

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS DE
DISEÑO BASADA EN LA CONSTRUCCIÓN VIRTUAL
USANDO TECNOLOGÍAS BIM**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

PAUL VLADIMIR ALCÁNTARA ROJAS

Lima- Perú

2013

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y que siempre ilumine nuestro camino.

A mi familia por su fraternal apoyo.

A mi alma máter la Universidad Nacional de Ingeniería.

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho esta oportunidad para agradecer a todas las personas que he ido conociendo en mi corto camino profesional desde que egresé de la universidad. Quisiera empezar con el Instituto de Investigación IIFIC-UNI, por formar una élite de profesionales dedicados a la investigación, de los cuales he tenido el placer de conocer a muchos de ellos. Todo ello no hubiese sido posible fruto del constante apoyo del Dr. Teófilo Vargas, Dr. Víctor Sánchez y de la Sra. Elena Muñoz, que siempre han estado prestos a apoyarnos.

También agradezco al convenio IIFIC-GyM por financiar mis prácticas pre-profesionales y permitirme descubrir mi vocación de investigador.

Mis agradecimientos al Dr. Juan Ríos y al Ing. Wilfredo Ulloa, por apoyarme en el desarrollo de esta tesis y sus sabios consejos.

Y a mi familia mi eterno agradecimiento por tolerarme muchos días de ausencia cuyo esfuerzo están plasmados en esta tesis.

	Pág.
RESUMEN	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 ESTADO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	6
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)	8
2.1.1 Definición	8
2.1.2 Aplicaciones BIM para la industria de la construcción	10
2.1.3 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción	11
2.1.4 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción	14
2.1.5 BIM como herramienta TIC para la construcción	15
2.1.6 La sinergia Lean - BIM	16
2.1.7 Adopción de tecnologías BIM en el Perú y el mundo	17
2.2 SISTEMA DE ENTREGA DE PROYECTOS (PDS)	20
2.1.8 Modelos PDS más adoptados:	20
2.1.9 Desventajas del modelo D/B/B para un proceso "Lean"	23
2.3 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)	25
3. CAPITULO III: DEFICIENCIAS DE DISEÑO: CLASIFICACIÓN, CAUSAS Y SU IMPACTO DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	30
3.1 DISEÑO DE CALIDAD Y SU RELACIÓN CON LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES	31
3.2 DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES DE DISEÑO	33
3.3 INDICADOR PARA MEDIR EL NIVEL DE CALIDAD DE LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES	42

3.4	ESTUDIO: CLASIFICACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES	43
3.5	CAUSAS DE LAS DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES	49
3.6	INFLUENCIA E IMPACTO DE LAS DEFICIENCIAS DE DISEÑO EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	51
4.	CAPITULO IV: METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS DE DISEÑO EN PROYECTOS DE EDIFICACIONES	64
4.1	METODOLOGÍA PARA PROYECTOS DISEÑO/LICITACIÓN/CONSTRUCCIÓN	64
4.2	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	66
4.2.1	Construcción virtual BIM-3D de la edificación	66
4.2.2	Modelado BIM-3D de las instalaciones	70
4.2.3	Necesidades para una coordinación MEP/FP	74
4.2.4	Procedimientos para detectar deficiencias de diseño	76
4.2.5	Modelado en BIM-4D para la construcción	84
4.2.6	Gestión de la Información del Proyecto	86
4.3	RECOMENDACIONES PARA UNA ADECUADA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	88
4.4	ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA A PROYECTOS DISEÑO/CONSTRUCCIÓN	89
5.	CAPITULO V: CASO DE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS BIM EN UN PROYECTO EN LIMA	90
5.1	ÁREA DE ESTUDIO	90
5.2	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y LA DECISIÓN DE USAR EL BIM	90
5.3	APLICACIONES BIM DESARROLLADAS EN EL PROYECTO	98
5.3.1	BIM como herramienta de compatibilización	98
5.3.2	Simulación del proceso constructivo BIM-4D	100
5.3.3	Estimación de los metrados	104
5.3.4	BIM como herramienta de visualización del proyecto	106
5.4	FACTORES CLAVE QUE HICIERON DEL BIM UNA HERRAMIENTA EFECTIVA EN EL PROYECTO	112
5.4	BENEFICIOS Y AVANCES OBTENIDOS	114

5.5	BIM Y LOS CAMBIOS EN LA FORMA DE GESTIONAR LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN	116
5.7	FUTURO DEL BIM EN LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	117
	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
6.1	CONCLUSIONES	121
6.2	RECOMENDACIONES	123
	BIBLIOGRAFÍA	124

RESUMEN

En proyectos de edificaciones, desarrollados según el modelo tradicional de entrega de proyectos Diseño/Licitación/Construcción, los documentos de diseño e ingeniería son elaborados en la etapa de diseño por arquitectos, consultorías y proyectistas de ingeniería, desempeñando un papel importante en los proyectos de construcción ya que trasladan las necesidades y requerimientos del cliente en planos y especificaciones técnicas. Estos documentos, al contener toda la información necesaria para llevar a cabo la construcción, sirven de base durante el proceso de licitación y posteriormente se entregan a la empresa contratista como documentos oficiales para que comience con la ejecución. En una situación ideal, los documentos contractuales del proyecto de construcción deberían estar completos, precisos, sin conflictos y ambigüedades, pero desafortunadamente esto es raramente encontrado y muy a menudo la contratista empieza la construcción con documentos incompatibles, erróneos e incompletos, requiriendo, por consiguiente, clarificaciones que tienen que ser respondidas por los proyectistas y diseñadores en pleno proceso de construcción. Cuando se da este caso, es esencial que la información sea entregada a la contratista eficientemente y sin retrasos, de lo contrario podría influir en la eficiencia durante el desarrollo del proyecto.

Se define deficiencia de diseño como "alguna deficiencia en los planos o especificaciones". Las más comunes deficiencias de diseño se clasifican en tres tipos: (1) Conflictos o discrepancias entre los planos y especificaciones de los documentos contractuales, (2) Errores y conflictos de coordinación interdisciplinaria, (3) La falta de constructabilidad.

Basado en esta clasificación y con la finalidad de manejar estadísticas más recientes y ajustadas a nuestra realidad se realizó un estudio para clasificar las deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería encontradas durante la construcción de cinco proyectos de edificaciones construidos en la ciudad de Lima. Para ello fueron analizados las consultas que se emiten y responden por la vía formal contratista-gerencia, analizado una muestra de 2104 observaciones encontradas dentro de 1406 Solicitudes de Información (RFI). En efecto, se encontró que el mayor porcentaje de consultas emitidas a través de RFI están relacionadas a "Deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería", siendo un buen indicador de los tiempos que usualmente una empresa constructora invierte

en revisar toda la información contractual del proyecto buscando resolver las deficiencias encontradas en los planos y especificaciones técnicas que se presentan debido a una inadecuada representación gráfica bidimensional 2D, a la falta de detalles, incompatibilidades o a una deficiente integración con los planos de las demás especialidades, sacrificando tiempo-esfuerzo que podrían ser dedicadas a la realización de actividades exclusivamente productivas.

Para aliviar este problema, se plantea una metodología con procesos y herramientas basados en el uso de modelos tridimensionales BIM-3D que facilitan el proceso de visualización y compatibilización de los documentos de diseño anticipándonos a la construcción real del proyecto, de esta manera el enfoque de esta metodología se centra en la premisa de construir dos veces. Siendo la primera la denominada "construcción virtual", en donde identificaremos y minimizaremos las deficiencias en los documentos de diseño e ingeniería y la optimizaremos mediante revisiones de constructabilidad, introduciendo en los modelos todos los cambios que sean necesarios. La segunda, la construcción real y definitiva, en donde ya minimizamos las deficiencias de diseño, en donde la contratista podría aumentar esfuerzos en temas de planificación, producción, control y seguridad.

El modelo BIM podría decirse que es la evolución del diseño asistido por computadora CAD que sólo usa líneas, arcos y símbolos bidimensionales 2D para representar objetos geométricos. En cambio un software BIM utiliza objetos 3D inteligentes con información paramétrica como el área, volumen, etc. El BIM como tecnología es muy nueva en el Perú, tan sólo pocas empresas vienen incorporándolo dentro de sus procesos de diseño y/o construcción. A falta de estadísticas para contar con casos prácticos de aplicación e implementación de estas tecnologías, uno de los objetivos de esta investigación fue la de estudiar su uso y aplicabilidad adaptadas a las condiciones de gestión de los proyectos a nivel local. Para ello se exploraron algunas aplicaciones del BIM durante la etapa de construcción del Edificio Educativo Universidad del Pacífico, considerado como el primer proyecto demostrativo en GyM S.A. en el uso de modelos BIM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Los proyectos de construcción en el Perú son cada vez más complejos	2
Figura 1.2: Proceso de desarrollo de proyectos de construcción basados en el sistema Diseño/Licitación/Construcción	2
Figura 1.3: Aumento de los costos debidos a un cambio de diseño y su capacidad de controlarlos	3
Figura 2.1: Representación virtual tridimensional mediante el uso del BIM	9
Figura 2.2: Modelo de Integración del Proyecto (PIM) mediante el BIM	10
Figura 2.3: Áreas de aplicación del BIM para proyectos de construcción	11
Figura 2.4: Típica interfaz gráfica de un software de simulación 4D	14
Figura 2.5: Crecimiento en la adopción del BIM en los EUA	18
Figura 2.6: Adopción del BIM en Norte América	18
Figura 2.7: Sistemas de Entrega de Proyectos (PDS) más adoptados en el Perú	20
Figura 2.8: Adopción del modelo D/C respecto al D/L/C en los EUA	22
Figura 2.9: Módulos del Sistema de Entrega de Proyectos sin Pérdidas (LPDS)	27
Figura 3.1: Vista 3D de la losa omitida por incompatibilidad entre planos	34
Figura 3.2: (Izquierda) Losa del SS.HH. según el plano de arquitectura. (Derecha) Omisión de la losa en el plano de estructuras	35
Figura 3.3: Vista 3D del ducto omitido por incompatibilidad entre los planos	35
Figura 3.4: (Izquierda) Ducto según el plano de arquitectura. (Derecha) Omisión del ducto en los planos de estructuras	36
Figura 3.5: (Arriba) Vista desde el interior de un modelo 3D de instalaciones. (Abajo) La misma vista con las interferencias identificadas	37
Figura 3.6: Interferencia entre tuberías de agua contra incendio con ductos de extracción de monóxido	38
Figura 3.7: Caso de interferencia entre una tubería y la estructura	38
Figura 3.8: Interferencia entre un ducto y una tubería	39
Figura 3.9: Pases en vigas mediante perforaciones diamantinas	40
Figura 3.10: Clasificación de RFI por tipo de consulta	45
Figura 3.11: Clasificación de Solicitudes de Información (RFI) por proyecto y por tipo de consulta	46
Figura 3.12: Clasificación de deficiencias por especialidades	47

Figura 3.13: Complejos recorridos de las instalaciones ubicadas encima del FCR	48
Figura 3.14: Etapas del modelo Diseño/Licitación/Construcción	50
Figura 3.15: (Izquierda) Influencia del diseño en la productividad en la construcción. (Derecha) Grado de eficiencia del diseño en los proyectos	51
Figura 3.16: Flujo de actividades que se sigue en campo cuando se detecta un error en los documentos de diseño	53
Figura 4.1: Fases del modelado en BIM para proyectos de edificación	68
Figura 4.2: El proceso de modelado en BIM-3D se basa en los juegos de planos por especialidades	69
Figura 4.3: Coordinación de los planos de diseño utilizando un tablero iluminado	75
Figura 4.4: El modelo virtual BIM-3D sirve para verificar que los componentes tengan lógica constructiva	77
Figura 4.5: Incompatibilidad identificada mediante una revisión analítica del proyecto	78
Figura 4.6: Integración de los modelos BIM-3D por especialidades	79
Figura 4.7: Modelo de reporte de interferencias que se analiza, discute y resuelve en una reunión de coordinación	80
Figura 4.8: A. Modelo con interferencias según los planos contractuales. B. Modelo compatibilizado después de una reunión de coordinación	81
Figura 4.9: Recorrido virtual desde el interior del modelo BIM-3D integrado	83
Figura 4.10: Requisitos para la simulación BIM-4D del proceso constructivo	85
Figura 4.11: Criterios de modelado en BIM: el caso de las columnas	86
Figura 5.1: Modelo BIM 3D integrado del proyecto Universidad del Pacífico	91
Figura 5.2: Nivel de detalle del modelo BIM del proyecto Universidad del Pacífico. (Arriba) Vista en perspectiva hacia el escenario del teatro. (Abajo) Imagen fotorrealista de la misma vista	94
Figura 5.3: Vista 3D de una de las aulas magnas del proyecto	95
Figura 5.4: Vista 3D del modelo BIM de la excavación	95
Figura 5.5: Vista 3D de toda la estructura del edificio	96
Figura 5.6: Modelo BIM incluyendo los componentes de la arquitectura básica	96
Figura 5.7: Modelos BIM de instalaciones integrados con la arquitectura y estructura	97
Figura 5.8: Modelo BIM-3D incluyendo la arquitectura detallada	97

Figura 5.9: Vigas de concreto interfiriendo con el faso cielo raso	99
Figura 5.10: Vigas de concreto interfiriendo con las cenefas del falso cielo raso	99
Figura 5.11: Incompatibilidad por falta de detalle de sujeción del falso cielo raso	100
Figura 5.12: El uso masivo de elementos prefabricados y prearmados requirió un planeamiento orientado al uso de equipos	101
Figura 5.13: Sectorización en planta del proyecto según lo programado	102
Figura 5.14: Tareas de la programación de obra (modificada) y su sintaxis	103
Figura 5.15: Simulación del proceso constructivo de la estructura de concreto	104
Figura 5.16: Formas de modelado 3D tomando como ejemplo un muro con FCR a media altura	106
Figura 5.17: Comparativo entre el modelo virtual 3D y la estructura real del edificio	107
Figura 5.18: Corte del modelo 3D de la estructura del auditorio	108
Figura 5.19: Vista del modelo BIM-3D desde el interior de una de las aulas magnas	108
Figura 5.20: Layout 3D de la etapa de excavación del proyecto	109
Figura 5.21: Layout 3D con ubicación de obras provisionales del proyecto	109
Figura 5.22: Layout 3D correspondiente al vaciado del último piso de la estructura	110
Figura 5.23: Render del modelo BIM desde el interior del teatro	110
Figura 5.24: Render del modelo BIM desde el interior de una aula magna	111
Figura 5.25: Render del modelo BIM de una de las 17 aulas típicas del edificio	111
Figura 5.26: Organigrama del proyecto y la inclusión de un modelador BIM dentro del área de Gestión de la Información	113
Figura 5.27: Foto después de la charla realizada en el proyecto durante el IGLC	115
Figura 5.28: Esquema de trabajo en equipo usando un modelo BIM	117
Figura 5.29: Uso del modelo BIM en las reuniones con los capataces	117
Figura 5.30: Proceso de montaje de elementos prefabricados basado en el uso de modelos BIM	119
Figura 5.31: Proceso para construcción virtual en BIM liderado por la contratista	120

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Herramientas TIC más influyentes en la construcción	16
Tabla 3.1: Ejemplos de Productos No Conformes (PNC) en instalaciones	55
Tabla 4.1: Componentes de cada una de las fases del modelado en BIM	69
Tabla 4.2: Modelos BIM-3D de los distintos sistemas de instalaciones	71
Tabla 5.1: Datos generales del proyecto en estudio	91

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

ACI:	Agua Contra Incendio
BIM:	Modelado de información de la Edificación
BIM-3D:	Modelo tridimensional (3D) de la edificación
BIM-4D:	Simulación del proceso constructivo (Modelo 3D + Tiempo)
D/B:	Design/Build (Diseño/Construcción)
D/B/B:	Design/Bid/Build (Diseño/Licitación/Construcción)
DCU:	Design Control Unit
EUA:	Estados Unidos de América
FCR:	Falso Cielo Raso
FP:	Fire Protection (Protección contra incendios)
HVAC:	Heating, Ventilation and Air Conditioner (equivalente a IIMM)
IIMM:	Instalaciones Mecánicas
IIEE:	Instalaciones Eléctricas
IISS:	Instalaciones Sanitarias
MEP:	Mechanical, Electrical and Plumbing (Mecánica, Eléctrica y Plomería)
LCI:	Lean Construction Institute
LPDS:	Lean Project Delivery System (Sistema de Entrega de Proyectos sin Pérdidas)
PDS:	Project Delivery System (Sistema de Entrega de Proyectos)
PNC:	Productos No Conformes
RFI:	Request for Information (en español Solicitudes de información o SI)
TIC:	Tecnologías de la Información y Comunicación

INTRODUCCIÓN

La práctica en la construcción de proyectos de edificaciones ha demostrado y encontrado una serie de deficiencias en los documentos contractuales de diseño e ingeniería (planos y especificaciones técnicas). Estos influyen e impactan negativamente durante la etapa de construcción sobre los costos y plazos de ejecución del proyecto y derivan posteriormente a problemas de calidad porque es en plena construcción de la obra donde son encontrados y resueltos gran porcentaje de estos problemas. Fundamentalmente las deficiencias en los documentos contractuales de diseño se originan debido a una marcada división de las dos etapas más importantes para la entrega de proyectos, las de diseño y construcción por una etapa intermedia de licitación, y/o por el desarrollo de proyectos tipo fast-track o proyectos con cronograma acelerado.

La complejidad de los proyectos de edificaciones requeridos por los clientes hoy en día es cada vez mayor, con una gran variedad de instalaciones, materiales, insumos y procedimientos que exigen la aplicación no solo de herramientas eficaces de gestión y planificación en la etapa de construcción, sino también de una adecuada revisión, compatibilización y realimentación del diseño del proyecto antes de llegar a esa etapa. Sin embargo, muchas veces el diseño del proyecto pasa a la etapa de construcción con documentos incompletos, no compatibilizados con errores e interferencias entre especialidades, obligando a la constructora a asumir el liderazgo en revisar y rectificar esas deficiencias, y lo que es más crítico es que esta revisión se da muchas veces en plena construcción del proyecto, lo cual podría incidir negativamente en los plazos y costos si estas deficiencias no son detectadas a tiempo utilizando las herramientas adecuadas. Además a pesar que el sector construcción requiere herramientas eficientes para gestionar toda esta información del proyecto, este sector es una de las industrias que tiene los más bajos niveles de implementación de TIC para mejorar o innovar sus procesos. Una tecnología emergente es el uso de modelos 3D para almacenar la información del proyecto, aprovechando varias de sus aplicaciones como modelar en 3D para propósitos de compatibilización del proyecto, simulación 4D del proceso constructivo o la visualización virtual del proyecto para realizar revisiones de constructabilidad. Para ello la tecnología nos propone un sistema de gestión de la información conocido como BIM (Building Information Modeling) que nos permite

compatibilizar e integrar el diseño del proyecto por anticipado y mucho antes de llegar a campo, eliminando desperdicios desde el diseño.

Este proceso de integración es compatible con los principios del enfoque Lean Design, propuestos por el Instituto Lean Construction; y además el uso de tecnologías BIM interactúa con los principios para la entrega de un proyecto "Lean", no sólo para la fase de construcción (Lean Construction), sino también para la de diseño y para la integración entre ambas etapas.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ESTADO DEL PROBLEMA

La industria nacional de la construcción es una pieza clave para la estabilidad y el fortalecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) nacional, cuyo crecimiento tuvo una variación porcentual de 17.5% para el año 2010, 10.0% para el año 2011 (representando una caída respecto al año anterior por la crisis financiera mundial) y una proyección de crecimiento de 11% para el año 2012¹. El mismo informe refiere que en los años 2011 y 2012 todos los sectores deben crecer, tal como ocurrió entre el 2005 y el 2008, puesto que es la demanda interna la que liderará el crecimiento impulsada especialmente por la inversión privada. A raíz de ello, el sector construcción viene convirtiéndose en las últimas décadas en una de las industrias más dinámicas en cuanto a generación de empleo y desarrollo se refiere.

Debido al notable avance conocido localmente como el “Boom de la Construcción”, se vienen generando cada vez mayor oferta para la construcción de edificaciones de uso comercial, de oficinas y sobre todo para viviendas. A lo cual la demanda viene respondiendo satisfactoriamente a consecuencia de la inversión extranjera y el aumento de la capacidad adquisitiva de la población.

Si seguimos esta tendencia a futuro nos encontraremos con proyectos de construcción cada vez más diversos, complejos, de mayor altura y con exigencias del mercado y del cliente que van superando las expectativas y la capacidad de las empresas constructoras para llevarlas a cabo.

Con una gran variedad de materiales, instalaciones y procesos alternativos de construcción, la Figura 1.1 da una idea de cuán complejos son los proyectos en la actualidad. Debido a esta complejidad cada vez mayor en los proyectos, es razonable llegar a pensar que la infinidad de detalles, la variedad de sistemas de instalaciones y gran cantidad de información no solo pueden estar plasmadas y dispersas en planos 2D no integrados, ya que se omiten detalles e información espacial produciéndose incompatibilidades e interferencias entre éstas que muchas veces se detectan y corrigen en plena construcción.

¹ Según el informe “Perú: Proyecciones Macroeconómicas 2011-2012” publicado en enero del 2011 por Scotiabank



Figura 1.1: Los proyectos de construcción en el Perú son cada vez más complejos
(Foto: Gran Teatro Nacional, Archivo GyM)

Para la entrega de proyectos de construcción en el país se utiliza mayormente uno de los dos modelos siguientes, pertenecientes al Sistema de Entrega de Proyectos (Project Delivery System, PDS)²: (1) Modelo Diseño/Construcción, y el (2) Modelo Diseño/Licitación/Construcción. La Figura 1.2 muestra las etapas del modelo tradicional Diseño/Licitación/Construcción comúnmente adoptado por los clientes/propietarios para desarrollar sus proyectos destinados al uso público o privado, a pesar de que este sistema de entrega de proyectos separa marcadamente las dos etapas más importantes para el desarrollo y entrega del proyecto, la de diseño y la de construcción.

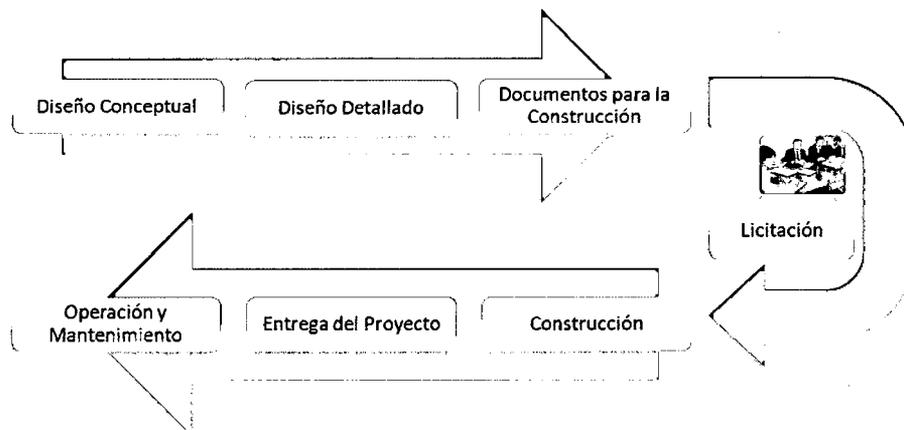


Figura 1.2: Proceso de desarrollo de proyectos de construcción basados en el sistema Diseño/Licitación/Construcción

² Para obtener una definición más detallada remitirse al Capítulo 2

Los problemas e impactos generados por la separación de las etapas de diseño y construcción son muy notorios. Los principales problemas detectados son: (a) la poca interacción entre ambas etapas, diseño y construcción, y (b) la poca interacción entre los diversos proyectistas (especialistas) encargados del proyecto. Esta situación obliga en la siguiente etapa a iniciar la construcción del proyecto con deficiencias en los documentos de diseño e ingeniería, ya que estos están incompletos, los planos no están compatibilizados y existen interferencias entre los planos de las distintas disciplinas del proyecto. Estas deficiencias en los documentos de diseño frecuentemente son detectadas y resueltas en campo (obra) en plena ejecución del proyecto, en la etapa menos indicada ya que es en la etapa de construcción donde todo cambio cuesta más. Esta situación puede ser observada en la Figura 1.3, que sugiere que los mayores esfuerzos por optimizar y compatibilizar el diseño y sus documentos deben surgir en la etapa de diseño, puesto que es en esta etapa donde hay un mayor control sobre cualquier cambio que pueda surgir en el proyecto, representando consecuentemente un costo mucho menor.

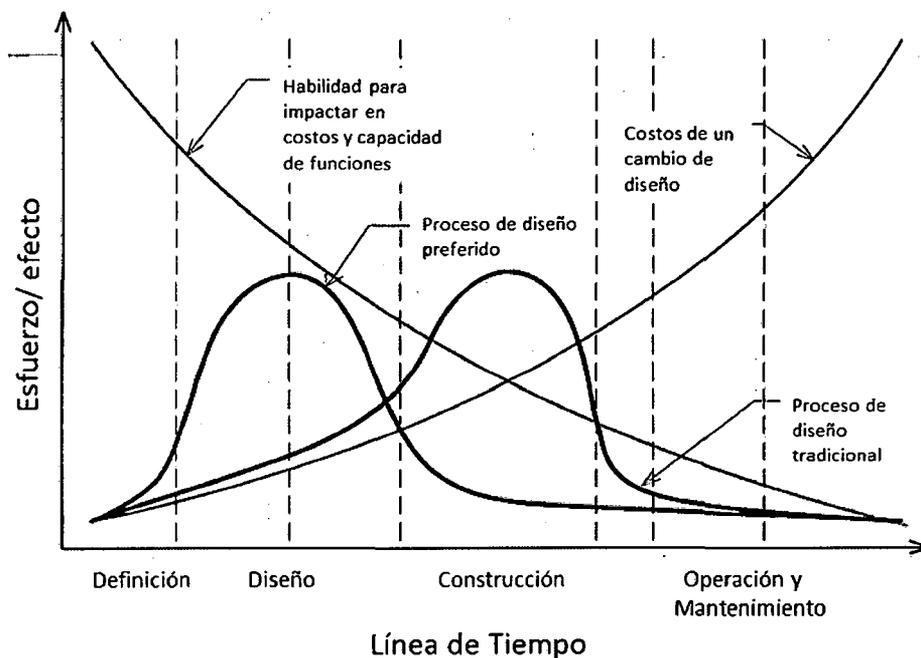


Figura 1.3: Aumento de los costos debidos a un cambio de diseño y su capacidad de controlarlos

(Fuente: Curva de McLeamy, "Integrated Project Delivery", 2004)

Para identificar las deficiencias en los documentos de diseño, que comúnmente se detectan durante la construcción, Alarcón y Mardones (1998) realizaron un

estudio en cuatro proyectos de una empresa constructora de Chile y clasificaron los diferentes problemas presentados en la etapa de construcción, llegando a la conclusión que los más frecuentes eran los concernientes a la falta de detalles, especialmente en los planos de estructuras, planos de arquitectura y a la incompatibilidad entre estos (Alarcón y Mardones, 1998).

En muchos casos, sucede que son los propios clientes o propietarios quienes apresuran la ejecución de sus proyectos. Al acelerar el plan general del proyecto, muchas veces el proceso de diseño e ingeniería no está completado cuando se licita para la construcción. Con esta incertidumbre, debido al diseño e ingeniería incompleta en el proceso de licitación, la construcción real del proyecto es a menudo obstaculizada por la ingeniería incompleta (Harvey, 2007).

También es importante reconocer que los equipos de diseño de ingeniería, en los proyectos tradicionales de construcción, tienen diferentes objetivos que la contratista. En muchos casos, el arquitecto/ingeniero es representante del propietario, mientras que el contratista es una entidad independiente tanto del propietario como de los diseñadores o proyectistas. Debido a ello se generan disputas y reclamos que muchas veces llegan a los tribunales debido a los documentos de diseño e ingeniería ineficientes y deficientes. Aunque muchos dueños y contratistas están tratando de integrar el proceso de ingeniería y diseño a través de sistema (PDS) diseño-construcción, esto no alivia las responsabilidades de las partes para coordinar eficazmente los procesos de ingeniería y construcción para cumplir con los requisitos de costo y plazo del proyecto.

Debido a ello la interface diseño-construcción ofrece un gran potencial de mejora. No podemos hablar de la aplicación del enfoque "Lean Construction" tratando de mejorar la productividad en campo y minimizando sus pérdidas sin que previo a esto se haya realizado un óptimo diseño "Lean" que permita la construcción del proyecto sin deficiencias ni retrasos. Además, es en la etapa de diseño donde se debe dar prioridad a la optimización del proyecto, puesto que es ahí donde son menores los costos debidos a un cambio de diseño.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1. Deficiente interacción entre las etapas diseño-construcción al aplicar el modelo tradicional de desarrollo de entrega de proyectos Diseño/Licitación/Construcción.
2. Deficiente proceso de colaboración, comunicación e integración entre los especialistas encargados del diseño e ingeniería en la elaboración de los documentos para la construcción (planos y especificaciones técnicas) durante la etapa de diseño.
3. Presencia de incompatibilidades e interferencias en los documentos contractuales de diseño entre las distintas disciplinas o especialidades del proyecto, las cuales se detectan y corrigen en plena construcción de la obra, en la etapa menos indicada donde todo cambio, debido a estos problemas, tiene un mayor impacto en el costo y plazo de entrega.
4. La contratista está condicionada a asumir el liderazgo para revisar y rectificar las deficiencias en los documentos contractuales de diseño en plena construcción, sacrificando tiempo-esfuerzo que le podría dedicar a la realización de actividades exclusivamente de producción, planificación, calidad y seguridad.
5. Ausencia de una metodología estructurada y planificada que permita mantener un control para compatibilizar e integrar los documentos contractuales de diseño antes de llegar a la etapa de construcción.
6. Proyectos de construcción cada vez más complejos que requieren un enfoque distinto de gestión de la información usando tecnologías y herramientas más eficaces.

1.3 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

Principalmente fueron dos motivos que condujeron a la realización de esta tesis. El primero surgió por la necesidad de utilizar las últimas herramientas tecnológicas adaptadas a las condiciones de nuestra realidad, como es el caso del uso del BIM, una de las herramientas TIC más influyentes, que permiten mejorar los tradicionales procesos de construcción. Para ello la literatura encontrada a través del Internet proporcionaron información importante, pero por lo general ésta fue muy conceptual, fuera de contexto y de nuestra realidad. Por ello se decidió experimentar directamente con el uso de estas tecnologías, lo cual permitió estudiar sus aplicaciones, su verdadero impacto y sus beneficios,

para finalmente evaluar su aplicabilidad y buscar la manera en que estas herramientas puedan ser implementadas en las empresas constructoras. El segundo motivo fue por la necesidad de contrarrestar un problema muy común y arraigado en la práctica de construcción del país, refiriéndose a los problemas de incompatibilidades, interferencias y a la falta de constructabilidad en los documentos de diseño e ingeniería (llámese así al conjunto de planos contractuales y sus respectivas especificaciones) y que por medio de entrevistas con ingenieros dedicados a la construcción con amplia trayectoria, comentaban que el problema siempre ha existido y que prácticamente lo hemos adoptado como parte de la actividad de construir en el Perú. Sin embargo, indagando la literatura encontré que estos mismos problemas se habían presentado en países como Chile (Alarcón y Mardones, 1998), Australia (Tilley, 1997), Arabia Saudita (Mostafa, 2007), inclusive en Japón (Andi y Minato, 2002) a pesar de su notable avance tecnológico, pero que a diferencia del Perú esos países ya contaban con investigaciones al respecto y propuestas de solución adaptadas a su cultura y formas de gestionar los proyectos de construcción. En ese sentido, se decidió percibir el problema directamente desde la óptica de una empresa contratista. Para ello fue necesario el involucramiento durante la construcción de un proyecto de edificación trabajando en el área de gestión de la información dentro de la oficina técnica de una de las más importantes empresas constructoras del Perú. Allí se pudo investigar acerca de las causas que originan los problemas de diseño, además de su influencia e impactos generados durante la etapa de construcción. Al formar parte del equipo encargado de la gestión de la información del proyecto, se tuvo acceso a la documentación requerida para realizar un estudio de las Solicitudes de Información (RFI) y clasificar las deficiencias en los documentos contractuales y la falta de calidad de los mismos, sirviendo como sustento para demostrar que los problemas en los documentos de diseño/ingeniería existen a pesar que los procesos de diseño y construcción son cada vez más tecnificados e industrializados.

1.4 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La tesis se ha organizado en seis capítulos. El capítulo II consta de un marco teórico con definiciones tomadas de la literatura en donde se exponen conceptos que son necesarios conocer para un mejor entendimiento del resto de los capítulos. El capítulo III está enfocado en describir la problemática debida a la

falta de calidad en los documentos contractuales de diseño/ingeniería, dando a conocer sus orígenes, influencia e impacto en la etapa de construcción, las que afectan principalmente a la constructora y al cliente/propietario. En este capítulo también se incluye un estudio realizado con el fin de clasificar los problemas de diseño encontrados en cuatro proyectos de construcción en Lima, los cuales podrían ser una muestra clara de la existencia de deficiencias en los documentos contractuales comúnmente encontradas en proyectos de edificaciones en general. En el capítulo IV se presentará la propuesta metodológica para minimizar estos problemas de diseño utilizando tecnologías BIM como herramienta principal para realizar la “primera construcción”, previa a la construcción real, para identificar y alertar los problemas de incompatibilidades, interferencias y falta de constructabilidad en los documentos contractuales, buscando resolverlos con anticipación para que no afecten el normal desarrollo del proyecto. En el capítulo V, se hablará acerca de la experiencia obtenida con el uso de las tecnologías BIM durante la construcción del Edificio Educativo Universidad del Pacífico (Lima, 2011), donde se dará a conocer los alcances del modelado en BIM, sus aplicaciones y algunos criterios prácticos para elaborar modelos BIM 3D y 4D estudiados y desarrollados en el proyecto. El capítulo VI y último, consta de las conclusiones y recomendaciones generales de todo lo visto a lo largo de los cinco capítulos anteriores, y recomendaciones específicas que pueden abrir nuevas líneas de investigación, algunas útiles para investigar acerca de otras aplicaciones BIM y otras recomendaciones que pueden ser fuentes de futuras investigaciones requeridas por su importancia y de las cuales nuestro país carece.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)

2.1.1 Definición

El glosario del “BIM Handbook” (Eastman, 2011) define BIM describiendo herramientas, procesos y tecnologías que están facilitadas por una documentación digital e inteligible por la máquina acerca de la edificación, su desempeño, su planeamiento, su construcción y su posterior operación. El resultado de una actividad BIM es un modelo de información de la edificación.

Los programas de la generación BIM están caracterizados por la capacidad de compilar modelos virtuales de las edificaciones usando objetos paramétricos legibles por la máquina que exhiben su comportamiento en proporción con las necesidades del diseño, análisis y pruebas del diseño. Como algo semejante, los modelos CAD 3D no están expresados como objetos que exhiben formas, funciones y comportamientos; por lo tanto, no pueden ser considerados modelos BIM.

BIM (Building Information Modeling) por sus siglas en inglés, puede ser traducido como “Modelo de la Información de la Edificación” y, tal como se puede apreciar en la Figura 2.1, permite representar virtualmente los componentes del proyecto. Tradicionalmente, el sector de la construcción ha comunicado la información de los proyectos por medio de planos y especificaciones técnicas en documentos separados, sin embargo, el proceso de modelado en BIM tiene como objetivo reunir toda la información de un proyecto en una sola base de datos de información completamente integrada e interoperable para que pueda ser utilizada por todos los miembros del equipo de diseño y construcción y al final por los propietarios para su operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la edificación.



*Figura 2.1: Representación virtual tridimensional mediante el uso del BIM
(Proyecto: Universidad del Pacífico - GyM)*

El BIM también es una forma de trabajar en equipo, en la que tanto los proyectistas, arquitectos, ingenieros y el cliente trabajan en torno a modelos BIM del proyecto. Esto se da ya que el BIM se soporta en herramientas tecnológicas que permiten crear, administrar y gestionar estos modelos BIM generando la fuente de información necesaria que pueda ser usada en cualquier etapa del ciclo de entrega de proyectos. La teoría original del BIM recomienda un solo repositorio (modelo) con todas las partes extraíbles de información. Sin embargo, cada disciplina requerirá su propio modelo BIM para cumplir con sus obligaciones contractuales. Las soluciones coordinadas pueden entenderse como un modelo de integración del proyecto, como se muestra en la Figura 2.2.

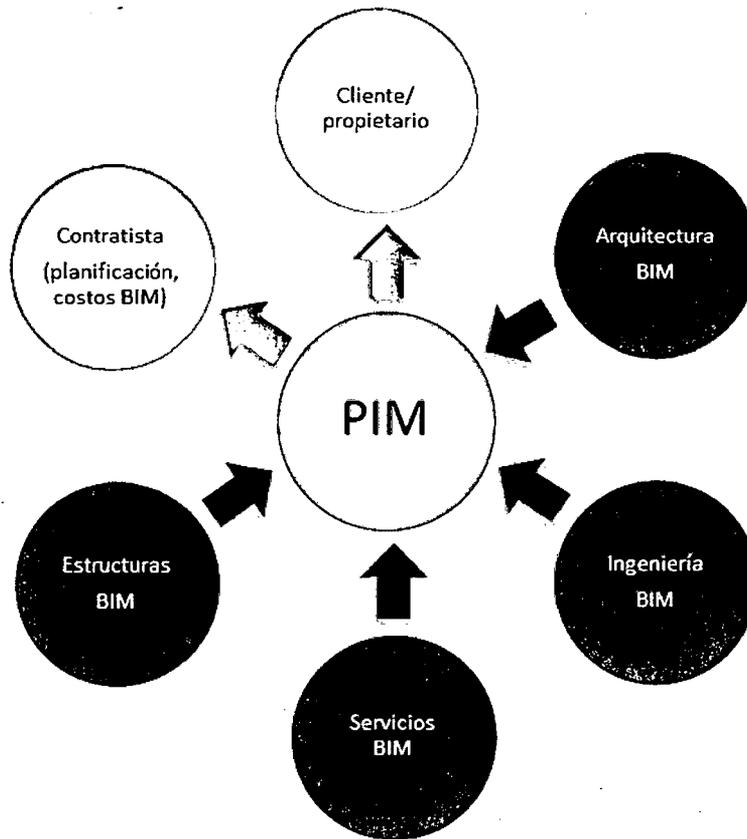


Figura 2.2: Modelo de Integración del Proyecto (PIM) mediante el BIM
(Fuente: National BIM Standard – United States™)

2.1.2 Aplicaciones BIM para la industria de la construcción

Debido que el BIM es una nueva filosofía de trabajo basada en herramientas tecnológicas, en la literatura se habla mucho acerca de sus beneficios y ventajas que pueden obtenerse en proyectos de construcción, siendo en algunos casos muy hipotéticos y optimistas. Por ello aún no queda claro cuáles son sus aplicaciones, ya que muchos las confunden con beneficios, aunque las primeras conllevan a las segundas. Las aplicaciones del BIM pueden ser estudiadas desde muchos puntos de vista. Algunos las clasifican por los beneficios obtenidos, otros por los problemas que se quiera abordar y otros por los resultados que se desee obtener. Al no haber un consenso que determine claramente las aplicaciones del BIM para proyectos de construcción, se tomará como referencia el caso práctico de implementación del BIM realizada por Skanska, una compañía multinacional de construcción y desarrollo de origen sueco. Ellos han implementado el BIM en su compañía y han adaptado sus procesos de desarrollo y entrega de proyectos de construcción basados en las

tecnologías que la soportan. Para ello desarrollaron un estudio del cual determinaron 16 aplicaciones, las mismas que pueden diferenciarse según la etapa de entrega de proyecto en donde son aplicadas, sea diseño, construcción, operación y/o mantenimiento post-entrega. Lo más resaltante de esta clasificación es que está basada en un caso real de implementación a nivel corporativo influyendo en todas las esferas de gestión de proyectos de construcción y da a entender las áreas que pueden ser mejoradas dentro de la organización. Además, esta clasificación indica que el BIM puede aplicarse seleccionando independientemente cualquiera de sus 16 áreas, dependiendo de las utilidades y/o beneficios específicos que se deseen aprovechar. En la Figura 2.3 se observan las 16 áreas de aplicación del BIM desarrolladas por Skanska.

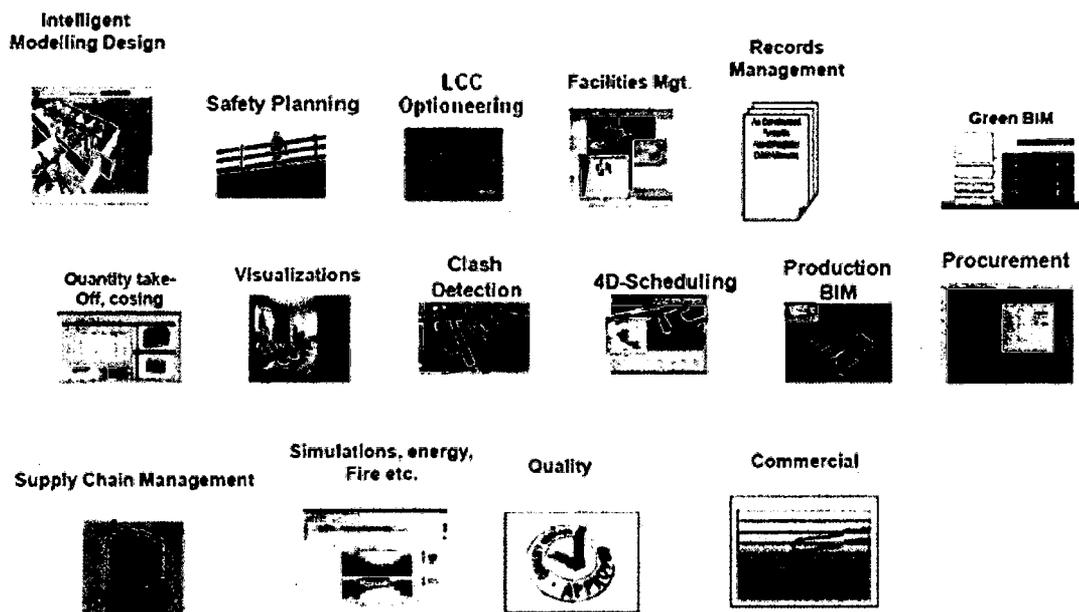


Figura 2.3: Áreas de aplicación del BIM para proyectos de construcción
(Fuente: Skanska)

2.1.3 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción

En la Figura 2.3 se vio que la implementación del BIM en una empresa constructora puede darse mediante el uso de 16 aplicaciones, las cuales pueden ser desarrolladas en cualquiera de las etapas del Sistema de Entrega de Proyectos (PDS). De éstas, existen seis aplicaciones que influyen directamente en los procesos de construcción al ser usadas durante esta etapa, pero sólo desarrollaremos cuatro de ellas ya que el contenido de la investigación está relacionado de cierta forma con estas aplicaciones, por lo que es indispensable

darles unos párrafos de presentación. Asimismo, estas aplicaciones tienen la característica de poder ser implementadas en un corto plazo por las empresas constructoras de nuestro medio.

a) Estimación de la cantidad de materiales

La estimación de la cantidad de materiales con BIM, comúnmente conocida en nuestro medio como metrados, ofrece una nueva forma de trabajar, pues estos pueden ser obtenidos directamente de un modelo BIM después de finalizada la etapa de modelado 3D. Esto es razonable ya que los modelos BIM representan una fuente de información y una base de datos, y todos sus componentes, de acuerdo a su geometría, tienen asociados distintos parámetros de cantidad de materiales que pueden ser extraídos del modelo BIM, generando hojas reportes de las principales partidas de materiales de un presupuesto.

b) Detección de conflictos

La construcción consiste en la materialización de los diseños estructurales, arquitectónicos y de instalaciones. En obra, los enfrentamientos entre estas especialidades pueden significar retrabajo, generando pérdidas en términos de tiempo y costes. Al respecto, la tecnología BIM puede ser usada para detectar estos conflictos o interferencias, ayudando a evitar los riesgos que puedan derivar de la no identificación de los mismos.

Entre los beneficios de utilizar las tecnologías BIM para detección de conflictos están:

- Ayuda a la coordinación de los diseños y la ingeniería.
- Facilita la revisión completa del diseño.
- Permite la identificación rápida de los conflictos e interferencias.
- Capacidad para explorar opciones, integrar los cambios en los modelos BIM y eliminar los riesgos.
- Permite hacer un seguimiento de las actividades de construcción
- Minimiza el reproceso y los desperdicios.
- Ayuda a mejorar la calidad de los diseños.

c) Visualización

A través del análisis de los componentes del edificio, en los modelos 3D se puede analizar la topología de la construcción, que puede servir de ayuda para la generación del planeamiento de la construcción. Tradicionalmente, el planeamiento de la construcción es un factor crítico en la gerencia de la edificación. El planificador de la construcción es una persona con mucha experiencia en la construcción de edificios que sabe estimar el trabajo y los equipos requeridos para la construcción del edificio. Usando este conocimiento es creado un planeamiento de la construcción, el calendario para otros planes tales como transporte, medida, seguridad, etc.

d) Simulación 4D

Las tecnologías BIM-4D combinan los modelos BIM-3D con la cuarta dimensión que viene dada por las duraciones de las tareas de construcción programadas en un calendario de obra con algún software (p.e. Primavera o MS Project). Al combinar las actividades de un programa de ejecución de la construcción con elementos de un modelo BIM-3D se obtiene una simulación visual de la secuencia constructiva, que también es conocida como modelo 4D, ya que muestra simultáneamente las tres dimensiones geométricas del proyecto, más la cuarta dimensión del tiempo proveniente de las duraciones de las actividades de los procesos de construcción.

Debido al factor crítico del planeamiento, muchos esfuerzos de investigación se han dirigido a la simulación del proceso del edificio basado en el planeamiento. De esta investigación han emergido los sistemas 4D por medio de los siguientes programas de cómputo: InVizn, Navisworks, 4D Suite y Smart Plant Review. Estos programas apoyan al responsable de la planificación a relacionar los componentes del edificio modelado en BIM-3D con las actividades de la construcción de un sistema de planeamiento del proyecto, utilizando una interfaz gráfica adecuada para tal fin como se muestra en la Figura 2.4.

De esa manera el proceso de la construcción puede ser simulado en base a lo desarrollado en la fase de planeamiento, mientras a su vez el usuario puede comprobar visualmente cómo va procediendo el proceso constructivo y adelantarse visualmente a observar qué proceso debe ser ejecutado o desarrollado un día específico.

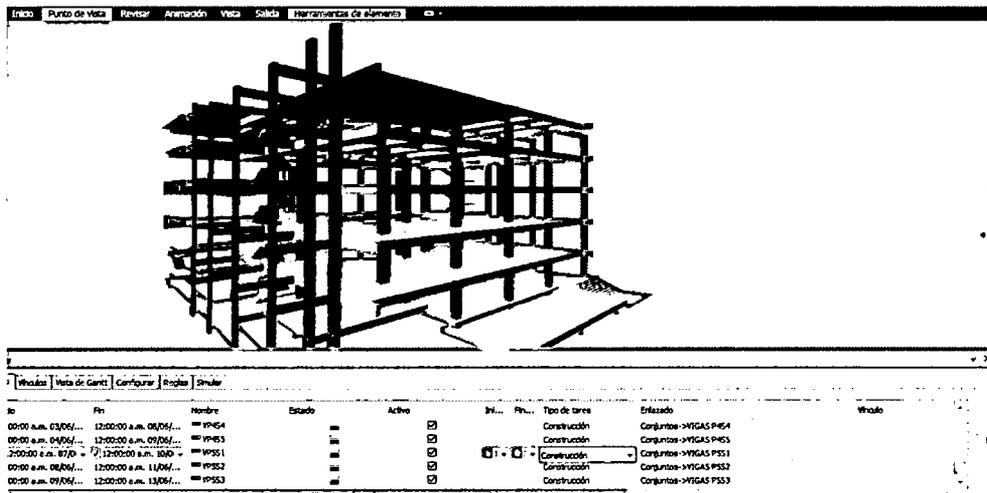


Figura 2.4: Típica interfaz gráfica de un software de simulación 4D

Con ello, el responsable del planeamiento del proyecto debe asociar los componentes del edificio modelado en BIM-3D con las actividades de la programación de la obra. Esto es muy crucial, pues se relaciona manualmente los componentes que serán construidos (virtualmente) con las actividades de la construcción, evaluando visualmente qué problemas podrían ocurrir durante el proceso de la construcción real y definitiva.

De esta manera, el manejo de modelos 4D ayuda a reducir la variabilidad, optimizar el tiempo de los ciclos de producción, incrementar la transparencia de los procesos y, en general, mejorar la confiabilidad del planeamiento. Estos son algunos de los puntos fuertes en el manejo de la productividad (Berdillana, 2008).

2.1.4 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción

La gestión de proyectos usando la tecnología BIM reduce la incertidumbre en su manejo, ya que aumenta las posibilidades de controlarlo, pues elimina las aproximaciones abstractas. Asimismo, la integración de las labores de diseño y construcción abre las puertas a una ingeniería en la que los profesionales se dedicarán a mejorar los diseños, la planificación de las obras y su control, reduciendo con ello el costo de los proyectos.

Algunos de los beneficios de aplicar BIM en una empresa que haya realizado un maduro proceso de implementación son:

a) En la etapa de diseño

- En las primeras etapas del diseño, para probar que se ha cumplido con las expectativas del cliente, se puede obtener listados de materiales y cómputos de materiales generales.
- Obtención de los planos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas.
- Creación de imágenes fotorrealistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para el marketing del edificio.
- Gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio.
- Proveer datos para el análisis estructural de elementos del edificio.

b) En la etapa de construcción

- La revisión visual del diseño del proyecto.
- Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre los diseños (detección de interferencias).
- Obtener reportes de cantidades de materiales (metrados).
- Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores (e.g. para detalles y fabricación de acero estructural, prefabricación de instalaciones)
- Simulación del proceso constructivo BIM-4D.
- Con la tecnología del edificio virtual, los propietarios están en una posición privilegiada que confirma la importancia de su papel, no sólo en los inicios del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de su ciclo de vida.

2.1.5 BIM como herramienta TIC para la construcción

Hace muchos años se viene experimentando en el mundo una revolución tecnológica con el desarrollo de herramientas que permiten integrar, a los procesos tradicionales de construcción tecnología que permita hacer más eficiente el manejo de los proyectos.

Colwell (2008) elaboró un estudio, basado en opiniones de expertos y en su propia experiencia, logrando identificar las siete herramientas TIC más influyentes para la industria de la construcción, los cuales son mostrados en la Tabla 2.1. Asimismo, el estudio también identifica los beneficios de las

herramientas TIC en las diversas fases de los procesos de diseño y construcción.

Tabla 2.1: Herramientas TIC más influyentes en la construcción
 (Colwell, 2008)

N°	Herramienta TIC	Peso
1	Software de Gestión de Proyectos	85%
2	Modelado 3D y 4D	77%
3	Computación móvil	73%
4	Software para planeamiento y programación de obras	71%
5	Sistemas ERP	66%
6	Hojas de asistencia web	38%
7	RFID y código de barras	32%

En este estudio, Colwell identificó al modelado 3D y 4D como una de las herramientas TIC que pueden ser aplicados a la construcción dando beneficios y mejoras en la administración de: la programación, planeamiento del trabajo, calidad, seguridad y comunicación. Colocándose en el segundo componente TIC más influyente para la industria de la construcción con respecto a su aporte como herramienta de productividad.

2.1.6 La sinergia Lean - BIM

Lean y BIM son diferentes iniciativas que tienen un profundo impacto en la industria de la construcción, ya que desarrollan entre ambas una sinergia que puede ser explotada al integrar sus principios para mejorar los procesos de construcción.

Los miembros del LCI publicaron en la revista "*The interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*" una matriz que interrelaciona las funcionalidades del BIM con los principios del Lean en la construcción, identificando 56 interacciones, de las cuales establecieron que el BIM y el Lean están muy estrechamente ligados principalmente en cinco de ellas.

1. Reduce los re-procesos.
2. Diseña el sistema de producción para un flujo y valor.

3. Genera automáticamente dibujos y documentos.
4. Rápida generación y evaluación de los planes alternativos de construcción.
5. Permite la comunicación online/electrónica basada en objetos.

2.1.7 Adopción de tecnologías BIM en el Perú y el mundo

En Norte América

En los Estados Unidos la adopción del BIM está más generalizada que en Latinoamérica, y cada vez más son los mismos clientes quienes exigen el desarrollo de sus proyectos en base a estos modelos. Por ejemplo, a nivel federal la Administración de Servicios Generales (USGC, U.S. General Services Administration) exige el uso del BIM para todos sus proyectos, del mismo modo el cuerpo de ingenieros del ejército (U. S. Army Corp.) exigen BIM para algunos tipos de sus edificaciones estándar.

De esta manera el propio gobierno, por medio de algunas de sus entidades gubernamentales, pide los modelos BIM como entregables, algunos de estos son:

- US Army
- US General Services Administration
- Department of Defense
- Air Force
- Coast Guard

Esto ha propiciado un entorno generalizado de difusión del uso de estas tecnologías como parte del común desarrollo de los proyectos. A consecuencia de ello, la adopción del BIM en los procesos de diseño y construcción está creciendo año tras año, tal y como se vislumbra en un estudio realizado por la revista "Mc Graw Hill Construction" mostrada en la Figura 2.5. Sin embargo, en la Figura 2.6 se observa que aunque algunos estados de Norte América han alcanzado un crecimiento notable en la adopción del BIM, el crecimiento no es tan uniforme como se puede pensar, y que el uso y adopción del BIM aún está en proceso de generalización.

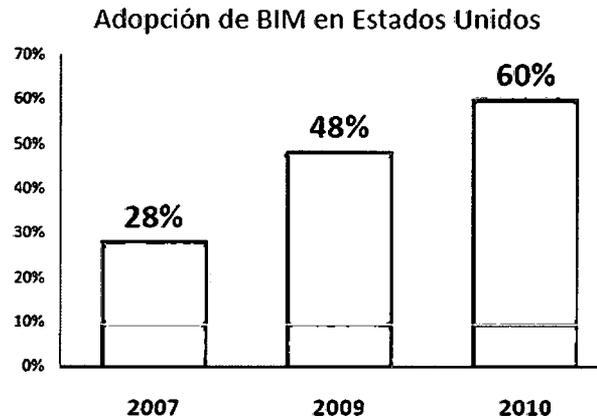


Figura 2.5: Crecimiento en la adopción del BIM en los EUA
(Fuente: Mc Graw-Hill Construction)

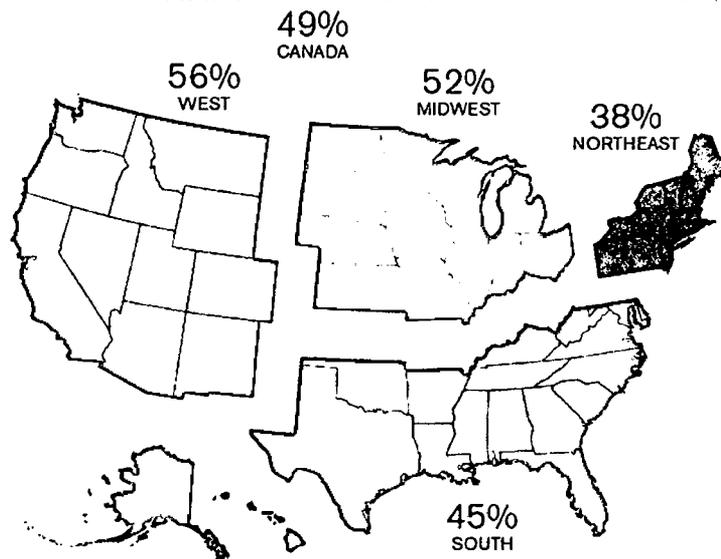


Figura 2.6: Adopción del BIM en Norte América
(Fuente: Mc Graw-Hill Construction)

Del mismo modo, algunos estados de los EUA, refiriéndose específicamente a estados como: Wisconsin, Texas y Ohio, han impulsado la creación de estándares propios para los entregables BIM en sus proyectos estableciendo un mismo lenguaje para el intercambio de información.

En Latinoamérica

A falta de la información necesaria e involucramiento en las políticas de las empresas públicas, privadas y entidades gubernamentales, la adopción del BIM en Latinoamérica aún no es una realidad concreta. Sin embargo, ya existen

iniciativas para la difusión y adopción de éstas tecnologías, siendo los realizados en Chile uno de los casos más resaltantes.

En Chile, la Cámara Chilena de la Construcción (el símil de Capeco en el Perú) desde el año 2007 viene asumiendo el liderazgo para romper la barrera del desconocimiento, promoviendo la difusión del uso del BIM por medio de charlas dictadas gratuitamente. Tres años después, el mismo gobierno aprobó con financiamiento una política de "Implementación y promoción de la tecnología BIM en Chile", a cargo de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) y de siete importantes constructoras de ese país.

Sin embargo, según información directamente obtenida de la Web de la CDT, ellos mencionan que: "Si bien en Chile ya se han desarrollado algunos proyectos con el uso del BIM, estos han estado principalmente enfocados a una sola especialidad de construcción, y por empresas muy destacadas del rubro".

En el Perú

En el Perú, el uso del BIM está poco difundido y no se cuenta con estadísticas o casos reales de implementación. Si bien es cierto existen algunas empresas grandes y pequeñas que los vienen usando, sólo se enfocan en algunas de sus áreas de aplicación de manera aislada, dependiendo de sus necesidades y de las utilidades que desean aprovechar. De otro lado, muchas empresas desconocen de sus potenciales ventajas. Esto se debe a que el BIM como panorama general no es en sí aprovechar los beneficios de utilizar un software, sino un cambio en la manera de pensar y gestionar los proyectos.

Para que el uso del BIM alcance el éxito ideal, según los términos que la definen, tanto los arquitectos, proyectistas, contratistas y demás partes involucradas en el proyecto deben gestionar su información y canalizarla al resto de los involucrados usando herramientas BIM. Esto pone en agenda política el liderazgo que debería asumir el estado en buscar difundir el uso de éstas tecnologías, similarmente como viene sucediendo en Chile, teniendo a las empresas privadas y consultorías con un rol protagónico.

De todas formas queda claro que el uso del BIM, aplicado a los proyectos de construcción, está en pleno desarrollo y es una oportunidad para mejorar los tradicionales procesos de gerencia del diseño y/o construcción de los proyectos

y cuyos beneficios podrían ser percibidos en cualquiera de las etapas del proyecto.

2.2 SISTEMA DE ENTREGA DE PROYECTOS (PDS)

El Sistema de Entrega de Proyectos (Project Delivery System, PDS), se refiere a la forma de contratación de servicios de diseño y/o construcción de un proyecto. En cada modelo se involucra una serie de etapas dependientes mediante las cuales un proyecto es diseñado, construido y operado. En el Perú, los modelos más conocidos para el desarrollo y entrega de un proyecto de construcción son: el modelo tradicional diseño/licitación/construcción y el modelo alternativo diseño/construcción. Las etapas de desarrollo de ambos modelos PDS se muestran en la Figura 2.7.

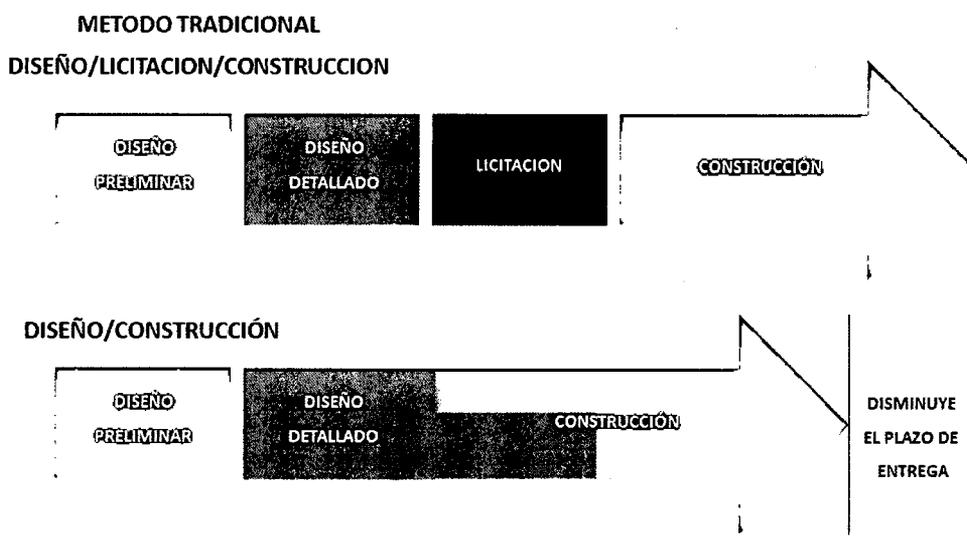


Figura 2.7: Sistemas de Entrega de Proyectos (PDS) más adoptados en el Perú

2.1.8 Modelos PDS más adoptados:

c) Modelo Diseño/Licitación/Construcción

El sistema Diseño/Licitación/Construcción (Design/Bid//Build o D/B/B), es el modelo tradicional de entrega de proyectos más adoptado en el Perú hoy en día, especialmente para los proyectos públicos o del estado. Con el modelo D/B/B, el proyecto está separado en una etapa de diseño y otra de construcción por una etapa de licitación. En el país el proceso de licitación para proyectos públicos es convocado por el Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado (OSCE), una entidad estatal una de cuyas funciones principales es la de

supervisar y fiscalizar de manera transparente los procesos de licitación para seleccionar al mejor postor o empresa contratista que se encargará de la ejecución del proyecto.

Con dos etapas bien diferenciadas, la construcción inicia cuando se ha completado el diseño, mientras los planos y especificaciones del proyecto vendrían a ser parte de las bases formando parte de los documentos de licitación o documentos contractuales.

d) Modelo Diseño/Construcción

El sistema Design/Build (Design/Build o D/B) consiste en un procedimiento para entregar un proyecto donde, en contraste al modelo Diseño/Licitación/Construcción, los aspectos de diseño y construcción son contratados a una única entidad conocida como el *diseñador-constructor* o *contratista diseño-construcción*. Este sistema es usado para minimizar los riesgos para el cliente y reducir el tiempo de entrega del proyecto al traslapar las etapas de diseño y construcción.

En el Perú este modelo de contratación se emplea por lo general en proyectos privados de envergadura, frecuentemente administrados bajo contratos denominados EPC (Engineering, Procurement and Construction), así como también en proyectos tipo "Fast Track" o proyectos con cronograma acelerado.

Con el sistema alternativo Diseño/Construcción (D/B), la *contratista diseño-construcción* asume la responsabilidad de todos los trabajos en el proyecto, eliminando la parte intermedia de licitación entre las fases del diseño y la construcción. De esta manera se ahorra un tiempo importante del total del proyecto y consecuentemente disminuye el costo del mismo.

Investigaciones previas analizaron la relación entre los cambios de costos y el tipo de Sistema de Entrega de Proyecto (PDS) implementado. Konchar y Sanvido (1998) concluyeron que los proyectos de construcción ejecutados en base al modelo D/B experimentaron, en general, un 5.2% menos cambios que los desarrollados en base al modelo D/B/B. Además indicaron que también experimentan cambios en la programación del proyecto, encontrando que el modelo D/B/B tiene un 11.4% más de probabilidades de sufrir cambios en su programación que el modelo D/B durante los procesos de diseño y construcción.

Evaluándolo desde ese punto de vista, debido a las ventajas que representa el modelo alternativo D/B respecto del tradicional D/B/B, la adopción del modelo Diseño/Construcción, tal y como se puede apreciar en la Figura 2.8, tiene cada vez mayor acogida en los proyectos de construcción de los Estados Unidos, sobre todo para los proyectos públicos. Según el Instituto Americano de Diseño/Construcción (Design/Build Institute of America), actualmente la ejecución de los proyectos en base a los dos modelos sería casi compartida, pero la tendencia es que en los próximos años haya un incremento en la adopción del modelo D/B.

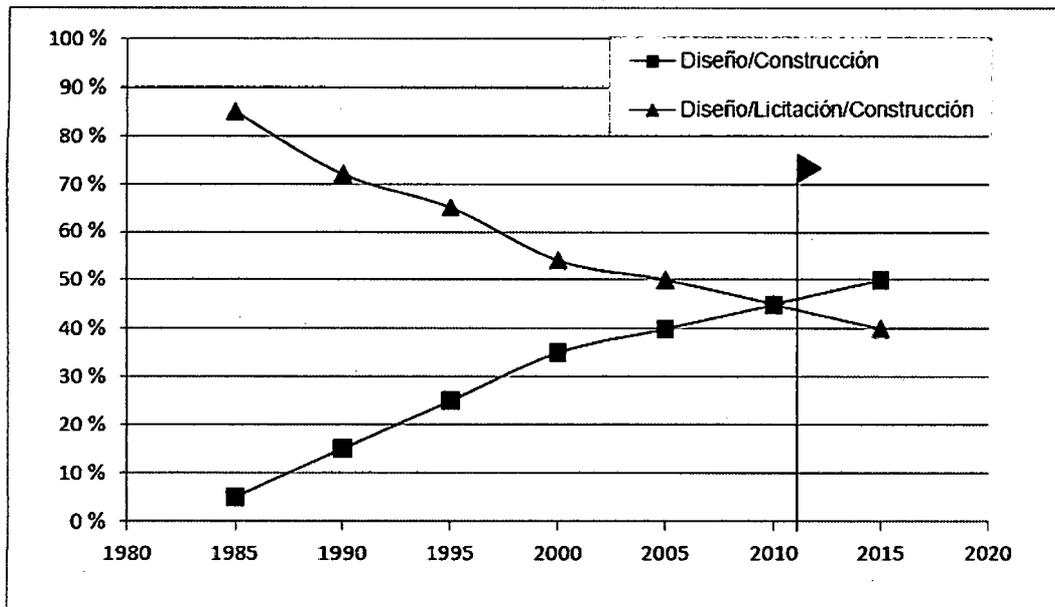


Figura 2.8: Adopción del modelo D/C respecto al D/L/C en los EUA
(Fuente: Design/Build Institute of America, 2005)

Ventajas del modelo D/B respecto del modelo D/B/B

- Desde el punto de vista del propietario, el sistema diseño/construcción establece un solo responsable ante eventuales defectos tanto del diseño como de la construcción.
- El acuerdo contractual se basa principalmente en el cumplimiento de las especificaciones (más que en proporcionar un edificio terminado) y por lo tanto la contratista está obligada a cubrir los mayores costos por defectos o planos inadecuados.
- La empresa contratista podría incluso aplicar adicionalmente el sistema Fast-Track, pudiendo en consecuencia reducir más los tiempos y los costos.

También el sistema Diseño/Construcción puede engarzar con el de llave en mano cuando se incluye el terreno y el financiamiento.

- Debido a que la contratista tiene el control total del proyecto, puede adelantar acciones como el aprovisionamiento de materiales y aplicar sistemas constructivos con los cuales está mejor familiarizado, incidiendo en los costos.
- La mayoría de los contratos del sistema Diseño/Construcción son a suma alzada. Ello orienta al propietario a fijar pagos sobre metas evidentes de avance.

Desventajas del modelo D/B respecto del modelo D/B/B

- A menudo es difícil comparar las diferentes propuestas que presentan las contratistas, las cuales resultan función de los métodos de diseño así como en los acabados. Estas propuestas suelen ser a nivel de diseños preliminares.
- La selección del contratista suele hacerse por negociación más que por licitación. De ahí que también para la contratista es difícil una adecuada previsión del costo final.
- En países como Canadá y Estados Unidos ya existe regulación para los contratos Diseño/Construcción, lo cual representa una ventaja para las partes involucradas. Y una limitación cuando no se tienen estas regulaciones.
- Usualmente el propietario debe asesorarse para negociar y tomar decisiones, las cuales debilitan su posición en el momento de selección y a lo largo del proyecto. Debido a ello, el propietario suele tomar un seguro todo riesgo para cubrir reclamos durante el trabajo.
- La selección del contratista debe ser cuidadosa y exigente.

2.1.9 Desventajas del modelo D/B/B para un proceso “Lean”

El modelo tradicional Diseño/Licitación/Construcción tiene la ventaja de que es fácil de adoptar, pero por otro lado hace dificultoso aprender algo de alguna etapa ya que no hay un feedback y comunicación entre éstas, lo cual es difícil para determinar la satisfacción del cliente/propietario como un proceso “Lean Design” lo requiere (Kamedula, 2009). Como el módulo Lean Design se enfoca en un esfuerzo buscando la mejora continua, surge ahí la necesidad de aprender

continuamente de los procesos, pero el método tradicional no tiene este ciclo de aprendizaje, siendo un método inadecuado para implementar el proceso "Lean Design". Por consiguiente, fue necesario inventar un método que evolucione del actual para crear un proceso Lean.

2.3 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)

Teniendo como modelo el Lean Production japonés, se crea una nueva filosofía de planificación de proyectos, que nace a comienzos de los años 90 en Finlandia, donde Lauri Koskela sistematiza los conceptos más avanzados de la administración moderna (Benchmarking, Mejoramiento Continuo, Justo a Tiempo). Junto con la ingeniería de métodos reformula los conceptos tradicionales de planificar y controlar obras. Koskela propone esta nueva filosofía de control de producción en su tesis doctoral "Application of the New Production Philosophy to Construction", 1992. Él ofreció la primera conferencia del International Group for Lean Construction en Finlandia en Agosto de 1993.

En términos del Lean Construction Institute (LCI), el Lean Construction es una gerencia de producción basada en la entrega de proyectos; es una nueva manera de diseñar y construir productos o servicios. Se extiende desde los objetivos del sistema de producción "lean" (maximizar el valor y reducir las pérdidas) hasta las especificaciones técnicas y su aplicación en un nuevo proceso de entrega de proyectos. Como resultado, tanto el servicio como el proceso de entrega son diseñados juntos para un mejor acercamiento a los requerimientos finales del cliente.

Esta nueva filosofía propone una gestión de producción donde la planificación de las actividades de obra sea totalmente realizable y predecible. Evitar pérdidas en el flujo de actividades apostando por una planificación confiable. Para ello, se propone generar un "escudo" de producción para proteger el flujo de trabajo; de esta manera se hace más fácil ordenar los requerimientos de materiales durante el desarrollo del proyecto.

En el año 2000, Glen Ballard (Co-fundador y director del Lean Construction Institute) introdujo un diagrama de proceso organizacional que consiste en un enfoque holístico o total para administrar un proyecto de construcción. Ballard lo llamó el Sistema de Entrega del Proyecto Sin Pérdidas (LPDS, Lean Project Delivery System) y propuso que el pensamiento "Lean" podría estar sistemáticamente aplicado para todas las etapas del proyecto y no sólo para la etapa de diseño y construcción por separado.

Para ello elaboraron un diagrama organizacional de desarrollo del proyecto, mostrado en la Figura 2.9, el cual consiste en 13 módulos, de los cuales 9 están

organizados en 4 triadas interconectadas mediante fases que se extienden desde la definición del proyecto, diseño, abastecimiento y ensamble (estos dos últimos conocidos como el enfoque Lean Construction), incluyendo además otros dos módulos de control de la producción y el módulo de estructuración del trabajo, ambos se extienden a través de todas las fases del proyecto, y el módulo de evaluación post-ocupación, el cual vincula el final de un proyecto con el comienzo del siguiente.

Este modelo promueve un alto grado de colaboración entre las partes involucradas y una gran cantidad de realimentación de información hacia el proyecto, enfocándose como meta la satisfacción del propietario/cliente y además es compatible con el modelo Diseño/Construcción, el cual incide en la importancia de la participación de la contratista en la fase de diseño.

Las características esenciales del LPDS, de acuerdo a Ballard, son:

- El proyecto es estructurado y gerenciado como un proceso que genera valor.
- Los participantes corrientes abajo están involucrados en la planificación y diseño a través de equipos multidisciplinarios.
- El control debe ser una herramienta ejecutada durante todo el proyecto.
- Los esfuerzos de optimización se concentran en hacer el flujo de trabajo confiable y no se enfocan en mejorar la productividad.
- Las técnicas de jalar son usadas para gobernar el flujo de materiales e información.
- Los buffers (mecanismo para amortizar la fuerza de un problema) de inventario y capacidad son usados para absorber la variabilidad.
- Los lazos de retroalimentación son incorporados en cada fase y apuntan a un rápido ajuste del sistema y al aprendizaje.

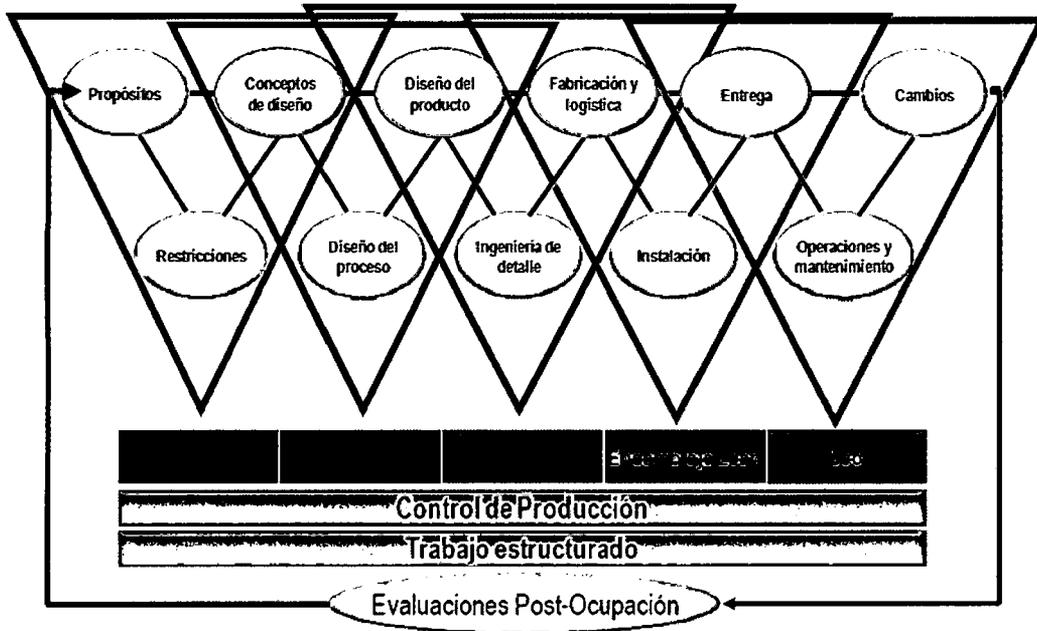


Figura 2.9: Módulos del Sistema de Entrega de Proyectos sin Pérdidas (LPDS)
(Fuente: Lean Construction Institute, LCI)

A continuación se explicará las fases y módulos que conforman este sistema:

Definición del Proyecto (Project Definition)

Esta fase está conformada por tres módulos: los propósitos, las restricciones y los conceptos de diseño. La definición del proyecto incluye el análisis de las necesidades y valores (propósitos) del cliente teniendo en cuenta las restricciones (normas, ordenanzas, etc.). Los resultados de este proceso son los conceptos de diseño que vendrían a ser las alternativas del proyecto. En esta fase es necesaria la participación de los clientes, gerentes del proyecto, contratistas, proyectistas y en general de todas las personas que de alguna manera estén relacionadas con el proyecto. Una vez que las necesidades, valores, restricciones y conceptos de diseño estén alineados se puede pasar a la siguiente fase.

Diseño Lean (Lean Design)

La fase Lean Design está compuesta por tres módulos, uno compartido que es el Concepto del Diseño y dos más que son el Diseño del Proceso y el Diseño del producto. Con el concepto de diseño se puede empezar a diseñar el proceso y el

producto del proyecto de edificación de manera simultánea, tal como lo propone el LPDS.

Diseño del Proceso:

El diseño del proceso es la definición de pasos y medios concretos para llevar a cabo las diferentes actividades del proyecto; como por ejemplo desde hacer un diagrama de flujo de los trámites para conseguir una licencia municipal hasta hacer un bosquejo preliminar de la secuencia constructiva de los frentes de trabajo.

Diseño del Producto:

El diseño del producto es la estructuración de las partes, componentes o actividades que dan un valor específico a un producto, es un prerrequisito para la producción. Y en un proyecto de edificación significa el diseño de los planos de las distintas especialidades, debidamente compatibilizados.

Para ello es necesario conocer, por ejemplo, las necesidades del cliente tales como tipo de arquitectura del edificio, del tipo de material a utilizar, conocer los requerimientos municipales, tomar en cuenta las experiencias de otras obras, las opiniones de los constructores y de los especialistas.

Abastecimiento Lean (Lean Supply)

Consiste en la ingeniería de detalle, fabricación y logística para lo cual se tiene como pre-requisito el diseño del producto y del proceso de tal manera que se sabrá qué fabricar y cuando entregar los componentes. También incluye iniciativas como reducir el tiempo de entrega de información y materiales.

Ensamblaje Lean (Lean Assembly)

Comienza con la entrega de materiales y la información relevante para su instalación y finaliza con la entrega del producto.

Uso (Use)

El uso es la fase que consiste en la entrega del producto o servicio al cliente final, después de varias pruebas para certificar su calidad. También involucra acciones de modificación y mantenimiento que pudiesen ocurrir en el diseño.

Evaluación Post-Ocupación

Este módulo se introdujo para resaltar la importancia de documentar las experiencias de un proyecto y que nos puedan servir de aprendizaje para posteriores proyectos.

Trabajo Estructurado (Work Structure)

Es el desglose del producto y proceso en partes, secuencias y asignaciones para hacer el flujo más suave y con menos variabilidad, con la finalidad de reducir desperdicio e incrementar valor.

Control de Producción (Production Control)

Este módulo establece el uso del Last Planner o Último Planificador³ como herramienta que servirá para el control del sistema de producción. Tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo y la unidad de producción, la primera mediante el proceso Lookahead y la segunda mediante el planeamiento del trabajo semanal.

Estos dos últimos módulos son complementarios ya que por un lado el trabajo estructurado establece un plan y el control de la producción sirve para asegurar que el trabajo sea ejecutado como fue planeado. Ambos módulos recorren todas las fases del proyecto desde el diseño hasta la entrega.

Sin embargo, el modelo LPDS aún sigue en evaluación, y se espera que en un futuro sea desarrollada como una filosofía, a través de un conjunto de funciones interdependientes (el nivel de sistemas), reglas para hacer decisiones, procedimiento para ejecución de funciones, y herramientas-ayudas de su implementación, incluyendo los programas (software) más apropiados.

³ El ultimo planificador es la persona o grupo de personas que se encargan de asignar el trabajo a los obreros (Lean Construction)

CAPITULO III: DEFICIENCIAS DE DISEÑO: CLASIFICACIÓN, CAUSAS Y SU IMPACTO DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

En proyectos de edificaciones desarrollados según el modelo tradicional Diseño/Licitación/Construcción, los documentos de diseño e ingeniería son elaborados en la etapa de diseño por arquitectos, consultores y proyectistas de ingeniería, quienes tienen un papel importante en los proyectos de construcción, ya que trasladan las necesidades y requerimientos del cliente en planos y especificaciones técnicas (Fetene, 2008). Estos documentos, al contener toda la información necesaria para llevar a cabo la construcción, sirven de base durante el proceso de licitación y posteriormente se entregan a la empresa contratista seleccionada como documentos oficiales para que comience con la ejecución.

En una situación ideal, los documentos contractuales del proyecto de construcción deberían estar completos, precisos, sin conflictos y ambigüedades, pero desafortunadamente esto es raramente encontrado y muy a menudo la contratista empieza la construcción con documentos incompatibles, erróneos e incompletos, requiriendo, por consiguiente, clarificaciones que tienen que ser respondidas por los proyectistas y diseñadores en pleno proceso de construcción. Cuando se da este caso, es esencial que la información sea entregada a la contratista eficientemente y sin retrasos, de lo contrario podría influir en la eficiencia durante el desarrollo del proyecto.

Basados en los estudios realizados por Hanvey. (2007) para la consultoría internacional "Interface Consulting" encargada de absolver y dar arbitraje a las disputas y reclamos entre la contratista y el cliente/propietario, hay muchas maneras en que los documentos de diseño e ingeniería pueden influir negativamente en el cumplimiento eficiente en tiempo y costo de proyectos de construcción. Algunos de estos problemas más comunes, que afectan principalmente a la contratista, son:

1. Documentos de licitación incompletos e inadecuados
2. Planos de diseño e ingeniería que llegan tardíamente
3. Errores u omisiones en los planos
4. Incompatibilidad entre los documentos contractuales de diseño (planos vs especificaciones)

5. Excesivas solicitudes de información (SI).
6. El tiempo de espera de las SI y los cambios en el diseño

Nota: Entiéndase como “documentos de diseño”, al conjunto de documentos, entre planos y especificaciones técnicas, elaborados en la etapa de diseño antes del proceso de licitación. En algunos casos también se hará uso de las siguientes expresiones equivalentes “documentos contractuales”, o “documentos de diseño e ingeniería”.

3.1 DISEÑO DE CALIDAD Y SU RELACIÓN CON LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES

En la industria de la construcción, tanto el cliente, los proyectistas (o diseñadores), la contratista y subcontratistas, que forman parte del proyecto de construcción, tienen todos un rol importante para entregar un proyecto de calidad (Kanjy y Wong, 1998).

El término “Calidad en la Construcción” fue acuñado para referirse a los procesos desarrollados durante esa etapa y a los productos que se generan. Por lo tanto, para garantizar la calidad en la construcción no sólo se tiene que certificar los resultados o productos entregables, sino también a los procesos que condujeron a la realización de dicho producto.

Takenaka, la empresa de construcción más antigua de Japón ganadora del “Premio Deming de la Calidad” (el premio más prestigioso que una empresa japonesa pueda obtener), destaca que el aseguramiento de la calidad total se da aplicándolo en ambos procesos: diseño y construcción. Desde su perspectiva, el modelo de entrega de proyectos de construcción más adecuado, que permite un aseguramiento de la calidad total, es el modelo Diseño/Construcción. Siguiendo su lógica, se podría decir que para conducir adecuadamente el proceso de calidad en la construcción, la calidad en las etapas precedentes debe haber sido certificada por medio de un “diseño de calidad”.

Para asegurar un diseño de calidad se tiene que enfocar en dos aspectos: en el proceso de diseño y en el producto del diseño. La primera, está relacionada a la adecuada aplicabilidad del conocimiento para elaborar el diseño y la ingeniería del proyecto logrando correctos resultados técnicos, y la segunda se enfoca en

los documentos donde se plasman estos resultados como los planos y especificaciones técnicas.

Desde el punto de vista de una empresa constructora, el diseño de calidad está estrechamente ligado a los documentos elaborados en esta etapa, es decir con el producto del diseño, ya que son estos los que lo conducirán a un proceso de construcción de calidad. En consecuencia, la calidad en los documentos de diseño e ingeniería puede ser definida como:

“La capacidad para proveer al contratista de toda la información necesaria que le permita que la construcción sea llevada según se requiera, eficientemente y sin obstáculo”.

Sin embargo, es generalmente durante la etapa de construcción de los proyectos donde se detectan deficiencias en los documentos contractuales de diseño (Alarcón y Mardones, 1998), los cuales consecuentemente dan lugar a retrabajos, sobrecostos y, en algunos casos, originan los mismos problemas de “calidad en la construcción”.

Para que los documentos de diseño e ingeniería sean de calidad McGeorge (1988) indicó que “un bueno diseño será efectivo si es construible con la mejor economía y seguridad posibles”. Para ello, propuso ciertos factores que determinan el nivel de calidad de los documentos contractuales de diseño e ingeniería:

1. **La puntualidad:** Que sea suministrado cuando es requerido a fin de evitar retrasos.
2. **La exactitud:** Libre de errores, conflictos e incompatibilidades.
3. **La integridad:** Que tengan toda la información requerida.
4. **La coordinación:** Que la información sea coordinada con las demás disciplinas del proyecto.
5. **La conformidad:** Que tengan los requisitos según las necesidades del cliente, cumplan con la reglamentación y estándares de desempeño.

3.2 DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES DE DISEÑO

Como se vio anteriormente, las deficiencias en los documentos contractuales de diseño están asociadas principalmente a la falta de calidad de los productos finales de la etapa de diseño, es decir en los planos y especificaciones técnicas.

En un estudio enfocado en cómo mejorar el diseño para asegurar la calidad de los documentos contractuales, conducido por la Universidad de Purdue por encargo del US Army Corps of Engineers (Luitz, Hancher, y East, 1990), reportó que “aproximadamente la mitad de todas las modificaciones del contrato de construcción pueden ser atribuidas a las deficiencias de diseño”. El estudio define deficiencia de diseño como “alguna deficiencia en los planos o especificaciones”. El reporte resumió las deficiencias de diseño más comunes y los clasificó en tres tipos: (1) Conflictos o discrepancias entre los planos y especificaciones de los documentos contractuales, (2) Errores y conflictos de coordinación interdisciplinaria, (3) La falta de constructabilidad.

A continuación se abordará en más detalle cada uno de estos problemas de diseño.

a) Incompatibilidades, conflictos o discrepancias en los documentos contractuales

El calificativo “incompatibilidad”, es un término muy usado en la industria de la construcción para referirse a la incoherencia de cierta información proporcionada por los planos o especificaciones técnicas cuando estos documentos tienen inconsistencias, errores y omisiones.

Frecuentemente, estas deficiencias de diseño son identificadas cuando se comparan los distintos planos del proyecto, sean o no planos de la misma especialidad. En estos casos, las incompatibilidades se deben a una incorrecta representación gráfica bidimensional o simplemente a la falta de claridad en su presentación, como por ejemplo, cuando el detalle de un elemento mostrado en un plano no guarda relación con lo indicado en otro plano.

Para identificar estas deficiencias se requiere de una minuciosa revisión de los documentos contractuales de diseño e ingeniería (design review), con el fin de comprobar que los detalles e indicaciones que figuran en ellos concuerden entre sí. Este proceso de revisión e identificación de incompatibilidades entre los

documentos de diseño se le conoce como “compatibilización”, otro de los términos muy usados en la industria de la construcción. Tradicionalmente, este proceso de compatibilización consiste básicamente en la superposición de los planos 2D por especialidades, en la que se busca garantizar que estos tengan la información necesaria con coherencia, consistencia y no tengan ambigüedades.

Como lo comprobaremos más adelante, de todas las deficiencias en los documentos de diseño, las incompatibilidades son los problemas de calidad de mayor incidencia en los planos de los proyectos de construcción.

Para ilustrar mejor cómo es que se presentan incompatibilidades entre los planos del proyecto, se mostrarán algunos ejemplos⁴.

Primer ejemplo: En la Figura 3.1 se muestra la vista 3D de una losa en voladizo, que el plano del arquitecto estaba destinado para SS. HH., la cual ha sido omitida por el proyectista estructural, como se puede apreciar en la Figura 3.2. Esta incompatibilidad se dio por falta de coordinación entre ambas especialidades.

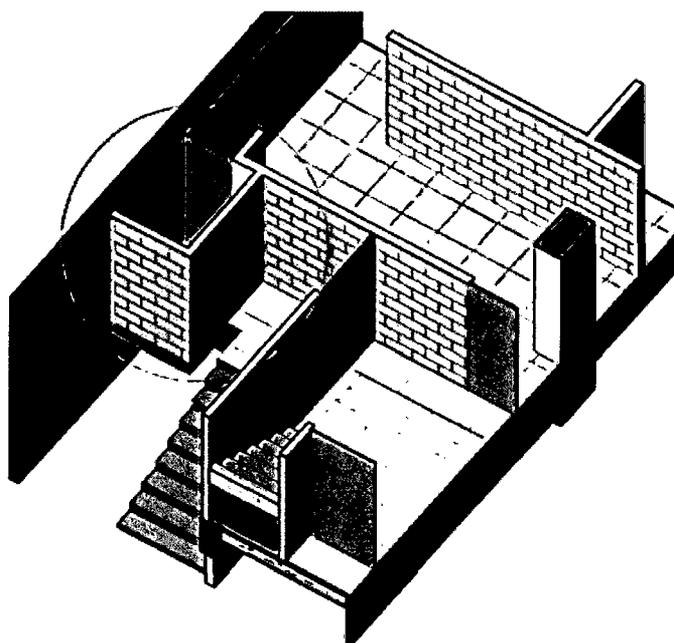


Figura 3.1: Vista 3D de la losa omitida por incompatibilidad entre planos

⁴ Estas observaciones tomadas del proyecto en referencia al Capítulo V

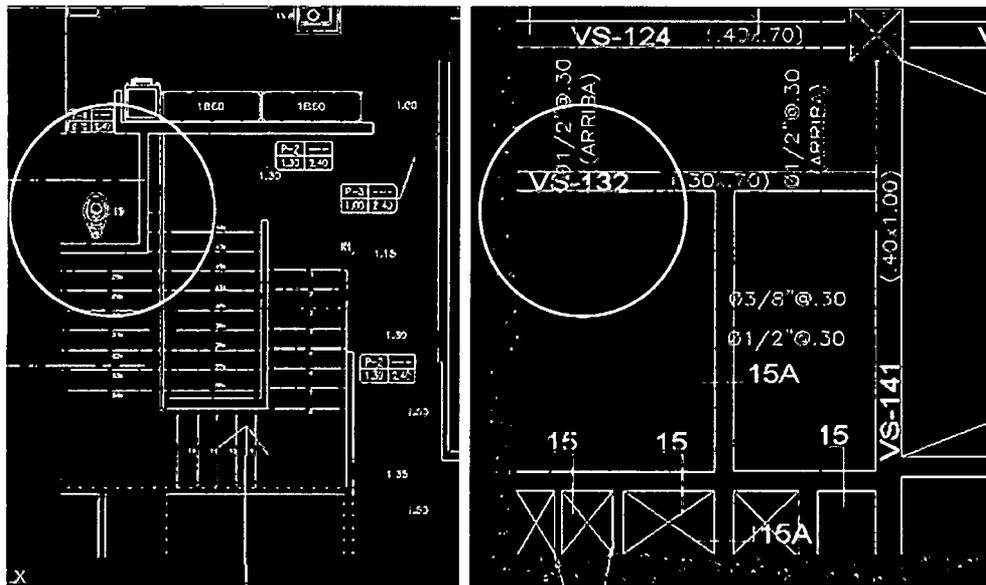


Figura 3.2: (Izquierda) Losa del SS.HH. según el plano de arquitectura.
(Derecha) Omisión de la losa en el plano de estructuras

Segundo Ejemplo: Como se aprecia en la Figura 3.3, en los distintos niveles existe un ducto para la extracción de aire y colocación de montantes de instalaciones, modelado según información encontrada en los planos de arquitectura; sin embargo, como se ve en la Figura 3.4, en los planos de estructuras no se han considerado estas aberturas necesarias en las losas.

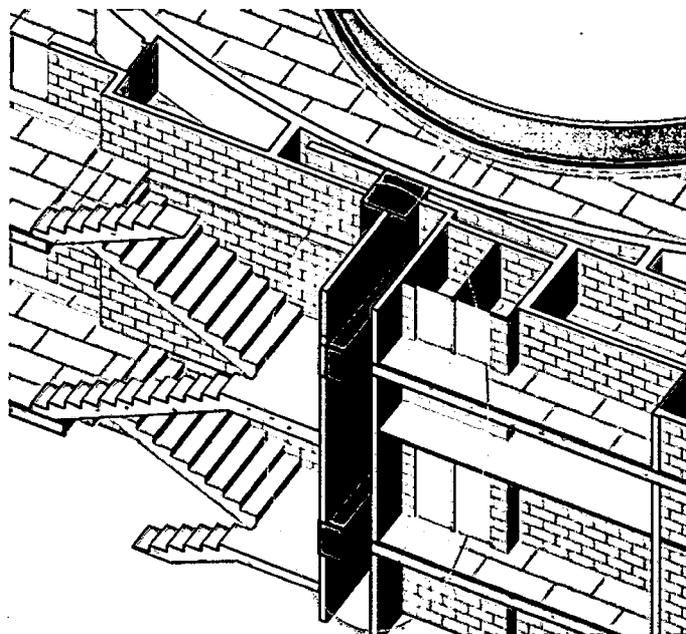
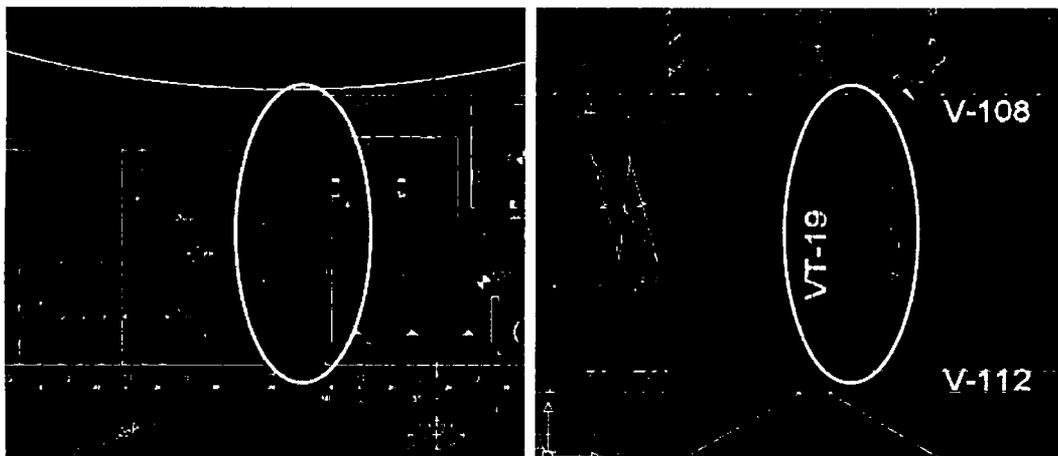


Figura 3.3: Vista 3D del ducto omitido por incompatibilidad entre los planos



*Figura 3.4: (Izquierda) Ducto según el plano de arquitectura.
(Derecha) Omisión del ducto en los planos de estructuras*

Como incompatibilidades, los errores y omisiones en los documentos de diseño e ingeniería pueden también incluirse en esta categoría. En muchos casos aunque el diseño e ingeniería se ha completado, hay errores y omisiones en los planos que requieren información adicional o cambios a fin de que la contratista pueda llevar a cabo la construcción. A través del proceso de revisión del diseño y la ingeniería (compatibilización), muchos de estos errores y omisiones se detectan a tiempo en el proceso de diseño y en fases tempranas de la construcción; sin embargo, esto no siempre es el caso. En otras situaciones, estos errores y omisiones se descubren después de que la construcción ha comenzado y exigen un diseño significativo y retrabajo de construcción para resolver los problemas que pueden interrumpir el proceso de construcción.

b) Interferencias o errores de coordinación interdisciplinaria

Las “interferencias”, son deficiencias encontradas en los planos, que al no ser detectadas a tiempo generan en obra (campo) una interrupción espacial debido a la ubicación de un elemento sólido que impide la correcta instalación, montaje o construcción de algún otro elemento. Estas deficiencias se deben a la falta de integración y coordinación entre las disciplinas del proyecto, sobre todo al momento de la elaboración de los planos en la etapa de diseño, pues generalmente ocurren entre los planos de dos o más especialidades y muy usualmente entre las distintas disciplinas o sistemas que forman parte de las instalaciones, debido a los cruces que se presentan en el desarrollo de sus recorridos, como se puede apreciar en la Figura 3.5.

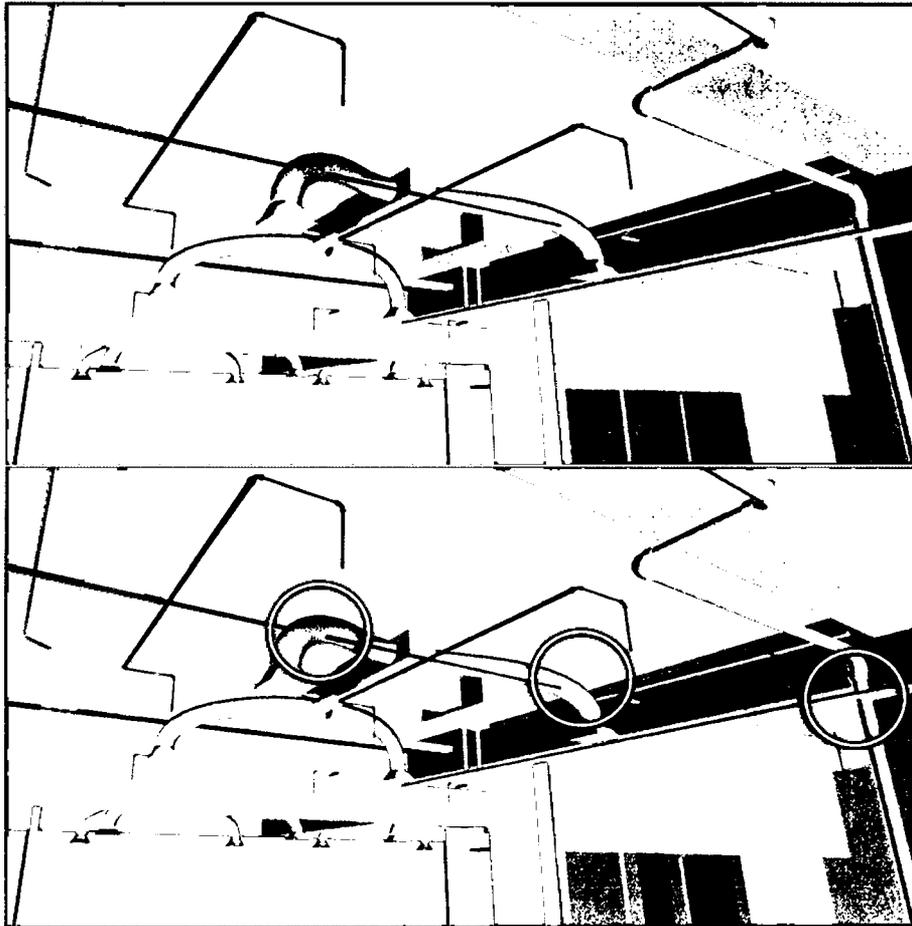


Figura 3.5: (Arriba) Vista desde el interior de un modelo 3D de instalaciones.
(Abajo) La misma vista con las interferencias identificadas

Las interferencias entre los planos de diseño también pueden ser detectadas y levantadas en un proceso de compatibilización; sin embargo, a diferencia de las incompatibilidades, las interferencias son más difíciles de detectar, ya que los procesos tradicionales de compatibilización se dan mediante la superposición de los planos en planta 2D, sin tomar en cuenta los planos de corte o elevación debido a que, en la mayoría de los casos, los proyectistas de instalaciones no elaboran estos planos. Por consiguiente, las interferencias son comúnmente detectadas y resueltas en campo mediante fichas de observaciones que deben ser levantadas por medio de órdenes de cambio o retrabajos que impactan sobre los costos y plazos del proyecto.

Las siguientes imágenes 3.6, 3.7 y 3.8 ilustran casos de interferencias encontradas en obra cuando, previo a su colocación, no han sido plenamente identificadas en los planos del proyecto. La Figura 3.6 muestra una interferencia entre las instalaciones de Agua Contra Incendio (ACI) y los ductos de extracción

de monóxido (HVAC); en este caso las tuberías de ACI impiden la colocación de los accesorios necesarios para empalmar ambos ductos del sistema HVAC.



Figura 3.6: Interferencia entre tuberías de agua contra incendio con ductos de extracción de monóxido

En la Figura 3.7, la interferencia se da entre una tubería montante del sistema de desagüe y la columna, cuyo capitel no figuraba en el plano en planta de estructuras.

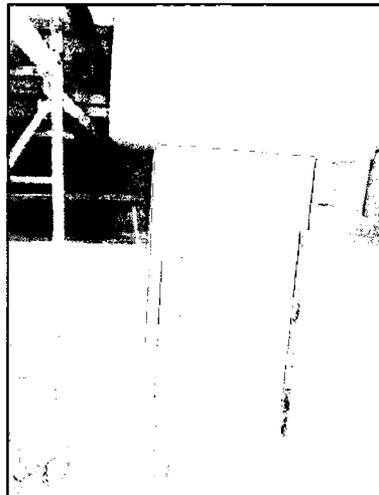


Figura 3.7: Caso de interferencia entre una tubería y la estructura

En la Figura 3.8 se identificó un caso de interferencia entre un ducto y una tubería, la cual ha sido resuelta sin considerar la eficiencia del funcionamiento de los ductos y empleo de materiales, cuando lo preferible es que las tuberías sean las que deban bordear al ducto. Este particular problema, como el mostrado en la Figura 3.6, no solo se debe a la falta de compatibilización de los planos de ambas disciplinas, sino además evidencia poca planificación y control de campo para establecer las prioridades de ingreso de las cuadrillas de instalaciones ya

que en ambos casos las cuadrillas del sistema de ACI ingresaron antes que los de HVAC, siendo estos últimos los más afectados.



Figura 3.8: Interferencia entre un ducto y una tubería

El común denominador de los problemas mostrados en las figuras anteriores, es que en todos probablemente hubo un intento por compatibilizar los planos en planta, sin embargo, como se pudo apreciar, estos problemas ocurren mayormente en los recorridos en elevación de las instalaciones.

Para resolver particularmente el problema de interferencias entre la estructura del edificio y las instalaciones, principalmente las que tengan tuberías, algunas veces se realizan perforaciones diamantinas a las vigas de concreto armado. Esto se da cuando no se ha tenido la precaución de dejar el pase necesario antes del vaciado del elemento estructural. En algunos casos la realización de estas perforaciones, como se puede apreciar en la Figura 3.9, es absolutamente justificable cuando se tienen restricciones de claro o altura libre, pero soluciones como esta no son los más convenientes, ya que disminuyen la capacidad de las vigas de concreto. Por ello sería preferible que durante el desarrollo del diseño se conjuguen las distintas alternativas con los recorridos de las instalaciones y adaptarlas a la geometría de la estructura del edificio para evitar realizar en obra perforaciones de forma improvisada, además se debe tener en cuenta que esto representa un costo adicional que por lo general no está contemplado en el presupuesto contractual del proyecto.

Todas las soluciones que se puedan dar a fin de evitar estas perforaciones tienen que darse en la etapa de diseño de manera coordinada con los distintos proyectistas involucrados. Esto servirá para anticipar la colocación de pases

antes de realizar el vaciado de la estructura o proponiendo procedimientos constructivos alternativos.

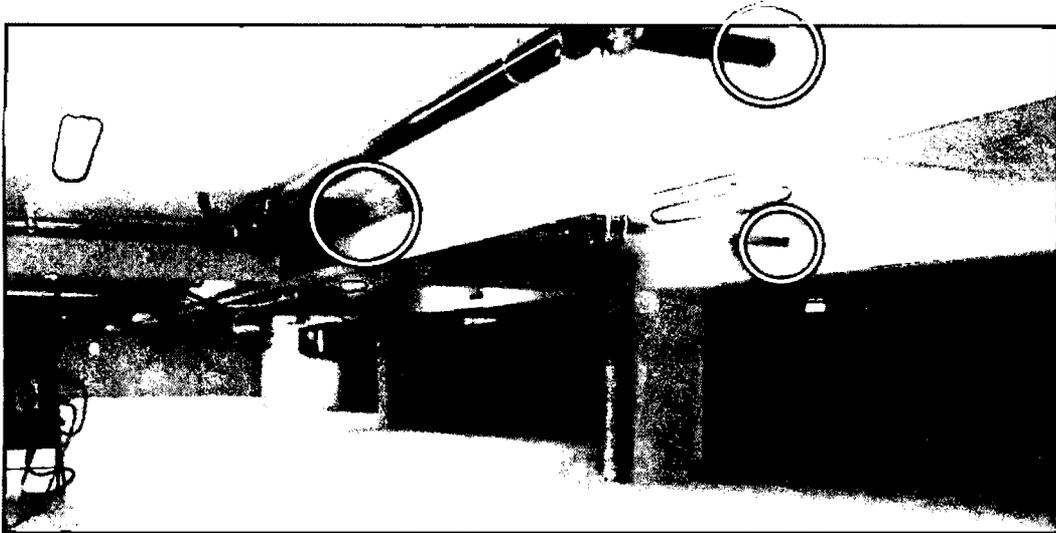


Figura 3.9: Pases en vigas mediante perforaciones diamantinas

c) La falta de constructabilidad de los diseños

El CII (Construction Industry Institute) define la constructabilidad (constructability) como “el óptimo uso del conocimiento y experiencia en construcción para ser aplicadas al planeamiento, diseño, procura y operaciones de campo para que se logren todos los objetivos del proyecto”.

Una definición de constructabilidad más específica concerniente al diseño sería la puesta del conocimiento y la experiencia para plantear soluciones de diseño que permitan construir o instalar algún componente de la edificación de la forma más eficiente y segura posible, mediante un uso óptimo de los recursos, permitiendo en algunos casos materializarlos a un menor costo. Esto implica traer toda la información y los conocimientos de la construcción antes de desarrollar la ingeniería de detalle y los diseños, ya que estos deben ser compatibles con los procesos de construcción a seguir durante esa etapa (Orihuela, 2003). Cuando esto no es posible, es necesario realizar revisiones de constructabilidad en los diseños y sus respectivos documentos.

Las revisiones de constructabilidad son necesarias, pues permiten evaluar de qué manera algún componente de la edificación será construido. Esto es fundamental para fines de planificación, ya que de ello dependerá la cantidad de

recursos (equipos, maquinarias, mano de obra) a emplear para llevarla a cabo, además de la selección los procesos constructivos más adecuados.

Debido a su naturaleza, la constructabilidad debe ser planteada por profesionales dedicados a la construcción que hayan tenido experiencia de trabajo en campo y el conocimiento suficiente para plantear medidas alternativas para mejorar el diseño, buscando optimizar el uso de los recursos sin descuidar temas de seguridad y calidad.

Según Alarcón y Mardones (1998), una importante proporción de los problemas detectados durante la etapa de construcción es debido a la falta de constructabilidad de los diseños. Además, los detalles no definidos en los diseños son problemas que la contratista tiene que resolver in-situ y usualmente los problemas son detectados justo antes de iniciar la construcción de una tarea específica, y en algunos casos, después que la tarea ha sido completada. Los resultados (debidos a la falta de constructabilidad de los diseños) son los incrementos, en diferentes tipos y magnitudes, de los costos necesarios para realizar los trabajos, afectando su periodo de entrega.

La poca o nula participación de profesionales de la construcción en la etapa de diseño, como se da con la aplicación del modelo Diseño/Licitación/Construcción, trae consigo que los documentos de diseño pasen a la etapa de construcción sin una adecuada revisión de constructabilidad, resultando que los mismos no representen la alternativa constructivamente más económica y segura de construirla, pudiendo existir otras que permitan realizarla de una forma más eficiente, segura y económica, destinando para ello variados recursos (materiales, equipos, etc.) y que tengan la misma funcionalidad para la cual fue diseñada originalmente.

En el artículo "Constructabilidad en Pequeños Proyectos Inmobiliarios", Orihuela (2003) presenta ejemplos que cuestionan la manera en que muchas veces se entregan a la contratista los planos de diseño e ingeniería, con nulas o deficientes consideraciones de constructabilidad, pues estos no han sido elaborados considerando los procesos constructivos y logística de abastecimiento para materializar o ejecutar el diseño. Por mencionar alguno de sus ejemplos, particularmente es usual que los proyectistas estructurales no consideren los procesos operativos que se utilizarán en obra y "muchas veces

se pueden encontrar planos originales en los que se especifica un aligerado típico y sin embargo la obra se está construyendo con viguetas prefabricadas; o también en los planos originales figura el cálculo con refuerzo convencional pero en la obra se usan soluciones equivalentes como mallas o columnas electrosoldadas”.

Otro de los importantes motivos que demuestran la falta de constructabilidad en los proyectos, es por el incumplimiento de los requisitos funcionales de la edificación, refiriéndonos a edificaciones típicas como: edificios de oficina, residenciales, comerciales, industriales, etc. Un ejemplo de un grave defecto de diseño en un edificio típico es un techo que presenta filtraciones por acumulación de agua de lluvia en techos, terrazas o superficies expuestas a la lluvia. Mientras que un diseño puede ser estéticamente atractivo, si existen filtraciones es inútil. El propósito principal de los techos en las casas y edificios es proteger la estructura de la intemperie y sobre todo de la lluvia. Si se presentan filtraciones deja de ser adecuado para los fines previstos y representa una grave falla de diseño.

3.3 INDICADOR PARA MEDIR EL NIVEL DE CALIDAD DE LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES

Tilley y Barton (1997) sugiere en su investigación que los procesos de consulta formal realizados a través de la emisión de Solicitudes de Información (RFI) pueden proveer indicadores necesarios para medir la calidad en los documentos de diseño, concluyendo al final que son uno de los mejores indicadores de nivel de calidad en los documentos de diseño e ingeniería, o grado de deficiencia de los mismos.

Las Solicitudes de Información (SI) o RFI por sus siglas en inglés (Request For Information) son documentos estándar que forman parte del Procedimiento de Control de Calidad de una empresa contratista, y se utiliza en la industria de la construcción cuando es necesario la interpretación de un detalle y ampliación de notas en los planos de construcción, alguna especificación técnica o para solicitar aclaraciones al cliente o la supervisión de alguna observación que impidan el normal desarrollo de las actividades, como ocurre por ejemplo con las incompatibilidades y errores encontrados entre los planos de los proyectistas.

En la mayoría de los proyectos, cuando la ingeniería está completada y la construcción empieza, el número de las RFI emitidas es el más alto. Puede haber cuestiones menores o problemas posteriores en el proyecto que requieren una aclaración, pero el número de RFI disminuye a medida que avanza el proyecto.

Al comienzo del proyecto, la contratista en muchos casos tiene la oportunidad de superar estos problemas y los cambios sin impactar significativamente en la construcción. Sin embargo, a medida que el proyecto continúa, la contratista tiene menos tiempo para superar estos cambios. En proyectos de construcción cuyo diseño/ingeniería se encuentran incompletos o son deficientes, la contratista a menudo emite las RFI con observaciones que están pendientes por definir y determinar el camino a seguir.

Los procesos de emisión de Solicitudes de Información (RFI process), tienen como función principal la de solicitar formalmente información adicional o aclaraciones a la información existente con relación al proyecto, y es un proceso muy común en la industria de la construcción. Sin embargo, este proceso es altamente ineficiente debido al poco valor que genera en la elaboración de los mismos y al tiempo de espera requerido para obtener la información necesaria. (Tilley y Barton, 1997)

Por lo tanto, la revisión de estas consultas (RFI) pueden proporcionar información valiosa sobre la naturaleza de los problemas de diseño así como de las fuentes responsables. Y además los análisis de los procesos de emisión de estas RFI, su contenido y el tiempo de espera, proveen el mejor indicador de la calidad de los documentos de diseño e ingeniería en cualquier proyecto de construcción.

3.4 ESTUDIO: CLASIFICACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES

a) Antecedentes

Es usual que durante la construcción se identifiquen deficiencias en los documentos del diseño del proyecto, los cuales son reportados al cliente o a la gerencia por medio de Solicitudes de Información (RFI) que canalizan la consulta hacia los proyectistas quienes, dependiendo del tipo de observación, tardan

algunos días en emitir una respuesta, lo cual se traduce en tiempo de espera para la contratista, ya que las consultas son reportados primero desde campo hacia la oficina técnica de la contratista, donde se encargan de registrarla y empezar el procedimiento formal para resolverlo. Dependiendo de su complejidad, en algunos casos la supervisión paraliza la ejecución de las actividades mientras coordina con los especialistas del proyecto los cambios que se requieran a fin de tomar en cuenta sus criterios técnicos. Posteriormente, cuando se ha llegado a un acuerdo que resuelva o aclare el inconveniente surgido en obra, los especialistas dan cuenta al cliente o a la gerencia de esta decisión, y este último, como instancia superior de la contratista, ordena a la supervisión continuar con las actividades paralizadas enviándole para ello los planos modificados y aprobados. Todo esto crea un flujo de procedimientos que se debe seguir recomendablemente a fin de tomar la mejor decisión tanto técnica como constructivamente.

Estudio de clasificación de las consultas emitidas por la contratista a través de Solicitudes de Información

Con la finalidad de manejar estadísticas más recientes y ajustadas a nuestra realidad, se realizó un estudio para clasificar las deficiencias encontradas en los documentos de diseño/ingeniería durante la construcción de cinco proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima.

b) Muestra de estudio

Para este estudio se han escudriñado y analizado a profundidad las Solicitudes de Información o RFI generadas a lo largo de toda la etapa de construcción de cinco proyectos de edificaciones de clientes privados y con modelo de contratación y desarrollo del proyecto diseño/licitación/construcción. Estos paquetes de RFI contienen las consultas que se emiten y responden por la vía formal entre la contratista y el cliente o su representante (la gerencia).

La cantidad total de Solicitudes de Información (RFI) encontradas en los cinco proyectos de edificaciones fue de 1406. Dentro de ellas se contabilizó un total de 2104 observaciones, ya que en muchos casos una RFI contenía más de una observación. Como resultado se obtuvo la gráfica de la Figura 3.10, donde se aprecia que el mayor porcentaje de consultas emitidas hacia el Cliente o la

Gerencia a través de Solicitudes de Información (RFI) están relacionados a “Deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería”.

c) Presentación y análisis de los resultados del estudio

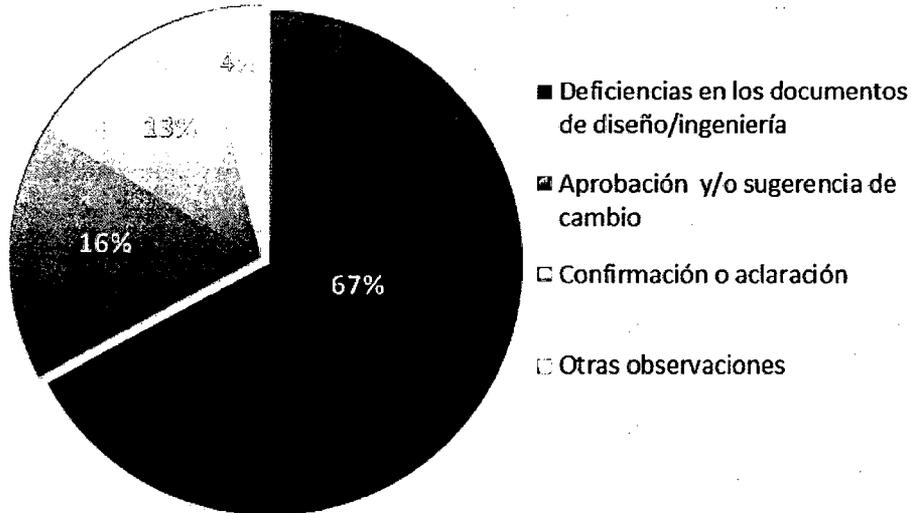


Figura 3.10: Clasificación de RFI por tipo de consulta

La Figura 3.10 muestra que del total de consultas emitidas las de mayor frecuencia están asociadas a “deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería” con 67.11% de incidencia. Este porcentaje alto de deficiencias, que se desglosan en el gráfico de la Figura 3.12, es un buen indicador de los tiempos que generalmente destina una empresa contratista en revisar los documentos de diseño e ingeniería del proyecto y el esfuerzo que invierte en tratar de resolver las deficiencias encontradas en los planos y especificaciones técnicas debido a una inadecuada representación gráfica, a la falta de detalles, incompatibilidades o a una deficiente integración con los planos de las demás especialidades, sacrificando tiempo-esfuerzo que podrían ser dedicadas a la realización de actividades exclusivamente productivas. En la siguiente figura se presenta este resultado desglosado por cada uno de los proyectos, y en los cinco proyectos estudiados.

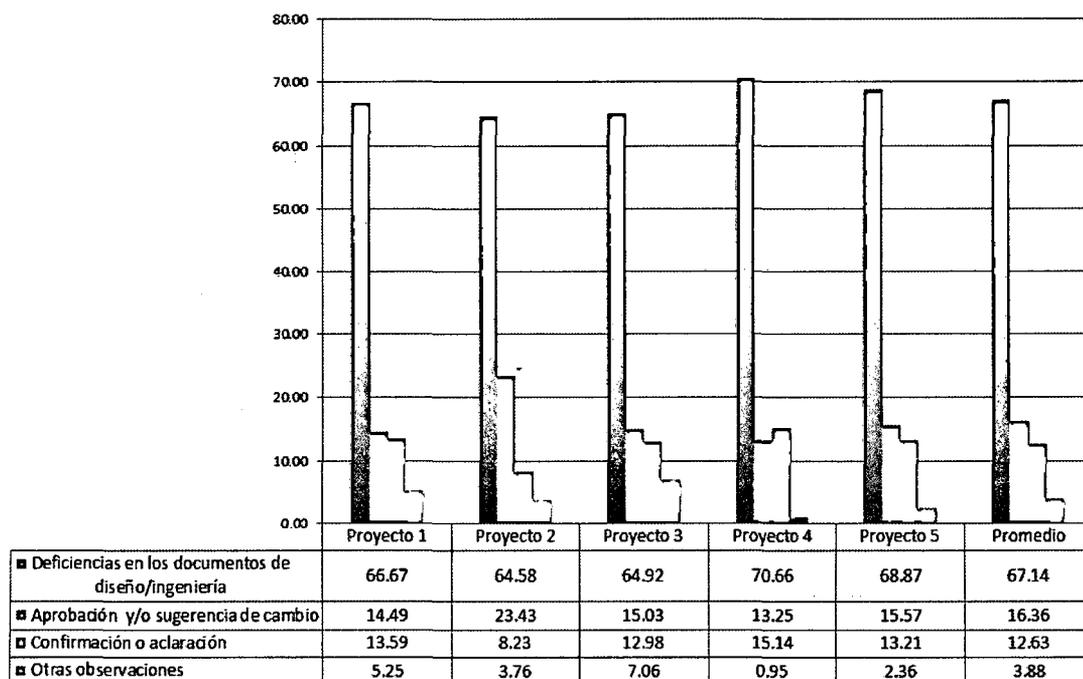


Figura 3.11: Clasificación de Solicitudes de Información (RFI) por proyecto y por tipo de consulta

Se observa también que en segundo lugar se hallan las consultas emitidas con fines de aprobación y/o enviadas como sugerencia de cambio. Para este caso, las consultas no son propiamente observaciones a los documentos de diseño debido a sus deficiencias, sino que en su mayoría son propuestas alternativas de cambio a ciertos procedimientos o materiales indicados en el proyecto con el fin de generar valor al cliente o para facilitar ciertos procesos constructivos, que permitan proteger el plazo y el costo de construcción. Las alternativas o propuestas de cambio planteadas por la contratista, se dan a través de revisiones y análisis de constructabilidad. Estas consultas están relacionadas a la nula participación de la Contratista en la etapa de diseño del proyecto. En esta categoría, el resto de consultas son para fines de aprobación, en la que se envían ciertos planos compatibilizados, planos modificados en obra después de la construcción, planos actualizados proporcionados por subcontratas y proveedores, y muestras y/o especificaciones técnicas de materiales provista por los proveedores.

La siguiente categoría, con incidencia de 12.62%, corresponde a observaciones enviadas solo para confirmación o aclaración, es decir, que están propiamente indicadas en los documentos contractuales, siendo su principal intención la de despejar dudas.

Como segunda parte del estudio, se ha analizado exclusivamente la muestra de deficiencias en la definición del diseño del proyecto correspondiente al 67.11% del total de consultas, haciendo una Clasificación de Pareto con el fin de encontrar las deficiencias en los documentos de diseño de mayor incidencia y las más frecuentes por cada especialidad, las cuales han sido agrupadas en 12 categorías dentro de tres grandes especialidades: Arquitectura, Estructuras e Instalaciones. Cabe indicar que en el grupo de consultas de instalaciones, se ha considerado a varias sub-disciplinas o sistemas, que dependiendo del proyecto se incluyen: Sistema Agua y Desagüe, Sistema Eléctrico, Agua Contra Incendio, Sistema de Automatización, Sistema de Calefacción, Aire Acondicionado y Ventilación, Cableado Estructurado, Seguridad, Intrusión y Control de Accesos, Circuito Cerrado de TV. Los resultados se muestran en la Figura 3.12.

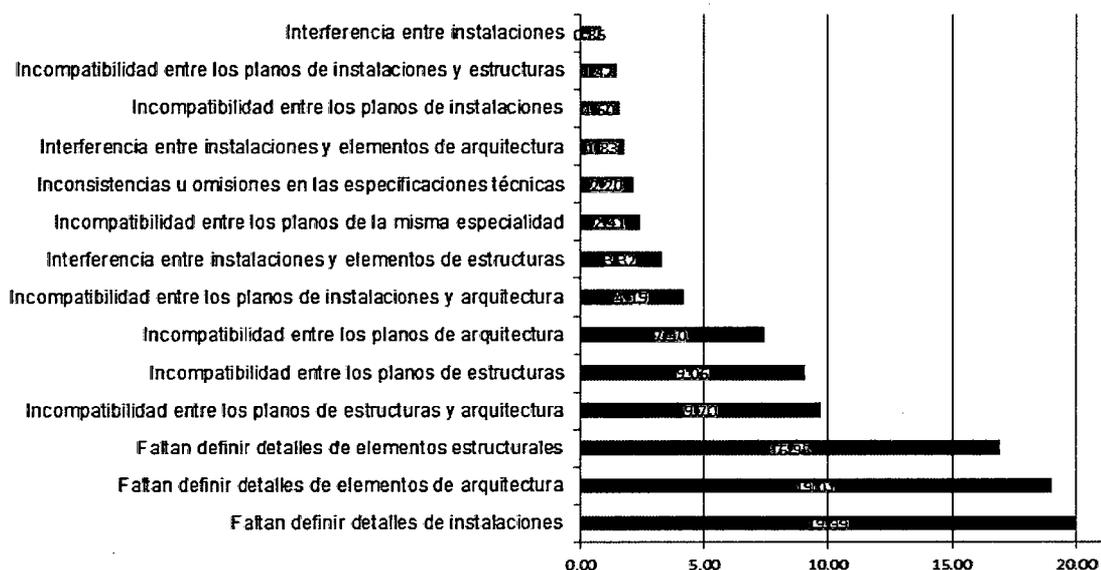


Figura 3.12: Clasificación de deficiencias por especialidades

Tal como se puede apreciar en esta clasificación, dentro de las principales deficiencias en el diseño se encontró que las más frecuentes son los concernientes a: falta de detalles de los planos de instalaciones, arquitectura y de estructuras, la incompatibilidad entre los planos de estructuras y arquitectura, y la incompatibilidad entre los planos de estructuras. Esto muestra claramente que los planos llegan a obra sin estar compatibilizados y que los errores son encontrados durante la fase de ejecución y/o construcción del proyecto.

En edificaciones de varios niveles, las instalaciones están conformadas por varias especialidades y en cada uno intervienen distintos proyectistas

encargados del diseño e ingeniería y en campo varias cuadrillas encargadas del montaje e instalación. Esto genera una mayor variabilidad en obra y una mayor probabilidad de que se presenten cruces e interferencias entre las distintas instalaciones. Para paliar esta medida la Contratista se encarga de la compatibilización del proyecto y su integración con los planos de arquitectura y estructuras.

A pesar que el proceso de compatibilización se realiza en los planos en planta bidimensionales 2D, esto no asegura la optimización del proyecto, ya que hay gran cantidad de información y detalles que se pierden en elevación y a medida que existan más instalaciones los cruces entre éstas con otros elementos de arquitectura y estructura se hacen más complejos. La Figura 3.13, nos da una idea de lo complejos que pueden ser los proyectos si juntamos toda esa información.



*Figura 3.13: Complejos recorridos de las instalaciones ubicadas encima del FCR
(Foto: Gran Teatro Nacional - GyM)*

Es por ello que en la clasificación de Pareto, mostrada en la Figura 3.12, el porcentaje de “interferencias entre instalaciones” es el menor de todas las observaciones identificadas en los planos, esto es porque son muy pocas las veces en que se identifican estas interferencias entre los planos de instalaciones utilizando métodos tradicionales de compatibilización, como la superposición de planos 2D.

d) Conclusión

En proyectos de edificaciones civiles típicos del Perú, la calidad de los documentos de diseño e ingeniería provistos por el cliente a la contratista general son deficientes e insuficientes y corresponden a una práctica generalizada que responde a una cuestión cultural en el manejo de proyectos sumada a la mayor afinidad por la adopción del Sistema de Entrega de Proyectos Diseño/Licitación/Construcción. Sin embargo, estos problemas también se han venido presentando a nivel mundial, estudios realizados en países como Chile, Australia, Arabia Saudita, inclusive en Japón, así lo demuestran. Por lo que resulta necesario enfocar los esfuerzos en el diseño reemplazando los procesos tradicionales de gestión y elaboración del diseño y sus documentos.

3.5 CAUSAS DE LAS DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES

a) El método diseño/licitación/construcción

La entrega de proyectos de construcción está dividida en diferentes etapas. En la etapa de diseño se identifican y se plasman las necesidades del cliente a través de planos y especificaciones técnicas, definiéndose además los aspectos constructivos y estándares de calidad. En proyectos de edificaciones, el propietario selecciona primero al arquitecto (o consultoría arquitectónica) quien prepara el diseño arquitectónico y sus especificaciones; luego se desarrolla el diseño estructural y el diseño del resto de especialidades. Los documentos que resultan al final de la etapa de diseño son un conjunto de planos y especificaciones técnicas por especialidades que posteriormente serán entregados a la empresa contratista para empezar con la construcción del proyecto.

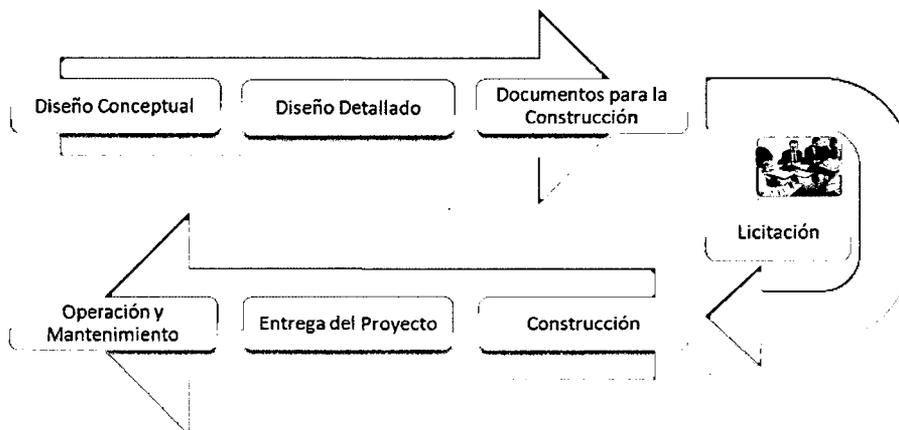


Figura 3.14: Etapas del modelo Diseño/Licitación/Construcción

Problemas del modelo tradicional Diseño/Licitación/Construcción

Los impactos y problemas generados por la adopción del modelo Diseño/Licitación/Construcción son muy discutidos. Los principales problemas detectados son: (a) la poca interacción entre ambas etapas, diseño y construcción, y (b) la poca interacción entre los demás especialistas encargados del proyecto por falta de liderazgo que busque la integración holística o total del proyecto en la etapa de diseño.

b) Licitación con documentos de diseño incompletos.

Muchas veces, para acelerar la entrega de sus proyectos, son los mismos clientes quienes aceleran el desarrollo de las etapas del proyecto. Esto implica que el proceso de licitación, que encargará a una empresa constructora la ejecución del proyecto, sea realizado cuando los documentos de diseño e ingeniería están parcialmente elaborados o incompletos. Con ello las contratistas postores de la licitación elaboran un presupuesto de construcción que muchas veces es muy inferior si se compara con el presupuesto real valorizado al final del proyecto, participando en la licitación con una cifra referencial y asumiendo los riesgos de la construcción del proyecto. Por consiguiente, la contratista seleccionada (o mejor postor) recibe los documentos oficiales para la construcción que aún están incompletos y deficientes, pues con la celeridad con la que se desarrolló el diseño no se enfocaron esfuerzos por tratar de integrarlos y compatibilizarlos debidamente.

A raíz de ello, los problemas derivados por la celeridad de los procesos de las etapas del proyecto conllevan a que se presenten problemas durante la etapa de

construcción, resultando ésta crítica, ya que cualquier modificación o cambio imprevisto en el diseño pueden representar grandes pérdidas de tiempo y dinero.

3.6 INFLUENCIA E IMPACTO DE LAS DEFICIENCIAS DE DISEÑO EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Para tener clara la magnitud de la influencia del diseño en etapa de construcción de un proyecto, habría que examinar las conclusiones a las que llegaron diversos estudios. De acuerdo a uno realizado en países de Latino América, cerca de 20 al 25% de horas respecto del período total de construcción son desperdiciados por deficiencias de diseño (Undurraga 1996). Otro estudio revela que cerca del 78% de los problemas de calidad en la industria de la Arquitectura-Ingeniería-Construcción están relacionados al diseño (Koskela, 1992). Además un estudio realizado en Sao Paulo, Brasil ha identificado ocho grandes causas de desperdicios en obras, siendo el de mayor incidencia la elaboración de proyectos no optimizados, siendo responsable del 6% de los desperdicios (Flavio Picchi 1993).

Apoyándonos en estudios más recientes y enfocadas a nuestra realidad nacional, Vásquez (2005), realizó entrevistas a ingenieros residentes y maestros de obra que laboraban en 65 proyectos de edificación de viviendas en la ciudad de Lima, cuyos resultados se muestran en la Figura 3.15 y en la que concluyó que el 73% de los entrevistados percibe que el diseño tiene una gran influencia en la productividad en obra y el 66% de los ingenieros residentes califican el grado de eficiencia de los proyectos como de regular a deficiente.

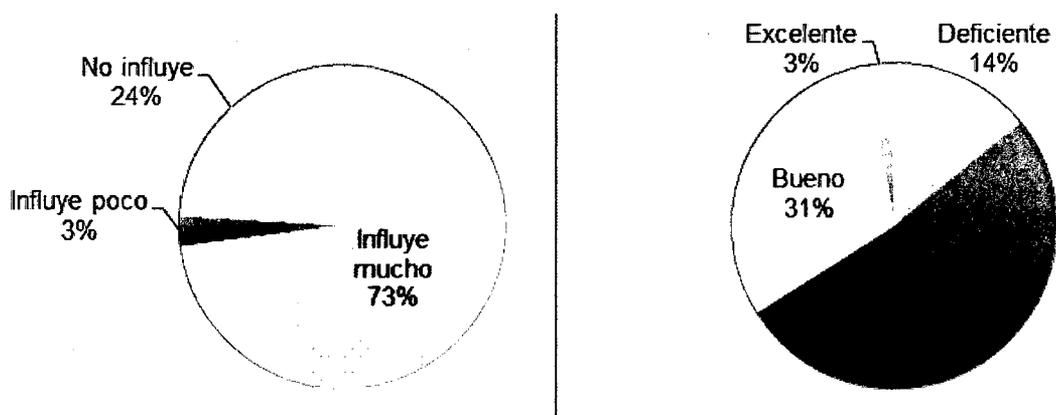


Figura 3.15: (Izquierda) Influencia del diseño en la productividad en la construcción.

(Derecha) Grado de eficiencia del diseño en los proyectos

(Fuente: Vásquez, 2006)

De acuerdo a la revisión de la literatura y en base a consultas realizadas a ingenieros jefes de área y residentes con amplia experiencia en construcción de proyectos de edificaciones, se ha podido identificar que existen hasta cinco formas en la que las deficiencias en los documentos de diseño /ingeniería pueden impactar negativamente durante la etapa de construcción, afectando principalmente a la empresa contratista en los siguientes aspectos: (1) En la productividad de campo, (2) en la calidad, (3) en los costos, (4) en los plazos, y (5) en las disputas y reclamos, los cuales se sustentan a continuación:

a) En la productividad de campo

Cuando en campo se detecta un error en los planos, se genera incertidumbre durante la construcción de cierta actividad o proceso que se vea directamente afectado. Por ejemplo, si no están claras las dimensiones correctas de una viga producto de una incompatibilidad entre los planos, durante la colocación del encofrado o armado de acero los obreros no sabrán qué plano respetar para cumplir con la actividad según lo programado. Es cuando esta observación se convierte en consulta, el cual la contratista notifica a la gerencia por medio de una Solicitud de Información (RFI). Además esta observación necesita de un tiempo para ser atendida, ya que debe ser resuelta por la vía formal contratista-supervisión mientras la gerencia realiza la consulta a los especialistas involucrados del proyecto y se generen nuevos planos, modificados y aprobados, y sean finalmente entregadas a la contratista para continuar con la tarea. Mientras se resuelva el defecto detectado en los planos de diseño/ingeniería, se generará en campo un tiempo de espera para los obreros, el cual puede convertirse en Tiempo Contributorio (TC) si no se les asigna de inmediato otra tarea que sume a su productividad, o puede convertirse en Tiempo No Contributorio (TNC), si los obreros realizan actividades complementarias que no vean reflejado su esfuerzo en la producción programada para ese día. Como se vio, un problema minúsculo en los planos puede generar todo un flujo de actividades que se muestran resumidas en la Figura 3.16 que paralizan temporalmente el desarrollo de cierta actividad en obra, perjudicando principalmente a la contratista.

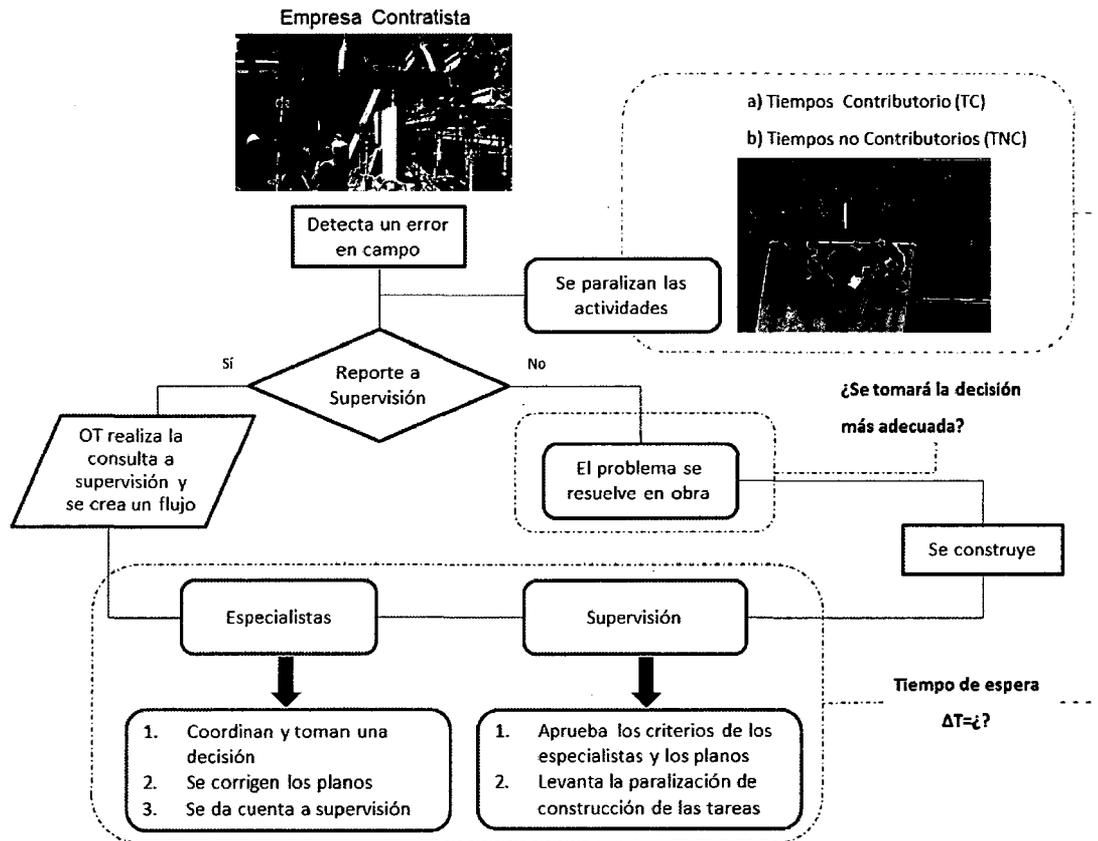


Figura 3.16: Flujo de actividades que se sigue en campo cuando se detecta un error en los documentos de diseño

Por esa razón los planos que se envían a obra deberían indicar impecablemente todos los detalles, niveles, y dimensiones en cortes y elevación de los elementos que serán replanteados, instalados y/o construidos, debiéndose haber resuelto a priori todas las incompatibilidades e interferencias que puedan estar presentes en los planos de todas las especialidades, debidas a una incorrecta representación gráfica, omisión de detalles y a la integración con el resto de especialidades.

b) En la calidad

En todo proyecto de construcción se designa a inspectores de calidad, quienes son los encargados de, entre otras cosas, garantizar el buen cumplimiento de las normas aplicables al proyecto y de generar observaciones cuando el desarrollo de cierto proceso u actividad no se esté cumpliendo con el mínimo de estándares exigidos por el expediente técnico para su adecuada funcionalidad u operatividad. Mediante recorridos de obra, los inspectores de calidad se encargan de generar fichas de Productos No Conforme (PNC), en las que

identifican que al término de algún proceso se ha generado un producto que no cumple con los estándares de calidad y/o especificaciones establecidas por el cliente o la empresa.

Las deficiencias en los documentos de diseño tienen su impacto durante la etapa de construcción ya que estos se arrastran hasta generar Productos No Conforme. Los casos más notorios de PNC se dan en la colocación de instalaciones, ya que mediante inspecciones visuales de campo y siguiendo una serie de criterios ingenieriles, se pueden identificar casi inmediatamente ciertos problemas debido a su incorrecta colocación y montaje.

Según el Sistema de Gestión de Calidad (SGC), que forma parte de la política global de una empresa de construcción o el plan de gestión de calidad específica para la obra, "un Producto No Conforme (PNC) no sirve para acusar, sino para mejorar". En ese sentido, mostraremos algunos casos de Producto No Conforme encontrado en algunos proyectos de edificaciones, los cuales han sido generados por falta de definición de los recorridos de las instalaciones. En vista que los proyectistas no elaboran estos planos, el esfuerzo por detectar estas interferencias resulta incompleto, pues el proceso de compatibilización se da por medio de los planos en planta, perdiéndose importante información espacial. En otros casos, la presencia de PNC se debe a una inadecuada planificación y coordinación de campo con las cuadrillas de instalaciones para definir el orden de ingreso de los mismos. Según se ha evaluado, las últimas cuadrillas en entrar a campo a realizar su labor resultan ser las más perjudicadas, ya que tienen que surcar por todas las instalaciones ya colocadas, desviando los obstáculos éstas le presentan.

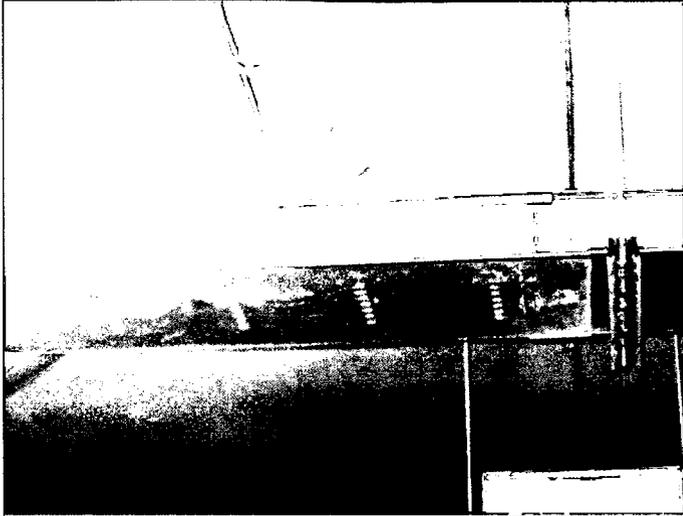
En la Tabla 3.1 se muestra un reporte resumido de observaciones que por su naturaleza califican como Productos No Conforme.

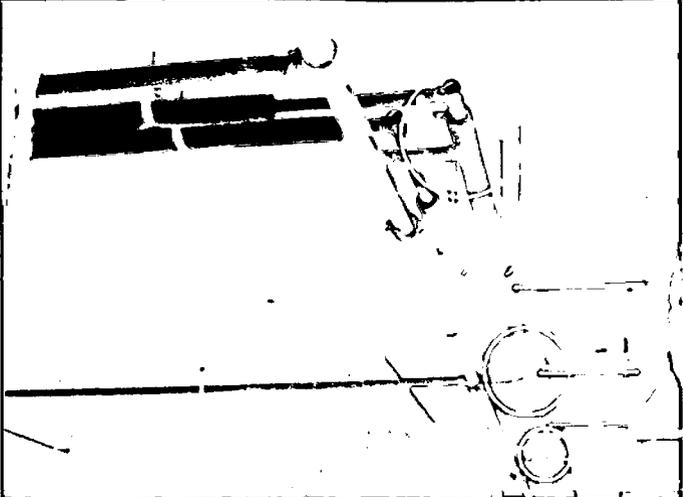
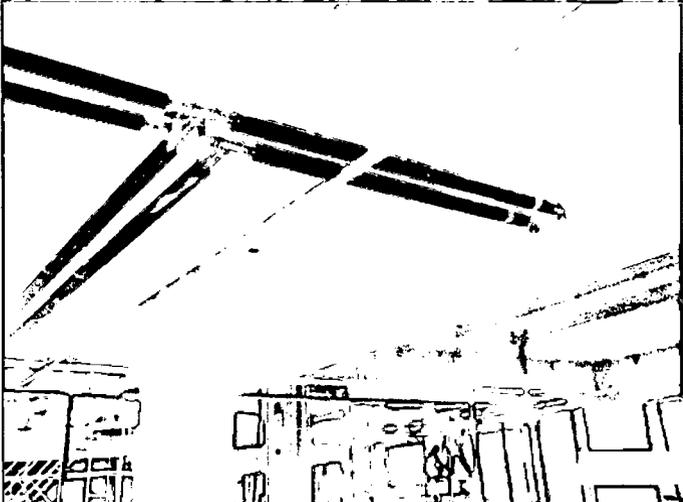
Estos problemas podrían haberse identificado si se hubieran utilizado herramientas adecuadas de detección temprana de interferencias en los planos del proyecto de todas las especialidades y adoptar soluciones inmediatas con anticipación y antes de que se presenten en campo.

Tabla 3.1: Ejemplos de Productos No Conformes (PNC) en instalaciones

Producto	Descripción	Problema
	<p>Cuando no se tienen definidas las alturas en los recorridos de las instalaciones, en campo se tienen que dar soluciones no óptimas como ésta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El aire de circulación que se inyecta a través de los ductos va a perder presión y un flujo continuo. ▪ Debería respetarse una altura libre mínima de 5cm entre ambas instalaciones para evitar un impacto ante la ocurrencia de vibraciones. ▪ Realizar instalaciones de esta forma requiere de más recursos de los que si se hubieran adoptado las medidas para hacerlo con trazo recto.
	<p>El ramal de los ductos de instalaciones adopta forzosamente varios empalmes para evitar obstruir el punto de iluminación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El aire pierde presión y continuidad de flujo. ▪ Se emplean mayores recursos para realizar los empalmes.

Producto	Descripción	Problema
	<p>Las tuberías de agua contra incendio están colocadas por debajo de la línea límite definida para las instalaciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toda instalación debe permanecer oculta y recomendablemente a 10cm por encima del nivel del faso cielo raso (NFCR). ▪ No deben existir tuberías, ductos o bandejas expuestas que interfieran con la colocación del falso cielo raso.
	<p>Las tuberías de agua contra incendio están colocadas por debajo de la línea límite definida para las instalaciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toda instalación debe permanecer oculta y recomendablemente a 10cm por encima del nivel del faso cielo raso (NFCR). ▪ No deben existir tuberías, ductos o bandejas expuestas que interfieran con la colocación del falso cielo raso.

Producto	Descripción	Problema
	Tuberías de instalaciones sanitarias colocadas por encima de las bandejas eléctricas.	<ul style="list-style-type: none">▪ No hay distancia mínima requerida entre ambas instalaciones.▪ Por seguridad, las bandejas eléctricas deben colocarse por encima de las tuberías sanitarias.
	Tuberías de agua contra incendio colocadas por encima de las bandejas eléctricas.	<ul style="list-style-type: none">▪ No hay distancia mínima requerida entre ambas instalaciones.▪ Por seguridad, las bandejas eléctricas deben colocarse por encima de las tuberías de agua contra incendio.

Producto	Descripción	Problema
	<p>Salidas para aspersores de agua contra incendio bloqueadas por las tuberías de agua helada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se puede colocar los aspersores de seguridad contra incendio.
	<p>Tuberías de agua contra incendio y tuberías heladas, están por debajo del nivel indicado para instalaciones e interfieren con la futura colocación de los falsos cielos rasos (FCR).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toda instalación debe permanecer oculta y a 10cm por encima del nivel del falso cielo raso. ▪ No deben existir tuberías, ductos o bandejas expuestas que interfieran con la colocación del falso cielo raso.

c) En los costos

Como se vio en los párrafos anteriores, las deficiencias en los documentos contractuales de diseño e ingeniería generan, en algunos casos, Productos No Conformes (PNC) y como es lógico estos problemas de calidad exigen una acción correctiva para levantar la observación mediante la realización de trabajos adicionales no previstos durante la fase de planificación, los cuales serán realizados a través de órdenes de cambio. Para llevar a cabo estas órdenes de cambio se requiere el uso de algunos recursos, básicamente de materiales y de mano de obra, que naturalmente tienen un costo que va sumándose a medida que la construcción avanza, incrementando el costo de algunas partidas del presupuesto y esto a su vez del presupuesto contractual del proyecto. Dependiendo del origen del problema, de las responsabilidades y de lo estipulado contractualmente, estos costos los asume la contratista general, los subcontratistas o en algunos son valorizados al cliente.

De acuerdo a Jähren (1990), en su investigación sobre la predicción de los ratios de sobrecostos, identificó los factores que influenciaban esos ratios, siendo algunos de ellos: el tamaño del proyecto, el tipo de método de entrega del proyecto, el nivel de competencia de la constructora y “la calidad de los documentos contractuales”.

En otra investigación titulada “Project Cost Overruns and Risk Management”, Jackson (2008) realizó un estudio basado en cuestionarios y entrevistas a profesionales acerca de las razones de los sobrecostos de los proyectos en la industria de la construcción del Reino Unido, elaborando una tabla con un ranking de las 15 razones asociadas a los sobrecostos en los proyectos de construcción. Es de particular interés que las cuatro primeras causas están relacionadas a fallas y deficiencias en el diseño y sus documentos debidos a sus cambios, al incompleto o inadecuado desarrollo del diseño, a la escasa información, y a la falta de calidad y definición del diseño porque en ocasiones el cliente no está seguro de lo que quiere.

Otro de los costos adicionales que se generan durante la etapa de construcción por deficiencias de diseño son los costos por la presencia de incompatibilidades, ya que se producen retrabajos que requieren también el uso de recursos adicionales, cuyos costos van sumándose a las partidas del presupuesto. Estos

costos, para fines de valorización, se conoce comúnmente como “adicionales” y, a diferencia de los costos por órdenes de cambio, aquí muchas veces existe responsabilidad de los proyectistas encargados del diseño y la ingeniería.

En la industria de la construcción existen dos tipos de costos (para fines del presupuesto) estos son: Los costos directos (CD) y los costos indirectos (CI).

Los costos directos del proyecto son los costos directos de mano de obra y/o equipos de trabajo adicionales completos que se añaden al costo contractual (o costo inicial) debidos a cambios en el diseño o por las deficiencias en los documentos de diseño e ingeniería. Los costos conocidos como “adicionales” pertenecerían a esta categoría. En general, las empresas contratistas valorizan estos costos por medio de un registro de control de avance. Los costos indirectos del proyecto (costos extendido del proyecto) son generalmente resultado de retrasos en el proyecto (por ejemplo, relacionados con el tiempo o los costos incurridos por el contratista durante el proyecto, tales como movilización de equipos, gestión de proyectos, gestión de la oficina técnica, etc.).

El común denominador de los sobrecostos generados por las deficiencias de diseño son las disputas que tiene que haber para negociar el pago a favor de la contratista quien es la parte que finalmente construye u ordena ejecutar los cambios a través de subcontratas. Para ello, la contratista, el cliente, la gerencia del proyecto y supervisión se reúnen para deslindar responsabilidades, y decidir justificadamente quién deberá asumir estos costos. Esto también dependerá de las cláusulas del contrato y el tipo de modelo de desarrollo de entrega del proyecto adoptado, pues en algunos casos los costos por incompatibilidad están contemplados contractualmente y si no lo están, lo más recomendable es que estos sean incluidos y negociados.

d) En los plazos

Del mismo modo como ocurre con el impacto en los costos debidos a deficiencias en los documentos de diseño, podemos hablar de su impacto en los plazos.

Tanto las órdenes de cambio como los retrabajos, requieren no solo un uso adicional de recursos, sino también de un tiempo para ser ejecutados. En proyectos de construcción, las actividades son programadas en cadena o por

trenes, en la que los procesos o tareas son dependientes. Cuando una tarea específica no ha sido ejecutada en su plazo programado o requiere de días adicionales para darla por terminada, retrasará el inicio de actividades dependientes, o interferirá con el desarrollo de otras actividades que ocupen el mismo espacio en obra o requieran usar algunos de sus recursos. Entonces, los plazos van incrementándose paulatinamente, trayendo como consecuencia que el proyecto no sea entregado en el tiempo previsto.

La cantidad de retraso en un proyecto de construcción se puede cuantificar usando dos métodos (Hanvey, 2007): 1) Método de la Ruta Crítica (en adelante CPM), y el 2) Método As-built comprimido.

El método CPM requiere una programación del proyecto completo, con vínculos y relaciones, que son constantemente actualizados. Programas tales como Primavera o MS Project se pueden utilizar para determinar las actividades que componen la ruta crítica, o las actividades con cero flotante. Si una de las actividades se retrasa, estas impactan en la ruta crítica y causa retrasos en el proyecto. Por otro lado, las demoras excesivas en una actividad que originalmente no pertenece a la ruta crítica, puede causar que ésta actividad se convierta en parte de la ruta crítica y por lo tanto retrase el proyecto.

Si en el proyecto no existe el cronograma de ruta crítica, el siguiente método conocido como "Método as-built comprimido", puede ser utilizado. Este método de análisis utiliza el cronograma de obra con todos los retrasos asociados, en donde son identificadas las partes responsables de los distintos retrasos. Para identificar el retraso total del proyecto debido a una de las partes, los retrasos asociados a esa parte se deducen de la programación real de la obra (as-built). La deducción de los retrasos de una de las partes dentro del cronograma real de la obra se conoce como la compresión del cronograma. La diferencia entre el cronograma conforme a obra o cronograma as-built y el cronograma comprimido es la cantidad de retraso de una determinada parte responsable con relación al plazo total del proyecto.

Ambos métodos de evaluación y análisis de retrasos en proyectos de construcción son utilizados por la consultoría *Interface Consulting* (<http://www.interface-consulting.com>) para absolución de reclamos y disputas entre las distintas partes del proyecto, disputas que ocurren frecuentemente

entre la contratista general y el propietario o cliente (en el siguiente acápite se dará una mayor referencia).

e) En las disputas y reclamos

Hanvey (2007), experto en solución de reclamos para la construcción (ampliamente citado en párrafos anteriores), refiere que muchas de las disputas entre la contratista general y el cliente/propietario se centran en los aumentos de los costos, retrasos de proyecto, e impactos de productividad. Hanvey y la consultoría internacional donde labora (Interface Consulting), elaboraron un estudio basado en su amplia experiencia ocupándose de centenares de proyectos y miles de asuntos de reclamo. Como asesores y expertos, revisan y analizan los registros del proyecto (es decir, las licitaciones, presupuestos, contratos, actas de reuniones, cronogramas de obra, los reportes de progreso y valorizaciones). Estos documentos cuentan “la historia” del proyecto y le aportan información necesaria sobre la causa raíz de los conflictos (es decir, retrasos y sobrecostos, la responsabilidad de estos problemas, y los perjuicios). Según la consultoría, toda esta información es a menudo revisada para evaluar las órdenes de cambio, preparar los reclamos, y proporcionar apoyo de arbitraje y litigio en su calidad de expertos.

En el estudio, la consultoría concluye que uno de los asuntos más comunes que impactan en los proyectos son los documentos de diseños incompletos y deficientes. Además refieren que estas deficiencias en los documentos contractuales de diseño e ingeniería son inherentes en la industria de la construcción de hoy en día por un par de razones: la ejecución de proyectos tipo “fast track” o proyectos con cronograma acelerado y la separación de los equipos de diseño y construcción.

En otro estudio de autoría de la Universidad de California (Berkley, EUA) ilustra las diferencias en lenguaje usados por la contratista y examina estrechamente las causas que están tras las peticiones de compensación exigidas por las contratistas. De especial interés es que el 55% de los problemas que fueron encontrados en los documentos contractuales son debidos a deficiencias de diseño. Para llegar a esa cifra, el autor del estudio ha escudriñado más de 600 proyectos para determinar las causas de cambios y de reclamos en esos proyectos.

Finalmente un artículo en el periódico de arquitectura publicado por Nigro (1987) titulado "*Contract Documents: A Quality Control Guide*" citó que el 50 por ciento de las órdenes de cambio, disputas y reclamos del contrato son el resultado de deficiencias en los documentos de diseño.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS EN LOS DOCUMENTOS DE DISEÑO EN PROYECTOS DE EDIFICACIONES

4.1 METODOLOGÍA PARA PROYECTOS DISEÑO/LICITACIÓN/CONSTRUCCIÓN

Como se vio anteriormente, una de las principales causas de deficiencias en los documentos contractuales es la separación de los equipos de diseño y construcción. Fundamentalmente, las deficiencias de diseño se dan por la inadecuada aplicación del Sistema de Entrega de Proyectos (PDS) Diseño/Licitación/Construcción (D/B/B), por falta de liderazgo para la coordinación interdisciplinaria en la etapa de diseño y por la no inclusión de profesionales relacionados a la construcción en esa misma etapa. Por esa razón, la metodología se enfocará principalmente a mejorar la calidad de los documentos contractuales o de diseño para proyectos ejecutados en base al sistema D/B/B, teniendo como objetivo central el de identificar y corregir sus incompatibilidades, interferencias, e introducir revisiones de constructabilidad buscando que el diseño sea construible con la mejor calidad y seguridad posible para reducir su impacto en la etapa de construcción en temas de costos, plazos y productividad.

Por ello, el enfoque que se propone en la metodología será planteado desde el punto de vista de la contratista general (empresa a la que se adjudica la construcción del proyecto), ya que requiere que éstas utilicen sus propios recursos (inversión en tecnología, licencias y capacitaciones) y además esté dispuesta a adaptar sus procesos tradicionales de construcción y su forma de trabajo en otra basado en el uso de tecnologías BIM. Esto implica que si contractualmente la contratista sólo recibe planos bidimensionales 2D y no modelos tridimensionales 3D (como sería ideal) se propone, en primera instancia, sea la contratista quien asuma el liderazgo por modelar en BIM, por las siguientes razones:

- La contratista no tiene participación en la etapa de diseño, por ello tiene que compatibilizar los documentos que se generan en esa etapa, pues estadísticamente se sabe que las deficiencias en los documentos de diseño están arraigados en los proyectos de construcción del país (para

mayor detalle vea el apartado 3.4 *Estudio: clasificación de las deficiencias en los documentos contractuales*).

- Tradicionalmente la contratista realiza la compatibilización, lo que se propone con esta metodología es que lo siga haciendo, pero con técnicas y herramientas más eficaces basadas en la construcción virtual 3D.
- Si la compatibilización no se realiza adecuadamente, la imagen corporativa de la contratista es la más perjudicada, pues las deficiencias de diseño generan ampliaciones de plazo, costos adicionales y problemas de calidad durante la etapa de construcción, y muchas veces los clientes o propietarios no son conscientes de las verdaderas causas ni de las fuentes responsables, generándose disputas que disminuyen su confianza hacia la contratista (Para mayor detalle vea el apartado 3.6 *Influencia e impacto de las deficiencias de diseño en la etapa de construcción*).
- Probablemente los proyectistas no sean conscientes del impacto que genera en obra el hecho de no generar documentos de diseño de calidad, esto es lógico si se piensa en el contexto en que la contratista y los proyectistas tienen distintos objetivos. De ahí que el liderazgo por modelar en BIM, deba ser de iniciativa de la contratista, ya que las deficiencias en el diseño van en contra de sus objetivos (construir eficientemente con calidad y seguridad en el menor plazo posible) mas no necesariamente de los proyectistas ni diseñadores.
- Modelar en BIM-3D, como se planteará en la metodología, es construir virtualmente la edificación, y qué mejor que la contratista lo lleve a cabo siguiendo el planeamiento para su construcción, contando con la participación de su "staff" de profesionales.
- En la metodología no solo se propone minimizar las deficiencias de diseño, sino además una nueva forma de trabajar y de construir, siendo estos últimos aplicables a largo plazo.

El desarrollo de la metodología se centra en la premisa de construir dos veces. Siendo la primera la denominada "construcción virtual", en donde identificaremos y minimizaremos las deficiencias en los documentos de diseño e ingeniería y la

optimizaremos mediante revisiones de constructabilidad, introduciendo todos los cambios que sean necesarios. La segunda, la construcción real y definitiva, en donde ya minimizamos las deficiencias de diseño, enfocándonos en temas de planificación, producción, control y seguridad, utilizando en todos los casos modelos BIM, y por supuesto, de esta manera estaremos cumpliendo con la aplicación de los principios del enfoque “Lean” que el Lean Construction Institute propone.

4.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

4.2.1 Construcción virtual BIM-3D de la edificación

Un modelo BIM-3D es un repositorio de objetos o componentes 3D que dan forma y características propias a la edificación. Un muro, una puerta o una columna son algunos ejemplos de componentes que al ser ensamblados van formando parte del modelo BIM y de su base de datos, los cuales proporcionan información de su comportamiento a través de parámetros.

La teoría original del BIM recomienda un solo repositorio (modelo) con todas las partes extraíbles de información. Sin embargo, cada disciplina deberá tener su propio modelo BIM para cumplir con sus obligaciones contractuales.

La etapa de construcción virtual de la edificación, que en adelante llamaremos modelado en 3D, requiere básicamente la creación de modelos BIM-3D por especialidades, de las que resulten más complejas para la ejecución del proyecto. Para esto se requiere necesariamente modelar en 3D las especialidades de arquitectura y estructuras, y recomendablemente todas las disciplinas de instalaciones que se contemplen en el expediente técnico. Esto en vista que los mayores beneficios de la construcción virtual se dan modelando en 3D todos los sistemas de instalaciones, pues de otro modo los problemas de interferencias que se presentan frecuentemente en campo seguirían latentes, al ser difícilmente detectados usando procesos y herramientas tradicionales de compatibilización.

El modelado en BIM-3D es el proceso de representación tridimensional y paramétrica de los componentes de la edificación, y debe ser entendido propiamente como una “construcción virtual”. Uno de los mayores beneficios de construir virtualmente en BIM es que facilita el entendimiento de la secuencia

constructiva mientras a su vez se van corrigiendo las deficiencias en los documentos de diseño las cuales pueden ser identificadas por una cuestión de lógica constructiva. Estos problemas se dan por las incompatibilidades e interferencias entre los planos del proyecto y por la falta de constructabilidad del diseño, pero que pueden ser identificados durante el proceso de modelado ensayando en el modelo 3D las soluciones posibles e introduciendo (a los mismos modelos) los cambios que sean necesarios. Es decir, el modelado en 3D es el proceso de preconstrucción en donde se identifican los problemas de diseño y se resuelven por medio de alternativas ensayo-error que deben ser validadas técnicamente por los proyectistas y aprobadas finalmente por el cliente, supervisión o ambos, según sea el caso.

Para construir virtualmente en BIM-3D se tiene que seguir la secuencia de construcción de la edificación tal como se muestra en la Figura 4.1. Es decir, el proceso de modelado involucra varias fases análogas al proceso constructivo real, empezando en orden por: (1) excavación, (2) estructura, (3) arquitectura básica, (4) arquitectura detallada, (4) instalaciones, y (5) equipamiento y mobiliario.

Esto implica que (recomendablemente) no se debe modelar en BIM obviando la secuencia de las fases propuestas, ya que esto traería complicaciones y retrabajos que nos alejarían del objetivo central. Por mencionar, no se debe modelar las instalaciones de la "fase 4" sin tener previamente modelada la arquitectura básica de la "fase 3", ya que los modelos generados hasta esta fase (incluyendo el modelo de las fases 1 y 2) sirven de referencia para modelar las instalaciones, estableciendo correctamente sus recorridos en planta y elevación "desde un comienzo".

Cuando se finaliza la tercera fase de modelado, los modelos generados sirven de referencia para comenzar a modelar dos modelos simultáneamente por separado. Mientras por un lado se puede avanzar con el modelado de las instalaciones, a su vez se puede ir modelando la arquitectura detallada. Esto es primordial si nos ponemos a pensar que la contratista tiene un cortísimo plazo para modelar una vez le ha sido adjudicada la construcción del proyecto. Como el modelado de la arquitectura detallada (fase 4) no es primordial para propósitos de coordinación y compatibilización interdisciplinaria, esta fase puede ser obviada.

Finalmente, todos los modelos generados al finalizar la cuarta fase se fusionan y sirven de referencia para elaborar el modelo del diseño de interiores en la que se incluirán los mobiliarios y equipamientos.

De todas las fases, la que requiere mayor atención es el modelado de las instalaciones (fase 4) por la cantidad de especialidades y/o sistemas que estos puedan incluir. Por ello, el proceso de modelado de las instalaciones será especialmente desarrollado en el siguiente acápite *4.2.2 Modelado BIM-3D de las instalaciones*.

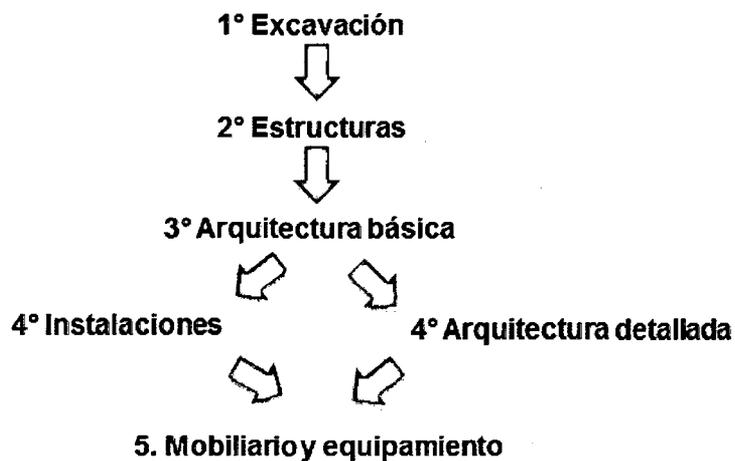


Figura 4.1: Fases del modelado en BIM para proyectos de edificación

Los componentes del edificio virtual 3D, que corresponden a cada una de las fases indicadas en la Figura 4.1, se detallan en la Tabla 4.1, la cual tiene en cuenta que los componentes (virtuales) de la edificación deben ser modelados de la misma forma como se harían para su construcción (real), aunque en algunos casos no en la misma secuencia. Por ejemplo, se recomienda modelar los Falsos Cielos Rasos (FCR), como parte de la Arquitectura Básica, antes de dar comienzo al modelado de las instalaciones; aunque en la práctica no sea así, es por lógica necesario para establecer adecuadamente la ubicación de los accesorios y salidas de las instalaciones y la correcta cota en elevación de sus recorridos.

Tabla 4.1: Componentes de cada una de las fases del modelado en BIM

Estructuras	Elementos de concreto armado y acero
Arquitectura Básica	Tabiquerías, Drywall, Falso Cielos Rasos, Mamparas
Arquitectura Detallada	Coberturas de fachada y techo, Puertas, Ventanas, Acabados en pisos, pared y techos, Barandas.
Instalaciones	Ductos, tuberías, bandejas eléctricas, etc. (IIEE, IISS, IIMM, ACI, HVAC, etc.)
Mobiliario y Equipamiento	Mobiliario según el diseño de interiores y demás equipamiento requerido por los proyectistas y el cliente.

Debe quedar claro que debido a los alcances limitados de la contratista sobre el diseño, lo que se trata de hacer es modelar o construir virtualmente la edificación basándonos en los planos de diseño e ingeniería ya existentes, esto implica que en ningún momento se deban realizar modificaciones a estos sin que sean previamente aprobados o contemplados por los proyectistas.

En consecuencia, para proyectos administrados y ejecutados en base al sistema tradicional Diseño/Licitación/Construcción, en donde la contratista recibe un conjunto de planos como documentos oficiales para la construcción, los distintos modelos BIM-3D del proyecto deben emerger de esos mismos planos. Por ejemplo, en la Figura 4.2 se muestra el modelo BIM-3D de arquitectura que ha sido modelado usando los planos de esa especialidad.

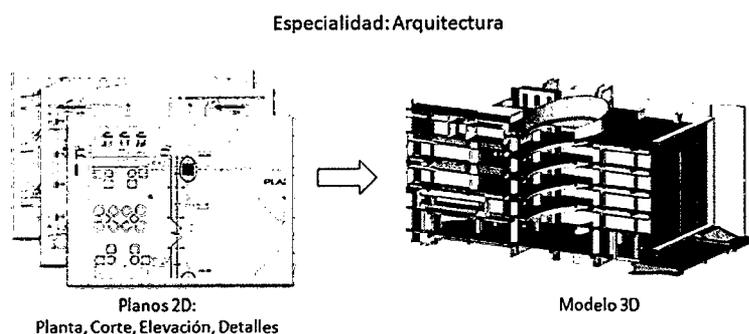


Figura 4.2: El proceso de modelado en BIM-3D se basa en los juegos de planos por especialidades

Existen numerosas herramientas para modelar virtualmente la edificación. Aunque se recomienda usar programas de la generación BIM, también se puede usar cualquier otro software de dibujo CAD-3D, pero advirtiendo que muchos de

estos programas no son paramétricos y no representan una base de datos de información en sí. Entre los programas BIM disponibles en el mercado están: Autodesk Revit, ArchiCAD, Bentley BIM, entre otros.

4.2.2 Modelado BIM-3D de las instalaciones

La cuarta fase de modelado en BIM, según el diagrama mostrado en la Figura 4.1, corresponde a las instalaciones. En esta fase se modelan todos los sistemas de instalaciones los cuales, dependiendo del proyecto, pueden incluir: Instalaciones Eléctricas, Instalaciones Sanitarias, Instalaciones Mecánicas, Agua Contra Incendio, Cableado Estructurado, Extracción y Ventilación de Aire, entre otros. Estos se denominan sistemas primarios y se muestran en la Tabla 4.2 y por lo general, sobre todo para proyectos complejos o de gran envergadura, cada uno de ellos representa un modelo BIM-3D distinto pero vinculado a los modelos ya generados en las fases 1 y 2. Es decir, para el caso de las instalaciones se separan los modelos BIM-3D por sistemas y/o especialidades en “archivos diferentes”, por las siguientes razones:

1. Para evitar que la generación de un único modelo BIM-3D pese demasiado.
2. En proyectos grandes o complejos se requerirá de la participación de muchos modeladores BIM, cada uno de ellos trabajando sobre la parte del proyecto, disciplina o sistema que le corresponde.
3. Para la designación de responsabilidades y conceder permisos a los modeladores sobre qué objetos pueden modelar. Por ejemplo, el arquitecto (o modelador de la parte arquitectónica) no podrá ingresar en su modelo de la “fase 3” ductos mecánicos, bandejas eléctricas o cualquier otro componente de instalaciones, ya que no debe tener permisos de manipulación sobre estos objetos. Del mismo modo, el modelador de las instalaciones eléctricas no debe tener permiso sobre los objetos tipo “ductos”.

Tabla 4.2: Modelos BIM-3D de los distintos sistemas de instalaciones

IIEE	Instalaciones Eléctricas (Electric)
IIMM	Instalaciones Mecánicas (HVAC, Heating, Ventilation and Air Conditioner)
IISS	Instalaciones Sanitarias (Plumbing)
ACI	Agua Contra Incendio (FP, Fire Protection)
CE	Cableado Estructurado
Otros	Sistemas de Gas, Aire Comprimido, Oxígeno

La literatura norteamericana utiliza la expresión “MEP/FP Coordination” (Mechanical, Electrical, Plumbing and Fire Protection Coordination), para referirse al proceso de modelado BIM de las instalaciones con el fin de identificar y resolver los problemas de incompatibilidades e interferencias que puedan presentarse entre estos sistemas. Vista la importancia del proceso de coordinación entre las distintas disciplinas de instalaciones, este proceso de modelado BIM-3D debe tener en cuenta el objetivo central de generar modelos 3D que no tengan conflictos entre sí.

Nivel de detalle de los modelos BIM-3D

Una de las cosas más importantes que el equipo de profesionales del proyecto se debe plantear antes de modelar en BIM-3D, tiene que ver con definir el nivel de detalle de los modelos BIM-3D de las distintas disciplinas y sistemas del proyecto.

Para establecer una clara conjugación entre el nivel de detalle de los modelos BIM y los usos que le daremos, es necesario trazar objetivos iniciales sobre qué información queremos de los modelos, incidiendo en la importancia de introducir a los modelos BIM-3D la suficiente información que permita realizar una efectiva labor de coordinación interdisciplinaria. Por ejemplo, incluir los acabados en las paredes y pisos en el modelo de arquitectura puede ser necesario para cuantificar la cantidad de materiales, pero no es necesario para detección de conflictos y coordinación con otros sistemas como HVAC. De ahí que la

arquitectura detallada no sea indispensable para propósitos de coordinación entre especialidades. Por tal motivo se ha aislado de la secuencia de modelado mostrada en la Figura 4.1.

En resumen, es de interés general que el equipo del proyecto decida colectivamente el nivel de detalle en cuestión que se les debe ingresar a los modelos BIM-3D.

Secuencia de modelado para “MEP/FP Coordination”

El orden de modelado en BIM-3D de las instalaciones puede ser análogo a las restricciones que se puedan presentar en campo (obra) para su correcto montaje o instalación, ya que la generación de estos modelos más adelante podría ayudar a definir el orden de ingreso de las distintas cuadrillas a fin de que éstas realicen su trabajo con mayor eficiencia y seguridad.

A partir de la experiencia con la modelación en BIM del proyecto en estudio y con la información analizada de un informe acerca de los beneficios y lecciones aprendidas en la implementación del BIM en un proyecto de salud en EUA para propósitos de coordinación MEP/FP⁵, se sugiere seguir el siguiente orden de modelado de las instalaciones:

1. Vincular o referenciar cada uno de los modelos de los sistemas de instalaciones a ambos modelos de arquitectura y estructuras generados en las fases 2 y 3.
2. Identificar y modelar las restricciones fuertes en muros y cielo rasos (Ubicación de paneles de acceso, luminarias [lighting fixtures], sumideros [sinks], aparatos sanitarios [plumbing fixtures], aspersores [sprinklers], difusores [diffuser] y rejillas de retorno [air return, exhaust]).
3. Modelar los ductos principales del sistema (IIMM o HVAC).
4. Modelar las bandejas eléctricas (IIEE) y de comunicaciones (CE).
5. Modelar las principales líneas de desagüe con pendiente y las líneas de ventilación (IISS).
6. Modelar los ramales principales de las tuberías de Agua Contra Incendio (ACI).

⁵ Khanzode, et al. (2008)

7. Modelar los montantes y ramales principales de las tuberías de agua fría y caliente (IISS).
8. Modelar las luminarias (lighting fixtures), y los conductos de IIEE.
9. Modelar los empalmes usando ductos pequeños y flexibles del sistema HVAC a sus salidas modeladas anteriormente.
10. Modelar los ramales secundarios (subramales), uniendo los ramales principales de las tuberías (de agua fría y caliente [IISS], Agua Contra Incendio [ACI], Agua Helada y de Retorno [HVAC]) a cada una de sus equipos y dispositivos de salida o de entrada.

Nota: Las abreviaturas IIMM, IIEE, CE, IISS, ACI corresponden a cada uno de los sistemas listados en la Tabla 4.2.

Como toda sugerencia, este orden de modelado BIM propuesto tiene su fundamento. Una de las principales razones es por las prioridades de algunos objetos sobre otros. Es decir, para el caso práctico de construcción (enfocándonos a la futura construcción real), por ejemplo entre los ductos de HVAC y las tuberías de ACI, los ductos tiene la prioridad sobre las tuberías, ya que en caso de alguna interferencia entre ambos sistemas, las tuberías bordearían al ducto por ser elementos "más flexibles" con respecto a los ductos, al requerir menos espacio para desviar cualquier obstáculo. Del mismo modo, las bandejas eléctricas son más flexibles que los ductos, pero las tuberías (de un diámetro pequeño) son más flexibles que las bandejas eléctricas.

Recomendaciones antes de modelar en BIM-3D

- Insertar el punto de referencia (0,0,0) de todos los modelos de instalaciones y de estructuras, basado en el punto de inserción (0,0,0) establecido en el modelo de arquitectura básica (este concepto de coordenadas compartidas depende del software utilizado y debe configurarse antes de empezar a modelar).
- Establecer los permisos para posesión de objetos a cada uno de los modeladores BIM.
- Establecer el nivel del detalle de los modelos BIM para cada una de las fases.
- Los modelos 3D deben ser alojados en un servidor, y los modeladores BIM deben tener acceso a ellos.

- Con frecuencia hacer copias de respaldo o de seguridad al servidor (backup).
- Si el proyecto es muy extenso en área, es recomendable la sectorización del proyecto. Esta sectorización debe ser en planta usando ejes de referencia y no en elevación usando niveles.
- Establecer estándares de modelado en BIM o adecuarse a algunos ya existentes. Estos estándares son necesarios para regular la posesión de objetos, la presentación de los modelos (versiones, convención de nombres, revisiones), presentación de la información intercambiable (aplicando plantillas con convención de estilos y colores), presentación de reporte de conflictos y los procesos de modelamiento en BIM.

Por recomendación de Khanzode (según su informe de lecciones aprendidas citado anteriormente), a veces es necesario incluir detalles adicionales a los modelos de estructuras o de arquitectura básica (fases 2 y 3), pues estos pueden generar algunas interferencias críticas con algunos sistemas de instalaciones. Estos detalles podrían ser, por ejemplo, detalles estructurales de sujeción para mamparas, muros cortina u otros paneles, entre otros elementos estructurales de soporte. En fin, incluir en los modelos de las fases 2 y 3 detalles necesarios que podrían causar interferencias con las instalaciones.

4.2.3 Necesidades para una coordinación MEP/FP

Durante el desarrollo del diseño e ingeniería de las instalaciones, los proyectistas entregan revisiones de sus planos a la Gerencia de Ingeniería que se encargará de establecer reuniones de coordinación que permitan la compatibilización de los planos de todas las disciplinas. A este proceso se le denomina "Coordinación MEP/FP" (Mechanical, Electrical, Plumbing and Fire Protection Coordination). Mediante el proceso de coordinación se busca garantizar que se cumplan los requerimientos de calidad y funcionalidad holística del proyecto. Dependiendo de los procedimientos y herramientas que use la gerencia para coordinar la ingeniería, se puede establecer el nivel de satisfacción en la coordinación del proyecto.

En proyectos de edificaciones desarrollados bajo el método de entrega de proyectos Diseño/Licitación/Construcción el arquitecto tiene el control del desarrollo del diseño de la edificación, asumiendo la responsabilidad de

gerenciar el desarrollo del diseño e ingeniería del resto de disciplinas del proyecto. Sin embargo, por lo general los arquitectos se enfocan en la forma, espacio, acabados y otros rasgos que determinan la apariencia y uso de la edificación, dejando de lado criterios muy importantes a tener en cuenta para coordinar el diseño de las instalaciones, como los aspectos funcionales para conocer los complejos criterios de diseño, aspectos constructivos (secuencias, métodos, accesos, constructabilidad) y demás aspectos necesarios para la operación y mantenimiento de la edificación en su ciclo de vida.

Investigaciones previas enfocadas en documentar y entender el proceso de coordinación MEP en la industria de la construcción (Tatum y Korman, 2000) describen el estado del proceso de coordinación MEP/FP, específicamente enfocado a entender cómo los equipos de proyectistas coordinan los distintos sistemas de instalaciones. Ambos llamaron a este proceso SCOP (Sequential Composite Overlay Process). En este proceso, los proyectistas de ingeniería desarrollan los planos de detalle según los alcances del trabajo definido por el cliente y superponen los planos en una escala de 1/100 y luego, usando un tablero iluminado, prueban identificar conflictos potenciales que ocurran en los recorridos de los sistemas MEP/FP. Los conflictos son luego resaltados sobre el plano de la transparencia y luego reubicados antes del proceso de instalación y fabricación (Ver Figura 4.3).

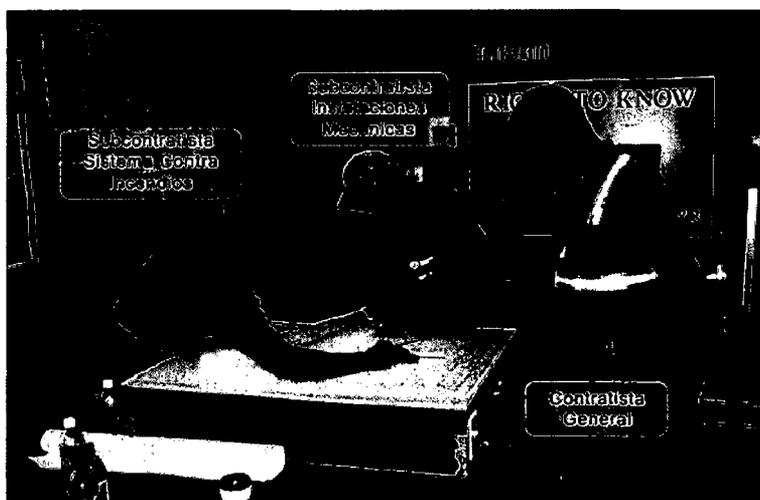


Figura 4.3: Coordinación de los planos de diseño utilizando un tablero iluminado

Basado en la reciente experiencia de ingenieros en la industria de la construcción local, se puede decir que este proceso, con sus variantes, es aún

seguido en muchos de los proyectos. Este proceso conduce a muchos retos algunos de los cuales incluyen los siguientes:

- Falta de capacidad para identificar los conflictos debidos a la representación 2D de los diseños.
- Retrasos en los procesos de construcción debidos a los conflictos identificados en campo.
- Falta de confianza en la fabricación fuera-de-sitio (prefabricación) debido al miedo a que los sistemas no se ajusten entre sí dejando un gran trabajo para la fabricación e instalación in-situ.
- Incremento de la supervisión de campo requerido para evitar conflictos entre subcontratistas de instalaciones.
- Incremento de carga administrativa para documentar más Solicitudes de Información (SI) y Órdenes de Cambio (OC) por la identificación de conflictos en el campo, después de que el presupuesto ha sido aprobado.
- “Instale primero” es la mentalidad de muchos subcontratistas de instalaciones para evitar desviar obstáculos del resto de sistemas y que sus recorridos sean replanteados.
- Productividad reducida en conjunto para todos los involucrados en el proceso.

4.2.4 Procedimientos para detectar deficiencias de diseño

Procedimiento de detección de incompatibilidades

La primera forma de detectar o identificar incompatibilidades se da durante el proceso de modelado de cada una de las fases. Para ello se deben usar al mismo tiempo los planos de planta, elevación, corte y detalle que se disponen, aunque usualmente algunos proyectistas, como los de instalaciones, sólo proporcionan planos en planta. Si bien la forma cómo se ha de modelar puede variar, lo ideal es modelar usando básicamente un plano en planta, y luego superponer el resto de los planos a las vistas del modelo como si fueran capas, verificando que estos sean compatibles y que tengan los detalles necesarios como lo indican las especificaciones técnicas.

La segunda manera de detectar incompatibilidades es usando criterios constructivos si comprendemos que el proceso de modelado es propiamente una

construcción virtual, en la que los elementos que forman parte de la edificación son modelados del mismo modo como en la práctica real se vayan a construir.

La revisión analítica de los modelos BIM usando la lógica constructiva al final de cada una de las fases de modelado, puede permitir determinar visualmente cuándo hay algo que no tiene coherencia. Por ejemplo en la Figura 4.4 se encontró una incompatibilidad entre los planos de estructuras y de arquitectura. El problema se da por la ubicación del muro indicado en una posición donde no existía alguna estructura que lo sostenga.

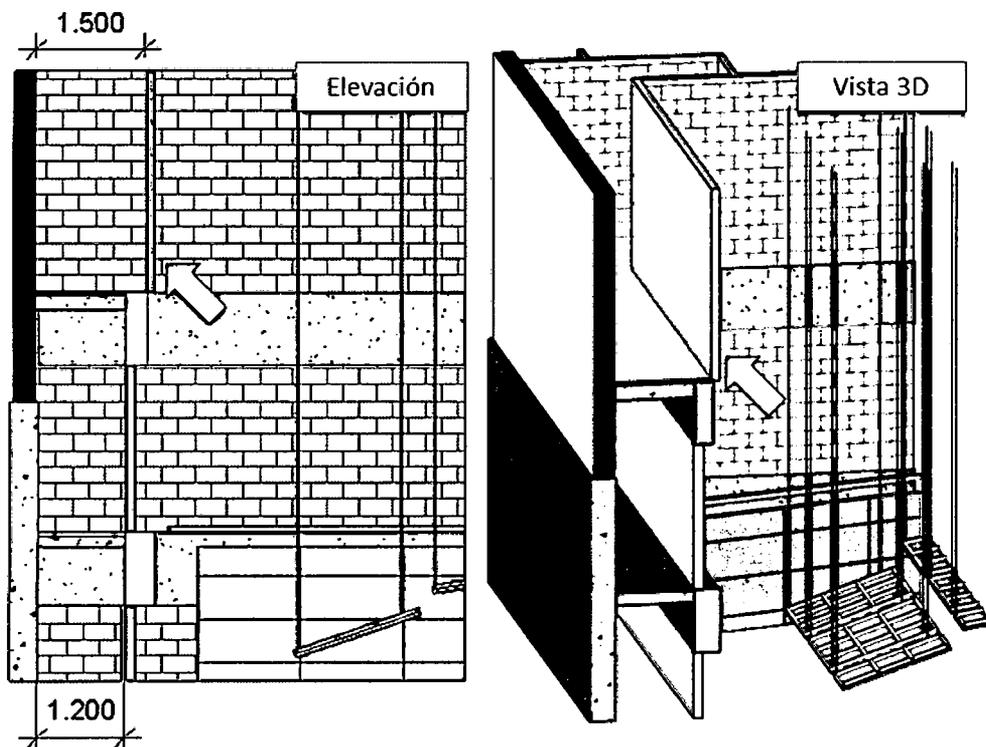


Figura 4.4: El modelo virtual BIM-3D sirve para verificar que los componentes tengan lógica constructiva

Del mismo modo, revisando los modelos BIM usando la lógica operativa del funcionamiento de los distintos sistemas de instalaciones durante y al final de cada una de las etapas de modelado, permite encontrar ciertos aspectos que no guardan coherencia que serían imposibles identificarlos con la ayuda de algún software. Por ejemplo, en la Figura 4.4 se encontró una incompatibilidad debido a cambios en el proyecto de instalaciones mecánicas que los proyectistas de instalaciones eléctricas y del sistema de automatización no se percataron.

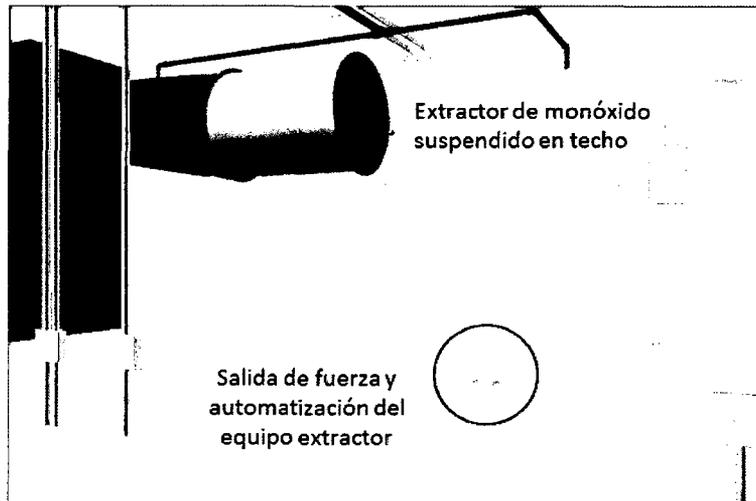
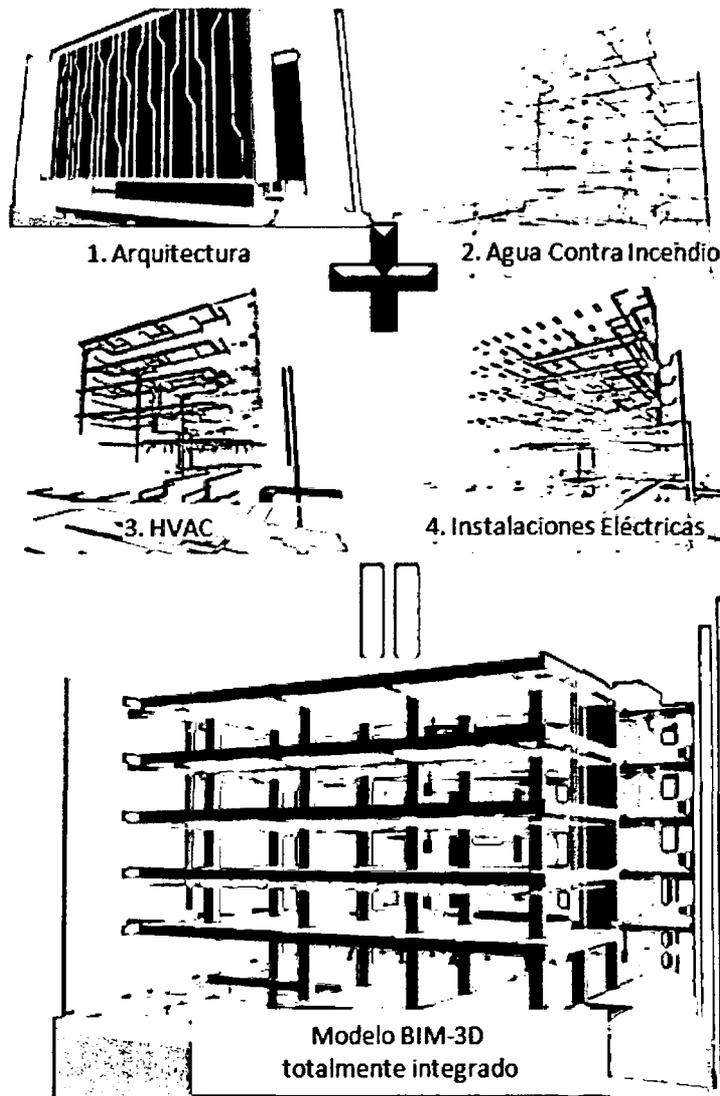


Figura 4.5: Incompatibilidad identificada mediante una revisión analítica del proyecto

Procedimiento de detección de interferencias

Las interferencias son problemas que por lo general ocurren entre los planos de las distintas especialidades, y con frecuencia se da entre los planos de instalaciones por la complejidad de sus trayectorias o recorridos en planta y elevación. Para una explicación más detallada remítase al acápite 3.2 *Deficiencias en los documentos contractuales*.

Al final de cada una de las fases de modelado, todos los modelos BIM elaborados deben ser integrados y centralizados para visualizar el proyecto como un todo. Esto permitirá realizar procedimientos de revisión para detectar interferencias y conflictos entre los elementos sólidos 3D contenidos en los modelos de todas las disciplinas. Como ejemplo, se muestra que en la Figura 4.6 se han fusionado los modelos de arquitectura-estructura con los modelos de tres sistemas de instalaciones. El resultado es la visualización del proyecto como un todo.



*Figura 4.6: Integración de los modelos BIM-3D por especialidades
(Proyecto: Edificio Educativo Universidad del Pacífico)*

Cuando se integran los distintos modelos BIM-3D con softwares de gestión BIM, como Autodesk Naviswork Manage, estos incluyen una opción de Detección de Interferencias (Clash Detection) que genera de forma automática un reporte de interferencias y conflictos entre los distintos objetos 3D que conforman los modelos.

Estos reportes deben ser revisados y analizados minuciosamente, ya que no todas las interferencias detectadas automáticamente por estos programas pueden ser relevantes para los procesos de coordinación, haciendo distinción de las interferencias leves (p.e. entre una tubería y un muro) de las interferencias críticas (p.e. entre un ducto y una bandeja eléctrica).

IIMM vs IISS		Tolerancia	Interferencias		Nuevas	Aclias	Revisadas	Aprobadas	Resueltas	
		0.01m	139		70	1	64	4	0	
Interferencias Aprobadas		Primer Elemento		Segundo Elemento		Comentarios				
Imagen	Nombre de Interferencia	Fecha Encontrada	ID	Nivel	ID	Nivel				
	Interferencia 5.1	2012/11/7 16:57.24	Element ID: 599669	Nivel: -15.55 (Cisterna)	Element ID: f	<No level>	#142 - palcantara - 2012/11/7 19:16.25 Interferencia entre tubería de agua fría con un equipo de instalaciones mecánica. No se tiene definido la losa de fondo y la altura de la tubería al techo es de 0.48. (la tubería esta dentro del ducto) Se repite el cruce en varios puntos en este nivel. #202 - mlagros.quejalis - 2012/11/14 20:59.35 La altura de la tubería de agua es 1.2m sobre el NPT.			
	Interferencia 5.2	2012/11/7 16:57.24	Element ID: 776868	Nivel: -10.20 (Sótano 3)	Element ID: 716378	<No level>	#179 - mlagros.quejalis - 2012/11/14 21:21.48 Interferencia entre tubería de desagüe y ducto de ventilación forzada. Ubicación: Sótano 3 y 2 entre ejes E-F y G-7. Plenos en referencia: VF-1AF-03-TIPICA SOTIANO 2 Y 3; SE-04-PLANTA SOTIANO 2; SE-03-PLANTA SOTIANO 3. #203 - mlagros.quejalis - 2012/11/14 21:14.16 El equipo id. 777368 se moverá hacia el eje 7 hasta antes del quiebre. Desde allí saldrán directamente los ductos flexibles hacia las rejillas respectivas. También deberán moverse las cajas de alimentación a los equipos.			
	Interferencia 5.3	2012/11/7 16:57.24	Element ID: 605114	<No level>	Element ID: 716378	<No level>	#147 - palcantara - 2012/11/7 20:01.06 Interferencia de la tubería de desagüe con el ducto de extracción forzada. Ubicación: sótano 3, entre los ejes E-F Y7-6. Sugerencia: Mover el ramal de la tubería de desagüe hacia la derecha. #204 - mlagros.quejalis - 2012/11/14 21:17.50 Bajar la tubería hasta que la zona más baja del ramal se encuentre a 2.10m.			
	Interferencia 5.4	2012/11/7 16:57.24	Element ID: 605874	<No level>	Element ID: 716293	<No level>	#150 - palcantara - 2012/11/7 20:15.52 Interferencia entre la tubería de desagüe y el ducto de extracción forzada. Ubicación: sótano 3, entre los ejes E-F Y7-6 #205 - mlagros.quejalis - 2012/11/14 21:20.04 La Interferencia se verá resuelta con los cambios realizados en el punto 5.2.			

Figura 4.7: Modelo de reporte de interferencias que se analiza, discute y resuelve en una reunión de coordinación

Una vez que las interferencias críticas han sido identificadas. Éstas deben ser reportadas a los proyectistas involucrados para buscar una solución que cuente con su consentimiento y aprobación. El proceso de solución de interferencias se puede realizar de dos formas: La primera se da mediante un proceso de emisión de Solicitudes de Información (RFI process), registrando la observación y emitiendo a la gerencia, la supervisión o el cliente un reporte del problema encontrado. El segundo es mediante una reunión de coordinación en la que deben participar los proyectistas involucrados.

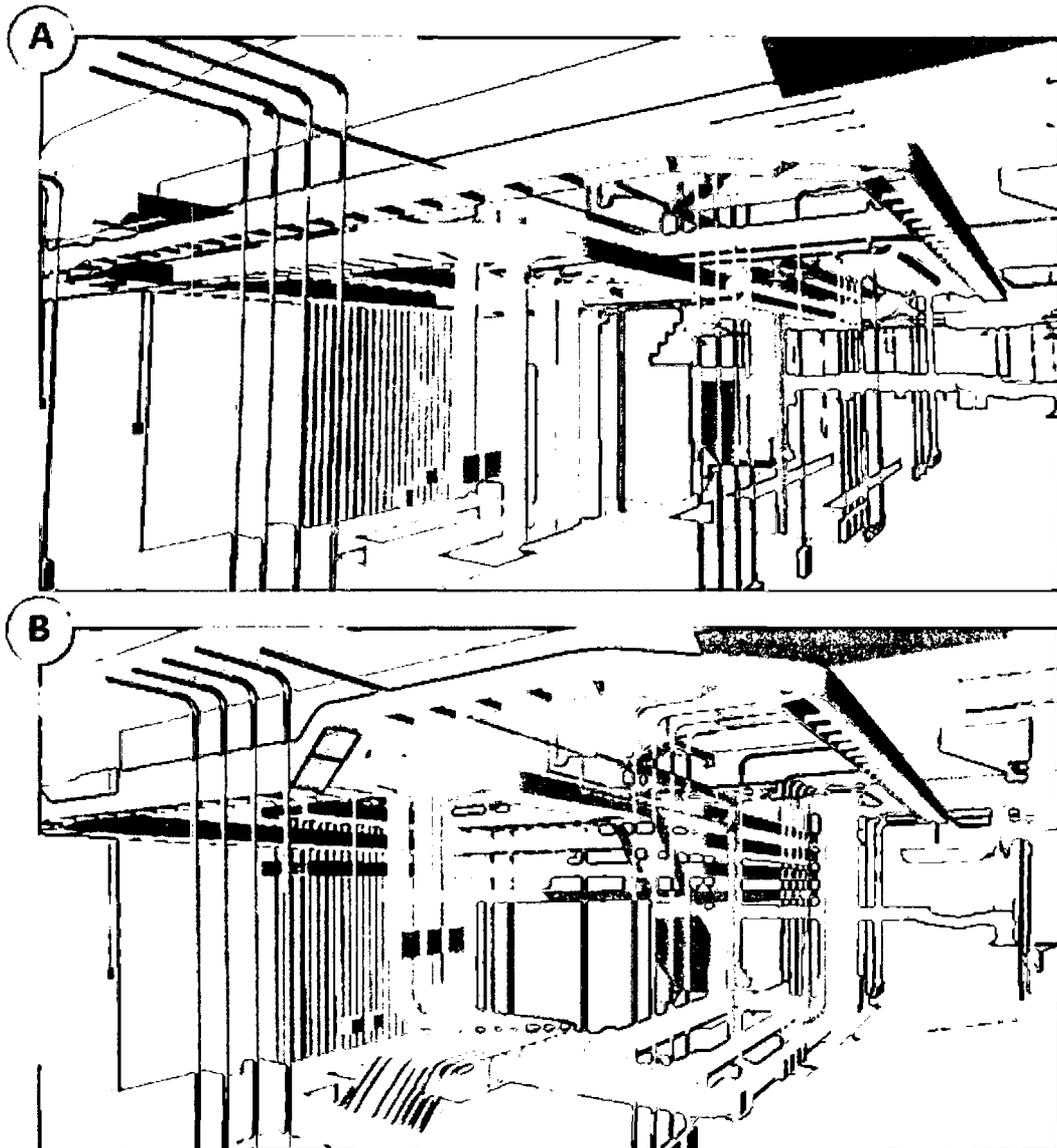


Figura 4.8: A. Modelo con interferencias según los planos contractuales. B. Modelo compatibilizado después de una reunión de coordinación

Ambas formas de solucionar los problemas de incompatibilidades e interferencias tienen sus ventajas y desventajas. Aunque ambas sirven comúnmente para dar solución a los problemas acarreados debido a deficiencias en los documentos de diseño e ingeniería, la aplicación de uno u otro proceso de solución responde a una actitud proactiva de los ingenieros y arquitectos por parte de la constructora y de la conciencia generada al cliente y la gerencia del proyecto por buscar resolver estos inconvenientes en el menor tiempo posible.

Desventajas de los procesos de emisión de SI (RFI).

- Por el tiempo que se requiere en la elaboración de los reportes, que forman parte de las Solicitudes de Información (RFI) genera poco valor, ya que muchas veces significa definir específicamente la consulta adjuntando archivos con anotaciones adicionales como: detalles en los planos, fotografías, bocetos o vistas 3D del modelo.
- Se debe hacer un seguimiento periódico a las consultas pendientes de respuesta y aquellas cuyas respuestas no satisfacen la observación original.
- Por lo general, los procesos de emisión de SI se realizan vía correo electrónico desde la oficina y no exige la presencia del proyectista en la obra, aun cuando sea necesaria.
- El tiempo de respuesta de una SI es muy variable. En ocasiones podrían pasar días o semanas sin que se tenga una respuesta, ateniéndose a la disponibilidad de los proyectistas.

Desventajas de una reunión de coordinación

- Requiere que el cliente o la gerencia del proyecto soliciten a los proyectistas que participen en las reuniones.
- Por el tiempo que le deba destinar a estar presente en las reuniones, a veces se requiere un pago adicional de honorarios a los proyectistas, ya que contractualmente ellos ya habrían cumplido su parte.
- Aun cuando los proyectistas estén dispuestos a participar, muchas veces es complicado fijar la fecha y hora más apropiada en que se pueda reunir a todos a la vez.

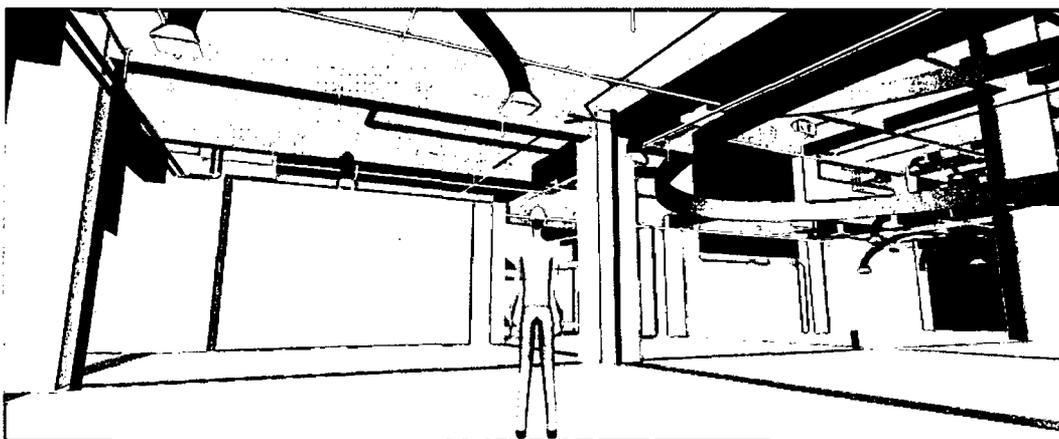
Debido a la celeridad en la respuesta que la contratista requiere para que sus observaciones y consultas sean atendidas, a fin de que no interrumpan su flujo de construcción y se conviertan en restricciones, se sugiere establecer reuniones de coordinación con los proyectistas periódicamente, en las que además deben estar presentes el cliente, la supervisión y la gerencia del proyecto. En estas reuniones se deben dar a conocer las interferencias e incompatibilidades identificadas o cualquier observación en el diseño que requiere de su atención y aprobación. A medida que cada reunión se va desarrollando, se debe elaborar un acta de reunión con cada uno de los acuerdos, cambios aprobados y restricciones pendientes para la próxima reunión. Esto es importante ya que

muchos de estos cambios podrían requerir ser valorizados más adelante, siendo el único sustento los acuerdos consignados en cada acta de reunión.

Procedimiento para realizar revisiones de constructabilidad

Existen programas de gestión y revisión de modelos BIM-3D como Autodesk Naviswork o Autodesk Design Review (de licencia gratuita), que permiten realizar recorridos virtuales a cualquier sector del modelo BIM-3D de la edificación con un nivel de realismo que pueden ser utilizadas para mejorar el control y planificación de las distintas cuadrillas y subcontratistas que se encargarán del montaje e instalación de los distintos sus distintos componentes.

Otra de las ventajas directas de modelar en BIM, que puede ser aprovechada sin mucho esfuerzo, es la visualización de los modelos 3D para mejorar las revisiones de constructabilidad del diseño. Esto se da con el simple hecho de recorrer por sus espacios interiores y exteriores, generando vistas, secciones y cortes a cualquier sector del modelo BIM que ayudan a tener un entendimiento global del proyecto y tener una idea clara de lo que se va a construir.



*Figura 4.9: Recorrido virtual desde el interior del modelo BIM-3D integrado
(Proyecto: Edificio Universidad del Pacífico, 2011)*

En el acápite 3.4 *Estudio: clasificación de las deficiencias en los documentos contractuales*, se ha demostrado que es muy usual que la contratista, en base a revisiones de los documentos del diseño e ingeniería del proyecto, emita consultas al cliente o A LA supervisión con observaciones o propuestas de cambio para que se realicen algunas modificaciones a ciertos procesos, materiales o proveedores que no han sido contemplados en el proyecto de diseño contractual y que puedan resultar más convenientes constructivamente,

cumpliendo o superando los requisitos seguridad, calidad y de funcionalidad. En ese sentido, los análisis de constructabilidad pueden resultar también muy útiles.

Por ejemplo, según comentarios de ingenieros con amplia experiencia en la construcción, los pisos expuestos a la lluvia siempre deben impermeabilizarse y que el mejor impermeabilizante es el pastelero asentado sobre tierra o en todo caso confiar en la pendiente, los sumideros y canaletas, ya que según los resultados obtenidos en otros proyectos, no son tan efectivos para evitar las filtraciones, generando posteriores reclamos post-entrega por parte del cliente hacia la empresa contratista. Consideraciones como ésta pueden omitirse durante el diseño, ya que se tratan de aspectos que los constructores toman en cuenta en base a su experiencia.

4.2.5 Modelado en BIM-4D para la construcción

Esta etapa de modelado corresponde al uso y exploración de otras aplicaciones que se pueden dar al modelo BIM-3D (ya realizado en las etapas anteriores) para usarlas como herramientas de planificación y programación en la fase de planeamiento y construcción del proyecto.

El modelado BIM-4D consiste en la asignación de la cuarta variable, el tiempo, a un modelo tridimensional (3D) útil para realizar la simulación del proceso constructivo de la edificación. Ello se logra asociando cada uno de los objetos 3D del modelo BIM a cada una de las actividades de la programación de la obra.

La simulación BIM-4D es la animación de la secuencia constructiva de ciertos procesos a lo largo de la línea de tiempo, análoga a la secuencia constructiva real, y permite un mejor entendimiento de la sectorización del proceso y frentes de trabajo, facilitando la planificación y la distribución de recursos, así como establecer qué procesos deben ser desarrollados en un determinado día.

La posibilidad de visualizar los elementos que queremos construir, con anticipación a su construcción física, permite planificar con mucho mayor detalle y cumplir efectivamente la planificación en el campo. Los sistemas para el aumento de la productividad se basan en el uso de herramientas diseñadas para manejar la producción en obras de construcción. A continuación se describen como debe ser desarrollada la aplicación de la tecnología BIM-4D.

Como se aprecia en la Figura 4.10, la simulación 4D requiere fundamentalmente dos datos de entrada. En los párrafos siguientes se desarrollan ambos puntos.

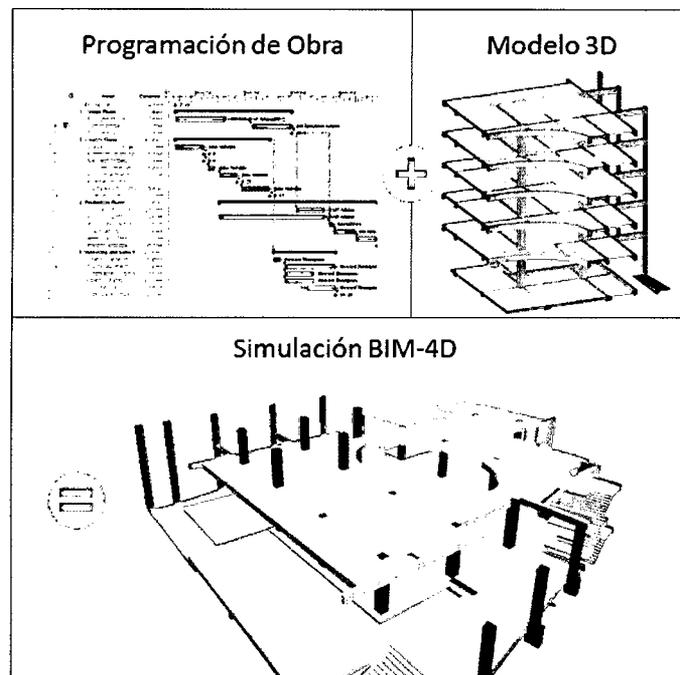


Figura 4.10: Requisitos para la simulación BIM-4D del proceso constructivo

1. El modelo 3D de la edificación

Este modelo contiene los componentes u objetos 3D de la edificación, cuya colocación en el tiempo será simulada. Aquí hay que resaltar la importancia de preparar el modelo 3D para la simulación. Esto facilitará la tarea de asociar cada uno de sus componentes a cada una de las tareas de la programación de obra. Para ello se recomienda tener en cuenta que el modelo 3D debe haber sido elaborado siguiendo con criterio el proceso constructivo según las consideraciones dadas en la primera etapa de modelado, ya que en algunos casos, por simplificar el proceso de modelado 3D (lo cual puede ser justificable) se modelan los elementos como continuos o unidos. Por ejemplo, cuando en una edificación de cuatro niveles la columna es modelada como un único componente 3D a lo largo de todos los pisos, cuando por lógica constructiva se conoce que la columna se va construyendo piso por piso. En la Figura 4.11 se ilustra este ejemplo. La columna derecha sería la columna correctamente modelada si queremos realizar la simulación 4D, ya que esto es válido desde el punto de vista del programador 4D (scheduler), para que la tarea de asociar los

objetos columnas a los tiempos en que serán construidos sea inmediata y tenga mayor coherencia.

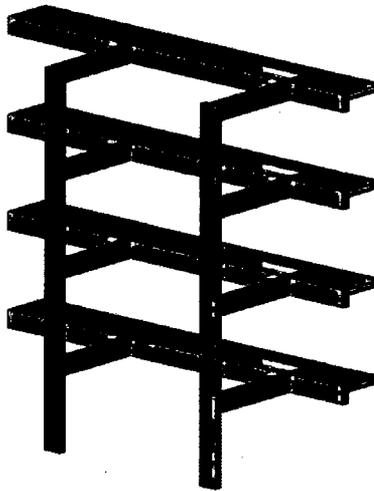


Figura 4.11: Criterios de modelado en BIM: el caso de las columnas

2. La programación de obra modificada

La simulación 4D corresponde a la simulación en el tiempo de la secuencia constructiva por procesos. Por lo tanto la programación o cronograma de obra debe estar orientada a ello. Sin embargo, por lo general algunas de las tareas de la programación de la obra están asociadas a ciertas partidas del presupuesto que poco tienen que ver con los procesos necesarios a ser visualizados en la simulación 4D. Por ello, desde el punto de vista del programador 4D, el cronograma de obra original debe ser modificado, elaborando una programación adecuando los plazos que se tienen en el cronograma de obra original a la ejecución de tareas por procesos, en las que se incluyan también los tiempos tecnológicos.

4.2.6 Gestión de la Información del Proyecto

El BIM es un buen complemento para gestionar la información, viéndolo como una base de datos de información del proyecto. Sin embargo, por política de administración y gestión documentaria, todas las observaciones y cambios producidos en el diseño del proyecto original, obtenidos por medio del modelo BIM, deben ser registrados y archivados cuidadosamente. Esto es importante ya que a futuro esto evitará conflictos entre las partes involucradas en el proyecto (contratista, cliente, supervisión, proyectistas) debidos a un cambio en el diseño asumido erróneamente sin la aprobación de una de estas partes.

El proceso de administración documentaria puede ser realizado de forma tradicional, usando los formatos y herramientas del sistema de gestión de proyectos que forme parte de la política global de la empresa contratista.

Alarcón y Mardones (1998) propusieron una serie de recomendaciones para mantener un control documentario de calidad durante la etapa de construcción cuando se introducen cambios en el diseño. Aunque estos fueron planteados sin el uso de tecnologías BIM pueden ser igualmente usados debidos a su importancia y al objetivo común que se persigue, al complementarse con nuestro objetivo central en búsqueda del aseguramiento de la calidad para los documentos de diseño.

Recomendaciones para asegurar la calidad del diseño

- Generar una lista de tareas (Task List). Estas listas podrían contener información que los proyectistas o diseñadores necesitan de subprocesos anteriores (otro diseñador o el dueño).
- Elaborar un listado de verificación (Check List). Estas listas deben ser usadas para verificar que los documentos de diseño e ingeniería estén completos y que los parámetros definidos en el diseño estén de acuerdo con sus características. La estructura de estas listas de verificación es una lista de preguntas que están respondidas positiva o negativamente.
- Procedimientos de Control de Cambios (Change Control Procedures). El objetivo de estos procedimientos es para controlar algún cambio que es introducido en el diseño durante la ejecución del proyecto. Evitar la falta de control es necesario para definir responsabilidades de los diseñadores, el dueño o la contratista. La contratista es responsable de detectar y comunicar todos los problemas o deficiencias de diseño que puedan afectar la constructabilidad, operación y mantenimiento de los proyectos. También deben supervisar la constructabilidad de los cambios, evaluar el impacto económico directo e indirecto sobre el proyecto y determinar las variaciones en la programación de los plazos de obra.
- Estructura organizacional (Organizational Structure). Para introducir la mejora continua en los procesos de diseño, tomando en cuenta el carácter temporal de los proyectos de construcción, es necesario tener una estructura

organizacional que supervise y controle los desarrollos de los procesos de diseño. Esta es una Unidad de Control del Diseño (DCU) que depende de la administración de la compañía y participa en el desarrollo de todos los proyectos, obteniendo información y supervisando los cambios hechos en cada uno de los proyectos en ejecución. El DCU tiene como objetivo prevenir que los errores de diseño lleguen a campo (obra). En algún momento, la evaluación de los proyectistas o diseñadores, a través de los CheckList, permite la generación de registros para evaluar sus desempeños para futuros proyectos de construcción.

4.3 RECOMENDACIONES PARA UNA ADECUADA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

1. Para tener mayor tiempo de revisar, identificar y corregir las deficiencias en los documentos de diseño, la "construcción virtual" tiene que empezar lo más tempranamente posible.
2. La contratista tiene que liderar el modelado en BIM-3D, lo ideal sería que tenga disposición dos o más modeladores en obra y que las oficinas del proyecto estén adecuadamente implementadas. También puede "tercerizarse" el modelado en BIM del proyecto. Para esto es importante establecer estándares y criterios de modelado al momento de realizar el contrato (como el nivel de detalle de los modelos BIM). Debido que el manejo de este último caso es distinto, la metodología puede no ser aplicable debidamente.
3. La cantidad de modeladores BIM varía dependiendo de la complejidad del proyecto y del presupuesto que se disponga. Pero se recomienda que como mínimo haya un modelador que se encargue de la arquitectura y estructuras, y otro encargado de las instalaciones.
4. Los modeladores en BIM son los que manejan la herramienta a profundidad, la cual es parte de su actividad diaria, pero no deben ser los únicos que sepan usarla. Para garantizar el éxito en un proyecto se requiere que el resto tenga el conocimiento básico necesario de lo que es el BIM y conozcan de sus usos y aplicaciones. Además, la mayoría debe saber usar los programas a nivel básico que les permita extraer de los modelos cualquier información que necesiten.

5. No se trata que el trabajo lo realicen sólo los modeladores en BIM; se requiere que estos trabajen coordinadamente con el resto del equipo de ingenieros y arquitectos del proyecto. Por ello es indispensable reducir la brecha del desconocimiento, para lo cual sería ideal realizar charlas de capacitación.
6. Concientizar al cliente/propietario para que ponga a disposición a los proyectistas o especialistas del proyecto durante la etapa de construcción, para que estén dispuestos a responder o clarificar cualquier observación emitida por la contratista.

4.4 ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA A PROYECTOS DISEÑO/CONSTRUCCIÓN

Como se vio en el apartado 2.1.8 *Modelos PDS más adoptados.*, la principal característica del modelo diseño/construcción (design/build) es que se a la la contratista en la etapa de diseño. Esto es importante, ya que sus aportes de constructabilidad serían tomados en cuenta en la elaboración de los documentos de diseño e ingeniería.

Consecuentemente, la construcción virtual lo podría realizar la contratista mucho antes de iniciarse la etapa de construcción, en cuanto se generen los documentos de diseño. O en el mejor de los casos, los especialistas pueden tomar la iniciativa de utilizar las plataformas BIM para el “diseño virtual”, lo cual permitiría ahorrar algún tiempo-esfuerzo a la *contratista diseño-construcción* en la elaboración del modelo 3D.

Asimismo, los esfuerzos por compatibilizar el diseño y de integrarlo con todas las especialidades se pueden dar durante la etapa de diseño (en las fases de diseño del producto y diseño del proceso) realizando la mayor cantidad de consultas y observaciones usando el modelo BIM siguiendo los procesos de emisión de Solicitudes de Información (RFI process) o reuniones de coordinación. Esto disminuirá significativamente la cantidad de RFI que puedan ser emitidas en plena ejecución del proyecto. Además, al estar los proyectistas involucrados totalmente en el proyecto desde la fase de diseño, las reuniones de coordinación podrían ser la forma más efectiva de resolver cualquier problema de diseño en lugar de los procesos de emisión de SI.

CAPITULO V: CASO DE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS BIM EN UN PROYECTO EN LIMA

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El BIM es una tecnología reciente cuyo uso viene emergiendo en el Perú. Tan sólo pocas empresas entre grandes y pequeñas vienen incorporándolo dentro de sus procesos de diseño y/o construcción. A falta de estadísticas para contar con casos prácticos de aplicación e implementación de estas tecnologías, uno de los objetivos de esta investigación fue la de estudiar su uso y aplicabilidad adaptadas a las condiciones de gestión de los proyectos a nivel local. Para ello se iniciaron los estudios y evaluaciones pertinentes durante la etapa de construcción del Edificio Educativo Universidad del Pacífico ubicado en el distrito de Jesús María, Lima.

Esta experiencia permitió evaluar el potencial y los beneficios de utilizar la “construcción virtual” como proceso que permita mejorar la calidad de los documentos contractuales de diseño (planos y especificaciones técnicas). Además, de cómo incorporar las herramientas BIM a los procesos tradicionales de construcción explorando otras aplicaciones adicionales.

5.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y LA DECISIÓN DE USAR EL BIM

El proyecto en estudio es un edificio educativo sucursal de la Universidad del Pacífico. En este edificio se desarrollará la especialidad de Ciencias Económicas a nivel de pregrado. Su infraestructura es complementaria a la ya existente en el Campus Universitario y servirá para cubrir la demanda mediante el uso de sus ambientes como el Auditorio, las Aulas Magnas y las Salas de Exposiciones, teniendo previsto que en un corto tiempo deje de ser sucursal y se integre al Campus Universitario.

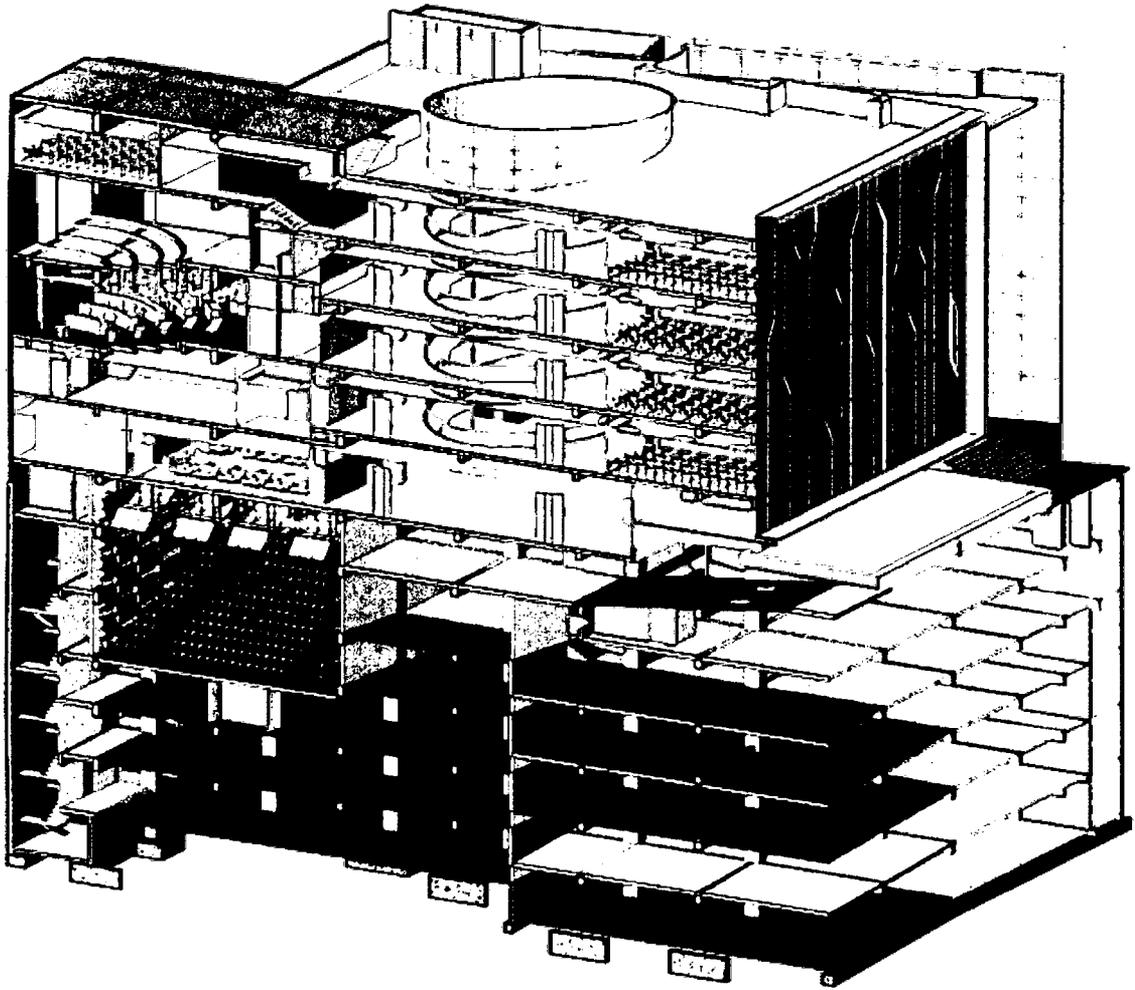


Figura 5.1: Modelo BIM 3D integrado del proyecto Universidad del Pacífico

Tabla 5.1: Datos generales del proyecto en estudio

Proyecto: Edificio Educativo Universidad del Pacífico			
Ubicación	: Jr. Sánchez Cerro, Distrito de Jesús María, Lima, Perú		
Pisos	: 6 sótanos (-26.15m) y 5 niveles de torre (+25.27m)		
Área del terreno	: 2,000 m ²	Acero	: 884,842 Kg
Área techada	: 17,682 m ²	Encofrado	: 40,170 m ²
Excavación	: 46,284 m ³	Anclajes	: 212 puntos
Concreto	: 8,935 m ³	Post-tensado	: 3,115 m

Como se puede apreciar en el corte del modelo BIM-3D del proyecto de la Figura 5.1, la edificación cuenta con 17 Aulas Típicas, dos Aulas Magnas o Especiales, seis niveles de estacionamiento con capacidad para 293 vehículos, y un

Auditorio de eventos para 278 espectadores. Más del 70% del área construida será destinada para los estacionamientos vehiculares, los cuales se ubicarán a lo largo de los seis sótanos. Asimismo, todos los niveles de la edificación cuentan con un sistema de extracción de monóxidos que garantizará la renovación de aire. Además, tanto las paredes como los falsos cielos rasos, de todos los ambientes del edificio, tienen tratamientos acústicos para controlar las interferencias sonoras, aislar los ruidos provenientes del exterior y reducir los ruidos generados al interior del edificio.

Estas características hicieron que el proyecto tenga una estructura compleja caracterizada básicamente por no tener ningún piso típico.

De otro lado, el Cliente fijó como plazo de entrega del proyecto a finales del mes de febrero del 2012, un período estimado de 15 meses cuya fecha era inamovible debido al 50avo aniversario de creación de la Universidad del Pacífico.

Con el plazo ajustado, el equipo de ingenieros de la obra, desde las fases iniciales de planeamiento del proyecto, propuso mejoras e innovaciones a los procesos tradicionales de construcción, basándose en un planeamiento orientado al uso de equipos que permitan usar masivamente elementos prefabricados y prearmados, dando mayor celeridad a los procesos de construcción y disminuyendo la variabilidad inducida por las características del proyecto ya mencionadas. Además, la tendencia del uso de prefabricados y prearmados, cada vez mayor en nuestro medio, es compatible con la filosofía Lean que aplica la empresa en sus procesos de construcción para liberar restricciones y anticiparse a los problemas.

Soluciones planteadas para enfrentar el perfil del proyecto:

- Uso de equipos que reemplacen trabajo productivo de la mano de obra
- Uso de equipos que permitan acceder a nuevos sistemas constructivos que disminuyan la mano de obra y mejoren el plazo.
- Uso de prefabricados y prearmados, los cuales fueron ensamblados y fabricados fuera de obra.
- Aprovechar la oferta de equipos y sistemas constructivos en nuestro medio.
- Utilizar herramientas que permitan conocer y definir el proyecto de forma temprana para facilitar la prefabricación.

- Formar a un grupo de proveedores al ritmo de la Contratista.
- Formar ingenieros especializados en las alternativas antes descritas.
- Formar capataces orientados a los nuevos métodos.
- Formar operadores, ya que sin ellos los equipos pueden perder eficiencia.

Como se puede apreciar, las soluciones planteadas básicamente tuvieron que ver con la incorporación de procesos alternativos de construcción. Sin embargo, la aplicación de estos procesos requiere que la información esté disponible con cierta anticipación y, dada la experiencia en la construcción de obras anteriores que evidenciaron serios problemas de incompatibilidades y definición del diseño del proyecto, se plantearon dos soluciones más.

- Para garantizar el flujo de información se creó el área de Gestión de la Información que fue la encargada de definir el diseño e ingeniería del proyecto y verificar que la calidad de esta información, plasmada en los planos y especificaciones técnicas, sea la más adecuada y llegue a obra con anticipación.
- El área de la Gestión de la Información se complementó con un modelador BIM cuyas funciones eran la de construir virtualmente la edificación y a su vez identificar deficiencias en los planos de los proyectistas.

En ese sentido, el uso del BIM surgió por la necesidad de tener la ingeniería a tiempo y compatibilizar los documentos de diseño del proyecto. A su vez la idea fue la de explorar y utilizar otras aplicaciones más.

a. Alcances del modelado en BIM-3D del proyecto

Durante la construcción del proyecto Universidad del Pacífico se modeló virtualmente la edificación elaborándose los modelos BIM-3D de arquitectura y estructuras in-house a un nivel de detalle como se aprecia en las Figuras 5.2 y 5.3.

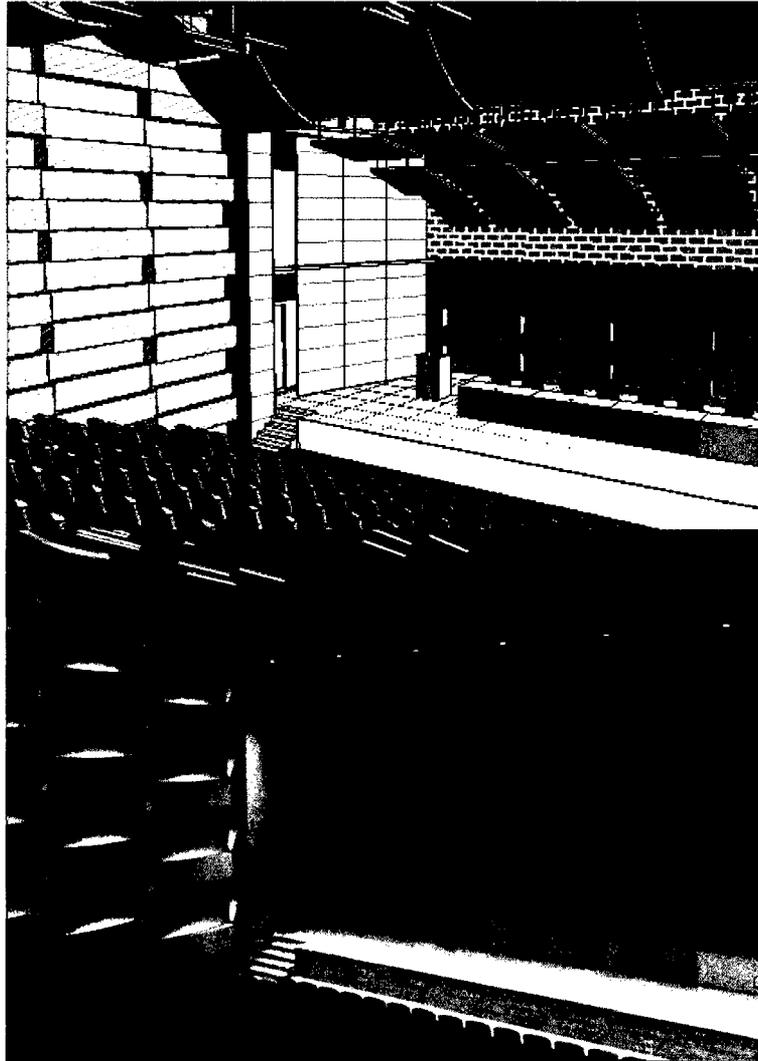


Figura 5.2: Nivel de detalle del modelo BIM del proyecto Universidad del Pacífico.

(Arriba) Vista en perspectiva hacia el escenario del teatro.

(Abajo) Imagen fotorrealista de la misma vista

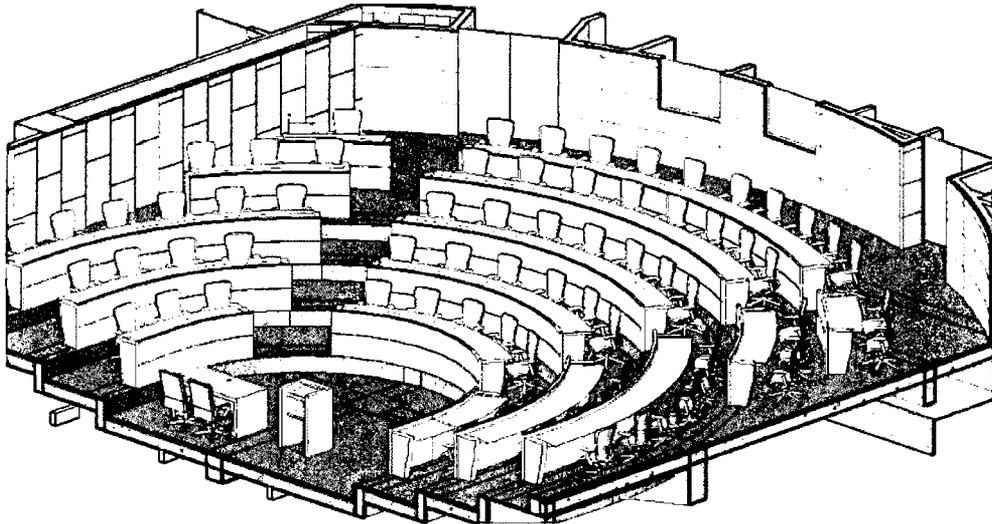


Figura 5.3: Vista 3D de una de las aulas magnas del proyecto

Asimismo, por iniciativa de la Gerencia del Proyecto, se subcontrató a una empresa del exterior la elaboración de los modelos BIM-3D de algunos sistemas de instalaciones. Modelándose en total cuatro especialidades, estas fueron: (1) Sistema de Agua Contra Incendio, (2) Instalaciones Sanitarias, (3) Instalaciones Eléctricas, (4) Instalaciones de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.

A continuación se muestran imágenes que corresponden a cada una de las fases del modelado del proyecto.

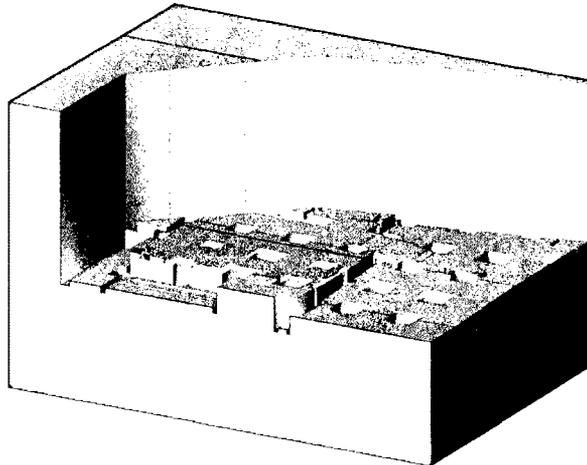


Figura 5.4: Vista 3D del modelo BIM de la excavación

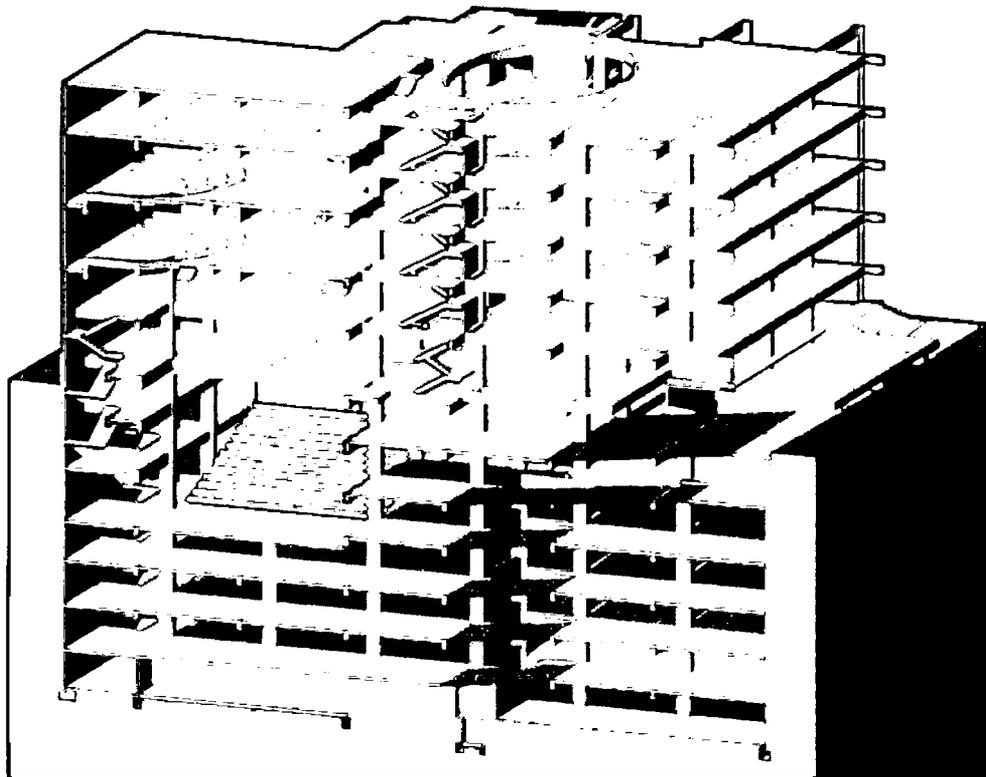


Figura 5.5: Vista 3D de toda la estructura del edificio

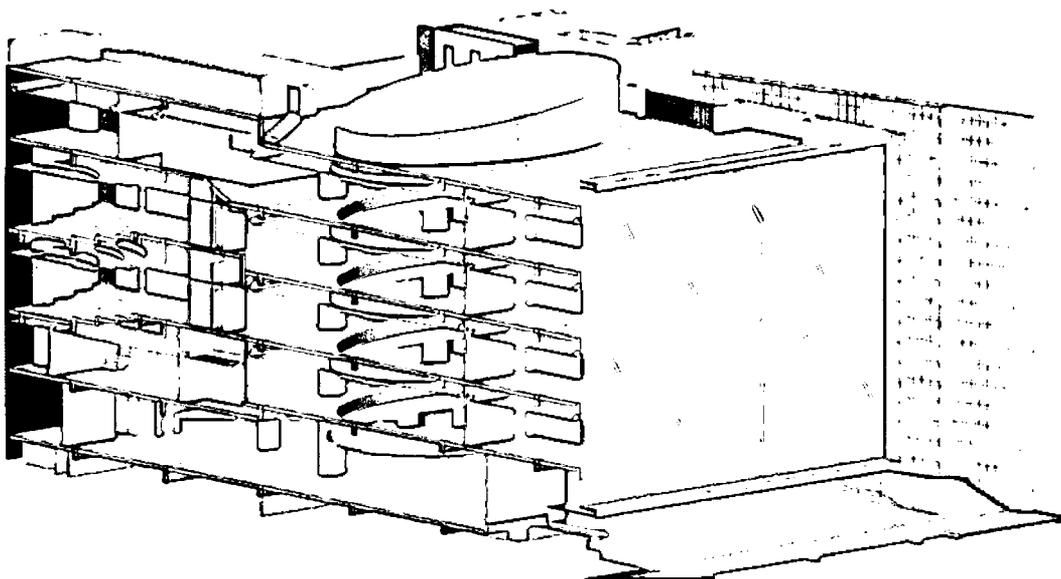


Figura 5.6: Modelo BIM incluyendo los componentes de la arquitectura básica

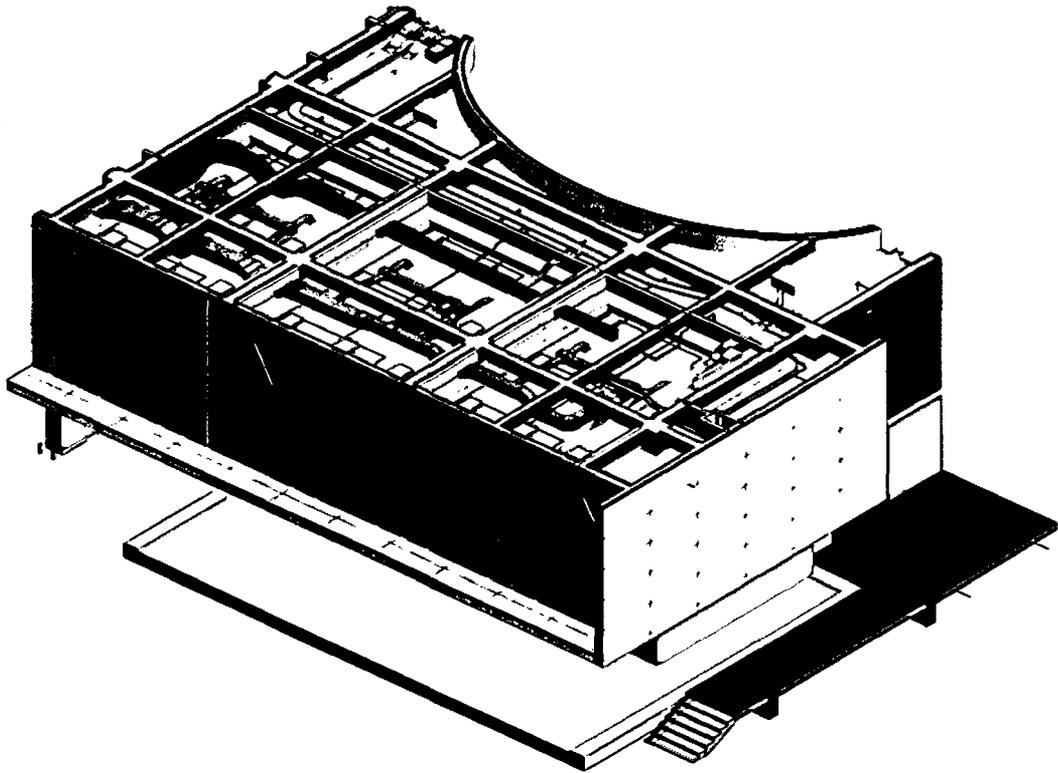


Figura 5.7: Modelos BIM de instalaciones integrados con la arquitectura y estructura

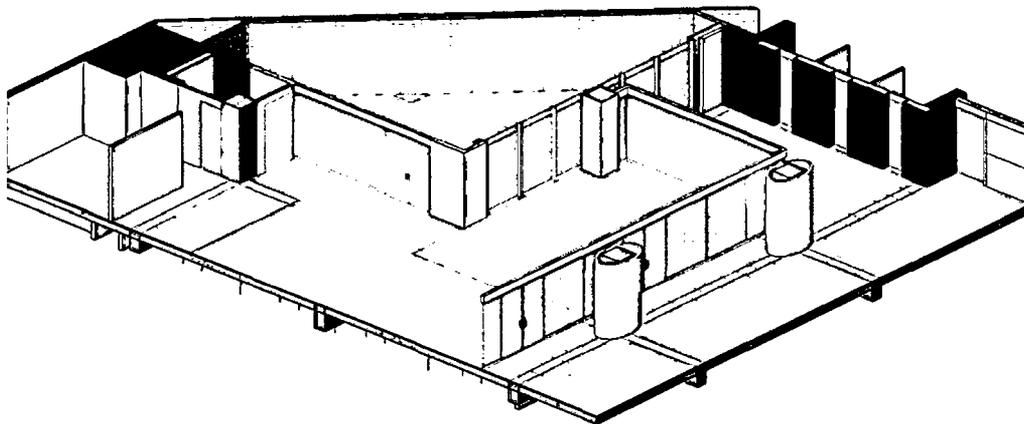


Figura 5.8: Modelo BIM-3D incluyendo la arquitectura detallada

5.3 APLICACIONES BIM DESARROLLADAS EN EL PROYECTO

Durante este proceso de modelado se pudo identificar ciertos problemas de incompatibilidades e interferencias, siendo uno de los mayores beneficios percibidos por modelar en BIM, y con el soporte de algunos programas se exploraron y aprovecharon algunas aplicaciones más, las cuales son:

5.3.1 BIM como herramienta de compatibilización

Como se mostró en el apartado 3.4 *Estudio: clasificación de las deficiencias en los documentos contractuales*, las incompatibilidades entre los distintos planos son problemas comunes y arraigados dentro de la práctica de construcción en nuestro país. Los problemas de incompatibilidades, entre los que incluiremos los problemas de interferencias y la falta de información y detalles, se dan básicamente por un proceso ineficiente de integración holística del diseño del proyecto entre todas las especialidades, por ausencia de liderazgo que busque esta integración en etapas previas a la construcción y por desconocimiento del cliente para administrar adecuadamente el desarrollo del diseño y construcción del proyecto.

Los problemas de incompatibilidades en los planos no fueron ajenos al proyecto en estudio, por las complejidades que lo caracterizan y al no tener la ingeniería y arquitectura completamente definidas al inicio de su etapa de construcción.

Para contrarrestar esto, en obra se creó y administró el modelo BIM de arquitectura y estructuras que se elaboró en paralelo al inicio de la construcción, evidentemente a un ritmo mucho mayor que el avance real. El modelado en BIM-3D de la estructura y arquitectura de la edificación se terminó en dos semanas y permitió detectar, en una primera etapa, un reporte de 37 incompatibilidades en los planos de estas especialidades, y posteriormente otro reporte adicional de 42 incompatibilidades que fueron detectadas incluyendo el modelado de la arquitectura detallada, mobiliario y equipamiento. Las incompatibilidades en los documentos de diseño e ingeniería fueron alertadas y corregidas antes de llegar a obra, por lo que todos estos reportes se enviaron y resolvieron formalmente por medio de Solicitudes de Información (RFI) y otros tantos fueron resueltos por medio de reuniones de coordinación con participación de los distintos proyectistas, comprobando que es la forma más eficiente de resolver estos problemas.

A continuación se muestran algunos problemas de incompatibilidades detectadas por medio del modelado BIM-3D del proyecto.

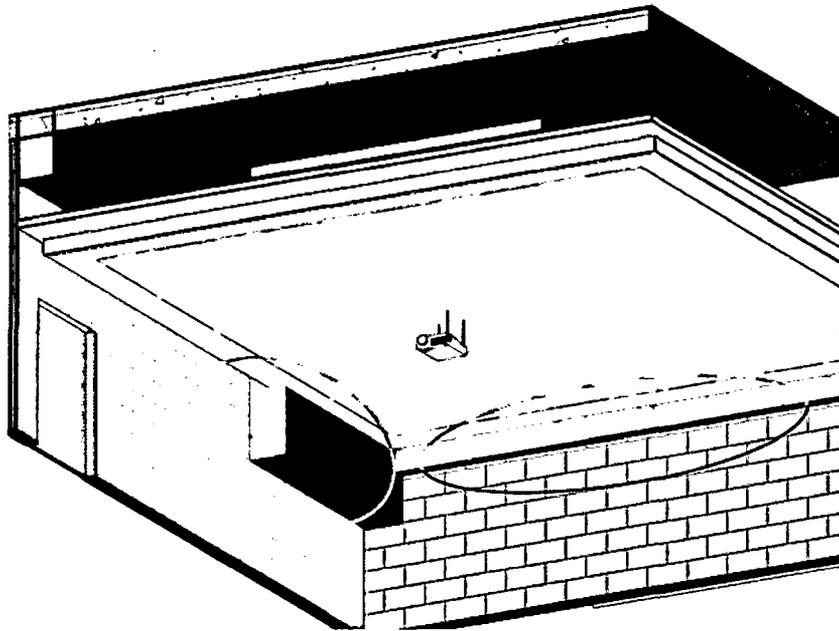


Figura 5.9: Vigas de concreto interfiriendo con el faso cielo raso

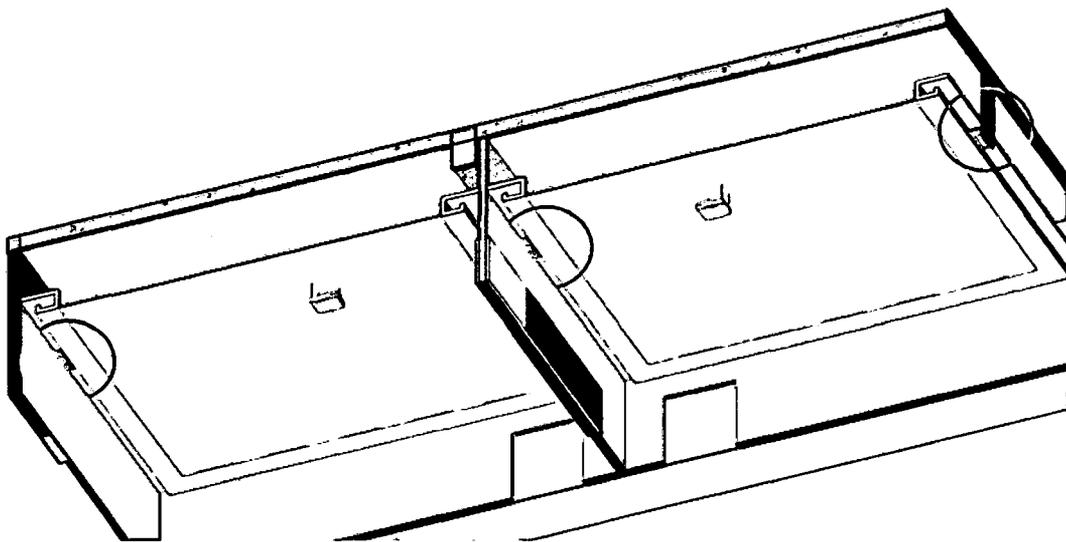


Figura 5.10: Vigas de concreto interfiriendo con las cenefas del falso cielo raso

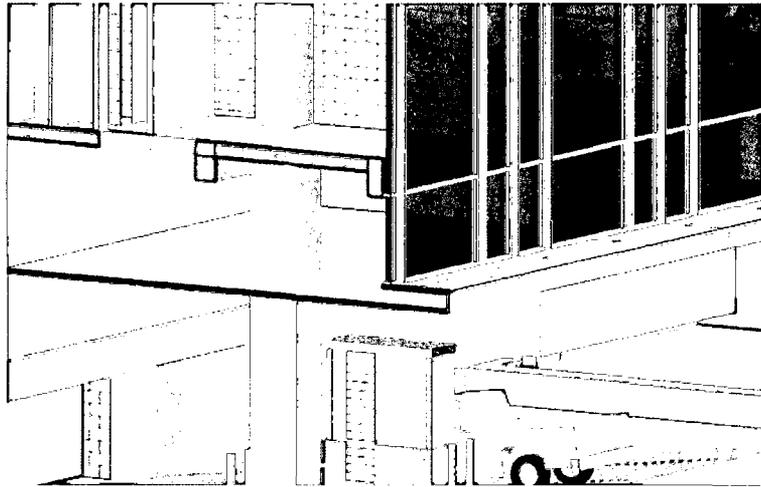
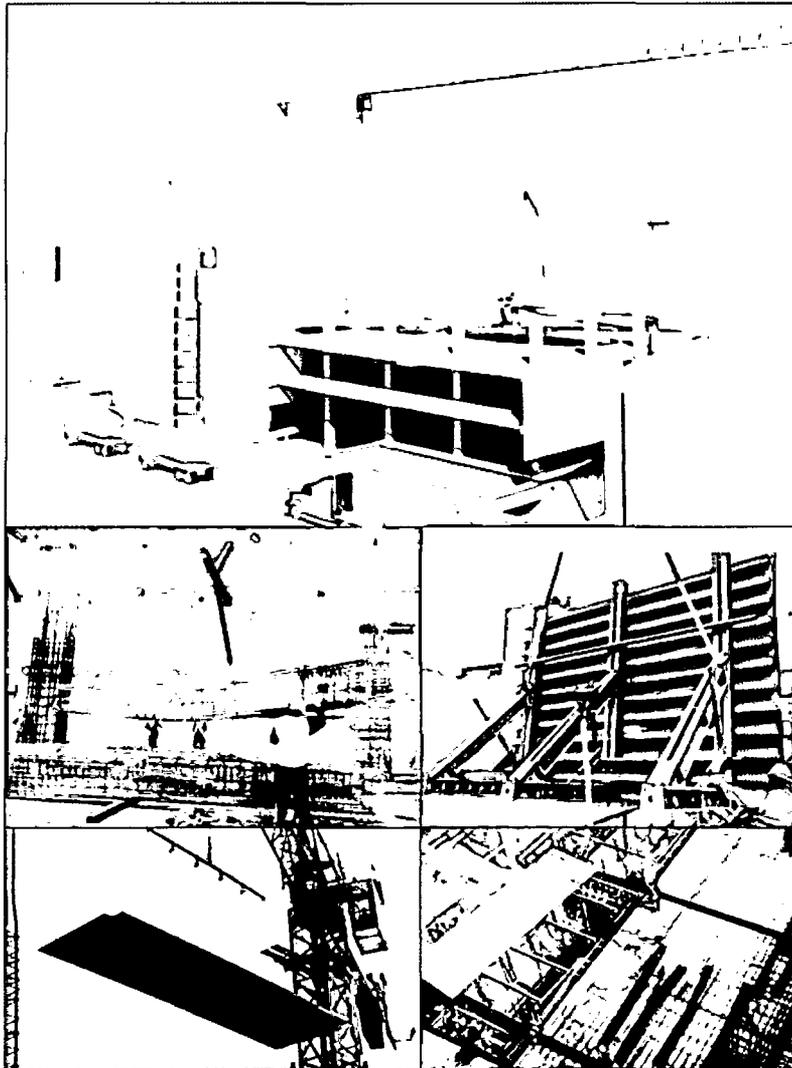


Figura 5.11: Incompatibilidad por falta de detalle de sujeción del falso cielo raso

5.3.2 Simulación del proceso constructivo BIM-4D

El modelado BIM-4D consiste en la asignación de la cuarta variable, el tiempo, a un modelo tridimensional (3D) útil para realizar la simulación del proceso constructivo de la edificación. Ello se logra básicamente asociando cada uno de los objetos 3D del modelo BIM-3D a cada una de las actividades de la programación de la obra.

En el proyecto Universidad del Pacífico se realizó la simulación BIM-4D de la secuencia constructiva de la estructura de concreto armado de los pisos superiores. Para ello se coordinó con el ingeniero de producción a fin de evaluar las actividades, duraciones y sectores del proceso constructivo. Para el caso específico de la simulación de la estructura de concreto armado, se recurrió a la sectorización en planta establecida como se muestra en la Figura 5.13, la cual fue elaborada durante la etapa de planificación y cuya sectorización está orientada al uso masivo de elementos prefabricados y prearmados como: prelosas (losas prefabricadas), escaleras prefabricadas, acero prearmado, encofrado prearmado, etc. los cuales eran izados y colocados por medio del uso de equipos de construcción como las dos grúas torre, y a su vez el proceso de vaciado seguía este ritmo de producción por medio de un brazo hormigonador. Estos procesos y recursos utilizados se muestran en la Figura 5.12.



*Figura 5.12: El uso masivo de elementos prefabricados y prearmados requirió un planeamiento orientado al uso de equipos
(Fuente: O. Alfaro, C. Jurado, Y. Pérez - GyM 2011)*

Según esto, la construcción de la estructura contempló la sectorización en planta dividida en cinco áreas. Cada área fue vaciada en un día, por lo tanto cada piso se levantaba en una semana (seis días) teniendo al sexto día como buffer. Este proceso de producción en tren permitió tener un uso y distribución óptima de los recursos y un mayor control de los procesos.

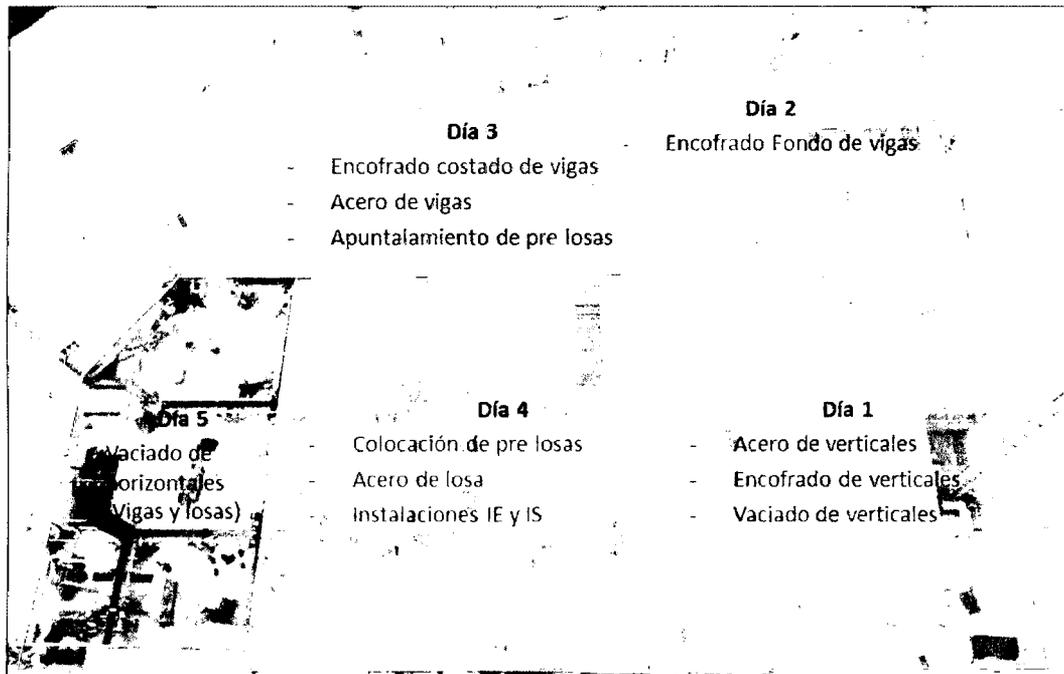


Figura 5.13: Sectorización en planta del proyecto según lo programado
(Fuente: O. Alfaro, C. Jurado, Y. Pérez - GyM 2011)

Con esta información se elaboró la programación de obra modificada, como se muestra en la Figura 5.14, en la que cada una de las tareas corresponde a procesos constructivos y, por consiguiente, están asociadas o vinculadas a los objetos o componentes 3D del modelo BIM que le corresponden. Por ejemplo, la tarea VP1S1 concierne al proceso de vaciado de todas las vigas del primer sector del primer piso, del mismo modo, la tarea CP1S4 concierne al proceso de vaciado de todas las columnas del cuarto sector del primer piso. Como se aprecia, cada una de las tareas de la programación de obra modificada fue codificada de tal forma que, a primera vista, dé la información de qué proceso será ejecutado, además de dónde y cuándo. Aunque la codificación de las tareas puede variar dependiendo del proceso a ejecutarse, en el caso de la simulación 4D de la estructura de concreto armado se codificó en base a la sintaxis mostrada en la parte inferior de la Figura 5.14.

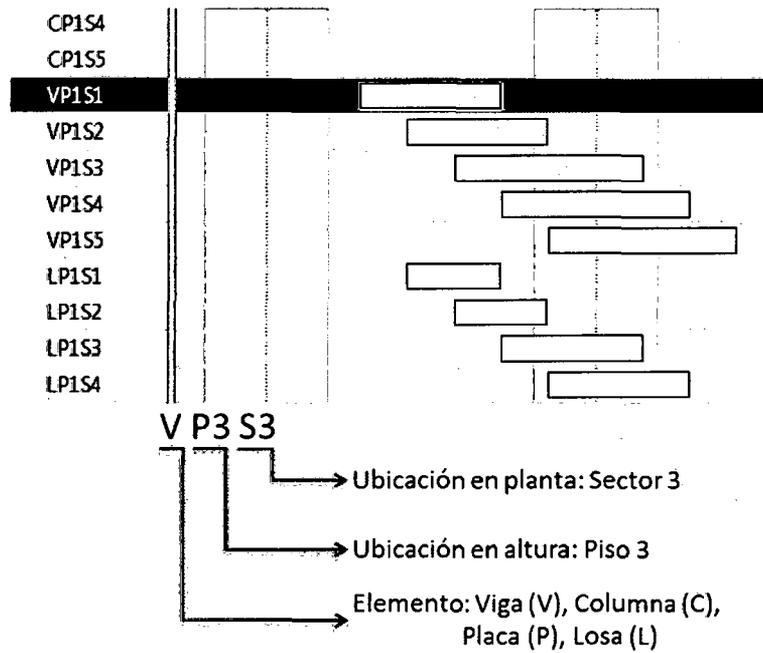


Figura 5.14: Tareas de la programación de obra (modificada) y su sintaxis

Como se aprecia en la Figura 5.14, la duración de cada proceso se muestra en forma de barras del Diagrama de Gantt. En el caso de la simulación del proceso constructivo de la estructura de concreto armado, la duración de cada una de las tareas involucra intrínsecamente los subprocesos de encofrado, colocación de acero, y termina en el día del vaciado (sin tomar en cuenta el desencofrado), incluyendo en todos los casos los tiempos tecnológicos requeridos. Estos subprocesos, para efectos de visualización, son diferenciados por los colores de los objetos y transparencia de los mismos. Es decir, la transparencia en los objetos 3D de la simulación indica que la tarea está en pleno proceso.

En la Figura 5.15 se aprecia un fotograma que corresponde a la simulación de éste proceso constructivo, resaltando las tareas que serán ejecutadas el día 17 de mayo de 2011. Según se observa en la imagen, se da a entender que para ese día las columnas del sector 1 y 2 del segundo piso ya han sido vaciadas, mientras que en el sector 1 del mismo nivel se están encofrando los fondos de vigas; a su vez, en el quinto sector del primer piso se están vaciando los elementos horizontales vigas y losas.

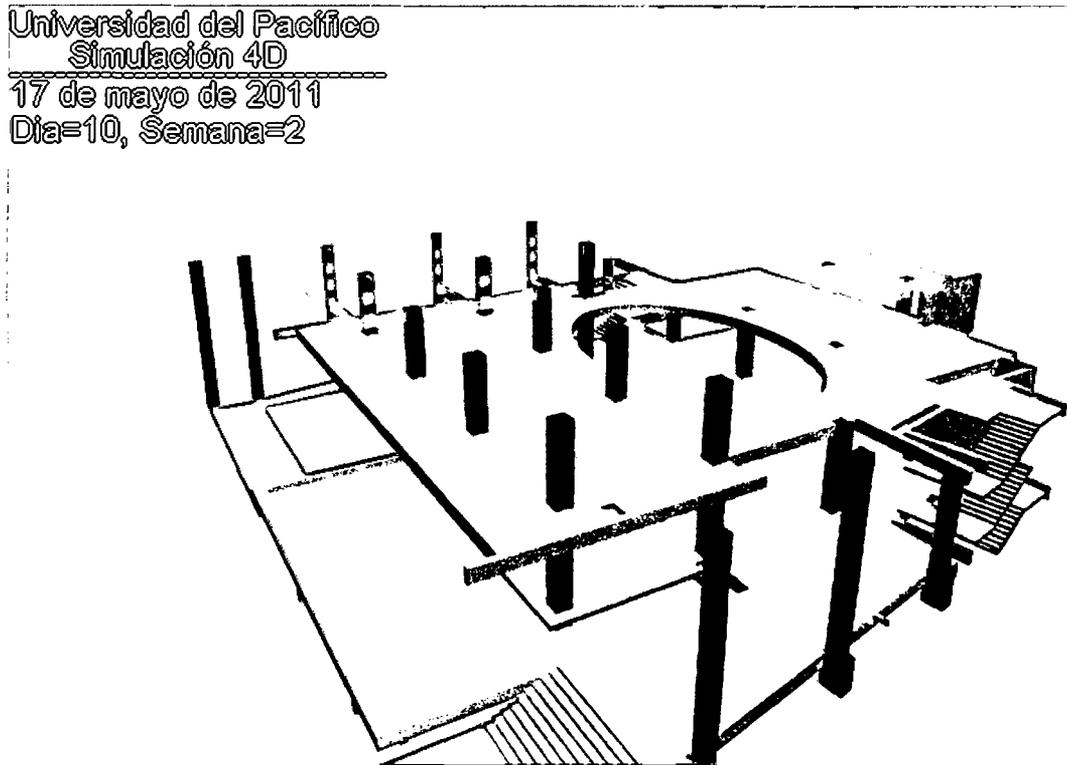


Figura 5.15: Simulación del proceso constructivo de la estructura de concreto

5.3.3 Estimación de los metrados

Una aplicación directa de modelar la edificación en BIM-3D es la estimación de la cantidad de materiales, comúnmente conocida como metrados. Los programas de la generación BIM permiten una estimación de los metrados de forma automática. Sin embargo, si queremos que los programas computen los metrados y den resultados confiables que se ajusten a las condiciones reales del proyecto, los componentes de la edificación se deben modelar en 3D siguiendo la secuencia y lógica constructiva.

En el proyecto Universidad del Pacífico, se han obtenido las hojas de cómputo de materiales de la excavación y de los elementos de concreto armado como vigas, columnas, losas, placas, escaleras. Aunque oficialmente no se hayan usado para fines del presupuesto, se ha hecho un estudio para evaluar la calidad de la información que los programas BIM nos muestran de forma automática. Por tal motivo hay que ser cautos para tomarlos como datos confiables. Para ello se va a exponer un caso que va a poner en cuestionamiento la forma de modelar en 3D que afecta directamente el cómputo de cantidad de materiales.

Los modelos BIM-3D se crean en base a objetos 3D inteligentes conocidos como componentes o familias, un muro, una columna o una losa son algunos ejemplos. Los componentes muro, para algunos programas, son objetos 3D compuestos por varias capas, en la que cada capa está asociada a un tipo de acabado o material. Por ejemplo, una tabiquería de albañilería tarrajada y pintada exterior e interiormente puede ser, para efectos del modelado 3D, un muro compuesto por cinco capas, con un núcleo de albañilería de 15cm de ancho, una capa de tarrajeo y otra de pintura aplicadas en ambas caras, tal como se puede apreciar los casos A y B de la Figura 5.16. Si se modela el muro como elemento compuesto (como en el Caso A) según la práctica y enseñanza tradicional, más adelante se tendrá problemas con la precisión del metrado cuando el muro sea parte de un ambiente con un falso cielo raso (FCR) a media altura, pues constructivamente, para aislar acústicamente ambos ambientes, se prefiere que sólo el muro de albañilería llegue hasta el nivel del fondo de losa del piso superior y que el resto de capas de acabados queden al nivel del FCR (Como en el Caso B).

Este problema puntual, como muchos otros no mencionados, podría resolverse modelando en base a la lógica constructiva, pues el muro compuesto de cinco capas (del ejemplo) no permitiría simular en 4D su proceso constructivo, ya que el programa lo interpretaría como un solo objeto y no como cinco como es en la práctica real, pues lógicamente primero se construye el muro de albañilería, y después de semanas (o meses) se le coloca las capas de acabado interior y exterior.

Como recomendación final, en el caso del modelado BIM-3D del proyecto en estudio se decidió utilizar objetos muro distintos para la albañilería, y otros objetos muro para el acabado. Ésta misma regla rigió para los acabados en pisos.

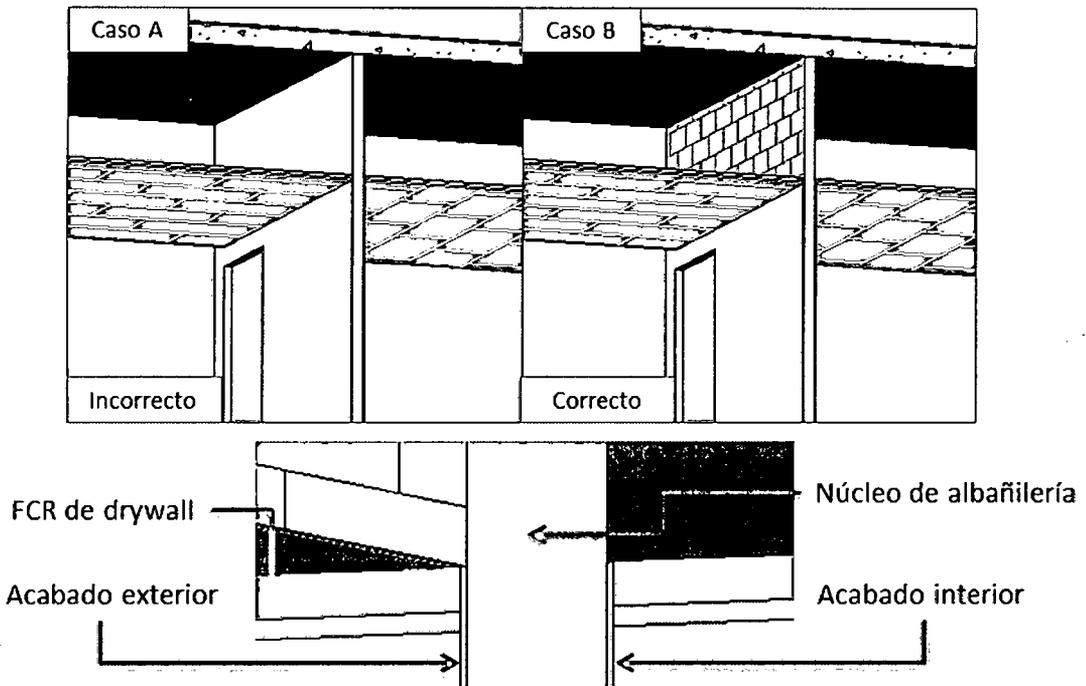


Figura 5.16: Formas de modelado 3D tomando como ejemplo un muro con FCR a media altura

En conclusión, se podría decir que los programas BIM pueden estimar cálculos de materiales precisos en la medida que el modelado 3D de la edificación tenga el nivel de precisión y exactitud necesario, el cual se logra si el modelo 3D tiene componentes (paramétricos e inteligentes) que corresponden a la forma como en realidad se va a construir.

5.3.4 BIM como herramienta de visualización del proyecto

Se define percepción espacial como “un proceso complejo que implica una serie de habilidades que llevan a un adecuado manejo del espacio”. Otra definición es “el conocimiento o toma de conciencia del medio y sus alrededores; es decir, la toma de conciencia del sujeto, de su situación y de sus posibles situaciones en el espacio que le rodea (mide el espacio con su cuerpo), su entorno y los objetos que en él se encuentran”.

En el proyecto, estas herramientas de visualización se aprovecharon con el soporte de programas que permiten navegar virtualmente en el modelo BIM para tener vistas interiores del modelo 3D de cualquier sector del proyecto. Estas herramientas de visualización fueron usadas en algunas reuniones con los proyectistas, el equipo de ingenieros del proyecto y en las reuniones donde intervenían tanto el cliente y supervisión.

A continuación se presentan una serie de imágenes obtenidas del modelo BIM en sus distintas fases de su desarrollo, que pueden ayudar a tener un mejor entendimiento de los alcances del proyecto y del modelado en BIM.

La Figura 5.17 muestra un comparativo entre la estructura real de los cinco niveles de la estructura superior y una fotografía tomada aproximadamente en la misma posición. La Figura 5.18 es una vista ortogonal de un corte del modelo BIM de la estructura en el área del auditorio. La Figura 5.18 es una vista en perspectiva del modelo BIM de estructuras tomada desde el interior de un aula magna, en ésta se puede apreciar las geometrías complejas de las vigas de concreto de este ambiente. Las figuras 20, 21 y 22 son imágenes fotorrealistas generadas por medio de vistas de cámara exterior al modelo BIM en sus distintas etapas de modelado. Ésas imágenes sirvieron como layouts de obras provisionales y equipos del proyecto a medida que la construcción real iba avanzando. La Figura 5.23 es una imagen fotorrealista generada desde el interior del modelo BIM integrando la arquitectura, estructuras e instalaciones del auditorio del proyecto. En ésta se han aplicado materiales a los objetos de acabados además de los parámetros de iluminación de las distintas luminarias que en conjunto dan un aspecto de representación muy realista. Asimismo, las figuras 25 y 25 representan imágenes fotorrealistas generadas desde el interior de un aula magna y un aula típica, respectivamente.



Figura 5.17: Comparativo entre el modelo virtual 3D y la estructura real del edificio

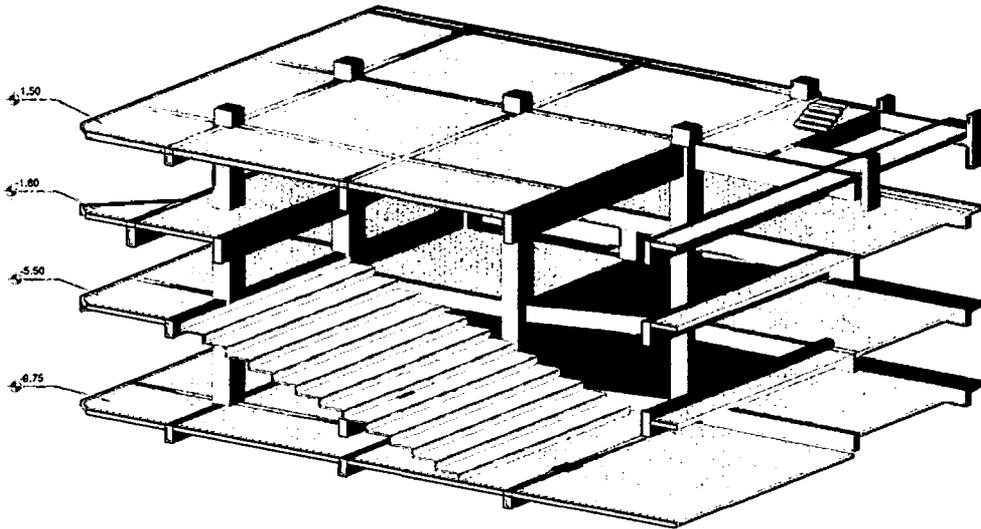


Figura 5.18: Corte del modelo 3D de la estructura del auditorio

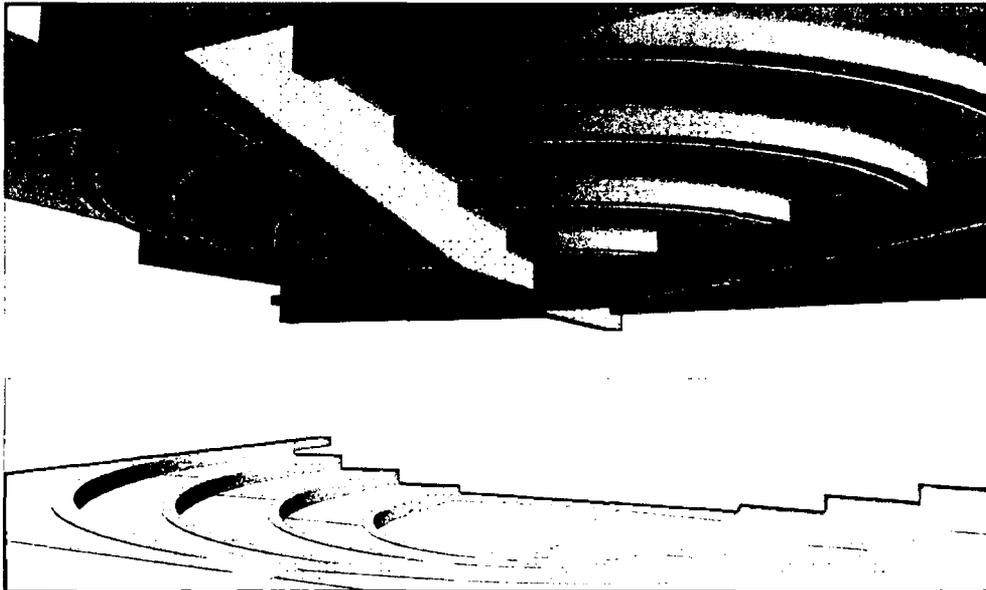


Figura 5.19: Vista del modelo BIM-3D desde el interior de una de las aulas magnas

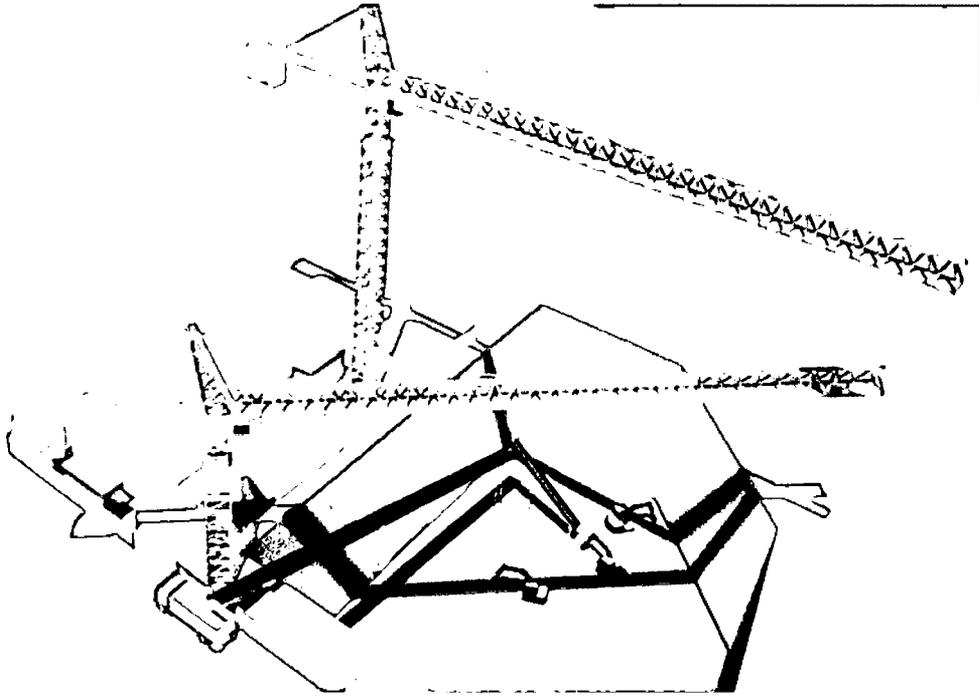


Figura 5.20: Layout 3D de la etapa de excavación del proyecto

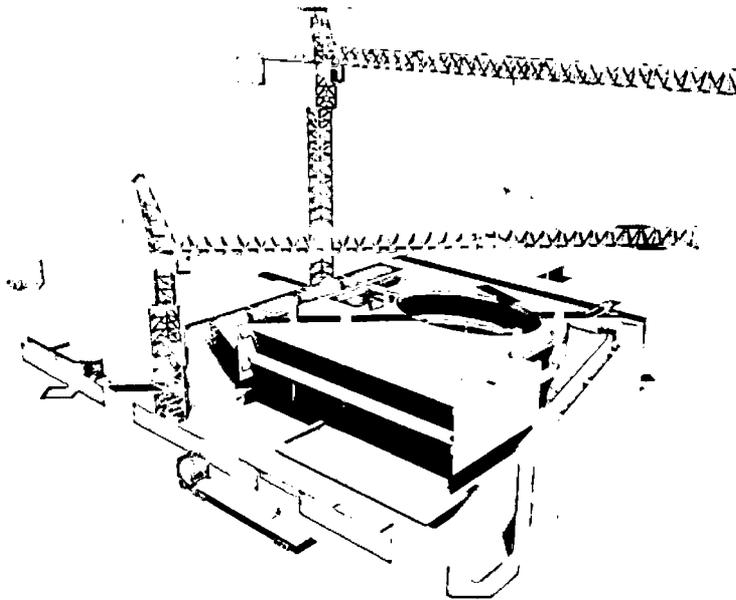


Figura 5.21: Layout 3D con ubicación de obras provisionales del proyecto

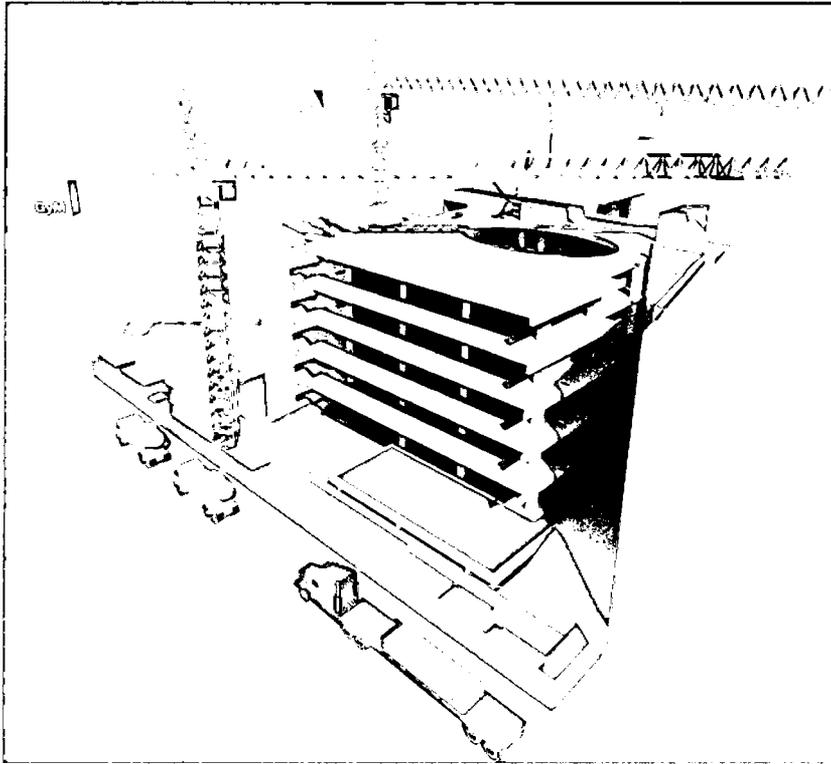


Figura 5.22: Layout 3D correspondiente al vaciado del último piso de la estructura

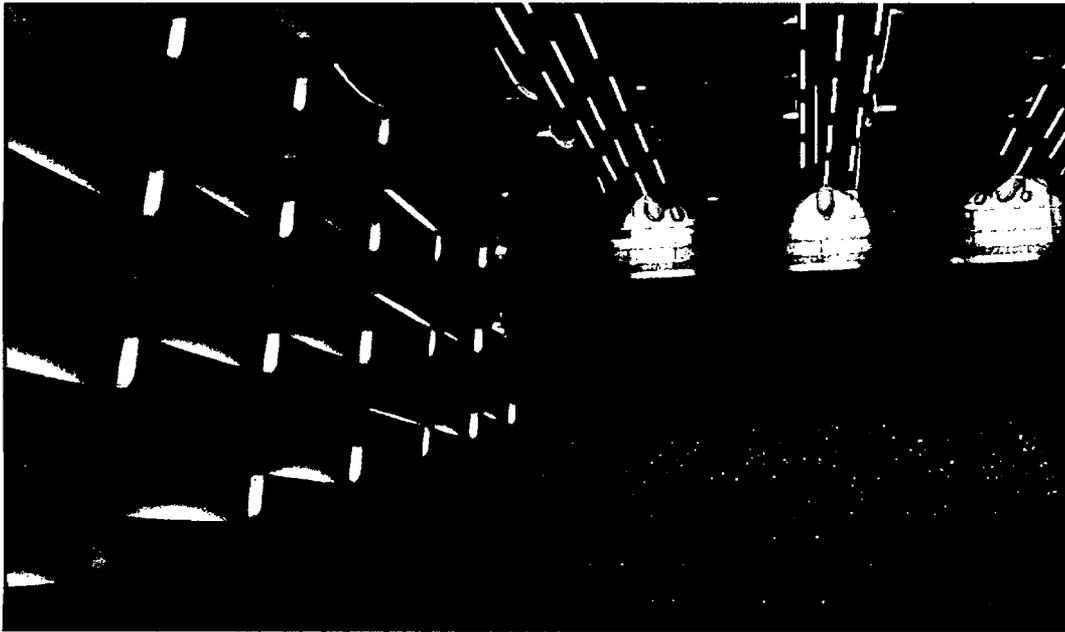


Figura 5.23: Render del modelo BIM desde el interior del teatro

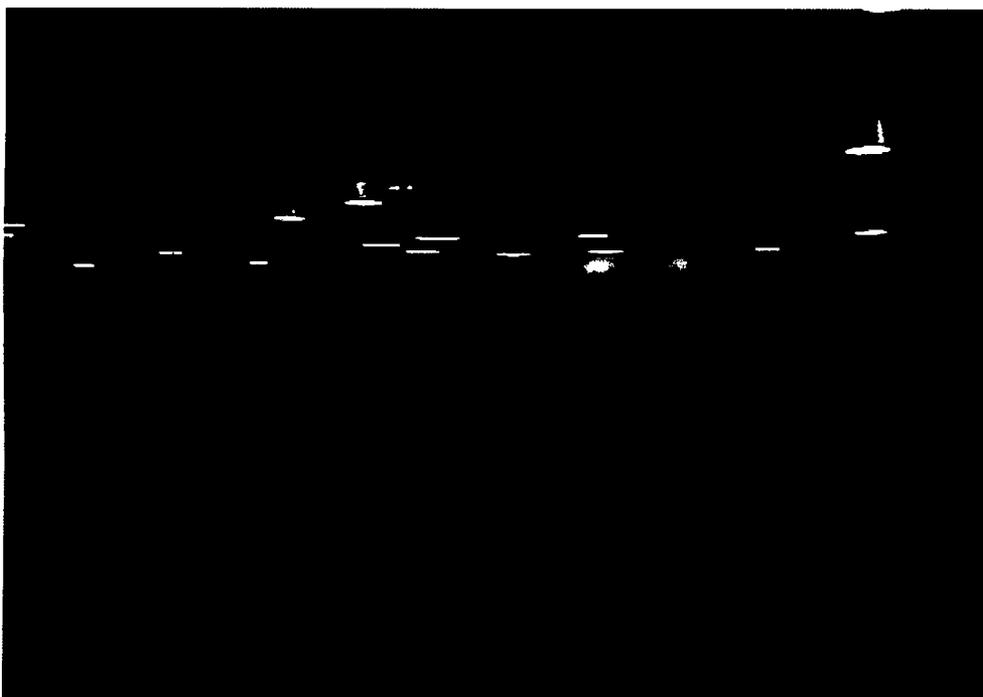


Figura 5.24: Render del modelo BIM desde el interior de una aula magna

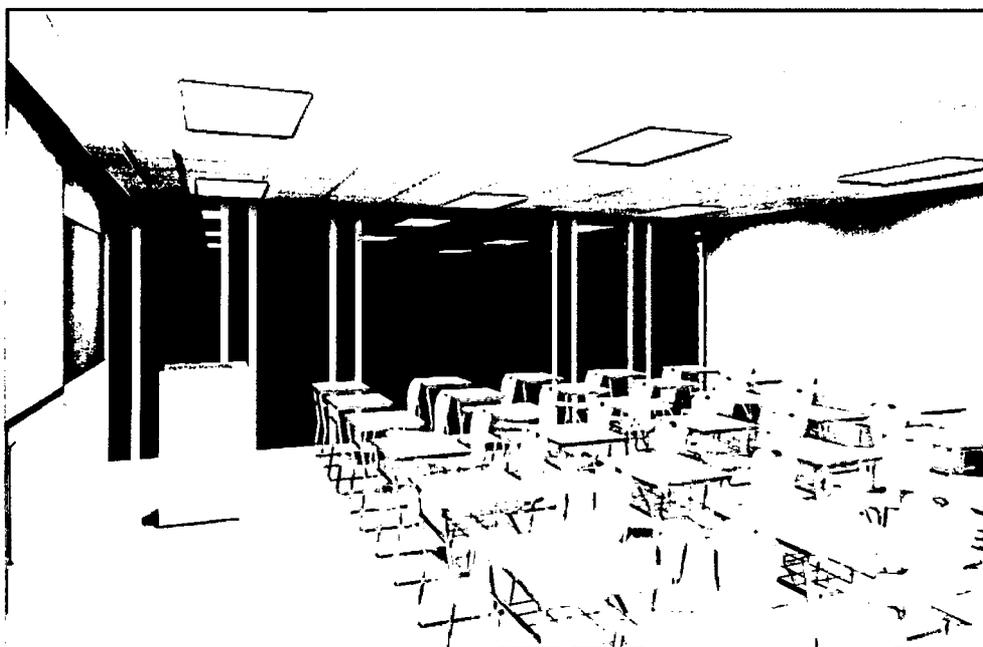


Figura 5.25: Render del modelo BIM de una de las 17 aulas típicas del edificio

5.4 FACTORES CLAVE QUE HICIERON DEL BIM UNA HERRAMIENTA EFECTIVA EN EL PROYECTO

Uno de los factores clave que permitió que el uso del BIM dentro del proyecto sea efectivo, es que la mayoría sabía de qué se trataba y conocía de sus aplicaciones. En el proyecto esto se logró gracias a las distintas iniciativas y el liderazgo promovido por el Gerente del Proyecto, que ya conocía de estas herramientas, quien en conjunto con los principales jefes de área de la obra, que también tenían conocimiento del BIM, se encargaron de transmitirlo al resto del equipo de ingenieros del proyecto. Esto permitió que el uso y aplicación del BIM no fuese una iniciativa aislada, que carezca de apoyo por falta de motivación, sino que permitió que el conocimiento adquirido sea compartido y trascienda en busca de una mejora continua.

Además se buscó involucrar al resto de ingenieros acerca del uso de las herramientas BIM mediante charlas de capacitación, lo cual motivó y estimuló el interés por usar estas herramientas tecnológicas y permitió eliminar aún más la brecha del desconocimiento.

Otra estrategia planteada por el equipo de ingenieros del proyecto, fue la de garantizar el flujo de información y usar el BIM como herramienta complementaria.

Para ello se incorporó al organigrama del proyecto, mostrado en la Figura 5.26, un área específica encargada de la Gestión de la Información, para que cualquier consulta u observación asociada a la falta en la definición del diseño del proyecto sea detectada, consultada y resuelta con anticipación. Como se ve en la Figura 5.26, esta área fue complementada con un modelador BIM.

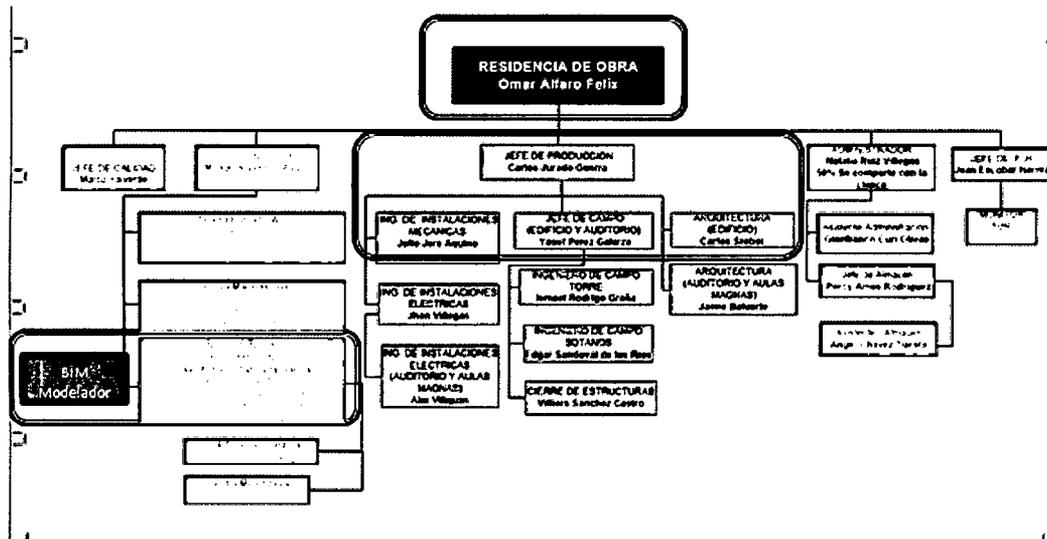


Figura 5.26: Organigrama del proyecto y la inclusión de un modelador BIM dentro del área de Gestión de la Información

El área de Gestión de la Información del proyecto fue la encargada de mantener el control documentario de toda la información del proyecto, que básicamente consta de planos, especificaciones técnicas y memorias descriptivas. Además de revisarla y garantizar que la información sea consistente y esté compatibilizada. Para ello se estableció un flujo de intercambio de información con los distintos proyectistas con intermediación de supervisión y la gerencia del proyecto. Es decir, toda observación encontrada en los documentos del proyecto se reportaba formalmente a supervisión por medio de solicitudes de información (SI o RFI de sus siglas en inglés, Request For Information), que canalizaba la consulta a los proyectistas involucrados buscando un consenso que resuelva o aclare el problema haciendo las modificaciones pertinentes y aprobando los cambios para su ejecución en obra. En otros casos el área de Gestión de la Información se encargaba de organizar fechas de reuniones con los proyectistas. Esto fue clave para el éxito del flujo de la información, ya que daba celeridad a la respuesta de las consultas pendientes. Por lo general se establecieron tres reuniones semanales, una con el cliente donde se le daba a conocer los riesgos y restricciones que podrían afectar los plazos y costos del proyecto, y en donde además se le daba a conocer los cambios propuestos por los proyectistas para que tengan conocimiento de los cambios del proyecto y en algunos casos eran presentados para que los validen. Entre las reuniones importantes destacaron las reuniones con los distintos proyectistas y proveedores involucrados en el

proyecto, sobre todo con los proyectistas de arquitectura y estructuras que fueron necesarios para definir el diseño y la ingeniería.

Todo esto requirió tener un control documentario de la información del proyecto y de todos sus cambios. Es así que se manejaron formatos digitales que permitieron hacer seguimiento a las consultas emitidas dando cuenta de su estado (si están aprobados o pendientes). Para ello se usaron los formatos estandarizados del Sistema de Gestión de Calidad.

Asimismo, dentro del área de Gestión de la Información se involucró la participación de un modelador BIM cuya función principal era la de representar virtualmente la edificación usando el BIM basado en los planos contractuales de arquitectura y estructuras, además, de identificar las incompatibilidades e interferencias para reportarlos al área respectiva. Otras de las funciones del modelador BIM era la de mantener actualizado el modelo 3D conforme los cambios eran aprobados.

5.4 BENEFICIOS Y AVANCES OBTENIDOS

A veces erróneamente se concibe al BIM como un software de dibujo en 3D limitando sus potenciales usos aplicables a las etapas de diseño y construcción. Sin embargo, el BIM como filosofía va mucho más allá, ya que se trata de una forma de trabajar y de gestionar la información del proyecto, siendo el desconocimiento una de las más importantes barreras. A pesar que aún queda mucho por explorar, el uso de algunas aplicaciones del BIM que se usaron en el proyecto Universidad del Pacífico permitió descubrir su potencial y saber hacia qué debemos orientarnos los profesionales de ingeniería y arquitectura. Esto se logró, ya que se despertó la curiosidad y el interés por seguir experimentando con el uso de estas tecnologías y seguramente quienes hayan tenido la oportunidad de trabajar con esto y ver sus ventajas, van a ser los principales interesados en aplicarlo en sus próximos proyectos.

A nivel organizacional, el proyecto se encargó de difundir las aplicaciones dadas a las herramientas BIM mediante un conjunto de charlas, en un intento por promover la implementación del BIM a nivel corporativo para que sea usado en los futuros proyectos de la empresa. Esto se dio principalmente por el liderazgo puesto por un grupo de ingenieros del proyecto por compartir las experiencias obtenidas en concordancia a la política de Gestión del Conocimiento y lograr que

las mejorar e innovaciones obtenidas en la práctica no se pierdan al término del proyecto sino que trascienda.

Debido a las innovaciones y mejoras que se dieron en el proyecto con el uso de prefabricados y prearmados, así como la exploración y aplicación del BIM (una de las herramientas que conducen a la realización de proyectos sin pérdidas), el proyecto fue uno de los designados para difundir una charla en el marco de la “19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 2011)”, realizado en julio de 2011 y cuya sede para ese año fue la ciudad de Lima. Para ello se tuvo una visita de un grupo de ingenieros quienes tuvieron la oportunidad de ver los avances obtenidos en aplicación de los principios Lean, y complementariamente del uso del BIM, para mejorar los procesos tradicionales de construcción. La Figura 5.27 presenta una fotografía tomada al término de la charla realizada en el auditorio del proyecto Universidad del Pacífico impartida el jefe del proyecto Ing. Omar Alfaro Félix. Al finalizar la semana del IGLC 2011, se tuvo la oportunidad de compartir experiencias con Dean Reed, ingeniero de DPR Construction (una de las empresas contratistas más importantes de California, EE.UU.) quienes también aplican los principios Lean-BIM en sus procesos de construcción.



*Figura 5.27: Foto después de la charla realizada en el proyecto durante el IGLC
(Fuente: GyM Contratistas Generales S.A.)*

Posteriormente, debido al interés que el público externo mostró para conocer los principios Lean y aplicaciones BIM desarrolladas en el proyecto, se realizaron

otras charlas. Algunas de ellas fueron realizadas en las mismas oficinas del proyecto y otras externamente. En otros casos revistas como “El Constructivo”, publicaron artículos especiales dedicados al proyecto. Todo esto permitió difundir estas buenas prácticas y lograr que el conocimiento sea documentado.

5.5 BIM Y LOS CAMBIOS EN LA FORMA DE GESTIONAR LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN

Construir virtualmente, elaborando modelos BIM-3D por especialidades, es el proceso que requiere más tiempo y demanda un mayor esfuerzo, proceso que no se debe abandonar en plena construcción, pues el modelo debe mantenerse constantemente actualizado conforme se vayan efectuando cambios en el diseño a lo largo del desarrollo del proyecto. De esta manera el modelo BIM podría resultar un “as-built” que forme parte del dossier entregable al cliente al final de la etapa de construcción.

Del mismo modo, utilizar modelos BIM en obra en la etapa de construcción genera adicionalmente una serie de beneficios subjetivos, como que cada integrante del equipo del proyecto pueda extraer información del modelo para los fines que más le resulten convenientes. Por ejemplo, el ingeniero de Prevención de Riesgos y Gestión Ambiental (PDRyGA) puede utilizarlo para hacer evaluaciones de seguridad y observar las zonas de mayor riesgo de la obra, los ingenieros de campo pueden generar y evaluar los layouts del proyecto, asimismo los ingenieros de instalaciones y de campo puede planificar más adecuadamente el montaje y colocación de los distintos sistemas y equipos, entre otros.

Complementariamente, gestionar un modelo BIM en obra con el soporte de otras TIC genera un entorno de trabajo adecuado que facilita el intercambio de información, comunicación y coordinación con los involucrados del proyecto, siendo una herramienta que permite mejorar la toma de acuerdos en las distintas reuniones. Ocasionalmente, como se puede apreciar en la Figura 5.28, el modelo BIM del proyecto fue usado durante algunas reuniones con los proyectistas, siendo una herramienta eficiente para las reuniones externas con los proyectistas y el cliente, para las reuniones internas de producción y planificación con el staff de la contratista, y otras reuniones de producción con los capataces y personal de campo como se puede ver en la Figura 5.29.



*Figura 5.28: Esquema de trabajo en equipo usando un modelo BIM
(Proyecto: Universidad del Pacífico, 2011)*



*Figura 5.29: Uso del modelo BIM en las reuniones con los capataces
(Proyecto: Universidad del Pacífico, 2011)*

5.7 FUTURO DEL BIM EN LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Si se promueve la práctica generalizada del uso del BIM usado para la "construcción virtual", los alcances futuros del BIM pueden facilitar aún más la industrialización de los procesos de construcción.

Mediante el enfoque Lean Construction se introducen varios principios que conducen a la ejecución de procesos sin pérdidas, que permiten ejecutar los proyectos más eficientemente enfocándose en el flujo de producción. Una de las maneras de mejorar este flujo se da mediante el uso de componentes

prefabricados o modulares de estructuras y sistemas de instalaciones. Uno de los casos ejemplares son los avances obtenidos por la compañía de construcción Turner (EUA), quienes fusionaron la aplicación de los principios Lean Construction con el uso de modelos BIM 3D y 4D, integrando la construcción virtual con el ensamblaje de prefabricados cuya forma, dimensión y ubicación son extraídas del modelo BIM. En la Figura 5.30, se observa la colocación de un tramo de tubería incluyendo accesorios y desvíos necesarios para evitar colisiones con otros elementos (de instalaciones). Esto da una clara idea de cómo se puede efectuar el proceso de prefabricación para el caso de las instalaciones haciendo uso de modelos BIM.

Por su lado, la más importante empresa contratista de California EE.UU., DRP Construction, que también aplica los principios Lean Construction con tecnologías BIM, menciona en uno de sus artículos publicados en su Web lo siguiente: “El diseño y construcción virtual también está ayudando a los equipos de proyectos, a alcanzar un nivel mucho mayor en la prefabricación de sus trabajos, lo que acorta el tiempo de instalación en campo y una mayor productividad y seguridad, entre otros beneficios.”

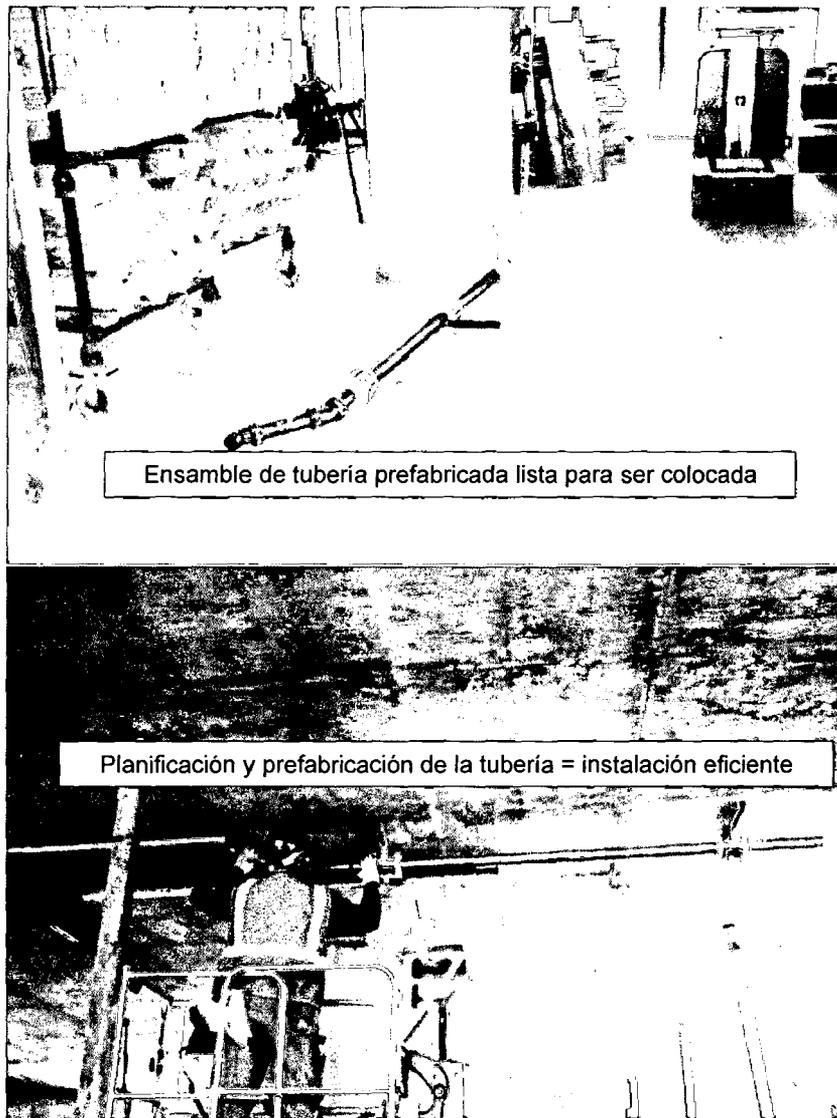


Figura 5.30: Proceso de montaje de elementos prefabricados basado en el uso de modelos BIM

(Fuente: Turner Construction Company)

Sin embargo, para que este proceso tenga éxito se tiene que garantizar la validez del modelo BIM-3D de la edificación, manteniéndolo constantemente actualizado según se vayan introduciendo cambios en el diseño del proyecto (feedback). Para ello es importante el liderazgo de la contratista por buscar integrar el proyecto reuniendo la información de los proyectistas, almacenándola en modelos BIM-3D, optimizándola, validándola y compartiéndola a los subcontratistas para su modulación y montaje en obra. El diagrama mostrado en la Figura 5.31, desarrollado por la contratista *Turner Construction*, representa un esquema de trabajo en base a modelos BIM. Según *Turner* la construcción virtual debe ser realizada bajo su control en conjunto con los proyectistas,

aplicando procesos de validación del diseño para minimizar las deficiencias en sus documentos y finalmente usar los modelos BIM generados y previamente validados para la coordinación de campo para la colocación de los prefabricados.

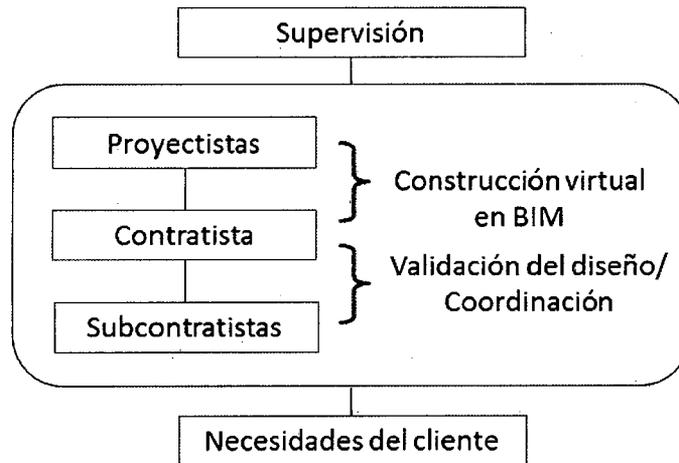


Figura 5.31: Proceso para construcción virtual en BIM liderado por la contratista
(Esquema según Turner Construction)

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Las deficiencias en los documentos contractuales de diseño e ingeniería son problemas que responden a un aspecto cultural debido al uso de procesos de administración, contratación y gerencia de proyectos que impiden una adecuada interacción de las etapas de diseño y construcción.
- A pesar de tener poca o ninguna participación en la elaboración del diseño, es la contratista la que habitualmente asume el riesgo del proyecto si estos problemas llegasen afectar en los plazos o costos del proyecto.
- Las Solicitudes de Información (RFI) son documentos de calidad de carácter legal que deben ser elaborados y controlados de forma transparente, ya que sirven como sustento ante cualquier asunto relacionado a los documentos de diseño e ingeniería no contemplados en la propuesta contractual.
- El realizar un modelado BIM-3D de la edificación permite equivocarnos virtualmente en el modelo 3D y no en campo, ahorrando costos por procesos mal diseñados. El modelo no sólo se utiliza para identificar conflictos entre disciplinas, sino que se convierte en una herramienta de análisis para revisar los criterios de diseño y la adecuada funcionalidad entre las distintas instalaciones que operan de forma dependiente. Además permiten evaluar aspectos constructivos que faciliten un mejor planeamiento y control de las actividades de construcción a través de la gestión de subcontratistas. Tema que sería importante tratar en el futuro y que actualmente se viene descuidando.
- El siguiente paso para una construcción sin pérdidas es la industrialización de procesos, con mayor tendencia a las instalaciones prefabricadas a las cuales no podremos llegar si antes no se ha coordinado la ingeniería. Los planos de fabricación o de taller deben salir de un modelo previamente coordinado, un modelo de instalaciones que genere confianza de que no va a sufrir muchos cambios o modificaciones en campo.

- BIM provee un modelo exacto del diseño requerido para cada sector del proyecto. Esto puede proveer las bases para mejorar el planeamiento y programación de subcontratistas y ayudar a para asegurar la llegada justo a tiempo (just-in-time) de personas, equipamiento, y materiales.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se debe cambiar el estilo de contratación de los proyectos de construcción. Habitualmente hay contratos distintos que el cliente/propietario administra por separado con los diseñadores y la contratista, generando competencia y reclamos. Se sugiere que los contratos deban promover formas de trabajo colaborativo, incentivar la transparencia, una forma de ganar-ganar para todos los involucrados.
- En proyectos ya adjudicados en donde la contratista asume ejecutar el proyecto con documentos de diseño e ingeniería incompletos o deficientes, se debe priorizar en dos aspectos: en la compatibilización total y anticipada del proyecto, y en la realización de revisiones de constructabilidad para proponer mejoras en la ejecución de ciertos procesos.
- En proyectos de vivienda masiva, edificios de vivienda tradicional y de oficinas, gestionados por empresas inmobiliarias, se recomienda contratar a una empresa especializada en coordinación del diseño e ingeniería antes de licitar la construcción del proyecto. Es usual que en estos tipos de proyectos se prioricen aspectos de forma, espacio y acabados, descuidando aspectos funcionales necesarios para conocer los complejos criterios de diseño, aspectos constructivos (secuencias, métodos, constructabilidad) y demás aspectos necesarios para operar y mantener la edificación a lo largo de su ciclo de vida.
- El proceso de emisión de RFI es un proceso importante y necesario en todo proyecto de construcción. Se debe verificar que los controles se estén llevando de la forma más adecuada y eficiente ya que es un sustento legal ante cualquier reclamo con el cliente/propietario.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALARCÓN, Luis F. y MARDONES, D. A.**, "Improving the design-construction interface", Proceedings IGLC 1998 - Guaruja, Brazil, 1998.
2. **ARTICA, Pedro E.**, "Planificación por Lotes de Producción con Modelos 4D", paper presentado en el XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil CONIC, 2009.
3. **BALLARD, Glenn**, "Lean Project Delivery System", LCI White Paper, Sep 23, 2000.
4. **BALLARD, Glenn y ZABELLE, Todd**, "Lean Design: Process, Tools & Techniques", LCI White Paper N°10, 2000.
5. **BERDILLANA F.**, "Tecnologías Informáticas para la Visualización de la información y su uso en la Construcción – Los Sistemas 3D Inteligente", Tesis para optar grado de maestro, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2008.
6. **CALLAHAN, J. T.**, "Managing Transit Construction Contract Claims", National Research Council, Washington D.C., 1998.
7. **COLWELL, Daniel**, "Improving Risk Management and Productivity in Megaprojects through ICT Investment", Prepared for Bussines NB, 2008.
8. **EASTMAN, Chuck**, "BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors", 2011.
9. **FETENE, N.**, "Causes and Effects of Cost Overrun on Public Building Construction Projects in Ethiopia", Master Thesis, Faculty of Technology, Addis - Ababa University, 2008.
10. **GERBER, D.; BECERIK-GERBER, B. y Kunz, A.**, "Building Information Modeling and Lean Construction: Technology, Methodology and Advances From Practice", 2008.
11. **HANVEY, C. L.**, "Design Documents and Design – Related Claims", Interface Consulting, julio, 2007.
12. **IBBS, C.; KWAK, Young Hoon, TZEYU Ng y ODABASI, Murat**, "Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE July/August 2003.
13. **JACKSON, S.**, "Project Cost Overruns and Risk Management", School of Construction Management and Engineering", The University of Reading, 2008.

14. **KAMEDULA, J. M.**, "Lean Design", Copenhagen School of Design and Technology, 2009.
15. **KANJI G., WONG A.**, "Quality culture in the construction industry", pp. 133-140, 1998.
16. **KHANZODE, Atul; FISCHER, Martín y REED, Dean**, "Benefits and Lessons Learned of Implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) Technologies for Coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) Systems on a Large Healthcare Project". ITcon Vol. 13 (2008), pp. 324, 2008.
17. **KONCHAR, M. y SANVIDO, V.**, "Comparison of U.S. Project Delivery Systems", Journal of Construction Engineering and Management, American Society of Civil Engineers 124(6), pp. 435-444, 1998.
18. **KOSKELA, L.**, "Application of the new production philosophy to construction", Technical Rep. No. 72, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford Univ., Stanford, California, 1992.
19. **KUNZ, Jhon y FISCHER, Martín**, "Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions", CIFE Working Paper #097, Version 10, Octubre, 2009.
20. **LUITZ, J.D.; HANCHER, D.E., y EAST, E.W.**, "Framework for Design-Quality-Review Data-Base System", Journal of Management in Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 296-312, 1990.
21. **MCGEORGE, J.F.**, "Design productivity: a quality problem", Journal of Management in Engineering", 4(4), pp. 350-362, 1988.
22. **MOURGUES, Claudio y FISHER, Martín**, "Investigaciones en Tecnologías de Información Aplicadas a la Industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción)", CIFE Technical Report #124, enero, 2001.
23. **NIGRO, W.**, "Contract Documents: A Quality Control Guide", pp. 82-85, 1987.
24. **ORIHUELA, P. y ORIHUELA, J.**, "Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios", VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I., 2003.
25. **PICCHI, Flavio**, "Sistemas de qualidade: uso em empresas de construcao de edificios", Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería, Sao Paulo, Brasil, 1993.

26. **SACKS, R.; DAVE, B., KOSKELA, L. y OWEN, R.**, "Analysis Framework for the Interaction Between Lean Construction and Building Information Modeling", 2009.
27. **SACKS, R; KOSKELA, L., DAVE, BA. y Owen**, "The interaction of lean and building information modeling in construction", Journal of Construction Engineering and Management, 136 (9), pp. 968-980, 2010.
28. **SIGURÐUR Andri Sigurðsson**, "Benefits of Building Information Modeling", Copenhagen School of Design and Technology, 2009.
29. **STAUB-FRENCH, Sheryl y KHANZODE, Atul**, "3D and 4D Modeling for Design and Construcción Coordination: Issues and Lessons Learned", ITcon Vol. 12, p. 381, 2006.
30. **TATUM, B. y KORMAN, P.**, "MEP Coordination in Building and Industrial Projects", CIFE Working Paper #54, Stanford University, 1999.
31. **ULLOA, Kareem**, "Técnicas y Herramientas para la Gestión del Abastecimiento", Tesis para optar el Título de Ingeniera Civil, PUCP. Lima – Perú, 2009.
32. **UNDURRAGA, M.**, "Construction Productivity and Housing Financing.", Seminar and Workshop Interamerican Housing Union, Ciudad de México, D.F., México, 28-29 de octubre, 1996.
33. **VARGAS, T.**, "Opción Diseño-Construcción", Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, 2011.
34. **VÁSQUEZ, Juan C.**, "Aplicación del Lean Design en proyectos de edificación", Tesis para optar grado de Ingeniero Civil, PUCP, Lima – Perú, 2006.
35. **THABET, Walid**, "Desing/Construction thru Virtual Construction for Improved Constructability", Virginia Tech, 2006.
36. **TILLEY, P.A. y BARTON, R.**, "Design and documentation deficiency - causes and effects", Proceedings of the First International Conference on Construction Process Reengineering, Gold Coast, Australia, pp. 703-712, 1997.