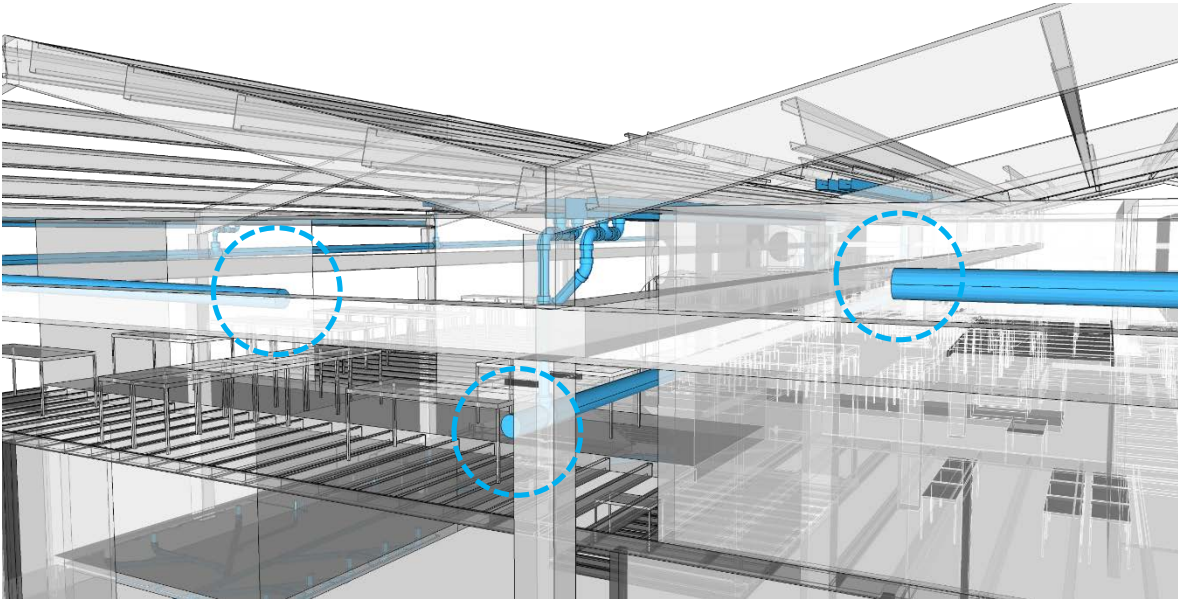
- Diseño Hidrosanitario:

Los colectores de los bajantes de aguas lluvias colisionaban contra las columnas metálicas que soportan la cubierta.



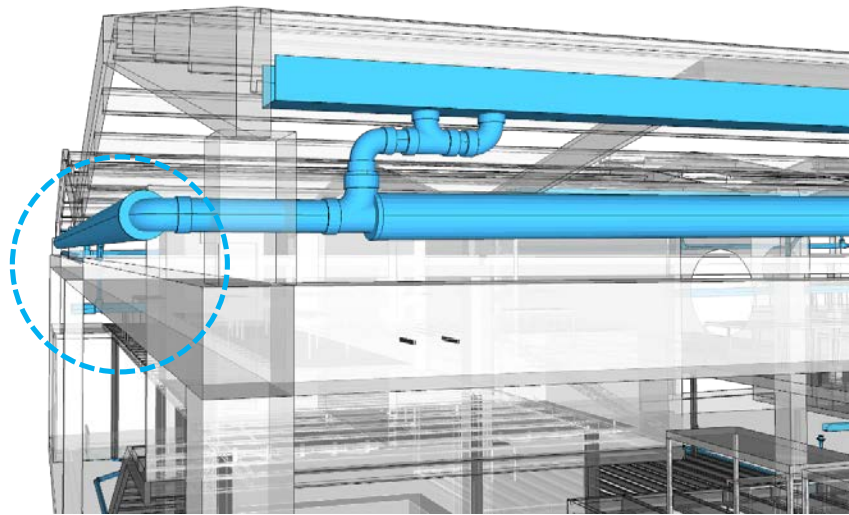
*Ilustración 73: Interferencia 7, diseño hidrosanitario.
Elaboración Propia.*

Quando los colectores de aguas lluvias llegan a la fachada frontal, se quedan sin conexión. No se planteó el último tramo de tubería que conduce las aguas hacia las cajas de empalme exteriores.



*Ilustración 74: Interferencia 8, diseño hidrosanitario.
Elaboración Propia.*

Los colectores de aguas lluvias que llegan a la fachada frontal se salen del predio, quedando a la vista por fuera del edificio y dañando la estética del proyecto.



*Ilustración 75: Interferencia 9, diseño hidrosanitario.
Elaboración Propia.*

Una vez se presentaron los informes con las interferencias, cada uno de los equipos procedió a hacer los ajustes respectivos y así obtener un modelo 3D coordinado, revisado y sin interferencias, listo para construcción.



*Ilustración 76: Modelo 3D coordinado, Arquitectura, Estructura y Redes.
Elaboración propia.*

6.3.2.5. Modelado 4D

Para realizar el modelado 4D se tomaron dos insumos: los modelos 3D previamente realizados y coordinados, y la programación de obra en Gantt. Ya que la programación fue realizada por consultores externos, las actividades no necesariamente correspondieron a los elementos modelados, por lo que fue necesario hacer adaptaciones a la programación respetando los tiempos y rendimientos, pero haciendo coincidir las actividades programadas con los conjuntos modelados.

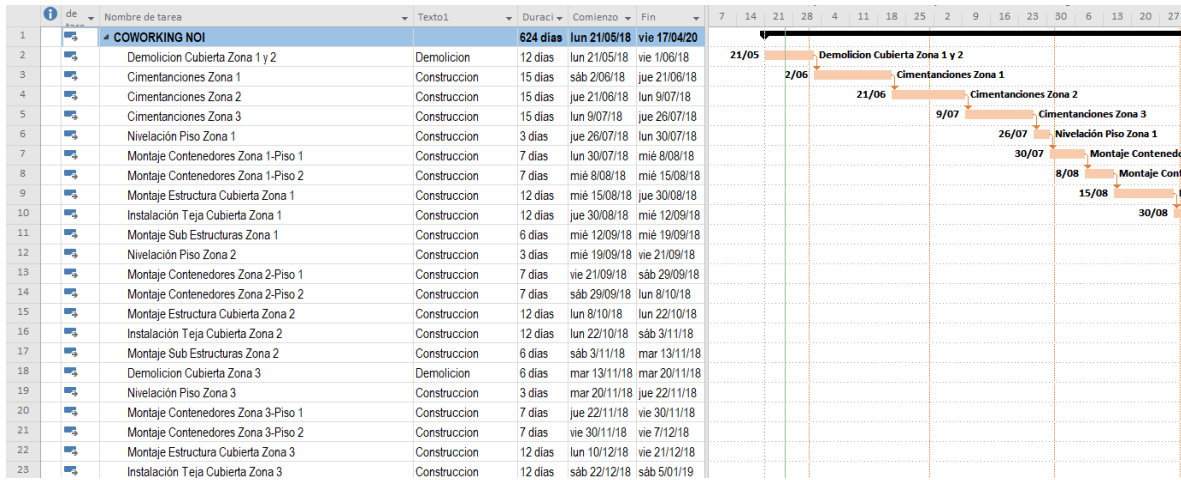


Ilustración 77: Programación de obra en Gantt adaptada para el modelo 4D. Elaboración Propia.

Dado que el modelo 3D tenía múltiples objetos, componentes y grupos, fue necesario separarlos en conjuntos de selección que correspondieran con las actividades de la programación de obra.

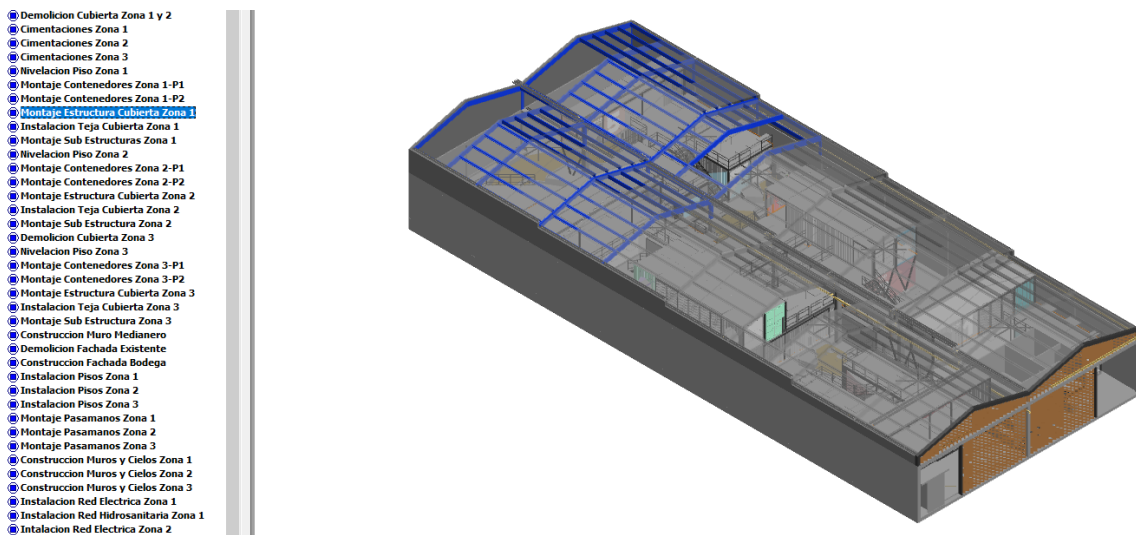


Ilustración 78: Modelo 3D en Navisworks. Desarrollo de los conjuntos de selección.

Elaboración propia.

Tanto los conjuntos de selección como las actividades de la programación se dividieron en 3 zonas de desarrollo, a partir de las cuales se construiría el proyecto. Una vez listos los conjuntos y las actividades, se procedió a vincularlos entre sí, obteniendo el modelo 4D que contiene la información geométrica y los datos suministrados en el modelado 3D y la línea de tiempo suministrada por la programación de obra.

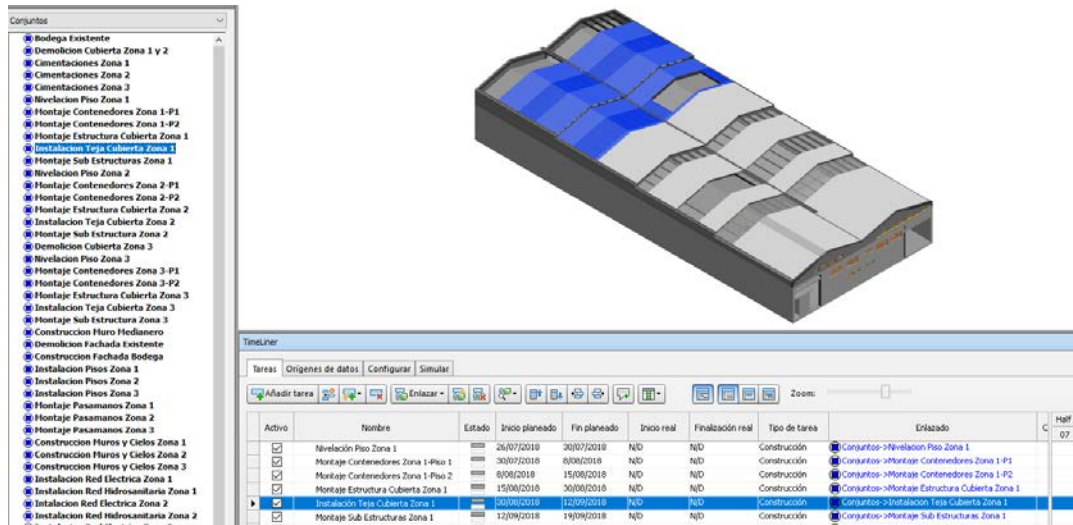


Ilustración 79: Modelo 4D, vínculos entre Modelo 3D y programación de obra.
Elaboración Propia.

Con el modelo 4D listo, se procedió a hacer la simulación. A continuación, se muestran un resumen de la simulación en 9 pasos que permiten visualizar las zonas de trabajo y el orden lógico de la construcción:

- Paso 1: Actividades de demolición de la cubierta existente en 2 de las 3 zonas del proyecto.

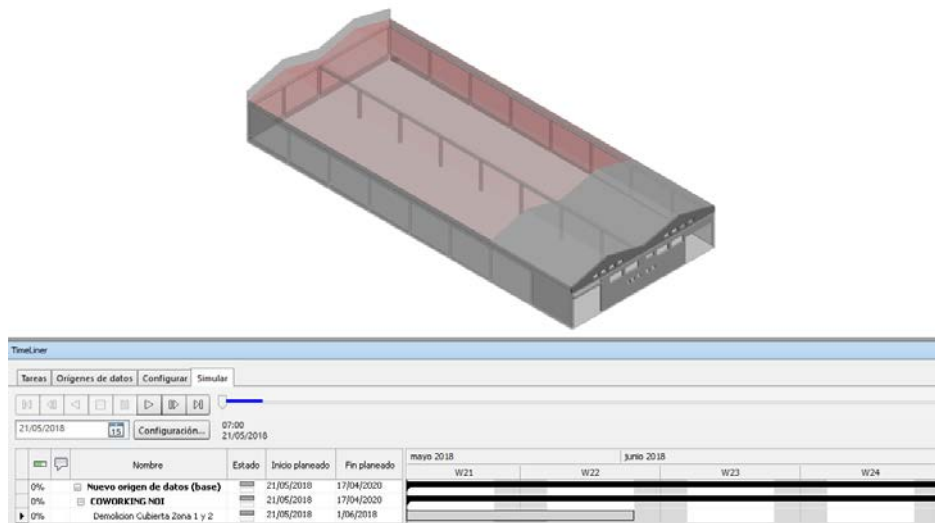


Ilustración 80: Paso 1 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 2: Actividades de cimentaciones, nivelaciones, montaje de contenedores y cubierta en la zona 1.

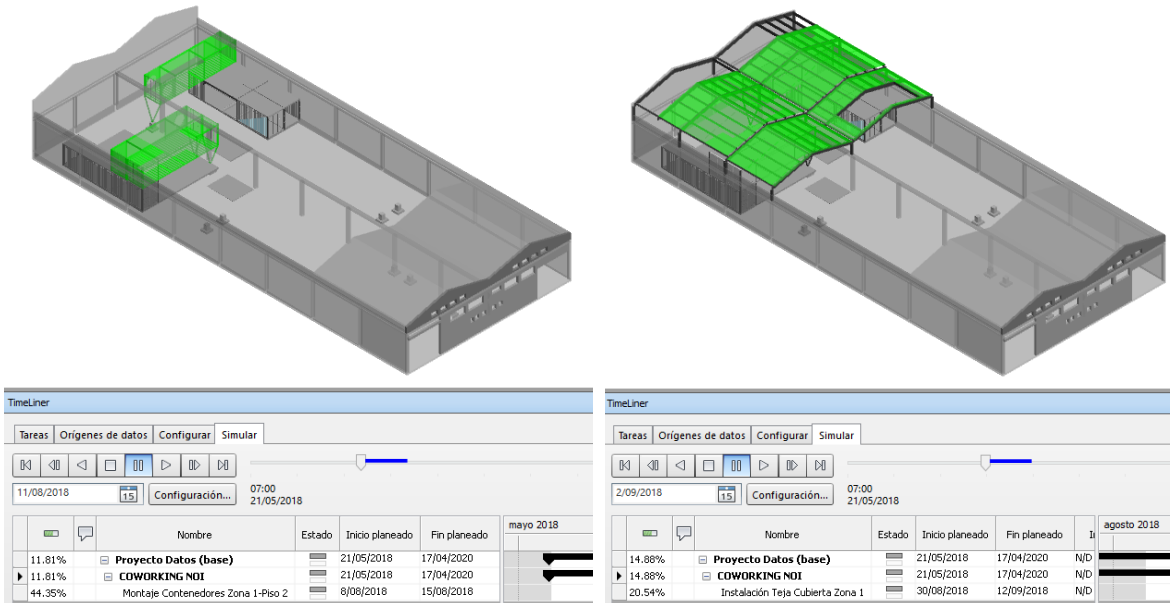


Ilustración 81: Paso 2 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 3: Se ejecutan las actividades de nivelaciones, montaje de contenedores y cubierta en la zona 2, para luego proceder al desmonte de la cubierta en la zona 3.

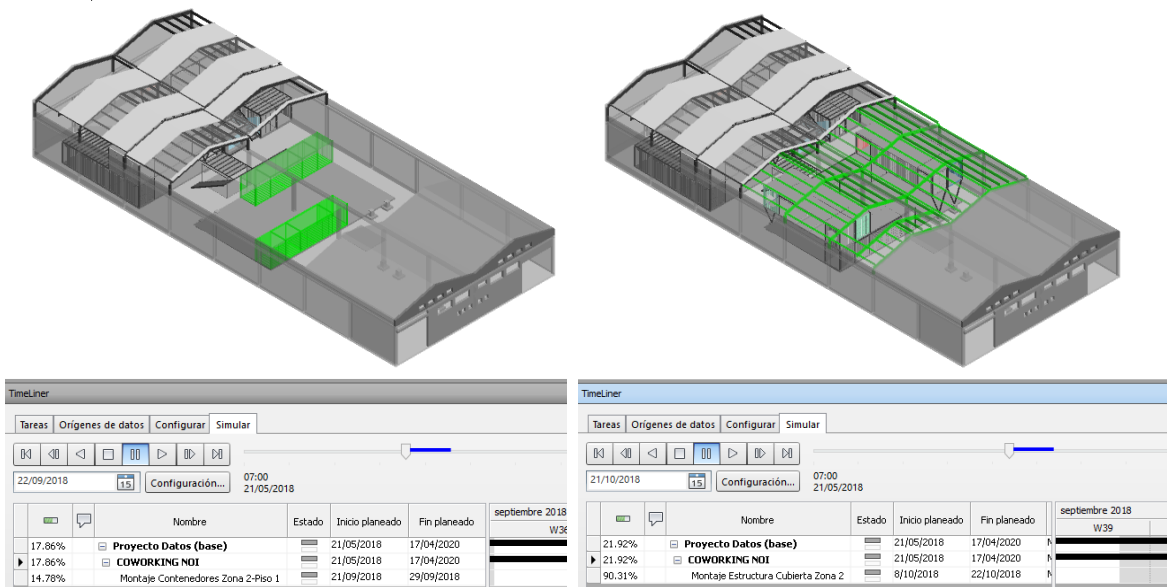


Ilustración 82: Paso 3 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 4: Actividades de desmonte de cubierta, nivelaciones, montaje de contenedores y cubierta en la zona 3.

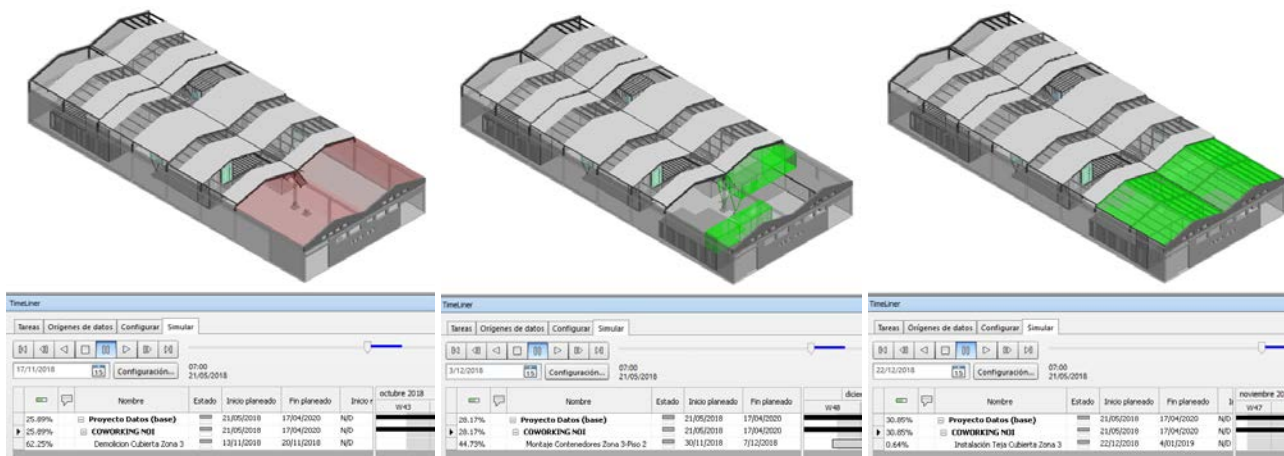


Ilustración 83: Paso 4 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 5: Actividades de montaje de las subestructuras metálicas, construcción de muros medianeros y demolición de la fachada existente.

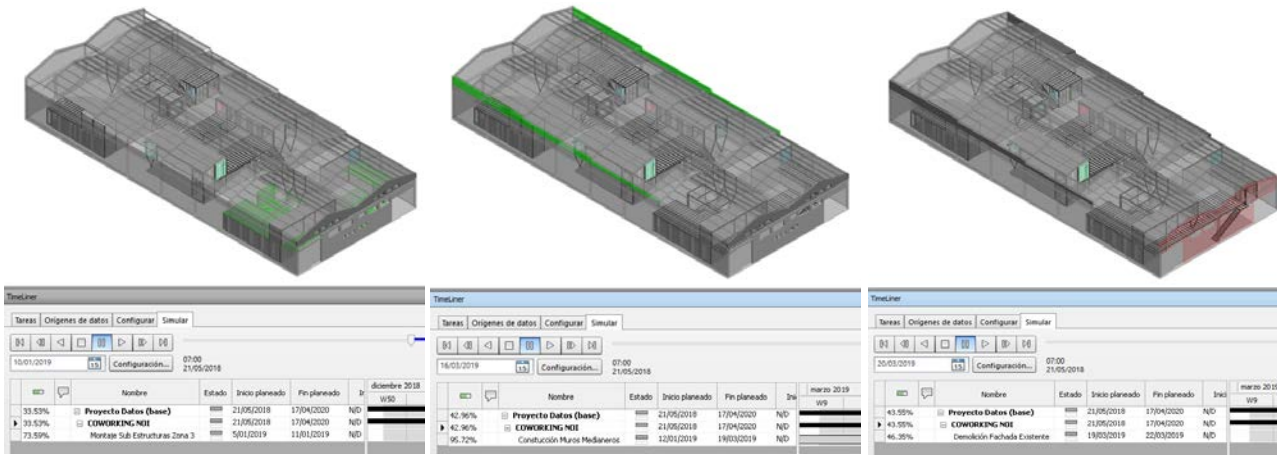


Ilustración 84: Paso 5 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 6: Actividades de construcción de pisos y plataformas en segundo nivel en las 3 zonas del proyecto, la igual que los primero muros y cerramientos. De forma paralela se ejecuta la construcción de la fachada.

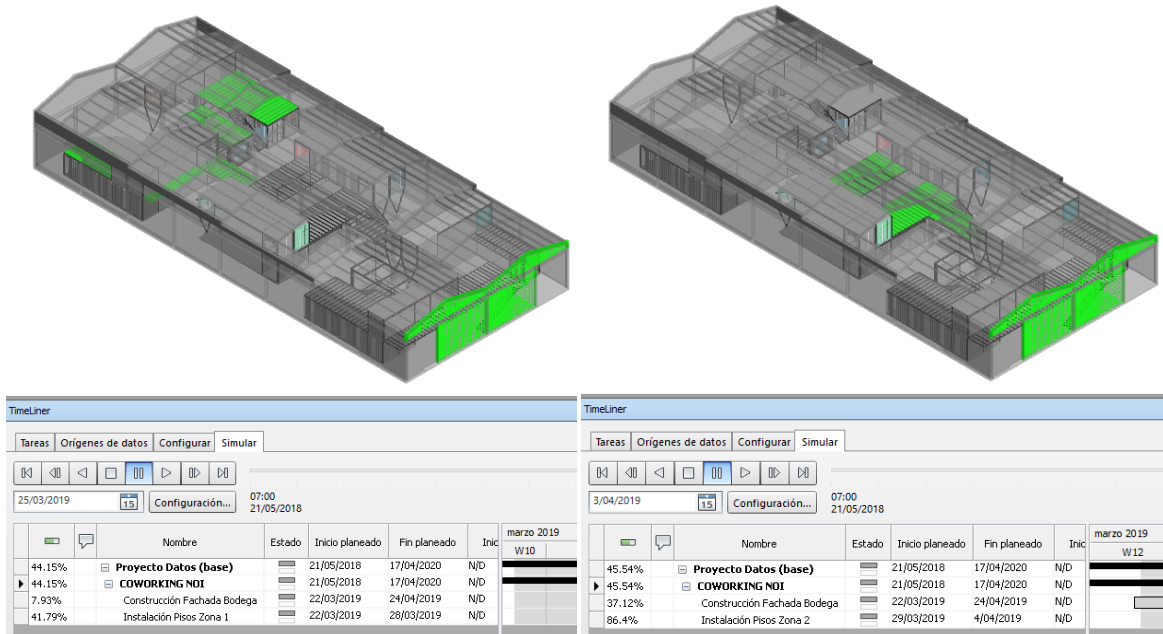


Ilustración 85: Paso 6 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 7: Actividades de construcción de muros y cielos, carpintería metálica menor y todas las redes que se desarrollan en cubiertas y cielos

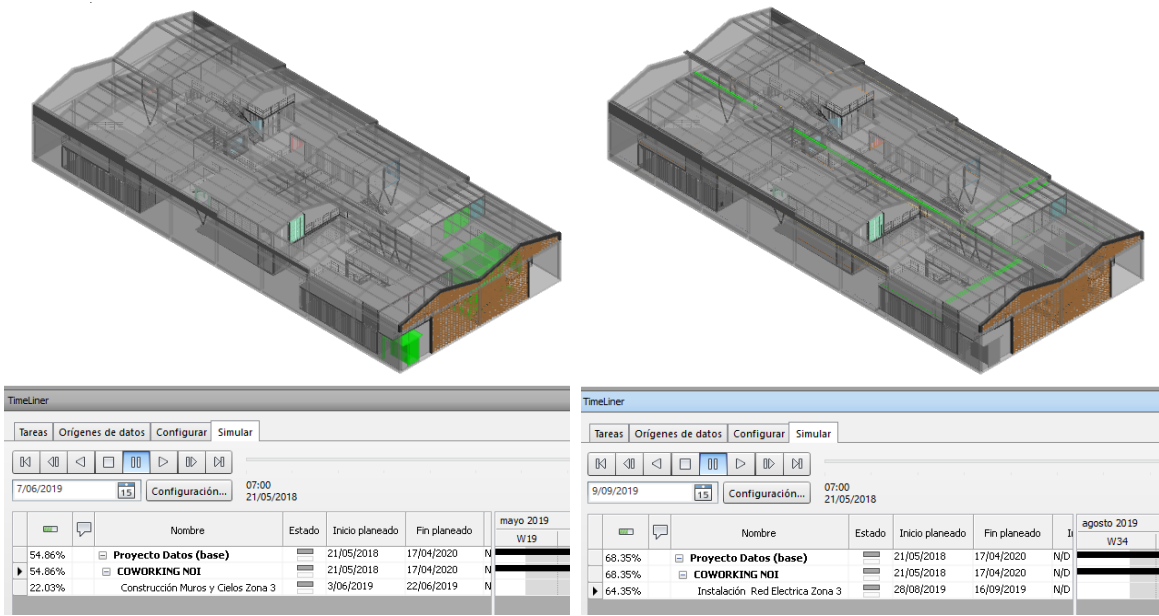


Ilustración 86: Paso 7 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 8: Actividades de ventanearía, puertas, cerramientos en madera, todo lo relacionado con jardineras y finalmente, la ubicación del mobiliario.

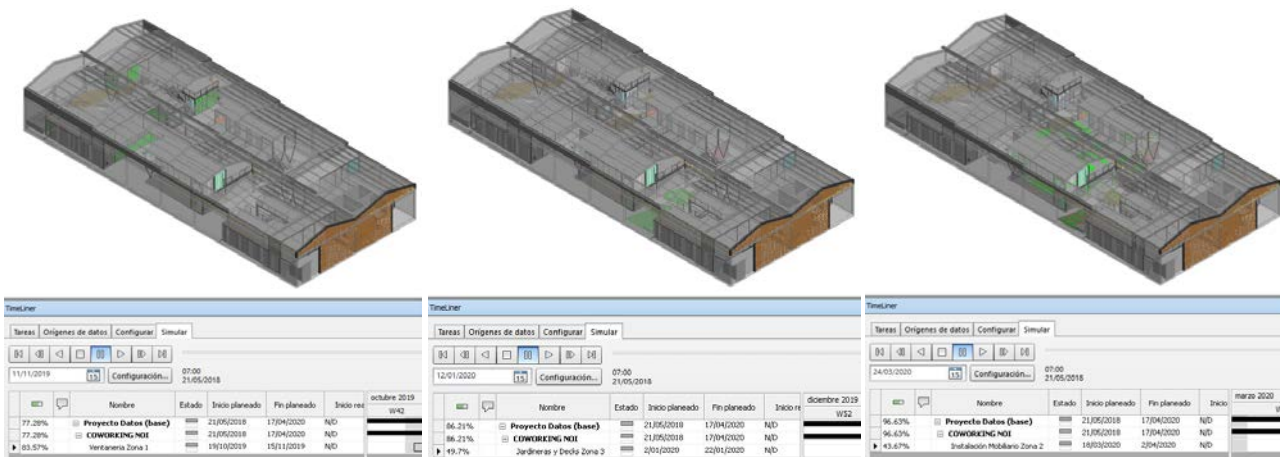
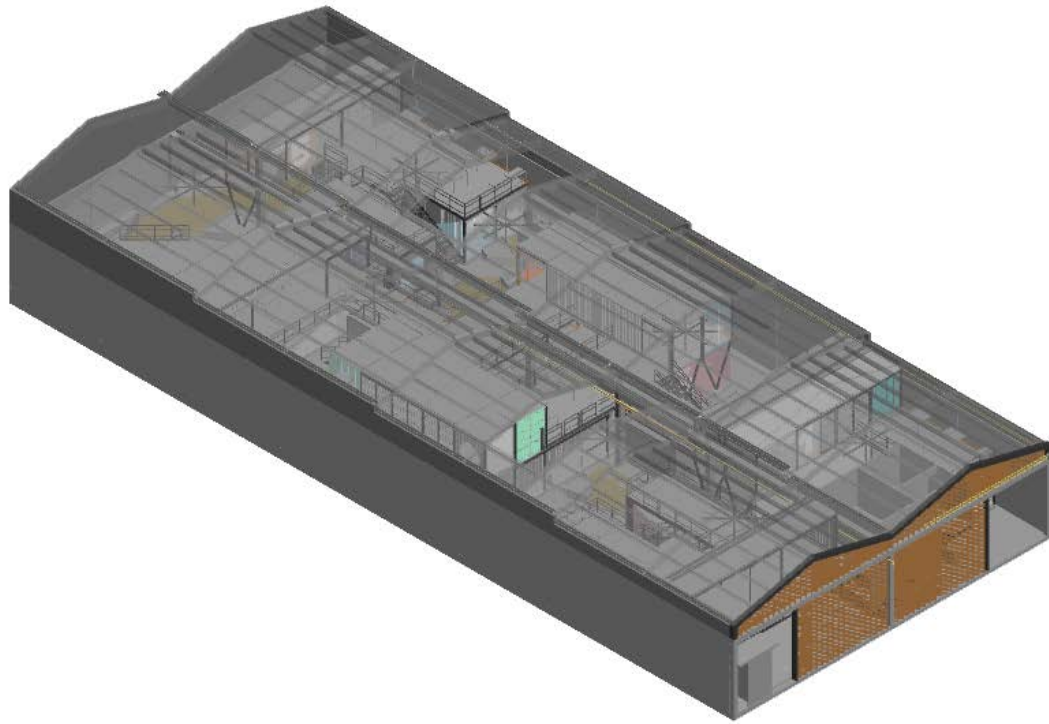


Ilustración 87: Paso 8 simulación 4D.
Elaboración propia.

- Paso 9: El proyecto se ve construido en su totalidad.



*Ilustración 88: Paso 9 simulación 4D.
Elaboración propia.*

6.3.3. Desarrollo de la Construcción: Herramientas *LPS*

En el presente apartado se muestra el proceso de planificación e implementación de las herramientas del LPS. Se inicia por los aspectos organizacionales de la obra, en los que explica la participación y funciones de los distintos actores y equipos de trabajo. Posteriormente, se muestran los ejercicios de planificación y puesta en práctica de los conceptos del LPS.

6.3.3.1. Organización Preliminar

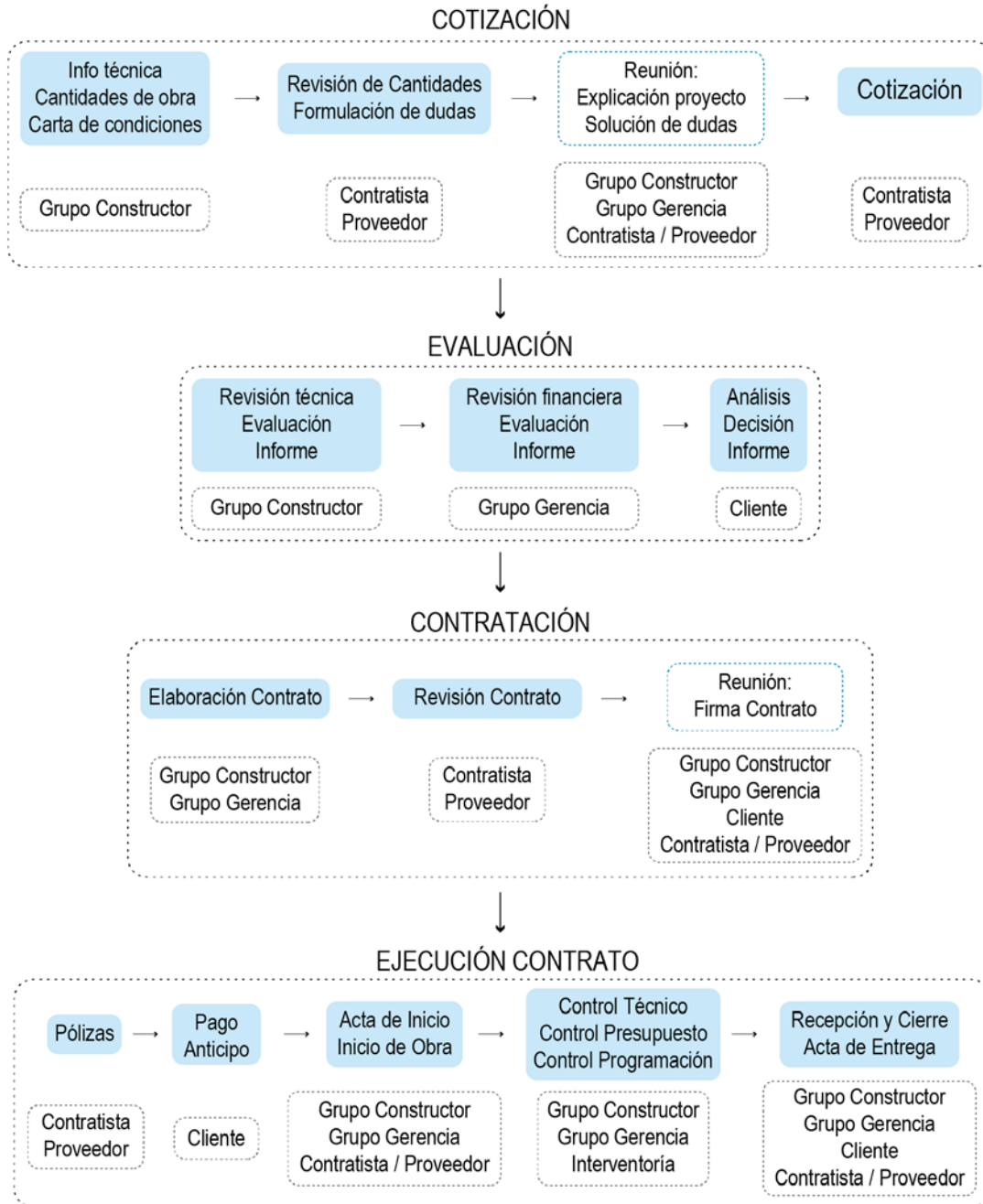
Antes de iniciar el proceso de construcción se consideró pertinente definir con claridad los procesos y roles para la toma de decisiones y ejecución de los contratos. Cabe resaltar que el proyecto se enmarca en la categoría de mediana escala (ver ilustración 10), por lo tanto, las decisiones, procesos administrativos y técnicos son manejados por tres equipos: constructores, gerencia y clientes.

Con el objetivo de que cada grupo involucrado tuviera pleno conocimiento de sus labores y responsabilidades, se hizo un mapa conceptual de los procesos técnicos y administrativos previos a la ejecución de cualquier actividad (ver ilustración 89), para así determinar el tiempo de respuesta del equipo de trabajo (ver tabla 11).

Desde las etapas de coordinación técnica en las que los consultores de programación de obra inician sus labores, se definen los tiempos de los contratos, los ritmos de trabajo y los rendimientos. Fue insumo clave para la planificación, la identificación de tiempos y actividades previas a la ejecución del contrato, lo que ayudó a determinar cuándo se deben iniciar procesos de cotización, contratación, pagar anticipos, emitir las pólizas, solicitar suministros de materiales, entre otros; cumpliendo la programación general y permitiendo la continuidad del flujo de trabajo.

6.3.3.1.1. Organización Administrativa

En este apartado se diseñó el proceso por medio del cual se iniciaron, desarrollan y finalizan los contratos y actividades de la obra. Se resumieron en 4 pasos: cotización, evaluación, contratación y ejecución.



*Ilustración 89: Mapa conceptual de la organización administrativa.
Elaboración Propia.*

La información graficada se amplía con la siguiente descripción:

- Proceso de cotización:
 - Información técnica: se revisa y organiza la información técnica que se le envía a los contratistas para cotizar. Esto incluye planos y detalles técnicos, al igual que las especificaciones de materiales y procesos requeridos.

- Cantidades de obra: cuando se trata de un contrato de suministro de materiales o productos, se le entrega al proveedor las cantidades de obra. Cuando se trata de contratos a todo costo o por precios unitarios, el contratista se encarga de obtener sus propias cantidades, las cuales son parte integral de la cotización.
 - Carta de condiciones: con el envío de información va una carta con las condiciones para cotización. En esta se solicita la información empresarial (cartas de recomendación, datos generales de la empresa, portafolio, experiencia en proyectos similares, etc.) para ser creado como proveedor del proyecto. Igualmente se determinan los alcances técnicos/financieros para el desarrollo del contrato.
 - Solución de dudas: los contratistas o proveedores envían un informe con las dudas que necesitan resolver para cotizar. Para esto se puede programar una reunión y explicar el proyecto.
 - Entrega de la cotización: el contratista envía la cotización y los equipos de gerencia y construcción revisan la información.
- Proceso de evaluación:
- Calificación técnica: el equipo de Construcción emite un informe de recomendaciones definiendo, desde el punto de vista técnico, el mejor contratista. Este informe lleva anexo el formato de evaluación técnica de contratistas (ver tabla 8). La calificación debe ser binaria, donde 1 significa que el contratista o proveedor cumple con el criterio evaluado y 0 que no cumple.

Evaluación Técnica: Contratistas y Proveedores	
Contratista / Proveedor: Contratista A	
Actividad o Contrato: Estructura Metálica	
Criterio de Evaluación	Calificación
Cantidades: Se hizo un despiece detallado del contrato. las cantidades obtenidas coinciden con el presupuesto de obra y los diseños entregados	1
Especificaciones Técnicas: Presenta con claridad las especificaciones técnicas de materiales, mano de obra y equipos.	0
Equipo y Herramienta: Cuenta con equipos o herramienta para optimizar tiempos, garantizar la calidad y/o disminuir riesgos	0
Seguridad Industrial: Cuenta con certificaciones, personal calificado y en caso de ser necesario, un encargado SISO	1
Confianza: Se han tenido experiencias exitosas en trabajos previos	1
Cumplimiento: Es cumplido, responsable y oportuno con las garantías.	1
Profesionales de apoyo: Cuenta con profesionales capacitados que apoyan el proceso constructivo	1
Total	71%

Tabla 8: Evaluación técnica de contratistas o proveedores.
Elaboración Propia.

- Calificación financiera: el equipo de gerencia emite un informe de recomendaciones definiendo el mejor contratista, desde el punto de vista del presupuesto, la programación, el flujo de caja y los riesgos administrativos. Este informe lleva anexo el formato de evaluación técnica de contratistas (ver tabla 9). Al igual que en el caso anterior, la calificación debe ser binaria.

Evaluación Financiera: Contratistas y Proveedores	
Contratista / Proveedor: Contratista A	
Actividad o Contrato: Estructura Metálica	
Criterio de Evaluación	Calificación
Valor Total: Presenta un precio global con el que se compromete a ejecutar el contrato	1
Valor Unitario: Presenta precios unitarios como base del precio total	1
Valor de Adicionales: Especifica como sería el cobro de trabajos adicionales	0
Forma de Pago: La forma de pago es adecuada para el flujo de caja del proyecto	1
Plazo de Entrega: El plazo de entrega es adecuado para la programación del proyecto	0
Pólizas: Incluye pólizas para amparar el contrato	1
Experiencia: Cuenta con experiencias previas en el sector o en proyectos similares	1
TOTAL	71%

Tabla 9 Evaluación Financiera de contratistas o proveedores.
Elaboración Propia.

- Cuadros comparativos: con las cotizaciones recibidas, el equipo de construcción realiza un cuadro comparativo en el que se evidencian las diferencias entre las condiciones de cotización, cantidades, tiempos, etc. Obtenidas las diferencias, se le informa al contratista o proveedor (si es de interés contratarlo) para que este ajuste su cotización a condiciones comparables (ver tabla 10).

Comparativo de Oferentes: Contratistas y Proveedores			
Actividad o Contrato: Estructura Metálica			
Criterio de Evaluación	Oferente 1	Oferente 2	Oferente 3
Evaluación Constructor:			
Evaluación Técnica	0,7	1,0	1,0
Mejor Calidad:	1,0	0,5	0,0
Evaluación Gerente:			
Evaluación Administrativa	0,7	1,0	1,0
Mejor Valor:	0,5	1,0	0,0
TOTAL	73%	88%	50%

*Tabla 10: Cuadro Comparativo de Oferentes.
Elaboración Propia.*

- Análisis y decisión: los clientes analizan los informes suministrados y toman la decisión del oferente a contratar. Emiten un informe escrito para dar a conocer la decisión tomada.
- Contratación:
- Modelo de contratación: el modelo de contratación varía según el monto del contrato a ejecutar. Para contratos importantes, que superen el monto máximo estimado por la gerencia y los clientes, se usan contratos de prestación de servicios y contratos de obra. Para contratos de menores cuantías inferiores a los montos estimados, se realizarán ordenes de servicio, las cuales legalizan las relaciones, alcances y compromisos de cada parte. Tanto en el contrato de prestación de servicios, contrato de obra, o la orden de servicio, se determinarán las condiciones técnicas de entrega, los plazos, el valor, garantías, montos retenidos, y la responsabilidad del contratista.
 - Elaboración contrato: el equipo de construcción elabora el contrato incluyendo todas las condiciones pacas en la cotización y los alcances técnicos y administrativos.

- Revisión y Firma: los consultores jurídicos y los clientes revisan el contrato y emiten el visto bueno. Luego se hace una reunión para firmar.
- Ejecución:
 - Pólizas: el proveedor presenta las pólizas solicitadas, que según en el caso pueden ser de, cumplimiento, buen manejo del anticipo, responsabilidad civil extracontractual, estabilidad de la obra, etc.
 - Pago Anticipo: una vez el contratista cuenta con el visto bueno para iniciar, se ha firmado del contrato y se han emitido las pólizas, se le hace el pago del anticipo, el valor fue previamente negociado en la cotización.
 - Inicio de obra: mediante un acta, se oficializa el inicio del contrato. El acta se firma por el contratista, el constructor, y al menos un integrante de la gerencia o los clientes.
 - Control Técnico: el proceso de control técnico lo ejecuta el equipo de construcción. Usando las herramientas de seguimiento del LPS, se hace una revisión periódica de los contratos. Durante las reuniones de plan semanal se socializa el estado de adelanto o atraso de las actividades. Mediante formatos de control técnico se lleva registro del estado técnico; a través de la bitácora de obra se lleva un registro diario del estado del contrato.
 - Control Presupuesto: el control de presupuesto lo ejecutan dos equipos, construcción y gerencia. El equipo de construcción hace la gestión y el control inicial de pagos, mediante la solicitud y registro de cada pago. Los resultados se le entregan a la gerencia, quienes comparan las actividades ejecutadas con los presupuestado. Con esta información, construcción y gerencia emiten un informe mensual que, con el objetivo de controlar los desvíos y tomar decisiones asertivas, se socializa con los clientes.
 - Control Programación: en un proceso similar al anterior, el equipo constructor presenta el avance de los contratos obtenido de los indicadores de adelanto o atraso de las actividades. El equipo de gerencia compara lo ejecutado con lo programado identificando las diferencias. con el objetivo de controlar los desvíos y tomar decisiones asertivas, se presenta un informe mensual que se socializa con los clientes.
 - Recepción y Cierre: una vez el contratista termina sus labores, se le revisa y se recibe, se elabora un acta de cierre, en la cual se dejan claras las condiciones de mantenimiento, garantías y cualquier condición especial derivada de la ejecución. El contratista y los

equipos de construcción, gerencia y clientes, firman en señal de aceptación de las condiciones pactadas.

- Pago de saldos: una vez se finalice el contrato y se ejecute el cierre, se procede con el pago del saldo final, dejando un retenido que se pagará, de acuerdo al tipo de actividades, unos meses después de la finalización. El proceso de pago se detalla en apartados posteriores.

6.3.3.1.2. Tiempo de Respuesta

El tiempo de respuesta del equipo de trabajo se presenta en el siguiente cuadro:

Tiempo de Respuesta		
Actividad o Contrato: Estructura Metálica		
Actividad	Responsable	Duración / Dias
Etapas de Cotización		
Envío de información Técnica y condiciones	Constructor	3
Revisión de cantidades	Oferente	2
Formulación de dudas	Oferente	2
Reunión de Explicación del Proyecto	Constructor, Gerencia, Oferente	2
Envío de cotización	Oferente	2
Etapas de Evaluación		
Revisión técnica, evaluación e informe	Constructor	2
Revisión financiera, evaluación e informe	Gerente	2
Análisis, decisión e informe	Cliente	2
Etapas de Contratación		
Elaboración del contrato	Constructor, Gerente	2
Revisión del contrato	Oferente	2
Reunión de firma del contrato	Todos	1
Etapas de Ejecución		
Obtención y presentación de pólizas	Oferente	5
Pago de anticipo	Cliente	2
Acta de Inicio del contrato	Constructor, Gerencia, Oferente	1
TOTAL		30,0

Tabla 11: Tiempo de respuesta del equipo de trabajo.
Elaboración Propia.

6.3.3.1.3. Organización Técnica

Para el control y organización técnica del proyecto, en colaboración con la interventoría del mismo, se desarrollan protocolos técnicos para la construcción, revisión y recepción de cada una de las actividades. De esta forma, el equipo técnico de construcción siempre tendrá una ruta y métodos claros, de consulta y conocimiento de todos los actores del proceso constructivo. Los protocolos técnicos serán puestos en común y discutidos en las reuniones de planificación semanal, pero no harcen parte del alcance del presente trabajo.

6.3.3.2. Plan General

Basándose en los conceptos previamente estudiados, en este capítulo se muestran las estrategias diseñadas para la elaboración del Plan General para las fases de planeación y ejecución de la obra.

6.3.3.2.1. Estudio de Layout

En este apartado se muestran los diseños y estrategias logísticas usadas para la organización de la obra. El criterio general de diseño, fue la ubicación de las instalaciones provisionales en la zona exterior de la bodega donde se encontraban celdas de parqueo, para que así el interior de la bodega solo tuviera zonas de trabajo temporal, pensadas para la ubicación de estaciones de trabajo. A continuación, se muestra la planta general del Layout para luego ser explicado en sus partes:

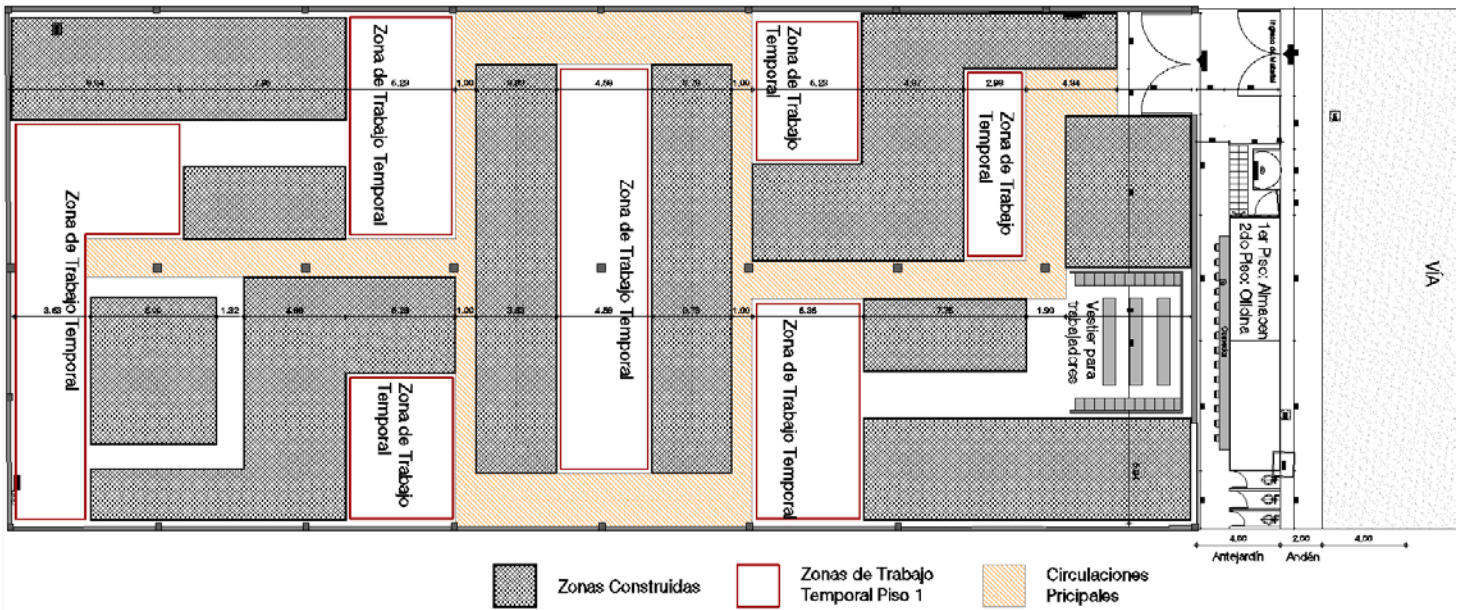


Ilustración 90: Estudio de Layout. Elaboración Propia.

El Layout está integrado de los siguientes componentes:

- Instalaciones Provisionales: se ubican en el exterior de la bodega y cuentan con un área de 97m² protegida por un cerramiento provisional en paneles de fibrocemento. Cuenta con dos accesos, uno principal para el ingreso del personal, materiales, equipos y otro para la evacuación de los residuos sólidos generados en la construcción, el cual solo cuenta con una pequeña zona de carga y salida para volquetas.
 - Almacén de obra: está ubicado en el primer piso en un contenedor marítimo de 12m x 2,40m dotado para el almacenamiento de toda la materia prima menor y un espacio de oficina para el almacenista.
 - Oficina de obra: se ubica en el segundo piso justo encima del almacén en un contenedor 6m x 2,40m. Cuenta con la dotación necesaria para la ejecución de los comités de obra y espacio para la oficina del residente y el auxiliar de residencia.
 - Zona para Trabajadores: Con una capacidad variable entre 30 a 50 trabajadores, se dispusieron tres espacios para uso del personal. Un vestidor al interior de la bodega, una zona de baños dotado de 3 baterías y pozuelo, y una barra/comedor donde pueden ubicar 15 trabajadores al tiempo.

- Circulaciones: Usando las rutas principales de circulación del proyecto se plantearon las circulaciones de la obra. Estas conectan las zonas de trabajo temporal, las zonas construidas y el acceso del proyecto.
- Zonas de trabajo temporal: se plantean como los espacios en los cuales se pueden ubicar estaciones de trabajo y almacenamiento de materiales de gran formato. Estos espacios ubicados en el primer piso del proyecto, no requieren intervenciones tempranas, por lo que se podrán usar como estaciones de trabajo durante gran parte de la obra.

6.3.3.2.2. Programación de obra: Gantt y LOB

La programación de obra en Gantt se llevó a cabo por parte de los consultores técnicos contratados para tal fin. El proceso de coordinación y revisión lo ejecutaron los equipos de construcción y gerencia. El desarrollo se inició con una programación preliminar a manera de listado de actividades inmersas dentro de capítulos o subcapítulos de la obra. Allí se hizo una primera identificación de precedencias con el fin de establecer el orden de ejecución de las actividades.

Ya que, en primera instancia, el proyecto iba ser realizado por etapas, se decidió dividirlo en tres zonas y así cada una de estas se convertiría en una etapa de construcción. Estas se ejecutarían paulatinamente, coordinadas con la producción de información de los equipos de diseño y técnicos asociados.

El presupuesto y la programación de obra se iniciaron pronto, ya que, para poder iniciar obra en la primera etapa se debía conocer su costo y tiempo de ejecución. En este proceso surgieron dudas sobre la metodología inicialmente planteada y el grupo diseñador y constructor argumentó que no era conveniente iniciar sin tener el proyecto totalmente diseñado, presupuestado y aprobado. Como se evidenció en el marco teórico, las grandes incertidumbres están directamente relacionadas con la falta de planeación, definición, y control. Iniciar el proceso de construcción mientras todavía se estaban ejecutando los diseños podría fácilmente generar sobre costos y reprocesos.

Para la elaboración del presupuesto, se tuvieron en cuenta las cotizaciones reales de los proveedores que posiblemente ejecutarían los contratos. De esta manera fue posible verificar muchas de las ideas, inicialmente planteaas, con profesionales y técnicos de la industria local que ayudaron a estructurar los procesos de planeación. De este trabajo colaborativo surgió la decisión de no iniciar el proyecto hasta

no tenerlo completamente diseñado, presupuestado, programado y aprobado, puesto que muchos de los contratos no podían ejecutarse por partes. Sin embargo, el trabajo previo de separación del proyecto por etapas fue de gran ayuda para la elaboración del programa de obra definitiva. Lo que antes se consideraban etapas se convirtieron en zonas de desarrollo, facilitando el proceso de planeación y las estrategias para definir procesos constructivos y tiempos de ejecución.

La programación de obra se elaboró con base en las zonas previamente definidas, por lo que se compone de capítulos ubicados en zonas específicas y capítulos de desarrollo transversal a todo el proyecto (ver ilustración 91).

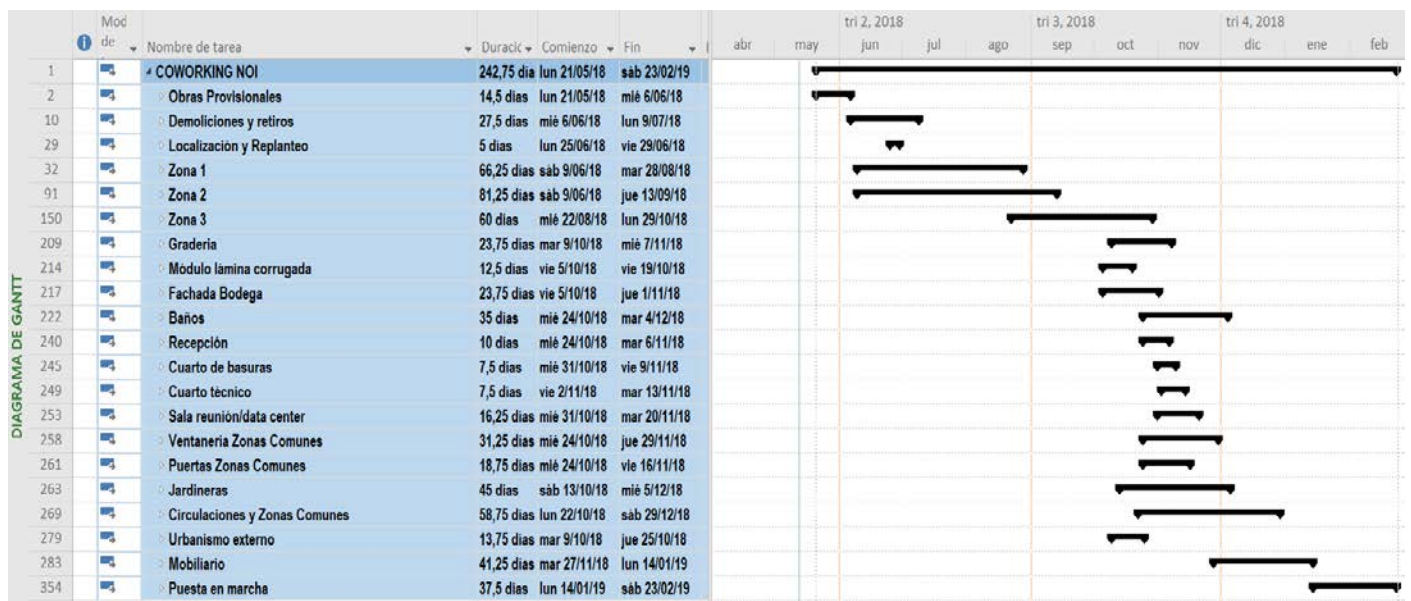


Ilustración 91: Programación de obra en diagrama de Gantt.
Cortesía de PVG Arquitectos, consultores técnicos.

Con los capítulos, tiempos y rendimientos calculados por los consultores técnicos en la programación Gantt, se elaboró la programación LOB. En primer lugar, se obtuvo la disposición general de los capítulos o hitos del proyecto, pero dado que la programación Gantt contenía actividades basadas en localización, fue necesario separar y extraer los hitos de forma independiente, de manera que pudieran ser insertados en el formato de programación LOB (ver tabla 12).

CAPITULO / HITO	Fecha Inicial	Fecha Final	Zona Inicial	Zona Final
Obras Provisionales	21/05/2018	06/06/2018	4	5
Demoliciones y Retiros	06/06/2018	09/07/2018	1	4
Desmonte de Cubierta	09/06/2018	31/08/2018	1	4
Localización y Replanteo	25/06/2018	29/06/2018	1	4
Estructura Metálica Cubierta	20/06/2018	14/09/2018	1	4
Tejas y Canales	04/07/2018	15/09/2018	1	4
Muros Medianeros	06/07/2018	16/10/2018	1	4
Excavaciones y Llenos	30/06/2018	06/09/2018	1	4
Fundaciones	04/07/2018	11/09/2018	1	4
Montaje de Contenedores	17/07/2018	05/10/2018	1	4
Estructuras Metálicas Secundarias	03/08/2018	26/10/2018	1	4
Instalaciones Eléctricas	27/07/2018	17/08/2018	1	4
Instalaciones Hidrosanitarias	24/10/2018	04/12/2018	1	4
Cielos	18/08/2018	24/10/2018	1	4
Pinturas y Enlucidos	11/08/2018	19/10/2018	1	4
Muros Interiores	08/08/2018	07/11/2018	1	4
Muros Fachada Bodega	05/10/2018	01/11/2018	1	4
Puertas y Cerraduras	24/10/2018	16/11/2018	1	4
Ventanas	24/10/2018	29/11/2018	1	4
Pisos, Decks, Enchapes y Zócalos	23/08/2018	29/10/2018	1	4
Aparatos Sanitarios	16/11/2018	03/12/2018	1	4
Equipos Especiales	06/09/2018	18/09/2018	1	4
Mobiliario	27/11/2018	14/01/2019	1	4
Obras Exteriores y Varios	09/10/2018	25/10/2018	4	5

Tabla 12: Lista de Hitos, fechas y localización en zonas.
Elaboración propia.

En paralelo a la extracción de los hitos y sus fechas, fue necesario graficar las zonas de desarrollo del proyecto.

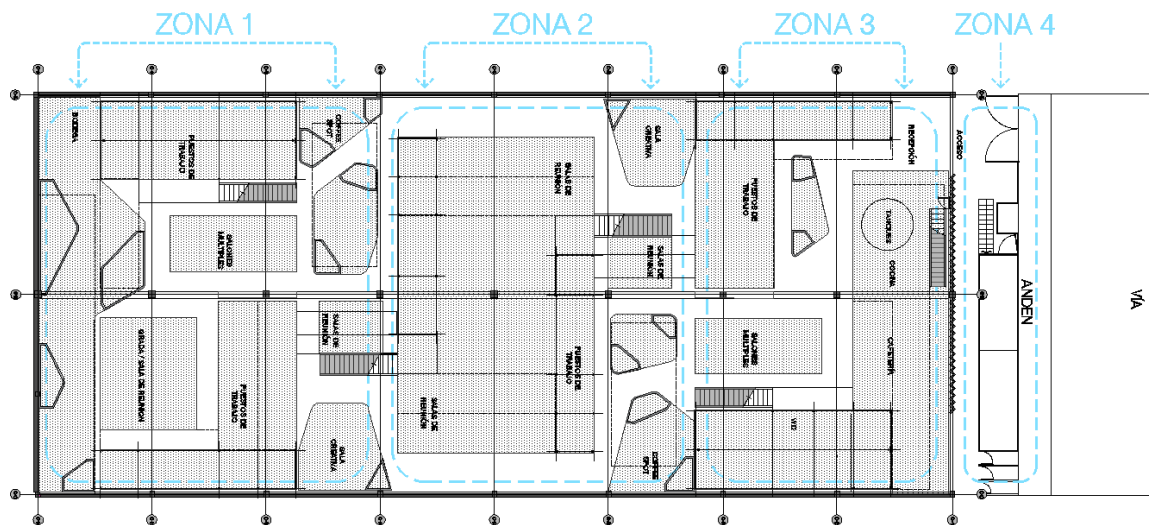


Ilustración 92: Esquema de identificación de zonas de desarrollo.
Elaboración Propia.

Se determinaron 4 zonas de desarrollo: iniciando de la parte posterior de la bodega y finalizando en la parte frontal. Las 3 zonas interiores contienen la totalidad de las actividades de construcción de la obra nueva. La Zona 4 ubicada en el exterior de la bodega, se destinó para implantación de las obras provisionales (zonas de carga y descarga, oficina y campamentos de obra, entre otros). Cabe

resaltar, que para la elaboración de las líneas de balance fue necesario incluir una zona adicional, ya que el software necesita un punto inicial y un punto final para que la actividad recorra la zona, por lo tanto, en la tabla 12 se observan actividades que terminan en la Zona 5.

Con la información procesada, se realizó el grafico de la programación en LOB:

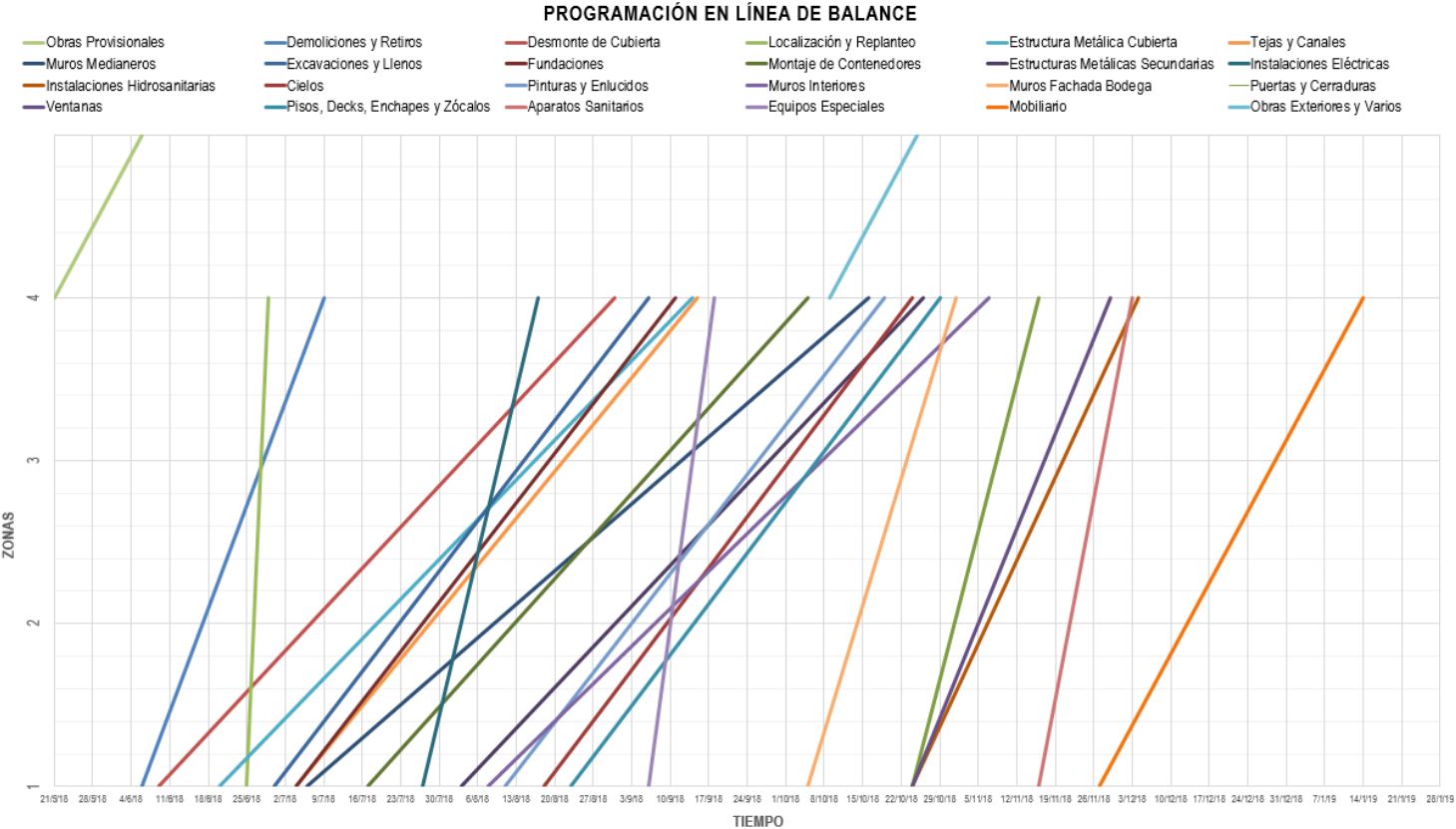
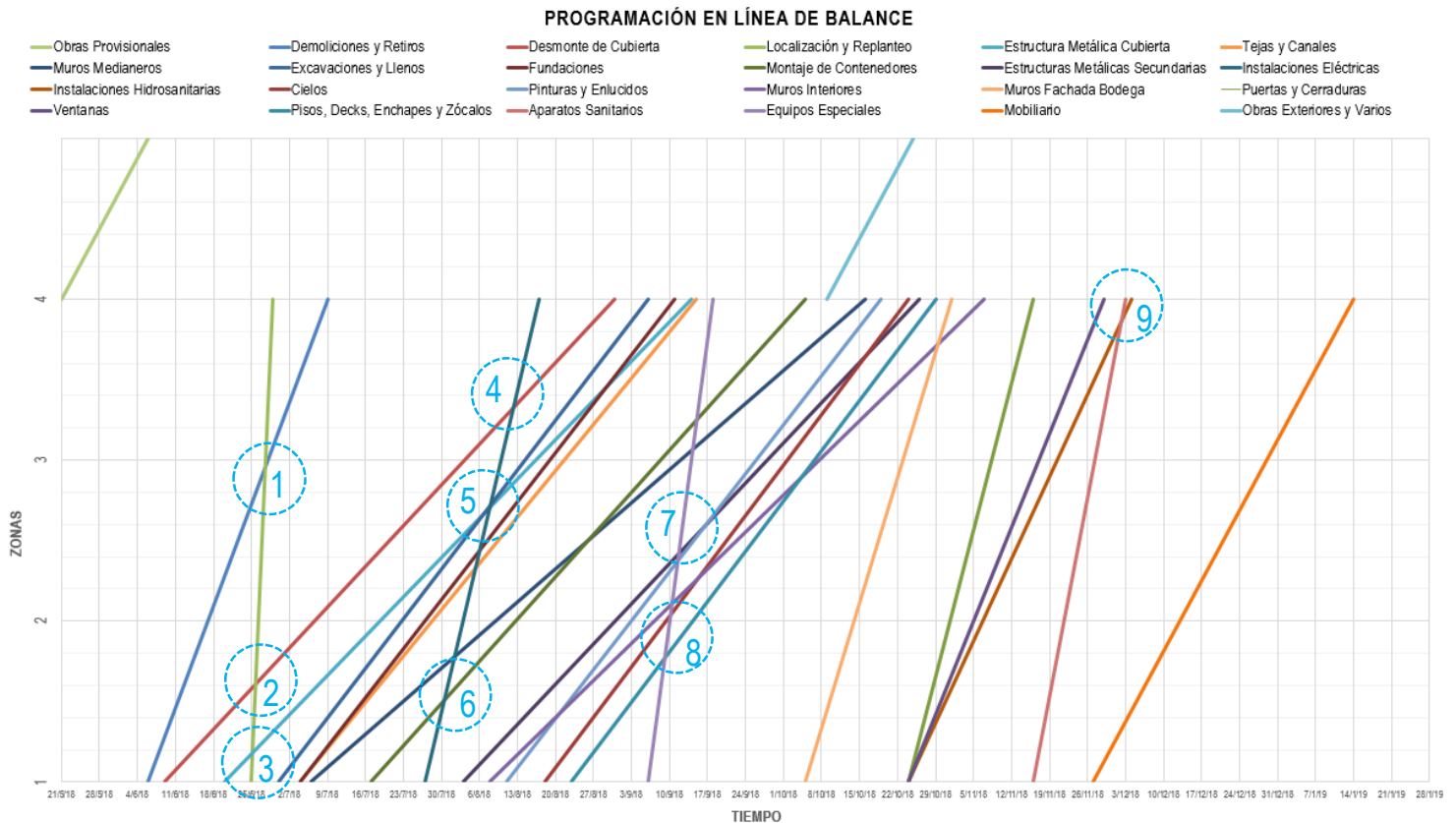


Ilustración 93: Programación LOB Original.
Elaboración Propia.

Con la primera versión de los dos formatos de programación de obra, se procedió a hacer el análisis de interferencias, ya que en la elaboración de la programación LOB fue evidente que había errores en la consecución de las actividades lo que no permitía la continuidad de los procesos constructivos.

6.3.3.2.2.1. Análisis de Inferencias

El análisis de inferencias de la programación de obra, se hizo con el fin de ajustar las fechas de inicio y fin de los diferentes hitos, al igual que encontrar una secuencia lógica de construcción y una mejor eficiencia en la ejecución:



*Ilustración 94: Análisis de Interferencias encontradas en LOB.
Elaboración propia.*

- Interferencia 1: la Localización y Replanteo al ser una actividad tan corta estaba terminado antes que las Demoliciones y Retiros. Esto puede generar problemas ya que en un proceso de demolición se pueden perder los puntos y marcas de localización.
- Interferencia 2: el Desmote de la Cubierta Existente era una actividad muy extensa, planteada en el programa inicial en Gantt en tres etapas. Los contratistas sugirieron hacer el desmote en dos etapas, ejecutadas en tiempos distintos, para optimizar el espacio de trabajo y mejorar el rendimiento. Esta recomendación se implementó, logrando que la Localización y Replanteo se hiciera una vez se terminara el desmote de las primeras dos zonas.

- Interferencia 3: la Localización y Replanteo se cruzaba con la construcción de la Estructura Metálica de Cubierta. Se planteó mover el inicio de esta actividad para el momento de terminación del Desmonte de Cubierta y justo antes del inicio del montaje de la Estructura Metálica de Cubierta.
- Interferencia 4: las Instalaciones Eléctricas se plantearon con un rendimiento muy alto, por lo cual se cruzaba con muchas de las actividades predecesoras. Se planteó mover su inicio y rendimiento de manera que su línea de ejecución fuera paralela al Montaje de los Contenedores, con algunas semanas de holgura.
- Interferencia 5: se identificó que, si bien era viable que las actividades de Excavaciones, Fundaciones y Construcción de Estructura Metálica de Cubierta y Tejas se pudieran ejecutar de forma simultánea, había gran congestión de trabajo en la Zona 2. Para mitigar este problema, se planteó que las actividades de Excavaciones y Fundaciones iniciaran en el sentido contrario, desde la Zona 4 hacia la 1, coordinadas en tiempos con sus actividades sucesoras.
- Interferencia 6: al igual que en la interferencia 4, las Instalaciones Eléctricas por su alto rendimiento, se cruzan con el Montaje de los Contenedores. El rendimiento de estas actividades se ajustó para ser ejecutadas de forma paralela.
- Interferencia 7: se detectó un punto de choque entre 3 hitos, Pinturas, Estructuras Metálicas Secundarias y Equipos Espaciales. Se modificaron sus fechas de inicio y sus rendimientos para que esas fueran ejecutadas según sus precedencias y adecuados ritmos de ejecución.
- Interferencia 8: se detectó que los Cielos tenían un mayor rendimiento que los Muros Interiores, por lo cual en la Zona 2 se cruzaban, generando problemas en la ejecución. Sus fechas de inicio y rendimientos fueron ajustados.
- Interferencia 9: los Aparatos Sanitarios estaban terminando su ejecución antes de que las Instalaciones Hidrosanitarias lo hicieran, lo cual no es posible en la secuencia constructiva. Sus rendimientos se ajustaron para lograr una secuencia lógica.

6.3.3.2.2. Ajuste de la Programación

El ajuste de la programación se hizo una vez terminado el análisis de las interferencias. En primer lugar, se implementaron 5 nuevos hitos que no se habían considerados o eran actividades internas de otros hitos de la programación; se resaltan en azul en la tabla 13. Luego se organizaron en orden ascendente respecto a las fechas de inicio, siempre respetando las precedencias y lógica constructiva.

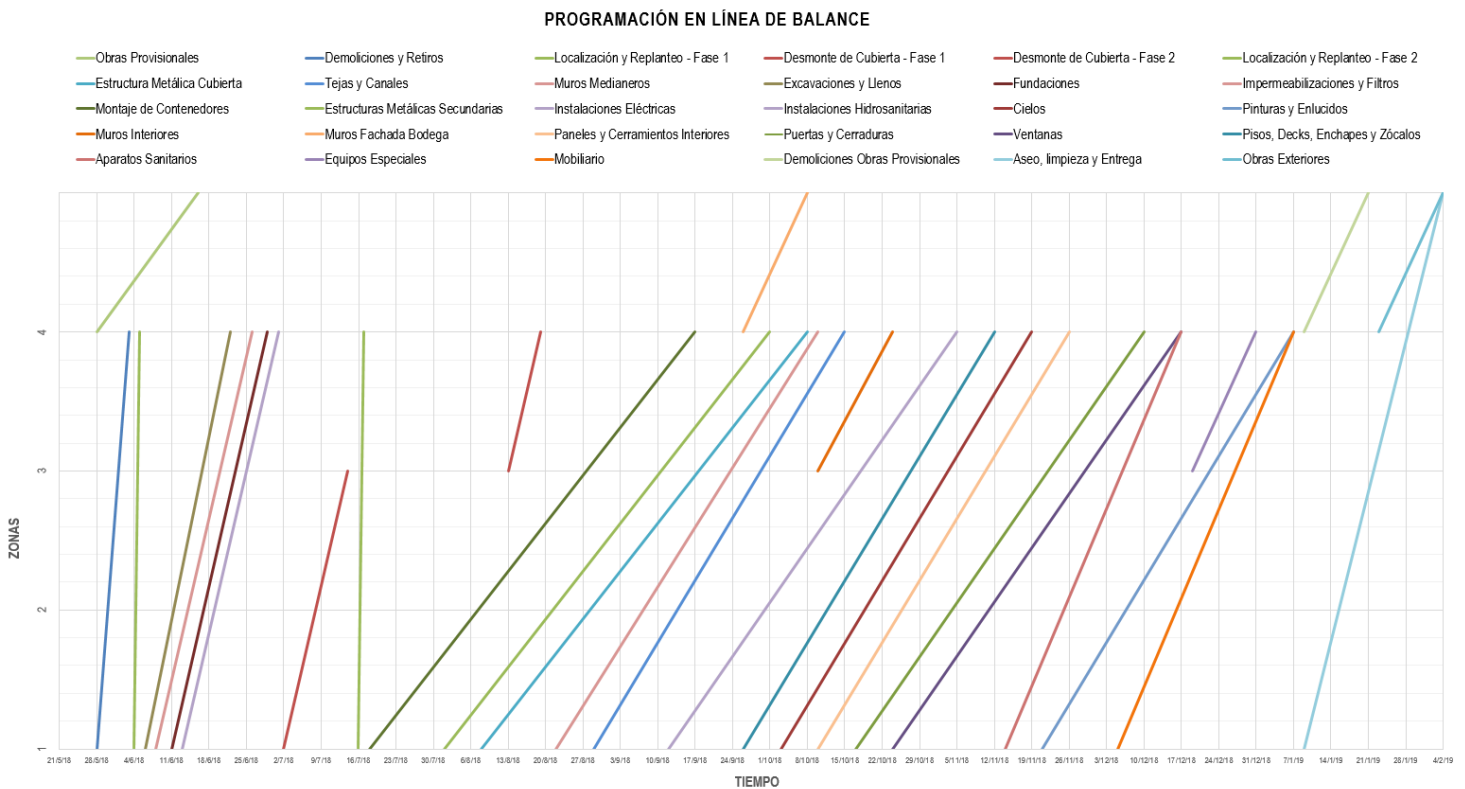
CAPÍTULO / HITO	Fecha Inicial	Fecha Final	Zona Inicial	Zona Final
Obras Provisionales	28/05/2018	16/06/2018	4	5
Demoliciones y Retiros	28/05/2018	03/06/2018	1	4
Localización y Replanteo - Fase 1	04/06/2018	05/06/2018	1	4
Excavaciones y Llenos	06/06/2018	22/06/2018	1	4
Impermeabilizaciones y Filtros	08/06/2018	26/06/2018	1	4
Fundaciones	11/06/2018	29/06/2018	1	4
Instalaciones Hidrosanitarias	13/06/2018	01/07/2018	1	4
Desmante de Cubierta - Fase 1	02/07/2018	14/07/2018	1	3
Localización y Replanteo - Fase 2	16/07/2018	17/07/2018	1	4
Montaje de Contenedores	18/07/2018	17/09/2018	1	4
Estructuras Metálicas Secundarias	01/08/2018	01/10/2018	1	4
Estructura Metálica Cubierta	08/08/2018	08/10/2018	1	4
Desmante de Cubierta - Fase 2	13/08/2018	19/08/2018	3	4
Muros Medianeros	22/08/2018	10/10/2018	1	4
Tejas y Canales	29/08/2018	15/10/2018	1	4
Instalaciones Eléctricas	12/09/2018	05/11/2018	1	4
Muros Fachada Bodega	26/09/2018	08/10/2018	4	5
Pisos, Decks, Enchapes y Zócalos	26/09/2018	12/11/2018	1	4
Cielos	03/10/2018	19/11/2018	1	4
Paneles y Cerramientos Interiores	10/10/2018	26/11/2018	1	4
Muros Interiores	10/10/2018	24/10/2018	3	4
Puertas y Cerraduras	17/10/2018	10/12/2018	1	4
Ventanas	24/10/2018	17/12/2018	1	4
Aparatos Sanitarios	14/11/2018	17/12/2018	1	4
Pinturas y Enlucidos	21/11/2018	07/01/2019	1	4
Equipos Especiales	19/12/2018	31/12/2018	3	4
Mobiliario	05/12/2018	07/01/2019	1	4
Demoliciones Obras Provisionales	09/01/2019	21/01/2019	4	5
Aseo, limpieza y Entrega	09/01/2019	04/02/2019	1	5
Obras Exteriores	23/01/2019	04/02/2019	4	5

Tabla 13: Listado de Hitos, fechas y localización en zonas.
Elaboración propia.

El criterio general para la organización fue iniciar las actividades por la Zona 1 y terminar en la Zona 4. Para esto, algunos hitos tuvieron que ser seccionados en dos partes: el Desmante de la Cubierta, la Localización y Replanteo aparecen con Fase 1 y Fase 2. Igualmente se identificaron hitos con altos niveles de sincronización logística, tales como el Desmante de cubierta, el Montaje de Contenedores y la Construcción de la Cubierta Nueva. La planeación de los contratos y la buena relación entre contratistas será clave para un correcto desempeño.

Otro criterio importante para la programación fue el aprovechamiento de la cubierta existente para la realización de las actividades que tienen incidencia sobre el terreno y la losa de la bodega. Entonces, se realizaron de forma paralela las Excavaciones, Fundaciones, Impermeabilizaciones y Redes Hidrosanitarias, para luego hacer el primer desmonte de cubierta.

La dificultad logística de la etapa inicial radicó en el uso de grúas para el Montaje de Contenedores y Estructura Metálica de Cubierta, en coordinación con el vaciado y fraguado de las Fundaciones. La altura de la grúa, para el izado de los contenedores, superó el gálibo de la cubierta, por lo que siempre debió hacerse primero el Montaje de Contenedores y luego el de la cubierta. En relación con las Fundaciones, fue clave hacer una señalización y protección rigurosa de las zonas vaciadas, ya que el peso de las grúas puede dañar los concretos en proceso de fraguado. Una vez montados los contenedores y la cubierta, se pudo hacer el despliegue de todas las actividades restantes, las cuales se ejecutan en relación directa con estos dos hitos.



*Ilustración 95: Programación LOB Optimizada.
Elaboración Propia.*

6.3.3.2.3. Reuniones y Niveles de Planificación

Como parte del plan general y el proceso de programación, se encontró la necesidad de desarrollar de forma gráfica el sistema de reuniones para cada uno de los niveles de planificación. Para ello se tomó como base la programación en LOB, a la cual se le adicionaron seis semanas anteriores al inicio de la obra, en la cuales se ejecutarían las primeras reuniones de planificación.

Para comprender la estructura de planificación fue necesario definir las ventanas de planificación en cada uno de los niveles. Siguiendo las recomendaciones de los expertos, se determinó que dichas ventanas serían: para el plan general, doce semanas; para el plan intermedio, seis; y para el plan a corto plazo, una.

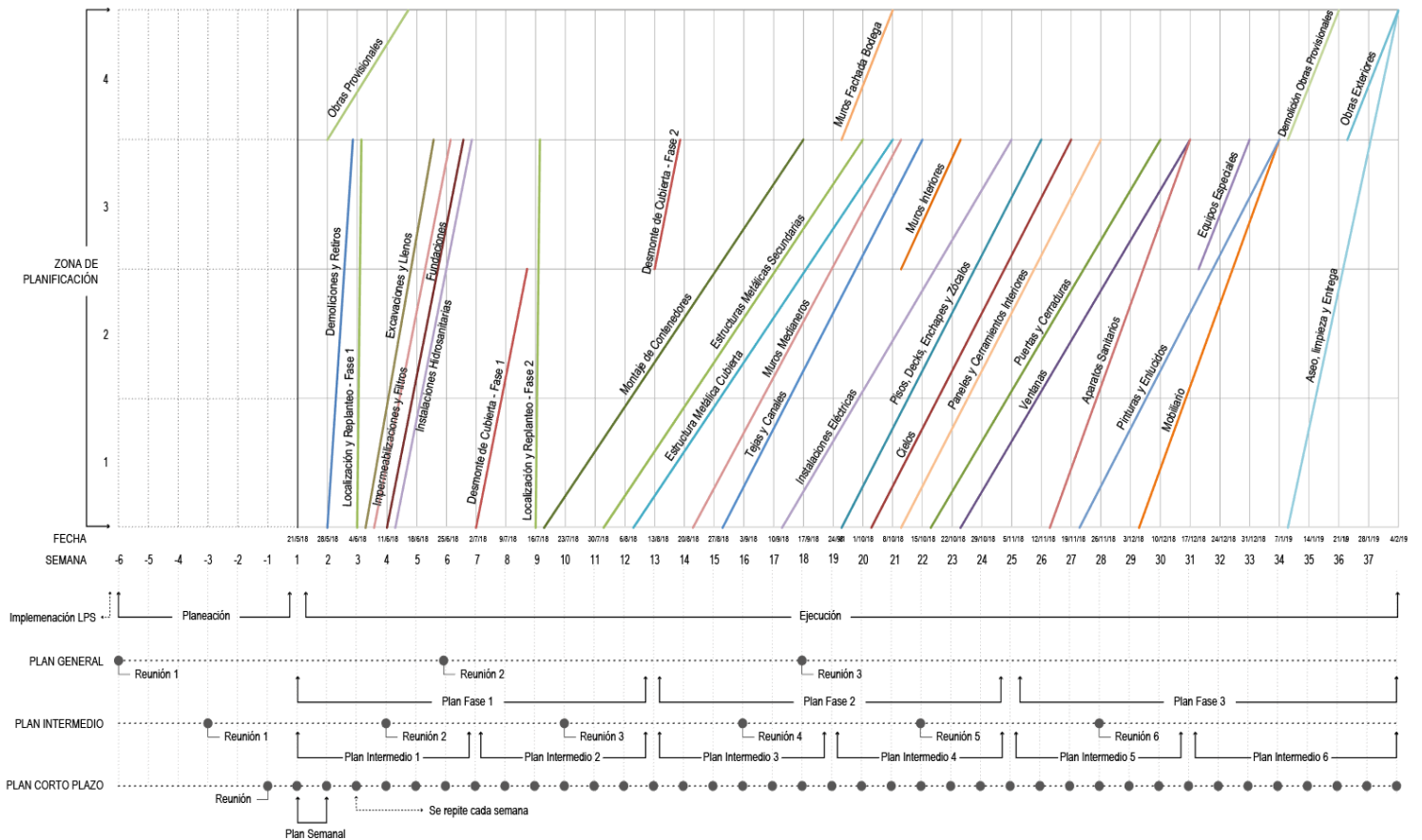


Ilustración 96: Sistema de reuniones y niveles de planificación.
Elaboración Propia

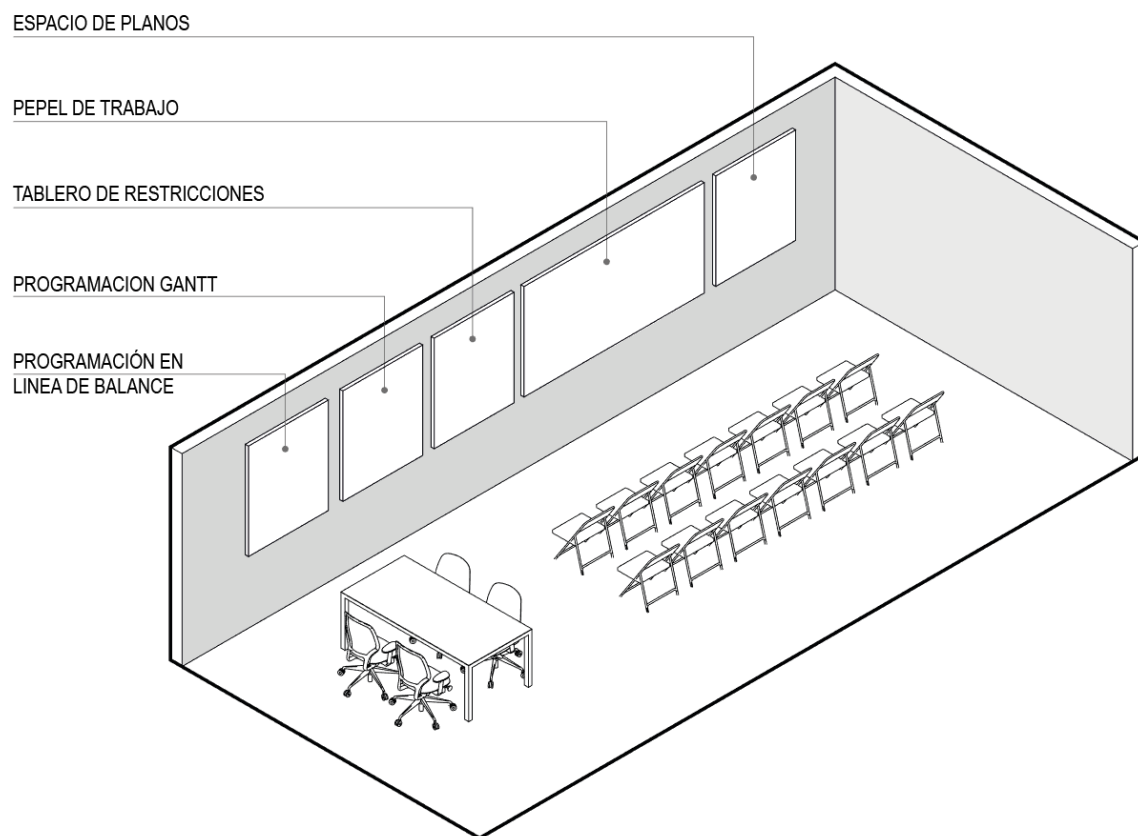
Basado en la estructura organizacional graficada, se procedió a detallar el funcionamiento de cada uno de los elementos compositivos de los planes, al igual que el diseño de reuniones y el uso de los formatos de planeación y control.

6.3.3.2.4. Pull Planning

En este apartado se presenta el ejercicio de planificación jalonada, evidenciando la ejecución de la primera fase de planificación definida como un tercio del proyecto o 12 semanas. A continuación, se muestran las consideraciones previas a la reunión y posteriormente, un breve informe de la ejecución la misma con el cronograma de actividades resultante.

6.3.3.2.4.1. Diseño de la Reunión

Para la correcta ejecución de la reunión de *Pull Planning*, como se expresó en el marco teórico, los expertos recomiendan el uso de un espacio amplio y cómodo en el cual todos los participantes puedan comprender la información y llevar a cabo el ejercicio de planificación. En la siguiente ilustración se muestran las principales necesidades espaciales y luego se describen los elementos recomendados:



*Ilustración 97: Necesidades espaciales para la reunión de Pull Planning.
Elaboración Propia.*

- Planos: se recomienda contar con un plano base del proyecto, tal como una planta general o un plano de localización o un conjunto de planos generales, en los cuales se pueda verificar el

proyecto en su totalidad. Es muy recomendable acompañar la información bidimensional con herramientas digitales más avanzadas, como modelos 3D. En el evento de contar con modelos BIM y simulaciones 4D, la planificación puede ser más fácil y precisa.

- Papel: es necesario contar con una gran franja de blanco sobre el cual se llevará a cabo el ejercicio de planificación jalonada. Sobre el papel se pondrán las tarjetas tipo *post-it notes* y se escribirán los comentarios o notas pertinentes. Normalmente se usan entre cinco y seis metros de papel, pero esto dependerá directamente de la complejidad del proyecto y la ventana de planificación escogida.
- Tarjetas tipo *post-it notes*: se pueden usar tarjetas diseñadas para el ejercicio o simplemente *post-it notes* de colores, en los cuales se ubicará la información de planificación. En cualquiera de los dos casos, se recomienda usar un formato no menor a 10x10cm, de manera que se pueda escribir y visualizar la información con claridad. Cuando se usan las *post-it notes*, se recomienda seleccionar un color para cada contratista participante, de manera que el orden visual ayude al proceso de planeación.
- Tablero de restricciones: es donde se identifican y mapean las restricciones encontradas. Allí se van consignando todas aquellas actividades que dificultan la continuidad del trabajo y que impiden que los grupos de trabajo avancen según el programa. Al ser consignadas en una lista pueden ser eliminadas progresivamente, generando aprendizajes y facilitando el trabajo de identificaciones de restricciones en todos los niveles de planificación.
- Programación Gantt y Programación en Línea de Balance: son las bases y guías programáticas que contienen la información de planificación y organización del proyecto que ayuda a ejecutar la planificación jalonada. La programación contiene los hitos y las actividades, incluyendo predecesoras y sucesoras, por lo que serán insumos de consulta permanente durante la reunión.
- Participantes: Para una óptima ejecución de la reunión de *Pull Planning* se necesita la asistencia de los administradores, jefes, supervisores o las personas que puedan tomar decisiones en tiempo real sobre la ejecución de los contratos.

Para convocar la reunión se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Incorporar a los participantes al menos una semana antes de la reunión por medio de una invitación escrita.
- Enviar a los participantes información básica acerca de *Pull Planning* y *Lean Construction*.
- El tiempo de la reunión no debe durar más de tres horas.

- En la literatura se recomienda hacer la reunión con al menos de seis semanas de anticipación al inicio de la fase de planificación. En este caso, la reunión se ejecutó la semana del inicio de las obras preliminares, puesto que las condiciones contractuales del proyecto y el cierre financiero fueron tardías.
- Para la identificación de los contratistas involucrados y garantizar el cumplimiento de todo lo necesario para la ejecución de la reunión, se realizó lista de chequeo, que consiste en una tabla que contiene los hitos a planificar, los contratistas involucrados, los documentos necesarios, entre otros. Esto con la idea de que nada falte el día de la reunión.

Lista de Chequeo Reunión Pull Planning - Fase 1		
Contratistas / Proveedores		
Capítulo / Hito	Contratista / Proveedor	Tipo de Contrato
Obras Provisionales	Álvaro Restrepo	Suministro de Materiales
Obras Provisionales	Albeiro Salazar	Mano de obra, herramienta y equipos
Obras Provisionales	John Mejía / Obras y Montajes	Contrato a todo costo
Demoliciones y Retiros	Álvaro Restrepo	Contrato a todo costo
Localización y Replanteo - Fase 1	Miguel Castro	Contrato a todo costo
Excavaciones y Llenos	Albeiro Salazar	Mano de obra, herramienta y equipos
Excavaciones y Llenos	Hamilton Castaño y Depositos Miranda	Suministro de Materiales
Impermeabilizaciones y Filtros	AquaZero	Contrato a todo costo
Fundaciones	Albeiro Salazar	Mano de obra, herramienta y equipos
Fundaciones	Hamilton Castaño y Depositos Miranda	Suministro de Materiales
Instalaciones Hidrosanitarias	Ferney Madrid / Construfuidos	Contrato a todo costo
Desmonte de Cubierta - Fase 1	Álvaro Restrepo	Contrato a todo costo
Localización y Replanteo - Fase 2	Miguel Castro	Contrato a todo costo
Montaje de Contenedores	John Mejía / Obras y Montajes	Contrato a todo costo
Estructuras Metálicas Secundarias	Jairo Mejía / Acero y Gruas	Contrato a todo costo
Estructura Metálica Cubierta	Jairo Mejía / Acero y Gruas	Contrato a todo costo
Desmonte de Cubierta - Fase 2	Álvaro Restrepo	Contrato a todo costo
Documentos	Estado	Responsable
Programación Gantt	Listo	PVG (A5 Arquitectura hace corrección)
Programación Línea de Balance	Listo	A5 Arquitectura
Plantos Arquitectónicos	Listo	A5 Arquitectura
Modelo 3D	Listo	A5 Arquitectura
Simulación 4D	Listo	A5 Arquitectura

Tabla 14: Lista de Chequeo para la reunión de Pull Planning.
Elaboración Propia.

6.3.3.2.4.2. Desarrollo de la reunión

La reunión se realizó en un salón tipo auditorio en el que se dispusieron todos los documentos necesarios para el entendimiento del proyecto y la formulación de la programación. Se contó con 3 superficies para la ubicación de planos, programación LOB y Gantt, papel para ubicar las actividades y proyector de apoyo para mostrar información complementaria.



Ilustración 98: Registro fotográfico de la reunión de Pull Planning.

En la ilustración 98, se ve que se ubicó en el costado izquierdo del tablero el espacio para las restricciones y el papel para ubicar tarjetas tipo *post-it*. Allí, progresivamente se fue creando la lista de las actividades (ver ilustración 99).



Ilustración 99: Registro fotográfico del proceso de programación. Creación de las actividades

El proyector se usó para visualizar a través de los modelos 3D y 4D las zonas de trabajo y lógica constructiva (ver ilustración 100). También se ubicó sobre la pared, a un costado de la zona de proyección, la programación de obra en formato LOB. La programación en Gantt, se usó en formato digital y se consultó cuando fue necesario.



Ilustración 100: Registro fotográfico del proceso de explicación del proyecto.

El proceso se llevó a cabo en el siguiente orden:

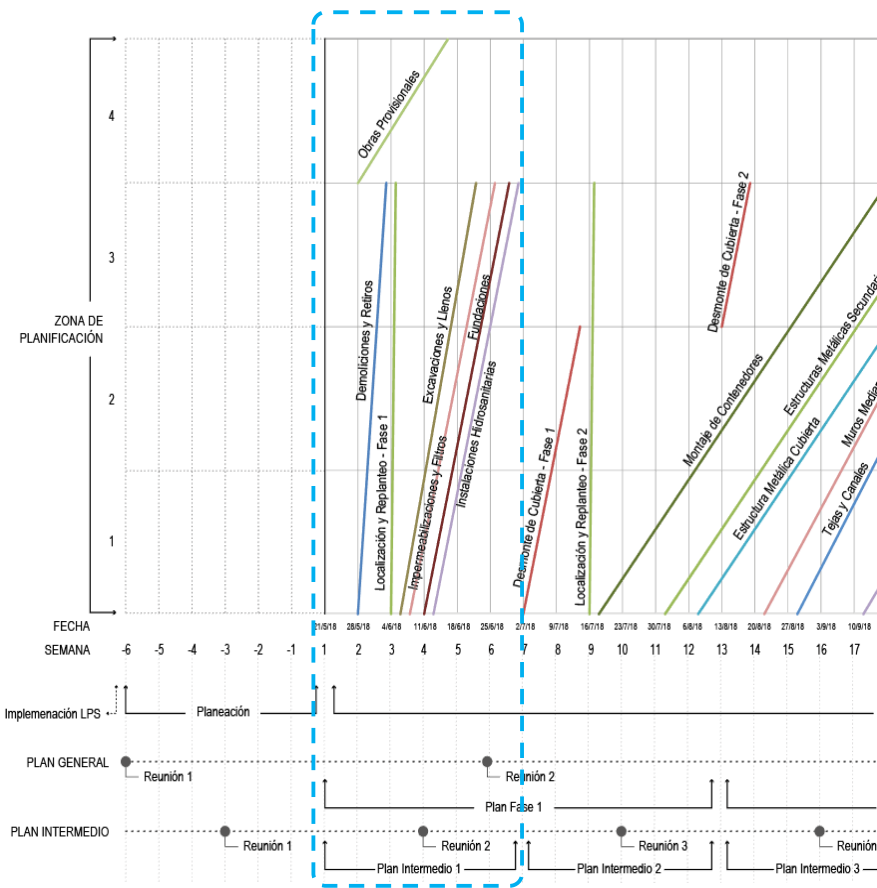
- Primero se presentaron los asistentes, de manera que todos supieran su rol y participación en la reunión.
- Luego se procedió a introducir el proyecto, dando una explicación general de las partes compositivas, los contratos principales y las zonas de trabajo para la construcción.
- Se continuó con la explicación de la metodología de programación mediante *Pull Planning*.
- Posteriormente, se procedió a solucionar dudas relacionadas con el proyecto y la metodología de planificación.
- Finalmente se llevó a cabo el proceso de planificación iniciando por la selección de los hitos a jalonar, ayudándose en de la programación en LOB o Gantt. Luego de ubicar el momento más cercano al final de en la ventana de planificación, se invitó al primer contratista a elaborar las tarjetas de las últimas actividades y establecer sus compromisos. Se continuó con el proceso hasta tener todo el programa mapeado.
- Durante la reunión se fueron consignando los principales apuntes y dudas que los contratistas planteaban, al igual que las restricciones encontradas, para posteriormente en el plan intermedio ejecutar el proceso de liberación de las mismas.

- Una vez finalizada la reunión se organizaron las tarjetas en la línea de tiempo y se actualizó la programación de obra en Gantt y LOB.

6.3.3.3. Plan Intermedio

En apartados previos se consignó que el horizonte de tiempo para el plan intermedio fue de seis semanas. Con esta claridad, se extrajeron las actividades incluidas dentro de los hitos involucrados. Bastó con filtrar los intervalos de tiempo de la programación Gantt y pasarlos a la tabla del plan intermedio y, aunque esta herramienta facilitó identificación de actividades, en la extracción se lograron extraer otras que no habían sido consideradas inicialmente, lo que complementó los programas generales, permitiendo vincular entre sí las diferentes herramientas de planificación.

Para extraer las actividades de obra, se hizo un listado básico cruzando la información obtenida del formato Gantt, con el programa optimizado en LOB, dejando claro a cuáles hitos pertenecen las actividades y señalando la ventana de tiempo de forma gráfica (ver ilustración 101).



Capítulo / Hito	Actividades
Obras Provisionales	Contenedor para Oficina y Almacén
Obras Provisionales	Campamento y baño provisional
Obras Provisionales	Instalación hidráulica provisional
Obras Provisionales	Instalación Eléctrica provisional
Demoliciones y Retiros	Demolición de muros mampostería
Demoliciones y Retiros	Desmorte de aparatos sanitarios
Demoliciones y Retiros	Retiro de puertas
Demoliciones y Retiros	Retiro de ventanas
Demoliciones y Retiros	Demolición de morteros
Demoliciones y Retiros	Desmorte de escalera metálica
Demoliciones y Retiros	Demolición de escalera en concreto
Demoliciones y Retiros	Botada de escombros
Demoliciones y Retiros	Aseo y Limpieza
Localización y Replanteo - Fase 1	Replanteo de zapatas con equipo topográfico
Localización y Replanteo - Fase 1	Replanteo de redes con equipo topográfico
Excavaciones y Llenos	Corte de losa existente para zapatas
Excavaciones y Llenos	Corte de losa existente para instalaciones hidráulicas
Excavaciones y Llenos	Empacada y botada de escombros
Excavaciones y Llenos	Excavación manual 0 - 2 m
Excavaciones y Llenos	Llenos y compactación en limo o arenilla
Fundaciones	Figurado y Armado de hierro para Zapatas
Fundaciones	Figurado y Armado de hierro para Pedestales
Fundaciones	Instalación de platinas para columnas
Fundaciones	Formaletería para Pedestales
Fundaciones	Vaciado de concreto en zapatas
Fundaciones	Vaciado de concreto en pedestales
Fundaciones	Vaciado para reemplazar losa
Impermeabilizaciones y Filtros	Impermeabilización de muros
Impermeabilizaciones y Filtros	Impermeabilización de sobre cimientos
Impermeabilizaciones y Filtros	Sellada y resanada de muros
Impermeabilizaciones y Filtros	Pintura impermeable sobre muros
Instalaciones Hidrosanitarias	Instalación de tubería sanitaria en zona de baños
Instalaciones Hidrosanitarias	Instalación de tubería de abastos en zona de baños
Instalaciones Hidrosanitarias	Instalación de tubería sanitaria en jardinerías
Instalaciones Hidrosanitarias	Instalación de tubería de abastos en jardinerías
Instalaciones Hidrosanitarias	Conexión de tuberías nuevas a red existente

Ilustración 101: Plan intermedio, Identificación en LOB y listado de actividades. Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a ingresar las actividades al formato de planificación intermedia, clasificándolas de manera que todas las pertenecientes a un mismo capítulo y con las mismas restricciones, se agruparan a manera de actividades guía. A continuación, se muestra un segmento de las actividades programadas en el plan intermedio correspondiente a la segunda semana de obra y sus cinco semanas siguientes.


	Plan Intermedio de obra													Fecha Actualización		Observaciones / Compromisos		
	Proyecto: Coworking NOI													8/06/2018				
	Carta Gantt							Restricciones						Ejecutable				
	Plan Actual																	
Actividad	28-may	4-jun	11-jun	18-jun	25-jun	2-jul	9-jul	16-jul	Diseño	Contratos Mayores	Materiales	Mano de obra	Herramienta y equipo	Logística Interna	Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	Actividad previa	% Avance	Estado
Oficina, Almacén y Baños provisionales									ok	ok	na	na	na	ok	ok	na	100%	Liberada
Instalación hidráulica provisional									ok	na	ok	ok	na	ok	ok	ok	100%	Liberada
Instalación eléctrica provisional									ok	na	ok	ok	na	ok	ok	ok	100%	Liberada
Demoliciones de muros, morteros y desmontes									na	na	na	ok	ok	na	ok	na	100%	Liberada
Botada de escombros									na	na	na	ok	ok	na	ok	ok	100%	Liberada
Aseo y Limpieza									na	na	na	ok	ok	na	ok	ok	100%	Liberada
Replanteo de zapatas y redes hidráulicas									ok	na	na	ok	ok	na	na	ok	100%	Liberada
Corte y demolición de losa									ok	na	na	ok	ok				50%	Restringida
Empacada y botada de escombros									na	na	na	ok	na	na			33%	Restringida
Excavación manual 0 - 2 m									ok	na	na	ok		na			40%	Restringida
Llenos y compactación en limo o arenilla									na	na		ok		na			20%	Restringida
Figurado y Armado de hierro para fundaciones									ok	na		ok		na			33%	Restringida
Suministro e instalación de platinas para columnas									ok	ok		ok	na	na			50%	Restringida

Tabla 15: Segmento del plan Intermedio.
Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 15, se pueden identificar las actividades planificadas. Luego, la carta Gantt permite identificar y validar su duración. Apoyado en la flecha de color azul. Se muestra la ventana de planificación actual, es decir, las semanas planificadas en la fecha de actualización de la tabla. Posteriormente, se muestra el listado de restricciones, el cual está directamente relacionado con la tabla de gestión de restricciones, en la que se detalla el proceso de liberación (ver tabla 16). Las restricciones están vinculadas mediante fórmulas a la celda de “% Avance”, así que cuando estas están todas en “ok” el avance será del 100% y esta restricción se encuentra liberada. Entonces, las actividades que tengan todas las restricciones liberadas harán parte del inventario de trabajo ejecutable (ITE) y pasarán al siguiente nivel de planificación.

Las restricciones se gestionaron mediante un formato que permite ver el detalle y su momento de liberación en el horizonte de las seis semanas. Esto permite que los equipos de trabajo tengan el conocimiento de las labores a desarrollar en cada semana y liberar las restricciones antes del momento de la ejecución.

Gestión de Restricciones

Proyecto: Coworking NOI

Tipo	Semana Liberación	Restricción	Departamento	Responsable	Estado
Contratos mayores	1	Cantidades de obra	Obra	Francisco	Liberada
Contratos mayores	2	Envío de cotización	Obra / Proveedor	Francisco	Liberada
Contratos mayores	2	Solicitud de contrato u orden de servicio	Oficina / obra	Tomás	Liberada
Contratos mayores	3	Evaluación de contratistas - Cuadro comparativo	Oficina / obra	Tomás	Restringida
Diseño	1	Planos	Diseñador	Alejandro	Liberada
Diseño	1	Especificaciones	Diseñador	Alejandro	Liberada
Mano de obra	1	Recepción de cotización	Obra / Proveedor	Francisco	Liberada
Mano de obra	6	Validación requerimientos SST	Obra / gestión humana	Francisco	Restringida
Mano de obra	6	Reunión de inicio	Obra / contratistas / SST	Francisco	Restringida
Materiales	2	Cantidades de obra	Obra	Francisco	Liberada
Materiales	2	Orden de compra	Compras	Tomás	Liberada
Herramienta y Equipo	1	Envío de Pliegos de condiciones	Obra / Proveedor	Francisco	Liberada
Herramienta y Equipo	2	Recepción de cotización	Obra / Proveedor	Francisco	Liberada
SST	6	Recepción de documentos personal de obra	Obra	Francisco	Restringida
SST	6	Legalización de documentación SST	Obra / contratistas / SST	Tomás	Restringida
Logística Interna	6	Disposición y Almacenamiento en obra	Obra / contratista	Francisco	Restringida
Logística Interna	6	Recepción de materiales, herramienta o equipo	Obra / contratista	Francisco	Restringida

Tabla 16: Gestión de restricciones, detalle de algunas de las restricciones.
Elaboración Propia.

En la tabla 16 se puede apreciar que las restricciones se organizan por los grupos previamente definidos en la tabla del plan intermedio. En el ejemplo anterior, se muestran algunas de las restricciones de cada grupo, al igual que su semana de liberación, el departamento encargado, el responsable directo y el estado. Esta tabla puede ser filtrada por semanas, tipo de restricción o responsables y así organizar el trabajo y conocer con claridad la ruta de liberación de las actividades.

6.3.3.4. Plan Semanal

Para la ejecución del plan semanal se tomaron las actividades que estaban liberadas o próximas a ser liberadas. Apoyándose en la programación en Gantt, la segmentación de las actividades guía del plan intermedio y las reuniones previas con los contratistas, se enumeraron las actividades que se incluirían dentro del plan semanal. En la tabla 17 se muestra la planeación de dos semanas.

Semana: 1		Periodo Programado: 28/05/2018 - 12/06/2018										Fecha de Registro: 23/05/2018	Fecha de Revisión: 6/06/2018					
Actividad	Sector / Zona	Contratista	Unidad	Cantidad	Cumplimiento		Calificación	Carta Gantt Semanal							Causas de No Cumplimiento	Causa Raiz	Pendiente	Observaciones
					% Comprometido	% Alcanzado		L	M	W	J	V	S	D				
Compra de contenedor para bodega	4	Obras y Montajes	und	2	100%	100%	1	x	x	x								
Preparación y pintura de Contenedores provisionales	4	Obras y Montajes	und	2	50%	50%	1				x	x	x					
Demolición de muros mampostería	1 a 3	Alvaro Restrepo	m2	50	100%	100%	1	x	x	x	x	x						
Desmonte de aparatos sanitarios	1 a 3	Alvaro Restrepo	und	4	100%	100%	1					x	x					
Retiro de puertas	1 a 3	Alvaro Restrepo	und	5	100%	100%	1						x	x				
Retiro de ventanas	1 a 3	Alvaro Restrepo	und	6	100%	100%	1						x	x				
Demolición de muros	1 a 3	Alvaro Restrepo	m2	20	100%	100%	1				x	x	x					
Desmonte de escalera metálica	1 a 3	Alvaro Restrepo	und	1	100%	100%	1							x				
Demolición de escalera en concreto	1 a 3	Alvaro Restrepo	m2	9.6	100%	100%	1				x	x	x					
Botada de escombros	1 a 3	Alvaro Restrepo	viaje	2	50%	50%	1						x	x				

Semana: 2		Periodo Programado: 4/06/2018 - 30/06/2018										Fecha de Registro: 30/05/2018	Fecha de Revisión: 13/06/2018					
Actividad	Sector / Zona	Contratista	Unidad	Cantidad	Cumplimiento		Calificación	Carta Gantt Semanal							Causas de No Cumplimiento	Causa Raiz	Pendiente	Observaciones
					% Comprometido	% Alcanzado		L	M	W	J	V	S	D				
Revisión de oficina y bodega en fabricación	-	Obras y Montaje	und	2	100%	100%	1						x					
Replanteo de zapatas y redes hidráulicas	1 a 3	Miguel Castro	dia	1	100%	0%	0	-	x					Gestión Administrativa	Falta de Recursos	Aprobación de clientes	Se hará la siguiente semana	
Replanteo de redes hidráulicas	1 a 3	Miguel Castro	dia	1	100%	0%	0	-	x					Gestión Administrativa	Falta de Recursos	Aprobación de clientes	Se hará la siguiente semana	
Corte y demolición de losa	1 a 3	Alberro Salazar	ml	55	100%	0%	0	-	x	x	x	x		Gestión Administrativa	Falta de Recursos	Aprobación de clientes	Se hará la siguiente semana	
Empacada y botada de escombros	3	Alvaro Restrepo	viaje	2	50%	50%	1	-	x	x								
Aseo y Limpieza general	1 a 3	Alvaro Restrepo	gl	1	100%	100%	1					x	x					
Excavación manual 0 - 2 m	1 a 3	Alberro Salazar	m3	10	30%	0%	0	-			x	x		Gestión Administrativa	Falta de Recursos	Aprobación de clientes	Se hará la siguiente semana	
Figurado y Armado de hierro para zapatas	1 a 3	Alberro Salazar	kg	530	75%	0%	0	-			x	x		Gestión Administrativa	Falta de Recursos	Aprobación de clientes	Se hará la siguiente semana	
Impermeabilización de muros y sobre cimientos	1 a 3	Aquazero	m2	82	30%	0%	0	-			x	x		Gestión Administrativa	Falta de Recursos	Aprobación de clientes	Se hará la siguiente semana	

Tabla 17: Segmento de la planificación a corto plazo.
Elaboración Propia.

En la primera semana se ejecutaron tareas simples relacionadas principalmente con las demoliciones. Para estas actividades las restricciones ya estaban liberadas en su totalidad. Pero en la segunda semana, se generaron retrasos dados principalmente por labores de la gestión administrativa. Para la ejecución de estas actividades, era necesario liberar restricciones de gestión legal, firmas de contratos, pagos de anticipos y visto bueno del acta de inicio de contratos. Dificultades con las entidades bancarias que financian el proyecto no permitieron el inicio de las actividades. Las actividades pendientes, se pasaron para a siguiente semana, previa gestión de sus restricciones.

Dado que el inicio de las actividades principales de obra se retrasó y los primeros anticipos no pudieron ser realizados, la primera reunión de planificación semanal no pudo ser ejecutada. Sin embargo, después de la reunión de *Pull Planning*, fue posible establecer algunas metas y compromisos a corto plazo en conjunto con los contratistas, la gerencia y los clientes.

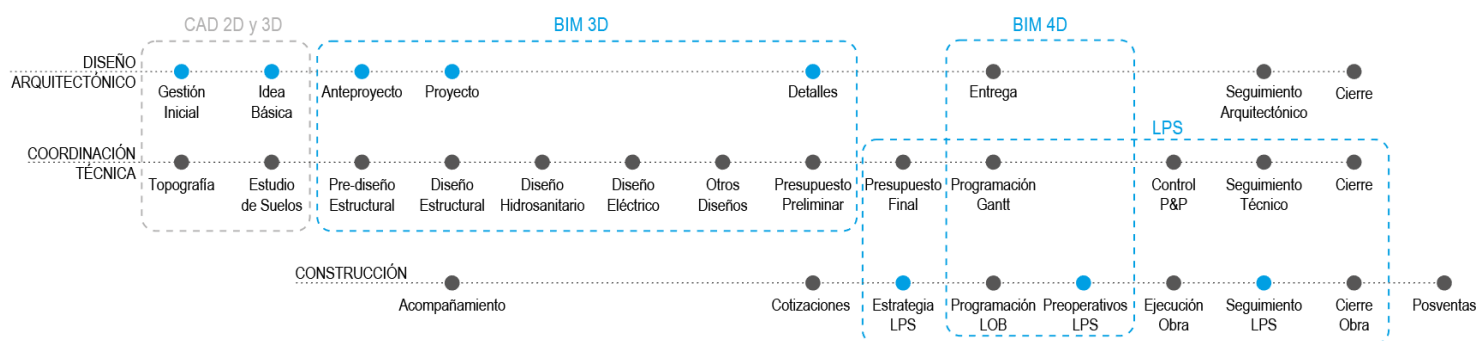
6.3.3.5. Seguimiento y Control

Para el seguimiento y control del presupuesto y la programación se designó una interventoría la cual hizo reportes periódicos del avance o retraso de la obra. Para ello fue necesario establecer unas políticas de medición, presentación y entrega de la información que cumplieran con los estándares formulados en las estrategias del LPS. En las reuniones de planificación semanal y en colaboración con la interventoría, se llevó a cabo la medición y control usando los indicadores de avance de la obra, tales como el PAC.

7. Propuesta de Implementación

Como resultado del proceso de implementación de los principios de LPS y BIM se logró desarrollar un proceso metodológico para el diseño y la construcción de proyectos en la empresa. Igualmente, se identificaron vacíos en el proceso que serán fuente de reflexión, investigación y desarrollo futuro.

En el siguiente diagrama se consolida la metodología implementada y se grafican las distintas fases de los procesos de diseño arquitectónico, coordinación técnica y construcción; relacionándolos con las herramientas de gestión estudiadas tales como modelado y coordinación BIM 3D y 4D y planeación y seguimiento de la construcción mediante el LPS.



*Ilustración 102: Diagrama resumen de la metodología implementada.
Elaboración propia.*

En el gráfico se muestra como las diferentes herramientas de gestión se integran a los procesos de diseño, coordinación y construcción. Los puntos azules indican las etapas guía que se desarrollarán con mayor detalle en la lista de chequeo final.

- CAD 2D: Son las herramientas de dibujo 2D utilizadas en los procesos de conceptualización y validación inicial del proyecto. Con el levantamiento topográfico se desarrolla una cabida arquitectónica inicial donde se valida la normativa, las áreas y las necesidades del proyecto.
- CAD 3D: Luego de tener la viabilidad mediante una factibilidad, se procede a desarrollar la idea básica, en la cual, mediante el uso de herramientas CAD de modelado 3D se le aportan todas las características espaciales al proyecto en términos de forma y de función.
- BIM 3D: Una vez el proyecto tiene los modelos básicos que incluyen la definición geométrica, programática y de materialidad, se inicia la etapa de Anteproyecto y por consiguiente el modelado y coordinación BIM. Inicialmente se integran del modelo CAD las características básicas definidas, y luego, con el pre-diseño estructural se define una primera versión del modelo BIM de arquitectura y estructura. Posteriormente, con el desarrollo del diseño se inician los estudios técnicos que serán coordinados en la etapa de proyecto y detalles.

Actualmente, el proceso de coordinación técnica se hace mediante parámetros básicos de trabajo colaborativo, pero no se cuenta con protocolos claro para el uso y manejo de la información. Sin embargo, es posible hacer un análisis de interferencia claro y mediante los comités de diseño ajustar coordinar el proyecto con un buen grado de precisión. Cabe resaltar que, durante la coordinación técnica, el departamento de construcción hace un acompañamiento y revisión de los diseños, intentando que las decisiones tomadas correspondan con las realidades constructivas y presupuestales.

- BIM 4D: Una vez se entrega la etapa de detalles arquitectónicos se inician la ejecución del presupuesto y la programación de obra. Con el insumo de la programación en Gantt se puede iniciar el proceso de modelado 4D, el cual se lleva a cabo agrupando los elementos del modelo 3D de acuerdo a las actividades de la programación de obra y obteniendo una simulación de la construcción de acuerdo a los diseños ejecutados y la programación planteada.
- LPS: Después de la entrega de los detalles arquitectónicos y de la finalización de todos los diseños técnicos, se inicia el trabajo de planeación con LPS en paralelo a la elaboración del presupuesto y la programación de obra. La idea es que las herramientas de gestión del LPS ayuden a fortalecer los procesos de planeación mediante el uso de la programación LOB, el diseño del plan logístico general y la posterior creación los distintos programas a Largo, mediano y corto plazo; con el posterior inicio de obra se trabaja en el proceso de seguimiento.

Con el objetivo de detallar el proceso y el uso de las herramientas de gestión a lo largo de los tres procesos presentados, se desarrolló una lista de chequeo que servirá como guía y ruta para la gestión de los proyectos.

LISTA DE CHEQUEO DISEÑO, COORDINACIÓN Y CONSTRUCCIÓN			
Etapas	Actividad	Herramienta de Gestión	Responsable
Gestión Inicial	Estudio de Necesidades	Presentación	Diseño
	Descripción del Programa General	Presentación	Diseño / Clientes
	Análisis de Referentes	Presentación	Diseño
	Definición Conceptual del Proyecto	Presentación	Diseño
	Definición de Producto	Presentación	Diseño / Clientes
	Visita al Lote	Fotografías	Diseño / Construcción
	Levantamiento Topográfico del Lote	CAD 2D	Consultores
	Cabida Arquitectónica	CAD 2D	Diseño
	Prefactibilidad Financiera	Hoja de Cálculo	Construcción

Tabla 18: Segmento de lista de chequeo. Metodología de Gestión de proyectos. Elaboración Propia.

Idea Básica	Bocetos	CAD 2D	Diseño
	Análisis de Emplazamiento	CAD 3D	Diseño
	Definición Formal	CAD 3D	Diseño
	Definición Funcional / Programática	CAD 2D y 3D	Diseño
	Planos	CAD 2D	Diseño
	Modelos 3D Arquitectura	CAD 3D	Diseño
	Estudio de Suelos	Presentación	Consultores
Anteproyecto	Cuadro de Áreas	Hoja de Cálculo	Diseño
	Estimativo de Inversión	Hoja de Cálculo	Construcción
	Modelos 3D Arquitectura: LOD 200	BIM 3D	Diseño
	Planos Anteproyecto	BIM 3D	Diseño
	Predimensionamiento Estructural	BIM 3D	Consultores
	Modelos 3D Estructura: LOD 200	BIM 3D	Consultores
	Definición de Zona Técnicas, Ductos y Buitrones	BIM 3D	Diseño
	Imágenes Fotorealistas Anteproyecto	Render	Diseño
Presentación de Resultados	Presentación	Diseño	
Proyecto	Cuadro de Áreas	Hoja de Cálculo	Diseño
	Modelos 3D Arquitectura: LOD 300	BIM 3D	Diseño
	Planos Proyecto	BIM 3D	Diseño
	Planos Licencias	BIM 3D	Diseño / Consultores
	Tramites Licencias	Hoja de Cálculo	Diseño / Consultores
	Planos Estructural	BIM 3D	Consultores
	Modelos 3D Estructura: LOD 300	BIM 3D	Consultores
	Planos de Redes y Otros	BIM 3D	Consultores
	Modelos 3D Redes: LOD 300	BIM 3D	Consultores
	Coordinación y Análisis de Interferencias	BIM 3D	Diseño / Construcción
	Imágenes Fotorealistas Anteproyecto	Render	Diseño
Presentación de Resultados	Presentación	Diseño	
Detalles	Cuadro de Especificaciones	BIM 3D	Diseño
	Cotizaciones para Obra	Hoja de Cálculo	Construcción
	Presupuesto Preliminar	Hoja de Cálculo	Consultores
	Modelos 3D Completo Coordinado: LOD 400	BIM 3D	Diseño
	Planos de Detalles Arquitectónicos	BIM 3D	Diseño
	Planos de Detalles Estructurales	BIM 3D	Diseño
	Planos de Detalles Redes y Otros	BIM 3D	Diseño
Presentación de Resultados	Presentación	Diseño	
Estrategia LPS	Carpeta de Diseños para Obra	BIM	Diseño / Consultores
	Presupuesto Final	Hoja de Cálculo	Consultores
	Programación de Obra	Gantt	Consultores
	Desarrollo del Plan General de Obra	LPS	Construcción
	Programación de Obra	LOB	Construcción
	Análisis de Interferencias de Programación	Presentación	Construcción
	Estrategia de Organización Administrativa	Presentación	Construcción
Estrategia de Organización Técnica	Presentación	Construcción	
Preoperativos LPS	Estudio de Layout y Plan Logístico	BIM 3D Y 4D	Diseño / Construcción
	Modelado 4D Completo	BIM 4D	Diseño / Construcción
	Reunión de Pull Planning	LPS	Construcción / Contratistas
	Desarrollo del Plan Intermedio	LPS	Construcción
	Desarrollo del Plan Semanal	LPS	Construcción
	Estrategia de Control de Presupuesto	Presentación	Consultores
Estrategia de Control de Programación	Presentación	Consultores	
Seguimiento LPS	Seguimiento del Plan General	LPS	Construcción
	Desarrollo y Seguimiento del Plan Intermedio	LPS	Construcción
	Desarrollo y Seguimiento del Plan Semanal	LPS	Construcción
	Determinación de Causas de No Cumplimiento	LPS	Construcción
	Análisis del Indicador PAC	LPS	Construcción
	Control de Presupuesto	Hoja de Cálculo	Consultores
	Control de Programación	Hoja de Cálculo	Consultores
	Seguimiento Arquitectónico y Técnico	Comités	Diseño / Consultores

Tabla 19: Segmento de lista de chequeo. Metodología de Gestión de proyectos.
Elaboración Propia.

8. Consideraciones Finales

Las metodologías y herramientas implementadas ayudaron a desarrollar y fortalecer la estructura operativa y funcional de la empresa A5 Arquitectura, abarcando procesos y métodos tanto del Departamento de Diseño previamente establecidos en la compañía, como del Departamento de Construcción que, por su corta trayectoria, carecía de protocolos y metodologías claras.

La metodología de trabajo BIM permitió afianzar procesos fundamentales en el Departamento de Diseño, entre los cuales se destacan:

- Proceso de documentación y producción planimétrica:

El modelado BIM, además de ser una ayuda clave para el entendimiento volumétrico y tridimensional del proyecto, permite la extracción de documentos y planos para la fabricación y construcción del mismo. Previo al presente estudio, en la compañía se desarrollaban modelos 3D, con fines únicamente ilustrativos, y luego se producía la información 2D de forma independiente. Con la implementación de BIM se logró mejorar la productividad del equipo de diseño, al igual que mejorar la calidad y cantidad de información entregada a las obras. Estas dos situaciones aumentan la rentabilidad de la empresa, disminuyen los tiempos de diseño, el número de consultas desde la obra a la oficina y los reprocesos y aumentan la comprensión y entendimiento del proyecto para el equipo de construcción.

- Proceso de modelado 3D:

El modelado 3D pasó a ser protagonista dentro del proceso de diseño. Un mayor nivel de exigencia y de detalle en la construcción de los modelos fue necesario, al igual que un personal más capacitado. Sin embargo, su utilidad y facilidad para obtener información de presentación y documentación para obra, está ayudando a la mejora y eficiencia del departamento. Cabe resaltar, que el modelado BIM trajo consigo el desarrollo de formatos y plantillas para el trabajo colaborativo y simultáneo entre los miembros del departamento, al igual que suscitó la mejora de la infraestructura tecnológica de la compañía. Actualmente los proceso, el departamento de diseño se encuentra en fase de implementación y adaptación, por lo que las mejoras no son cuantificables aún. Se espera que, con la práctica y mejora en el uso de la metodología, pronto se logren medir metas y cuantificar la eficiencia.

- Proceso de coordinación técnica:

Anteriormente, el proceso de coordinación se hacía en planos e información 2D, por lo cual, en las obras surgían un sin número de interferencias, las cuales se resolvían sobre la marcha, aumentando tiempos, desperdicios y dificultando la continuidad constructiva. Con la coordinación BIM se lograron evidenciar los problemas e interferencias de forma virtual, previo al inicio de obra. Por lo cual, la

solución fue mucho menos traumática y permitió tener documentos finales de construcción con un mayor nivel de realidad.

- Proceso de coordinación de la programación de obra y modelado 4D:

La programación de obra es un insumo que el Departamento de Diseño recibe como parte del proceso de coordinación de obra. La evaluación de esta información ha estado vinculada a estrategias empíricas basadas en la experiencia del equipo de trabajo y apoyadas en el Departamento de Construcción. Con el proceso de simulación 4D fue posible validar de forma más precisa el tiempo, la lógica constructiva y la simultaneidad de las actividades. Esto permitió la verificación de las actividades, es decir, validar que todas las partes diseñadas y modeladas hicieran parte de la programación de obra. La simulación 4D muestra el proceso constructivo de forma virtual, antes del inicio de obra, por lo que permite un entendimiento claro de la lógica constructiva y la identificación de interferencias logísticas, de almacenamiento, de transporte interno de materiales o insumos, de zonas de congestión de personal, entre otras. Por otro lado, la programación realizada para la simulación 4D permitió diseñar estrategias de trabajo conjuntas y la rápida validación con contratistas de los ritmos y los rendimientos. Cosa que antes, al tener las actividades segmentadas y desvinculadas, no era posible.

También fue posible la identificación de algunas falencias y necesidades que, a futuro, serán fuentes de desarrollo y mejora continua para la empresa.

- Desarrollar los protocolos para coordinar la información técnica:

Dado que el proceso de coordinación técnica se realiza de forma colaborativa entre consultores técnicos y diseñadores arquitectónicos, se identificó la necesidad de mejorar las estrategias de comunicación y de desarrollar protocolos más claros para compartir la información, de manera que cada técnico pueda visualizar sus interferencias en el momento del diseño y no luego de reuniones y revisiones detalladas de la información, optimizando el tiempo y facilitando el proceso.

- Desarrollar las plantillas para la gestión documental y producción de planimetría:

Durante el proceso de diseño y modelado BIM se usaron algunas plantillas y formatos de dibujo o presentación que la empresa poseía. Pero se identificó la necesidad de hacer una migración más completa de las bases de datos, plantillas y formatos, a las plataformas de trabajo BIM, de manera que el proceso de edición documental, realizado después del modelado, pueda ser ágil y tener los códigos y normas internas de representación.

- Desarrollar protocolos para la coordinación de la programación de obra:

Al igual que en el proceso de coordinación técnica, se vio la necesidad de desarrollar protocolos para el trabajo colaborativo entre el consultor de la programación de obra y los diseñadores responsables de la simulación 4D, actualmente no se cuenta con ellos. Durante la investigación, se evidenció que la parte fundamental de una buena coordinación está en el proceso de creación de las actividades en el programa Gantt y los grupos de selección del modelado 3D. Durante el proceso de modelado 4D y la planeación de la obra, se obtuvieron tres archivos distintos de programación Gantt. Se concluye que, estableciendo protocolos y criterios claros para la creación de las actividades, se puede trabajar con un solo archivo que pueda migrar libremente entre las plataformas de programación y las de simulación 4D.

Las metodologías y procesos del sistema LPS permitieron desarrollar modelos de gestión, planificación y control a lo largo de toda la cadena productiva del Departamento de Construcción. A partir del presente trabajo, se crearon y/o fortalecieron procesos, al igual que se establecieron protocolos de trabajo.

- Definición los roles y relaciones laborales:

Se logró definir, según el tamaño del proyecto, cuáles serían los roles, participantes y relaciones en la administración y construcción de proyecto. Esto puede significar una base para la relación contractual y la comunicación entre los distintos actores que componen un proyecto. La claridad y comunicación son elementos que disminuyen los riesgos legales para la compañía y la protegen de reclamaciones indebidas y errores generados por terceros.

- Definición de procesos administrativos y organización general:

Dado que el proyecto contenía una estructura administrativa compleja para la experiencia de la empresa, se vio la necesidad de desarrollar un sistema de trabajo y colaboración entre las partes. La documentación resultante será parte integral de las estrategias de gestión y administración de los proyectos futuros, sin la cual hubiera sido difícil establecer relaciones claras, canales de comunicación y evaluaciones imparciales y objetivas.

- Definición de las estrategias de planificación:

Dado que la compañía cuenta con experiencia en crecimiento en el campo de la construcción, el presente trabajo ayudó a consolidar y/o desarrollar métodos de planificación que ahora serán guías para el desarrollo de proyectos futuros. En proyectos anteriores se había trabajado con métodos tradicionales, en muchos casos con poco fundamento y desarrollo. Los nuevos enfoques ayudaron al desarrollo de una metodología más clara y procesos más estables y fundamentados.

- Desarrollo de formatos de planificación y control:

Las metodologías y sistemas de planificación que plantea el *LPS* sirvieron como referencia y base fundamental para el desarrollo de los formatos de planificación, seguimiento y control de obras. Con el presente trabajo la compañía queda con los formatos base y una guía de procesos para la ejecución de la obra. Así, cada integrante del equipo puede consultar y validar su trabajo, siguiendo parámetros claros que, poco a poco, van organizando la compañía y generando valor agregado.

- Integración técnica entre diseño y construcción:

Las estrategias de planificación planteadas en las metodologías del *LPS* están muy relacionadas con los procesos de diseño, puesto que se intenta disminuir perdidas en la fase de construcción, ya que se trata de hacer un esfuerzo especial por detectar los problemas antes de la ejecución. Esta visión evidenció la necesidad de afianzar las relaciones entre los integrantes de los dos departamentos y hacer un traslape mayor entre los procesos de diseño, los de coordinación y los de construcción, con participación de los líderes de cada departamento.

Al igual que en el Departamento de Diseño, en el Departamento de Construcción quedan retos importantes y temas claros a desarrollar.

- Creación del sub departamento de coordinación técnica:

Tanto BIM como *Lean* proponen modelos de trabajo colaborativo, en los que la integración de diseños es clave. Dado que el trabajo de coordinación es un proceso de suma importancia para llevar información clara y fidedigna a la obra, se identificó la necesidad de crear un sub-departamento direccionado a la coordinación técnica. La empresa quiere desarrollar nuevas estrategias y métodos, basados, entre otros, en las teorías del IPD (*Integrated Project Delivery*), para que a futuro se haga un paso más orgánico y contundente entre el diseño y la construcción.

- Desarrollo de los procesos técnicos constructivos:

Con el inicio de obra y las primeras relaciones con la interventoría, se vio la necesidad establecer protocolos de ejecución, revisión y recepción de las actividades de construcción. Será clave, entonces, desarrollar estrategias de gestión de la producción, catálogos o inventarios de procesos constructivos, en colaboración con los contratistas, de manera que existan guías y parámetros técnicos para la ejecución de la obra.

- Desarrollar estrategias de monitoreo y control:

En colaboración con la interventoría y el consultor encargado del control de costos, se espera desarrollar las estrategias y formatos de control de costos, programación y hacer uso activo de los indicadores de gestión y control que plantea en *LPS*.

El presente trabajo será una guía fundamental y referencia constante para el diseño, coordinación y construcción de nuevos proyectos en la compañía, creando en el equipo de trabajo la motivación a la mejora continua, la transformación de viejos paradigmas y un especial interés por la investigación. El siguiente reto será que la compañía desarrolle un Departamento de Investigación estable, a través del cual se puedan seguir afianzando procesos y evolucionando para estar a la vanguardia.

Bibliografía

- Aguilar, G. (2015). *Modelado 4D y Monitoreo de Productividad IP en Proyectos de Construcción*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Arena Solutions Inc. (2017). *Arena Solutions*. Obtenido de <https://www.arenasolutions.com/resources/articles/engineered-to-order/>
- Autodesk. (2015). BIM Pilot. Getting Started Guide. 3. Obtenido de <http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/test-drive-bim-q3/bds/getting-started-guide-v3.pdf>
- Ballard, G. (1994). *The last planner*. Northern California Construction Institute, Monterey, California.
- Ballard, G. (2000). *The last planner system of production control*. University of Birmingham.
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). What Kind of Production Is Construction? *6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/37>
- Ballard, G., Tommelein, I., Koskela, L., & Howell, G. (2002). Lean construction tools and techniques. 227-255.
- Barlow, J. (1998). From Craft Production to Mass Customisation- Customer-Focused Approaches to Housebuilding. 1.
- BIM Forum. (11 de 2017). *BIM Forum*. Obtenido de The US Chapter of building smarte international: <http://bimforum.org/lod/>
- Björnfot, A., & Bakken, E. N. (2013). Quality Function Deployment (OFD) with a Human Touch.
- Bortolini, R., Shin-Iti Shigaki, J., & Formoso, C. T. (2015). Site Logistics Planning and Control Using 4d Modeling: A Study in a Lean Car Factory Building Site. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 361-370. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/1222>
- Botero, L. F. (2006). *Construcción sin Pérdidas. Analisis de procesos y Filosofía Lean Construction*. Medellín: LEGIS S.A.
- Botero, L. F. (2008). *Construcción de edificaciones. Aspectos administrativos*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Botero, L. F., & Villa, M. (2004). Guia de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. *Revista universidad EAFIT*, 40(136), 50-64.
- Campero, M., & Alarcon, L. F. (2003). *Administracion de proyectos civiles*. Santiago de Chile: Ediciones UC.
- Childerhouse, P., Hong-Minh, S., & Naim, M. (2000). Selecting The Right Strategy To Meet Customer Requirements.

- Cuperus, Y. (2002). The Almere Monitor - An Evaluation of 19 Consumer Oriented Housing Projects in the Netherlands.
- Dallasega, P., Marcher, C., Marengo, E., Rauch, E., Matt, D. T., & Nutt, W. (2016). A Decentralized and Pull-Based Control Loop for On-Demand Delivery in Eto Construction Supply Chains. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 33-42. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/1242>
- El-Rayah, T., & Hollier, R. (1970). A Review of Plant Design Techniques. *International Journal of Production Research*, 8:3, 263-279.
- Forbes, L., & Ahmed, S. (2010). *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. New York: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Gozález, C. (2015). Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos practicos en gestion de proyectos.
- Grupo 4S. (2 de 12 de 2016). *Minds Over Market*. Obtenido de Arquitectura y Diseño. La clave para liberar tu potencial de diseño arquitectónico: <https://grupo4s.com/2016/12/02/potencial-arq/>
- Höök, M. (2006). Customer Value in Lean Prefabrication of Housing Considering Both Construction and Manufacturing. 4.
- Howell, G., & Ballard, G. (1998). Implementing Lean Construction: Understanding and Action. *6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/46>
- Hoyos, M. F., & Botero, L. F. (2017). Manual de Buenas Prácticas. Last Planner System - Sistema de Ultimo Planificador. 7.
- International Group for Lean Construction. (2015). IGLC. Obtenido de <http://iglc.net/Home/About>
- John, E. (1998). Rethinking Construction. *Department of Trade and Industry*. Obtenido de <http://www.synchroltd.com/library/images/rethinkingconstruction.pdf>
- Kemmer, S. L., Rocha, C. G., Meneses, L. O., Pacheco, A. V., & Formoso, C. T. (2010). Application of Lean Principles to Manage a Customisation Process. 1.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford university Stanford, CA.
- Koskela, L. (1999). Management of Production in Construction: A Theoretical View. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 241-252. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/76>
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- Lean Construction Enterprise. (2017). LCE. Obtenido de Lean Construction Enterprise: <http://www.leanconstructionenterprise.com/>

- Lean Construction Institute. (2013). *Introduction to Pull Planning*. (l. t. Planning, Productor) Obtenido de <https://www.leanconstruction.org/media/docs/deliveryGuide/Appendix7.pdf>
- Lindfors, C. T. (2000). Value Chain Management in Construction- Controlling the Housebuilding Process. 1-2.
- Marinho, J. P., Veras, M., & Barros, J. d. (2014). The Relationship Between Product, Architecture and Mass Customization in Housing Sector.
- Matéu, D. (2015). Building Information Modeling 4D aplicado a una planificación con Last Planner System. 24.
- Morgan, J. M., & Liker, J. K. (2006). *The Toyota Product Development System*. New York: Productivity Press.
- Muñoz, C. (2015). *Innovación en Desarrollo Inmobiliario. Un nuevo proceso de conceptualización de proyectos extraordinarios*. Bienes Raíces Ediciones.
- Muther, R. (1982). *Distribución en Planta. (Segunda Edición)*. Barcelona, España: Editorial Hispano Europea.
- Noguera, D. (2015). *Building Information Modeling 4D, Virtual Design & Construction y Last Planner System*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Nueva York: Productivity Press.
- Paez, O., Salem, S., Solomon, J., & Genaidy, A. (2005). Moving from lean manufacturing to lean construction: Toward a common sociotechnological framework. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 15(2), 233-245.
- Peñaloza, G. A., Viana, D. D., Bataglin, F. S., Formoso, C. T., & Bulhões, I. R. (2016). Guidelines for Integrated Production Control in Engineer-to-Order Prefabricated Concrete Building Systems: Preliminary Results. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 103-112. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/1296>
- Pérez, C. (2015). Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos.
- Pérez, I. (28 de 09 de 2017). *BIM Community*. Obtenido de Why don't we start at the beginning? The Basics of a Project: Lean Planning and Pre-Construction: <https://www.bimcommunity.com/news/load/490/why-don-t-we-start-at-the-beginning>
- Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid: Fundación Laboral de la Construcción.
- Richard Muther & Associates. (2005). Overview of Systematic Layout Planning (SPL). 3.
- Rocha, C. G., Formoso, C. T., & Santos, A. (2012). An Overview of the Customisation Strategies Developed by Four Organisations of the House-Building Sector. 1.
- Rocha, C. G., Kemmer, S. L., Meneses, L., & Formoso, C. T. (2013). Managing the Information Flow in Customised Apartment Building Projects. 1.

- Rodriguez, A., Alarcon, L. F., & Pellicer, E. (2011). La gestion de la obra desde la perspectiva del ultimo planificador. *Revista de Obras Públicas*, 158(3518).
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Luegring, M. (2005). Site implementation and assessment of lean construction techniques. *Lean Construction Journal*, 1-21.
- Schwabe, K., Liedtke, S., König, M., & Teizer, J. (2016). BIM-based Construction Site Layout Planning and Scheduling. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*, 679-686.
- Tillmann, P. A., & Formoso, C. T. (2008). Opportunities to Adopt Mass Customisation - A Case Study in the Brazilian House Building Sector. 2.
- Tiwari, S., & Sarathy, P. (2012). Pull Planning as a Mechanism to Deliver Constructible Design. (I. D. Tommelein, Ed.) *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/849>
- Toro, I. D., & Parra, R. D. (2006). *Método y conocimiento. Metodología de la investigación*. Medellín: Fondo editorial Universidad Eafit.
- Vaidyanathan, K. (2003). Value of Visibility and Planning in an Engineer-to-Order Environment. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/273>
- Viana, D. D., Bulhões, I. R., & Formoso, C. T. (2013). Guidelines for integrated planning and control of engineer-to-order prefabrication systems. *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 549-558. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/959>
- Viana, D., Formoso, C. T., Wesz, J., & Tzortzopoulos, P. (2014). The Role of Visual Management in Collaborative Integrated Planning and Control for Engineer-to-Order Building Systems. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 775-786. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/1074>
- Viana, D., Tillmann, P., Sargent, Z., Tommelein, I., & Formoso, C. (2015). Analysis of HVAC Subcontractor Mechanisms for JIT Materials Supply to a Construction Site. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 246-255. Obtenido de <http://www.iglc.net/papers/details/1171>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon and Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Simon and Schuster.
- World Economic Forum. (2016). Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology. 9.
- Xin Ning, K.-C. L.-K. (2011). A decision-making system for construction site layout planning. *Automation in Construction* 20, 459-473.

