

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES EN EL PROYECTO “EDIFICIO
REAL 8” MEDIANTE EL MODELAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL
EDIFICIO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ROGER RAFAEL CUCHO LAGO

Lima-Perú

2014

DEDICATORIA

Dedico ésta investigación a Dios, a mi madre Leandra, quien me dio todo su amor, a mi Padre, y a mi alma mater la Universidad Nacional de Ingeniería.

AGRADECIMIENTOS

En primero lugar quiero agradecer a la gran labor desempeñada por los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, digno de ejemplo a seguir.

También elevo mi agradecimiento al Dr. Teófilo Vargas, quien de alguna manera a contribuido en mi labor de investigador.

De igual manera al Ing. Wilfredo Ulloa, por apoyarme en el desarrollo de esta tesis y sus sabios consejos.

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	11
1.1 ANTECEDENTES Y SITUACION ACTUAL	11
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 FINALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1 DEFICIENCIA DE DISEÑO	18
2.1.1 Deficiencias en los documentos contractuales de diseño.....	18
2.1.2 Indicador para el nivel de calidad de los documentos contractuales	21
2.1.3 Clasificación de las deficiencias en los documentos contractuales	22
2.1.4 Causas de las deficiencias en los documentos contractuales	24
2.1.5 Las deficiencias de diseño en la etapa de construcción	25
2.2. EL VDC, VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION	25
2.2.1 Definición	25
2.2.2 Antecedentes	26
2.2.3 Las herramientas del VDC	27
2.3 MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)	30
2.3.1 Definición	30
2.3.2 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción	31
2.3.3 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción.....	33
2.4 LAS REUNIONES ICE	34

CAPITULO III: METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES	35
3.1 RESUMEN DE LA METODOLOGIA	35
3.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	35
3.2.1 Construcción virtual BIM-3D de la edificación	35
3.2.2 Procedimiento para detectar deficiencias de diseño	38
3.2.3 Implementación de herramientas del VDC en obra	39
CAPITULO IV: CASO APLICATIVO EN EL EDIFICIO REAL 8	44
4.1 AREA DE ESTUDIO	44
4.2 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO Y LA DECISION DE USAR LA FORMA DE TRABAJO DEL VDC.....	45
4.2.1 Esquema de desarrollo del modelo:.....	48
4.2.3 Alcances del modelado en BIM.....	50
4.3 CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES EN LA ETAPA DE DISEÑO DEL EDIFICIO REAL 8.....	50
4.3.1 Elaboración del modelo BIM del Edificio Real 8	50
4.4 CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO REAL 8.....	71
4.4.1 Implementación del modelo BIM en obra	71
4.5 RESULTADOS.....	82
4.5.1 Etapa de diseño	82
4.5.2 Etapa de Construcción	83
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1 CONCLUSIONES	89
5.2 RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	93
ANEXOS	94

RESUMEN

Es muy común encontrar, en el medio local, proyectos de edificaciones que empiezan la construcción con planos contractuales que presentan incompatibilidades entre especialidades, siendo resueltas éstas en pleno proceso constructivo a través de los llamados RFIs (Request For Information). La contratista generalmente realiza una compatibilización inicial con planos en 2D entre especialidades, la cual resulta laboriosa y se convierte aún más crítica cuando se trata de un proyecto a suma alzada.

Investigaciones pasadas definen a la deficiencia de diseño como “alguna deficiencia en los planos o especificaciones”. En dicha investigación 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, analizando 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.

Con la finalidad de resolver éste problema, GyM empieza a apostar por el modelamiento BIM de los edificios, cuyas experiencias en otros países son mostradas en el encuentro anual de Lean Construction del 2011 desarrolladas en el Perú. El mismo año GyM elabora el primer modelo demostrativo siendo el Edificio Educativo Universidad del Pacífico, donde se muestran las ventajas de la metodología BIM basada en construir 2 veces el edificio, una construcción virtual y otra real donde se minimizan las incompatibilidades. Posteriormente el 2012, GyM, elabora el manual de estándares y se termina el primer modelo BIM realizado en base a estándares siendo el Modelo BIM del Edificio Real 8.

El año 2012 Stanford University, introduce en el país la metodología del VDC (virtual Design Construction) fundamentada básicamente en 2 herramientas

principales siendo el Modelo BIM y las Reuniones ICE (integrated concurrent engineering). En lugar de un ciclo tradicional de periodos de trabajo y de reunión, el ICE combina la ingeniería, el análisis y la comunicación del equipo en una sola actividad. En particular esto aumenta la retroalimentación dentro del equipo de construcción, acortando iteraciones de diseño y reduce el esfuerzo empleado en la coordinación entre el equipo de obra lo cual permite una mejora en la programación de actividades. Dicha metodología es implementada en el proyecto del Edificio Real 8. El control de incompatibilidades se realiza desde la etapa de proyecto hasta la finalización de la construcción. Generalmente en el medio local los planos de proyecto no nacen a partir del modelo BIM, sino el modelo nace a partir de los planos 2D, lo cual aún falta madurar apostando porque suceda lo contrario en futuro próximo. La limitante importante es que los proyectistas aún no han implementado en su totalidad el uso de los modelos BIM mostrándose renuentes al cambio. Como se podrá ver en el desarrollo de la investigación, uno de los problemas principales es la falta de detalles de arquitectura en los planos contractuales las cuales se acostumbra a ir definiendo en el camino, esto se convierte en una de las fuentes de la aparición de incompatibilidades en la etapa de construcción. Adicionalmente la falta de constructabilidades por parte de los modeladores así como el conocimiento del modelador en el manejo de la normativa se convierten en las razones del por qué se debe hacer un control de las incompatibilidades con el uso del modelo BIM y las reuniones ICE en la etapa de construcción. En esta oportunidad veremos cómo se controlan las incompatibilidades en el Edificio Real 8 a través de las reuniones ICE y el uso del modelo BIM, obteniendo un resultado final con el manejo de estas herramientas.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Secuencia constructiva de la Estación Central.....	11
Fig. 2. Estación Central, construida	11
Fig. 3 Modelo de Vigas en la Estación Central.....	11
Fig. 4 Modelo del edificio CUBO	12
Fig. 5 Modelo BIM del Gran teatro Nacional – Análisis acústico	12
Fig. 6 Proceso constructivo Gran teatro Nacional y entrega.....	12
Fig. 7 Modelo BIM Proyectop Pacífico	13
Fig. 8 Planeamiento con BIM	13
Fig. 9 Fundadores del soporte BIM	14
Fig. 10 Integrantes soporte BIM-GyM	14
Fig. 11 Curva Esfuerzo, Efecto en el proceso constructivo	15
Fig. 12 Estudio de deficiencias en 5 proyectos	23
Fig. 13 Deficiencias de diseño más incidentes.....	24
Fig. 14. Ejemplo de Sesion ICE	26
Fig. 15 Modelo BIM de ampliación de metro de Manhattan	26
Fig. 16 Gráfica de Resultados de Beneficios del VDC	27
Fig. 17 Ejemplo de Sesión ICE	28
Fig. 18 Flujo de la información de un RFI.....	28
Fig. 19 Velocidad de respuesta de la Gerencia de Proyectos	29
Fig. 20 Mapeo de procesos en un proyecto	30
Fig. 21 Modelo BIM y situación Real.....	31
Fig. 22 Reunión Tradicional y reunión con ICE	39
Fig. 23 Sala IROOM propuesta.....	40
Fig. 24 Vista en 3D de una sesión explicativa ICE.....	41
Fig. 25 Reunión ICE en obra en la empresa DPR de EEUU	41
Fig. 26 Imagen Virtual y Real –DPR-EEUU	41
Fig. 27 Simulación del proceso constructivo	42
Fig. 28 Ubicación	44
Fig. 29 Render del edificio Real 8, exportado desde programa Revit 2014.....	45
Fig. 30 Etapas del proyecto y desarrollo del modelo.....	48
Fig. 31 Gráfica de control, horas programadas y consumidas.....	51
Fig. 32 Sectorización de modelado	52
Fig. 33 Se observa modelamiento del encuentro de las columnas con zapata...	55

Fig. 34 Modelamiento BIM de estribos, los diámetros por colores.....	55
Fig. 35 Imagen Naviswork del Modelo de arquitectura y sus detalles	57
Fig. 36 Modelo de arquitectura en el hall de ascensores	58
Fig. 37 Imagen Naviswork con el modelo de automóvil Hummer	59
Fig. 38 Imagen Revit 2014, tabiquería de 14cm y 12cm	60
Fig. 39 Imagen Naviswork con las especialidades del proyecto Real 8.....	62
Fig. 40 Planta del cuarto técnico	63
Fig. 41 Imagen Naviswork del cuarto técnico	64
Fig. 42 Imagen de Unidades manejadoras de aire (UMAs) colgada de techo. ...	64
Fig. 43 Imagen de colisión del auto con ducto y solución planteada	65
Fig. 44 Imagen donde se observa las bayonetas para los ductos	65
Fig. 52 Imagen BIM del cuarto de transformadores	66
Fig. 53 Imagen de recorrido de bandejas en el sótano 1.....	67
Fig. 47 Recorrido de bandejas eléctricas en el sótano 2	68
Fig. 48 baterías de baños de hombres y damas	69
Fig. 49 Imagen del modelo Mecánico y de Contraincendios	70
Fig. 50 Visita del equipo del Soporte BIM GyM a obra	71
Fig. 51 Layout de la obra y plano de terratest	72
Fig. 52 Modelo de torres grúa en el planeamiento	73
Fig. 53 Modelo de cimentaciones y estabilización de suelos.....	73
Fig. 54 Secuencia constructiva de calzaduras y muros anclados.....	73
Fig. 55 Reunión ICE con proyectista de Instalaciones Mecánicas.....	74
Fig. 56 Reunión ICE en la obra.....	74
Fig. 57 Reunión de capacitación con las sub-contras de IIMM, ACI, IIEE, IISS..	74
Fig. 58 Reunión ICE de Subcontrata de IIEE	75
Fig. 59 Modelamiento y construcción de instalaciones en baños	80
Fig. 60 Modelamiento y construcción en hall de ascensores.....	81
Fig. 61 Tecnología de la información en obra	81
Fig. 62 Velocidad de respuestas de los RFIs en la etapa de diseño.	82
Fig. 63 Velocidad de respuestas de los RFIs en el proyecto Real 8.....	83
Fig. 64 Resultado del control de Incompatibilidades en la obra Real 8	84
Fig. 65 Estudio de deficiencia de diseño SIN uso del modelo BIM.....	84
Fig. 66 Deficiencias de Diseño con uso de modelo BIM en proyecto Real 8.....	85
Fig. 67 Pareto de las deficiencias de Diseño haciendo en el proyecto Real 8....	86
Fig. 68 Contro de incompatibilidades en el proyecto Real 8.....	87

Fig. 69 Utilidad del modelo BIM por especialidades.....	87
Fig. 70 Consumo de horas en modelar	95
Fig. 71 Distribución de las HH de modelado	95
Fig. 72 Horas Hombre en modelamiento de instalaciones.	96
Fig. 73 Consumo de HH por disciplinas de instalaciones.....	96
Fig. 74 Ejemplo de interferencias.....	97
Fig. 75 Interferencia entre tuberías de ACI con ductos de IIMM.....	98
Fig. 76 Caso de interferencia entre una tubería y la estructura	98
Fig. 77 Interferencia entre un ducto y una tubería.....	99
Fig. 78 Pases en vigas mediante perforaciones diamantinas.....	100
Fig. 79 Etapas de la entrega de proyectos.....	101
Fig. 80 Influencia de las definiciones de diseño en la productividad.....	103
Fig. 81 Flujo para resolver una incompatibilidad en planos y las paralizaciones	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Media de porcentajes de 5 proyectos.....	23
Tabla 2 Pilares del VDC.....	28
Tabla 3. Reducción del tiempo de respuesta a las consultas de ingeniería.....	29
Tabla 4 Colores predeterminados.....	43
Tabla 5 Reporte de metrado de concreto.....	54
Tabla 6 Metrado de albañilería en Revit 2014.....	60
Tabla 7 Programación de la llegada del parihuelas y desmontaje de torre grúa.	61
Tabla 8 Formato de Reporte de interferencia.....	70
Tabla 9 Herramientas TIC más influyentes en las construcción (Colwell, 2008)	109

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)
ICE.	integrated concurrent engineering
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
VDC:	Virtual Design Construction

INTRODUCCIÓN

Con la aparición del BIM (Building Information Modeling), el sector de la construcción empieza a tomar conciencia que la tecnología pueda transformar radicalmente el proceso de diseño y construcción de un edificio. El BIM, ha venido acompañado de varios nuevos conceptos como el Lean Design, propuesto por el instituto Lean Construction; de igual manera el CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) de la Universidad de Stanford ha venido desarrollando conceptos como el VDC (Virtual Design Construction) que trae consigo valiosas herramientas como las reuniones ICE (integrated concurrent engineering), creado inicialmente por la NASA en la navegación Aeroespacial para optimizar la coordinación de los stakeholders de proyecto.

Países como EEUU usan el Virtual Design Construction en sus proyectos de edificaciones haciendo una construcción virtual previa antes de empezar la construcción propiamente dicha, eliminando las llamadas paras por flujo de producción las cuales son las paras que ocasionan las mayores pérdidas económicas

En la práctica del medio local, los proyectos comúnmente son del tipo Fast-Track donde las incompatibilidades se van resolviendo en el camino de la construcción, sobre todo en edificaciones, y cuando ésta aparece en el proceso constructivo se originan cuantiosas pérdidas.

Desde el 2012, la empresa GyM contrató a una consultora norteamericana para desarrollar los estándares del modelo BIM, la cual se traduce al llamado manual de estándares BIM, siendo el proyecto Edificio Real 8, el primer proyecto que dispone de un modelo completo de todas las especialidades elaborado en función al manual de estándares BIM. Sin embargo los estándares BIM tiene que ir de la mano con la normativa aplicable al proyecto, es decir un modelo puede tener cero incompatibilidades, sin embargo si no se toma en cuenta el reglamento nacional de construcción, la contribución del modelo BIM no será del todo eficiente.

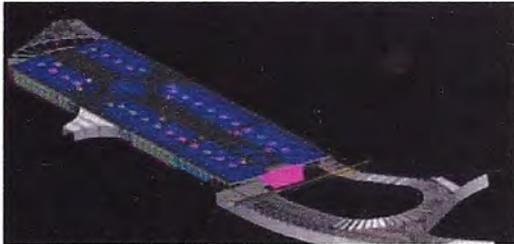
El control de las incompatibilidades se fundamenta desde el inicio del proyecto hasta la finalización de la etapa de construcción, apoyándose en herramientas desarrolladas por el VDC, esencialmente el modelo BIM y las reuniones ICE.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES Y SITUACION ACTUAL

En el año 2005, durante la ejecución de la Estación Central, se utilizó el Software I-DEAS, para efectuar el modelado 3D que facilitó la detección de interferencias, la coordinación visual y la programación 4D del proyecto, como se muestra en la Fig. N° 01, Imagen del video de modelado de la secuencia constructiva de la Estación Central.

Fig. 1. Secuencia constructiva de la Estación Central



Fuente: Obra, estación central GyM

Fig. 2. Estación Central, construida



Fuente: Obra, estación central GyM

Fig. 3 Modelo de Vigas en la Estación Central

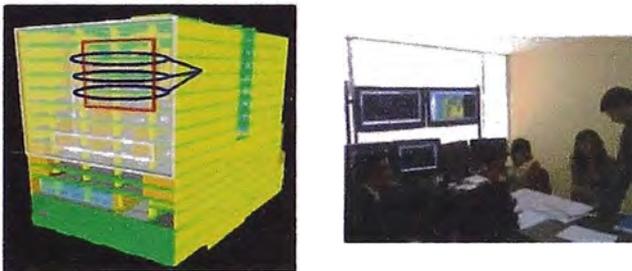


Fuente: Obra, estación central GyM

La aplicación de esta tecnología durante la etapa de diseño, permitió que el proyecto iniciara la etapa de construcción habiendo compatibilizado y detallado las diferentes especialidades involucradas, por lo que se pudo ejecutar exitosamente y dentro del tiempo previsto.

En el año 2008, en el proyecto Cubo, la gerencia del proyecto modeló en Autocad 3D la estructura e instalaciones del proyecto (ver fig N° 2) y utilizó BIM, el Naviswork, para facilitar la detección de interferencias y la coordinación virtual entre los involucrados.

Fig. 4 Modelo del edificio CUBO



Fuente: Obra Cubo GyM

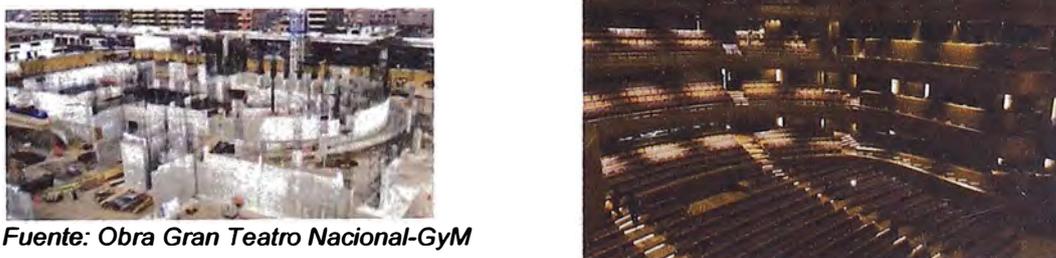
En el año 2010, en la construcción del Gran Teatro Nacional, se realizó la simulación acústica de la sala de espectáculos, como se observa en la Fig. N° 05, para definir alternativas de solución y su mejor desempeño.

Fig. 5 Modelo BIM del Gran teatro Nacional – Análisis acústico



Fuente: Obra Gran Teatro Nacional-GyM

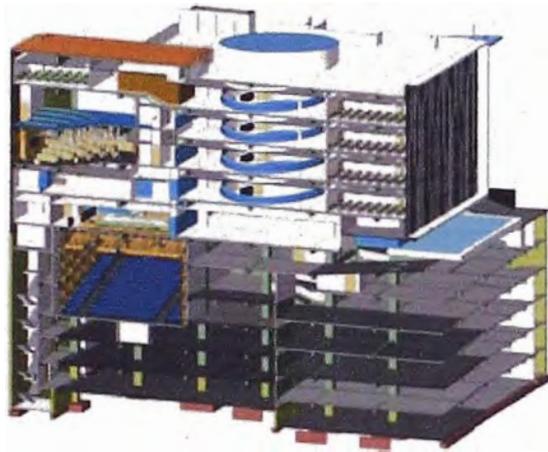
Fig. 6 Proceso constructivo Gran teatro Nacional y entrega



Fuente: Obra Gran Teatro Nacional-GyM

También, a inicios del año 2011, en el proyecto del Edificio Educativo de la Universidad del Pacífico, se utilizó el modelo BIM mostrado en la Fig 3, para la coordinación entre las partes interesadas y en la programación de las actividades, sin embargo aún los modelos no estaban desarrollados en base a estándares y no se disponía de todas las disciplinas del proyecto.

Fig. 7 Modelo BIM Proyecto Pacífico



Fuente: Obra Universidad Pacifico-GyM

Fig. 8 Planeamiento con BIM



Fuente: Obra Universidad Pacifico-GyM

Posteriormente el 2012 fue creado el área de Soporte BIM de GyM, donde se elabora el Manual de estándares BIM. Con ello el mismo año luego de varios esfuerzos el modelo BIM desarrollado en base a estándares es llevado a Obra para su implementación siendo el Edificio Real 8, el primer modelo BIM desarrollado de acuerdo al manual de estándares BIM y que contiene todas las disciplinas del proyecto.

Fig. 9 Fundadores del soporte BIM



Fuente: Soporte BIM - GyM

Fig. 10 Integrantes soporte BIM-GyM



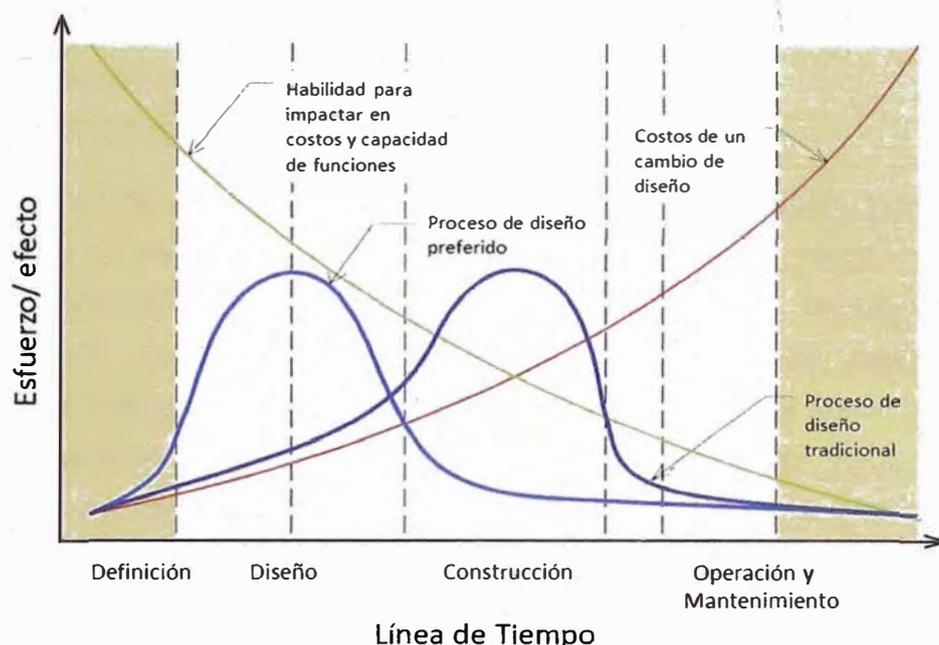
Fuente: Soporte BIM - GyM

El mismo año 2012, Stanford University a través del CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) y la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) dictan el primer curso del VDC (Virtual Design Construction) en el Perú, introduciéndose unos de los métodos más importantes denominado las Reuniones ICE (integrated concurrent engineering). Estos conceptos también son introducidos en GyM a nivel Gerencial y siendo el proyecto del Edificio Real 8 unos de las demostraciones del uso de estos nuevos métodos.

La situación actual en el país es que 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 incompatibilidades, 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, 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. Se muestra la Fig. 16 Aumento de los costos debidos a un cambio de diseño y su capacidad de controlarlos (Fuente: Curva de McLeamy, "Integrated Project Delivery", 2004)

Fig. 11 Curva Esfuerzo, Efecto en el proceso constructivo



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).

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. Sin embargo aterrizando en el medio local, hay aún muchas cosas por mejorar desde hacer que los proyectistas se comprometan a usar los modelos BIM para coordinan con los otros proyectistas hasta hacer que también los sub-contratistas coordinen a través del modelo BIM con el contratista. La implementación del BIM con los sub-contratistas es muy importante y resulta unos de los puntos débiles de la implementación del BIM en obra debido a que las sub contratadas por lo general no estas acostumbradas a usar los modelos.

El control de las incompatibilidades, como se observa, en el medio local, está presente en las etapas de diseño y la construcción, siendo muy importante su implementación en la etapa de control en obra.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1. Bajo nivel de coordinación entre los stakeholders del proyecto, precisamente el método de las reuniones ICE surge fueron creadas para mejorar el nivel de coordinación para la navegación aeroespacial en la NASA. El pobre nivel de coordinación entre los proyectistas y el constructor ocasiona las incompatibilidades, la dinámica de los proyectos locales en el medio tienen ésta característica siendo proyectos del tipo fast track y siendo así como nacen los proyectos contractuales, con diversas incompatibilidades en la etapa de diseño las cuales toman enorme importancia si el proyecto es licitado a suma alzada.

2. Alto nivel de responsabilidad de las contratistas y enorme consumo de recursos para detectar a tiempo las incompatibilidades de los documentos contractuales del proyecto, asumiendo el control de las incompatibilidades en la etapa de construcción y los costos que implican que suelen ser críticos cuando es licitado a suma alzada.

3. Alto nivel de complejidad de los proyectos actuales sobre todo las instalaciones siendo cada vez más desarrolladas a nivel técnico los cuales requieren un buen análisis antes de instalarse.

4. La exigencia de la normativa aplicable al proyecto, llámense alturas de instalación, separación entre especialidades, ubicación de instalación incandescentes, espacios mínimos para accesos, alturas mínimas, etc.; todos estos requerimientos normativos hacen que el modelo BIM a desarrollarse considere desde un inicio la normativa aplicable al proyecto para el control de las incompatibilidades del tipo normativo.

1.3 FINALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El motivo principal para desarrollar ésta investigación ha sido el de contrarrestar uno de los problemas comunes que ocurren en un proyecto de edificaciones como son el control de las incompatibilidades. Se ha realizado investigación a partir del primer modelo demostrativo de la empresa GyM S.A correspondiente al Edificio Educativo de la Universidad el Pacifico, donde la tecnología era reciente en el medio local y fue motivo para mostrar las aplicaciones más importantes, sin embargo posteriormente fue necesario hacer uso de estándares para desarrollar el modelo, elaborándose el manual de estándares BIM y creándose en GyM S.A el área de Soporte BIM la cual cuenta con personal capacitado para desarrollar los modelo.

Luego de la creación del área de soporte BIM en GyM S.A se elabora el primer modelo BIM que llega a obra para ser implementado, siendo el Modelo del Edificio Real 8, el cual contiene todas las disciplinas del proyecto creados en base a estándares.

1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La estructura de investigación se ha organizado en cinco capítulos. El capítulo II consta de un marco teórico con conceptos que son necesarios para el desarrollo de los capítulos siguientes. En el capítulo III se desarrollara la metodología para realizar el control de las incompatibilidades a través de las herramientas del Virtual Design Construction como son el modelo BIM y las reuniones ICE. En el capítulo IV, se usará la metodología usada en el capítulo III. El capítulo V, consta de las conclusiones y recomendaciones generales de todo lo visto a lo largo de los cinco capítulos anteriores, y recomendaciones que pueden servir para desarrollar nuevas líneas de investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 DEFICIENCIA DE DISEÑO

En el medio local 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 Harvey. (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

2.1.1 Deficiencias en los documentos contractuales de diseño

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.

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) Conflictos o discrepancias en los documentos contractuales

Son las incompatibilidades propiamente dichas, en la presente investigación las denominaremos incompatibilidades por conflicto o discrepancias en los documentos contractuales.

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 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

En la presente investigación las llamaremos incompatibilidades por interferencias o errores de coordinación interdisciplinarias.

Estas incompatibilidades 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. En el anexo N° 2 se presentan algunos ejemplos de interferencias

c) La falta de constructabilidad de los diseños

En la presente investigación las denominaremos incompatibilidades de constructabilidad.

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.

2.1.2 Indicador para medir el nivel de calidad de los documentos contractuales

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.

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.

2.1.3 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

Estudio: Clasificación de Solicitudes de Información (RFI)

Proyectos analizados: 05

Número total de RFI : 1,406

Observaciones : 2,104

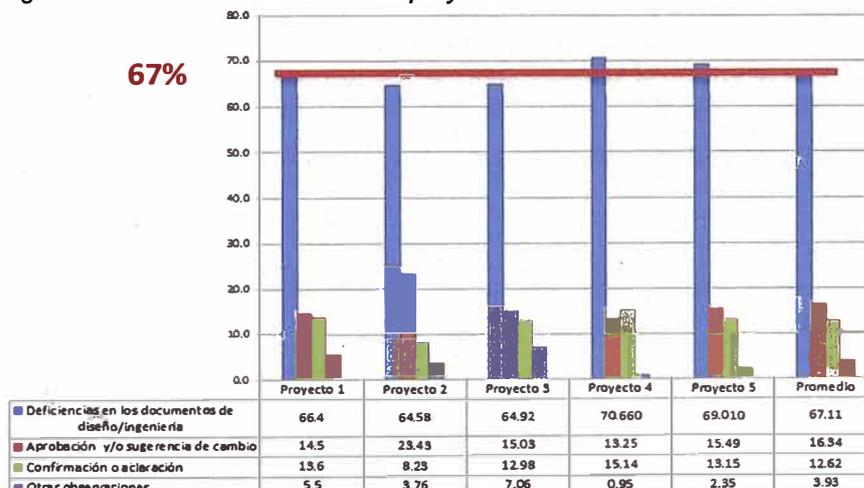
Tabla 1 Media de porcentajes de 5 proyectos

	Porcentaje (%)
Deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería	67.11
Aprobación y/o sugerencia de cambio	16.34
Confirmación o aclaración	12.62
Otras observaciones	3.93
TOTAL	100%

Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM", 2013

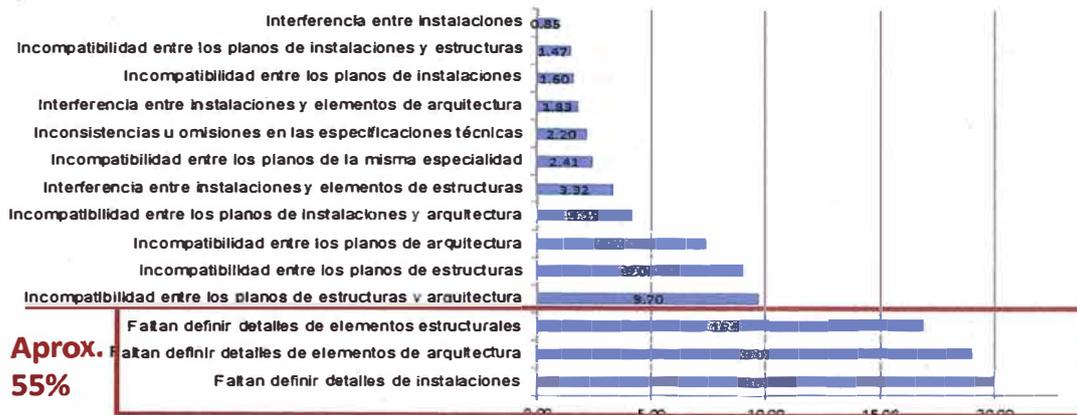
Clasificación de RFIs por proyecto y tipo de consulta.

Fig. 12 Estudio de deficiencias en 5 proyectos



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM", 2013

Fig. 13 Deficiencias de diseño más incidentes



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM", 2013

De las RFIs emitidas por indefiniciones del diseño, un promedio de 55% correspondían a la falta en la definición de detalles.

b) 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.

2.1.4 Causas de las deficiencias en los documentos contractuales

Las causas son:

- El método de diseño/licitación/construcción, donde los problemas principales son la poca interacción entre ambas etapas, diseño y construcción; y la poca interacción entre los demás especialistas encargados del proyecto

- Licitación con documentos de diseño incompletos debido a la premura de los clientes lo cual ocasiona 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.

Para mayor información revisar el Anexo 3, causas de las deficiencias en los documentos contractuales.

2.1.5 Influencia e impacto de las deficiencias de diseño en la etapa de construcción

Existen diversos estudios al respecto, siendo una de ellas 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). Para mayor información revisar el Anexo 4. Influencia e impacto de las deficiencias de diseño en la etapa de construcción.

2.2. EL VDC, VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION

2.2.1 Definición

El Diseño en construcción virtual (VDC), es una forma de trabajo desarrollada en EEUU que da más valor al cliente, mejora la eficiencia energética y que usa herramientas como el BIM, las reuniones ICE, mapeo de procesos entre otra herramientas.

Los beneficios obtenidos de acuerdo al CIFE en la aplicación son:

- Reducción del 62% en el uso de energía en los centro de datos
- Reducción del espacio necesario en 73%
- Mejoramiento del 300% en la eficiencia energética
- Reducción en el uso de Emails
- Reducción de 90% de esfuerzo para hacer el presupuesto
- 90% de reducción en tiempo de duración del proyecto
- 95% de reducción en retrabajos

- 20% de aumento de rendimiento en productividad

Fig. 14. Ejemplo de Sesión ICE



Fuente: CIFE – Stanford

2.2.2 Antecedentes

EEUU cuenta con mucha experiencia en la aplicación del VDC, uno de los ejemplos de aplicación de coordinación es la construcción de una línea adicional del Metro en Manhattan, donde se usó el VDC para coordinar la secuencia constructiva involucrando al departamento de bomberos, a las empresas de energía eléctrica, a la empresa de suministro de agua, etc. Tal que ingresen a hacer sus trabajos en el momento apropiado

Fig. 15 Modelo BIM de ampliación de metro de Manhattan



Fuente: Programa de certificación VDC-PERÚ

Proyectos estudiados : 20

Fuente : Universidad de Stanford

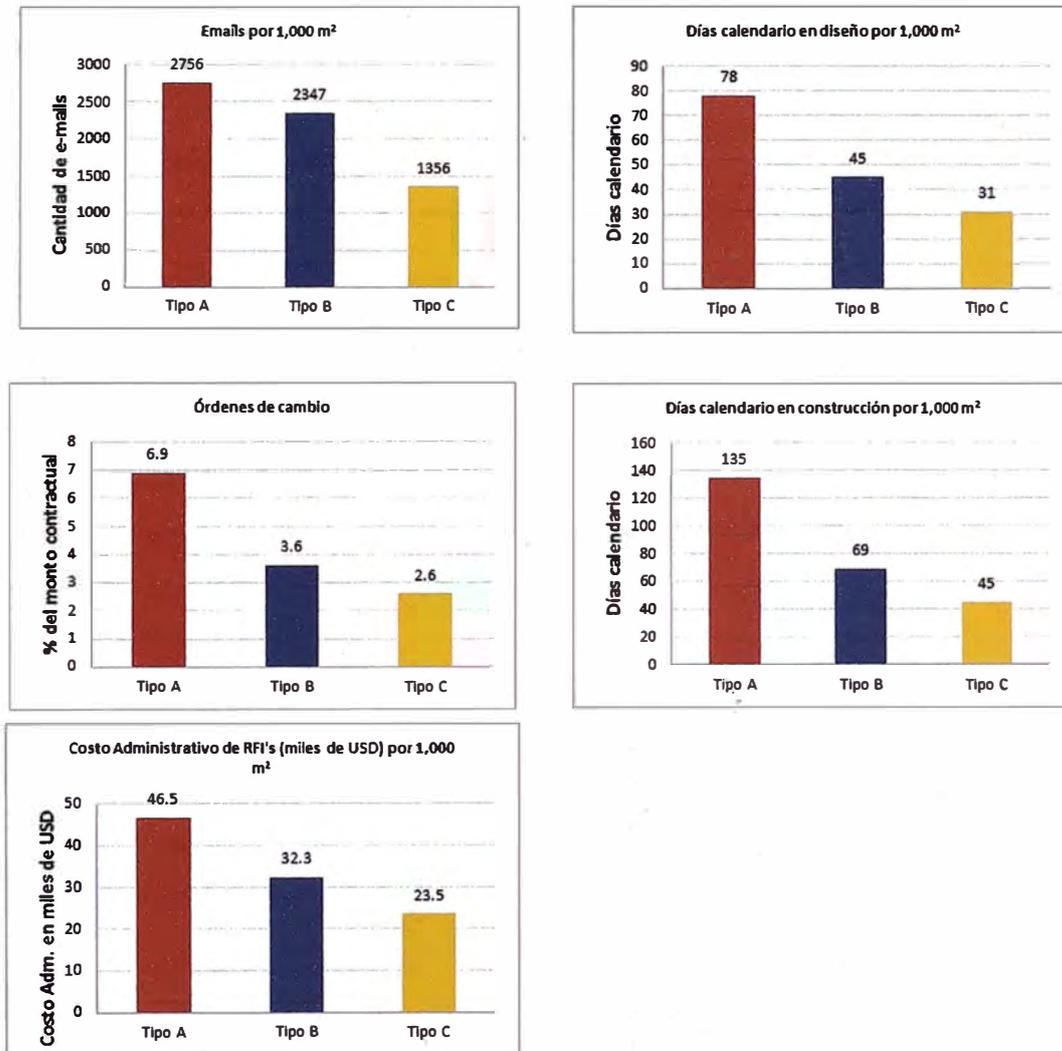
Unidad de normalización: m2

Tipo A: Con dibujos en 2 dimensiones y poca colaboración.

Tipo B: Edificio diseñado con BIM y alguna colaboración.

Tipo C: Todas las partes utilizando BIM, un alto nivel de colaboración y algo de co-ubicación.

Fig. 16 Gráfica de Resultados de Beneficios del VDC



Fuente: CIFE – Stanford

Se demostró que:

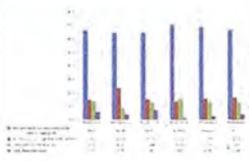
Los proyectos Tipo C obtuvieron mejores resultados económicos y de plazo que los proyectos Tipo A.

2.2.3 Las herramientas del VDC

El VDC es una forma de trabajo, usa herramientas como:

- BIM
- ICE
- MAPEO DE PROCESOS

Tabla 2 Pilares del VDC

GESTIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO A TRAVÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DIGITAL	GESTIÓN DE PROCESOS Y PRODUCCIÓN	GESTIÓN DE LA ORGANIZACIÓN E INTERACCIÓN DE EQUIPOS	GESTIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO POR OBJETIVOS
 <ul style="list-style-type: none"> - Modelo BIM - Detección de Interferencias <p><i>Fuente: Soporte BIM GyM</i></p>	 <ul style="list-style-type: none"> - Mapeo de procesos - Sistema de Last Planner 	 <ul style="list-style-type: none"> - Sesiones ICE - Rutina de Reuniones - Uso de iRooms 	 <p>Métricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - De resultado - De Procesos - Factores Controlables

➤ **El modelamiento de la información de la edificación (BIM)**

La explicación detallada se encuentra en el Ítem 2.3

➤ **Las reuniones ICE**

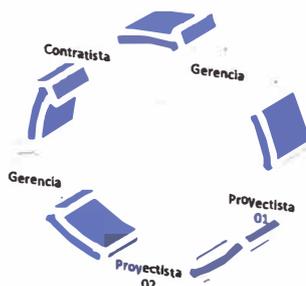
Flujo de información tradicional para resolver los problemas de diseño e ingeniería mediante el envío de Solicitudes de Información. Tradicionalmente las reuniones solo sirven para mostrar las observaciones y problemas de diseño, pero éstas no se resuelven.

Fig. 17 Ejemplo de Sesión ICE



Fuente: Soporte BIM GyM

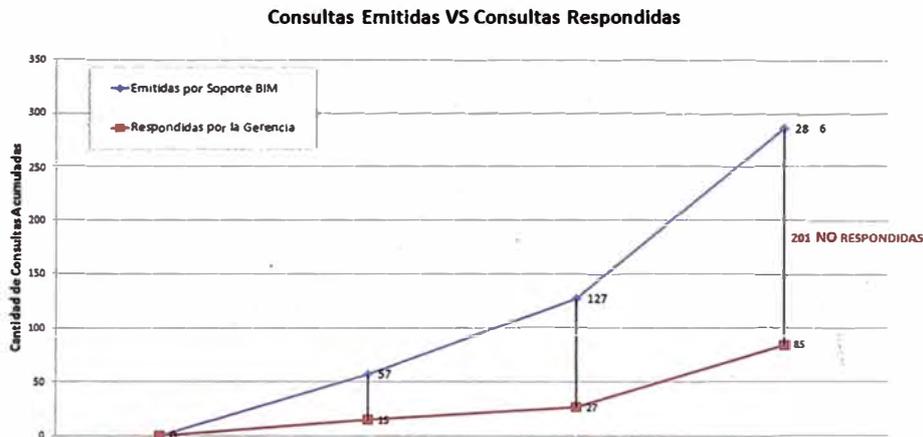
Fig. 18 Flujo de la información de un RFI



Fuente: Soporte BIM GyM

A continuación en la Fig. 24 Velocidad de respuesta de la gerencia de Proyectos se muestra el estudio desarrollado en el área de soporte BIM-GyM

Fig. 19 Velocidad de respuesta de la Gerencia de Proyectos



Fuente: Soporte BIM GyM

En cambio, en una reunión ICE se convoca a todos los involucrados en una misma sala y se diseña el proceso necesario para resolver las indefiniciones de diseño, logrando:

Evitar discusiones innecesarias y acciones de re-trabajo.

Mejorar la gestión del tiempo.

Un ambiente de trabajo más productivo y colaborativo.

Asegurar la reducción del tiempo de respuesta de las partes involucradas.

Tabla 3. Reducción del tiempo de respuesta a las consultas de ingeniería.

Práctica convencional	Semanas
Mejor práctica (convencional)	2 días
Sesiones de trabajo ICE	Minutos

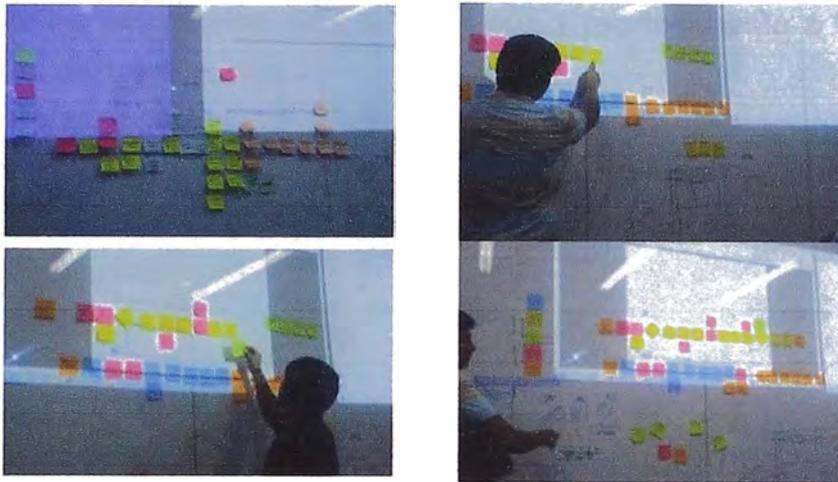
Fuente: CIFE – Stanford

➤ Mapeo de proceso

Permite identificar las actividades que conforman los procesos y definir el nivel y tiempo de intervención de los involucrados en cada uno de estos.

También ayuda a identificar las restricciones.

Fig. 20 Mapeo de procesos en un proyecto



Fuente: Soporte BIM GyM

2.3 MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)

2.3.1 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 0.1, 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.

Fig. 21 Modelo BIM y situación Real



Fuente: Obra Pacífico-Gym

2.3.2 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción

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).

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 0.4.

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.

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).

2.3.3 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 (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.

Sin duda el BIM tiene muchos beneficios adicionales por ejemplo como herramienta TIC para la construcción (revisar anexo 5, BIM como herramienta TIC para la construcción), o como la existencia de una sinergia entre BIM y LEAN que ha sido reconocida por el LCI (revisar anexo 6, La sinergia LEAN-BIM)

2.4 LAS REUNIONES ICE

El ICE (Integrated Concurrent Engineering) es un enfoque para el diseño conceptual y la construcción, usada en la década pasada por un número de organizaciones de ingeniería, principalmente en la industria de la nave espacial. La Universidad Stanford a través del CIFE (Center for Integrated facility Engineering), ha tomado como una de las herramientas principales del VDC (Virtual Design and Construction) a las reuniones ICE.

CAPITULO III: METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES

3.1 RESUMEN DE LA METODOLOGIA

En el presente capítulo se describirá la metodología para el control de incompatibilidades el cual consiste en la aplicación de una forma de trabajo fundamentada en el Virtual Design Construction, siendo el modelamiento BIM del edificio y las sesiones ICE las herramientas usadas para esta investigación.

3.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.2.1 Construcción virtual BIM-3D de la edificación

Consiste en la utilización de un software para la elaboración de modelos BIM , como por ejemplo, Revit Architecture, Revit Structure, Revit MEP, para luego compatibilizar las especialidades modeladas con el software Naviswork. Las plantillas de modelamientos y las técnicas de modelado se describen en el manual de estándares BIM, desarrollado por GyM.

i. Modelado BIM de estructuras con estándares

El modelo de estructuras considera los siguientes componentes estructurales:

- Cimientos (zapatas, sub zapatas, calzaduras, PIT de ascensor, cisternas, etc.)
- Columnas (rectangulares, circulares, columnas en T, etc.)
- Vigas (rectangulares, acarteladas, de sección variable, post-tensadas, etc.)
- Muros (Muros anclados, muros pantalla, placas, etc.)
- Acero (acero para vigas, columnas, placas, etc.)

Todos estos componentes estructurales serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo de estructuras servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, volúmenes de concreto, toneladas de acero, etc. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

ii. Modelado BIM de arquitectura con estándares

El modelo de Arquitectura considera los siguientes componentes arquitectónicos:

- Falsos Techos
- Muros Cortina (cualquier geometría de muros cortina, además sirve para hacer análisis de sombras y demás.)
- Tabiquería (según espesor, altura, tipo cortafuego, tipo normal, etc.)
- Pisos (tipos de enchape, espesor de contrapiso, etc.)
- Circulación Vertical (Ascensores, Escaleras, Plataformas)

Todos estos componentes arquitectónicos serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo de arquitectura servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, metros cuadrados de albañilería de un espesor determinado o tipo cortafuego o normal, metros cuadrados de tabiquería de drywall, metros cuadrados de dinteles, cantidad de puertas, metros cuadrados de muros cortina, área de falso cielos, metrado de barandas, enchapes, etc. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

iii. Modelado BIM de diseño de interiores con estándares

El modelo de Diseño de interiores considera los siguientes componentes:

- Acondicionamiento Acústico
- Aislamiento Acústico
- Equipamiento de Cocina
- Evacuación y Señalización
- Iluminación Interior
- Mobiliario

Todos estos componentes de diseño de interiores serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo de diseño de interiores servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, metrado de marcos de madera para ventanas, metrado de mobiliarios. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

iv. Modelado BIM de instalaciones con estándares

a) instalaciones mecánicas

El modelo de Mecánica considera los siguientes componentes:

- Aire Acondicionado - Suministro
- Aire Acondicionado - Retorno
- Aire Acondicionado - Escape
- Equipos Mecánicos
- Sistema de Extracción – Monóxido

Todos estos componentes de diseño de interiores serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo Mecánico servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, metrado ductería de monóxido, ductería de inyección de aire, metrado de tuberías de agua helada, metrado de tuberías de agua de condensación, etc.

Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

b) Instalaciones de agua contraincendios

El modelo de agua contraincendios considera los siguientes componentes:

- Agua
- Químico

Todos estos componentes de diseño de interiores serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo de agua contraincendios servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, metrados por diámetro de tuberías, cantidad de rociadores por tipo, cantidad de gabinetes contraincendio, etc. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

c) Instalaciones eléctricas

El modelo de Instalaciones eléctricas considera los siguientes componentes:

- Alto Voltaje
- Electricidad
- Iluminación
- Tierra

Todos estos componentes de diseño de interiores serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo Instalaciones eléctricas servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, metrados de tableros, metrado de cables, metrado de bandejas, etc. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

d) Instalaciones sanitarias

El modelo de Instalaciones sanitarias considera los siguientes componentes:

- Agua Caliente
- Agua Fría
- Desagüe
- Ventilación

Todos estos componentes de diseño de interiores serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo Instalaciones sanitarias servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, cantidad de inodoros, cantidad de urinarios, metrado de tuberías de PVC, etc. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

e) Cableado estructurado

El modelo de Instalaciones sanitarias considera los siguientes componentes:

- Automatización
- Cableado Estructurado
- Comunicaciones
- Control de Accesos
- Circuito Cerrado de Televisión
- Detección y Alarma Contra Incendios
- Fibra Óptica
- Intercomunicación
- Teléfono

Todos estos componentes de diseño de interiores serán modelados en función a las técnicas de moldeamiento descritos en el manual de estándares BIM.

Finalmente el modelo cableado estructurado servirá para extraer reportes de metrados como por ejemplo, metrado de cables de comunicación, metrado de teléfonos, cámaras, etc. Así mismo para extraer planos de planta y corte útiles para obra.

3.2.2 Procedimiento para detectar deficiencias de diseño

a) Detección y clasificación de incompatibilidad

La Resolución de incompatibilidades del tipo Interferencias es utilizada durante el proceso de diseño para resolver posibles conflictos entre los diferentes sistemas y/o elementos de la edificación antes de la ejecución de la obra, reduciendo considerablemente tiempo y costos.

Esta herramienta puede ser usada para encontrar interferencias dentro del propio Modelo de la disciplina así como entre los diferentes Modelos.

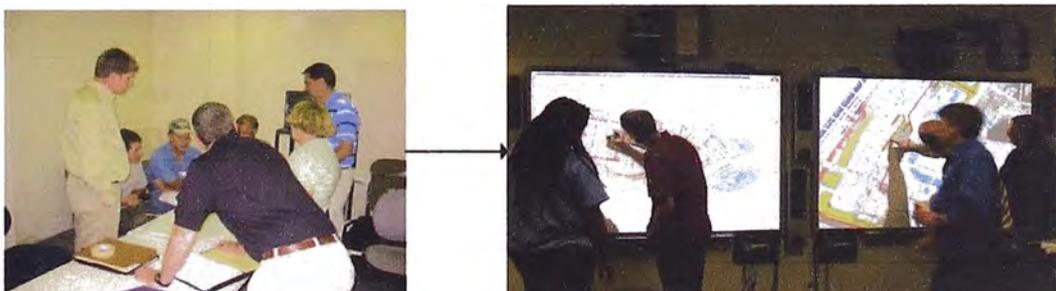
El uso de herramientas para la Resolución de Interferencias, ya sea dentro de Revit o mediante el uso de NavisWorks tendrá 3 posibles resultados dentro de la práctica BIM de:

- Sin Interferencia: Este será el escenario perfecto
- Interferencia Leve : por ejemplo conductos atravesando un muro de drywall.
- Interferencia Crítica: Columnas estructurales atravesando un equipo mecánico.

b) Sesiones ICE con Projectistas

En el Modelamiento del edificio, se presentaran incompatibilidades que deberán ser resueltas a través de sesiones ICE, pasando de un esquema tradicional de reuniones que consisten en de explicar y reportar a un modelo colaborativo y productivo de reuniones, donde se solucionan las incompatibilidades.

Fig. 22 Reunión Tradicional y reunión con ICE



Fuente: CIFE – Stanford

3.2.3 Implementación de herramientas del VDC en obra

Se podrán implementar el modelo BIM, las reuniones ICE, el mapeo de procesos, las métricas entre otras, sin embargo para el control de las incompatibilidades usaremos el modelo BIM y las sesiones ICE.

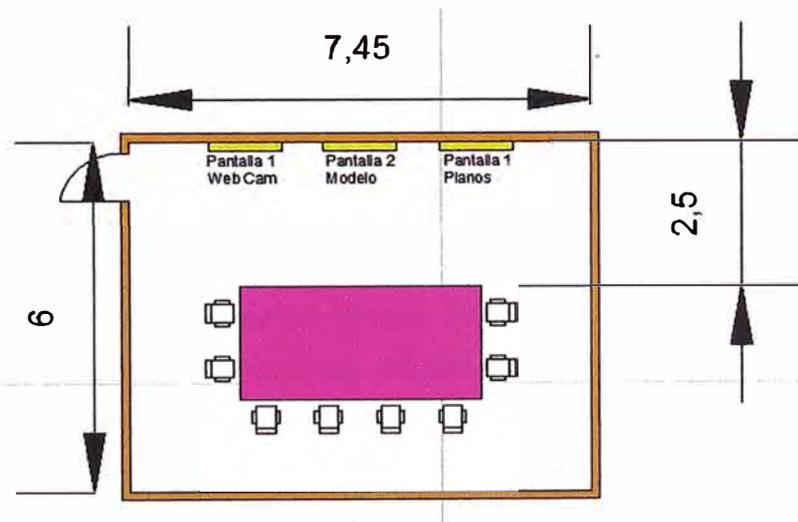
i. Entrega e implementación del modelo BIM en obra

Una vez desarrollado el modelo BIM, éste pasara a obra para su implementación, tal que existirá un responsable del modelo BIM en obra para el control de las incompatibilidades así como la retroalimentación al mismo. El modelo BIM estar disponible para todas las especialidades así como las áreas involucradas en la ejecución de la obra (Oficina técnica, Oficinas de producción, Oficina de Instalaciones). El responsable del modelo BIM en obra será a su vez el moderador de las sesiones ICE pactadas con las distintas áreas, las sub-contratas especializadas existentes así como los proyectistas involucrados.

ii. Implementación de la metodología de las reuniones ICE en obra

En obra el uso de iRooms o salas especializadas es necesario para promover el trabajo en equipo y la interacción dinámica entre los participantes. A continuación en la Fig. 23 se muestra la gráfica que esquematiza una sala IROOM, donde se observan las dimensiones adecuadas de la sala así como la distribución de las butacas. En la Fig 24. se muestra una vista en 3D de una sesión explicativa ICE, son 3 pantallas y los involucrados.

Fig. 23 Sala IROOM propuesta



Fuente: Obra Real 8

Fig. 24 Vista en 3D de una sesión explicativa ICE.



Fuente: CIFE – Stanford

Fig. 25 Reunión ICE en obra en la empresa DPR de EEUU



Fuente: CIFE – Stanford

iii. Control de incompatibilidades en obra

El control de incompatibilidades se fundamenta en detectarlas a tiempo para solucionarlas, retroalimentando al modelo BIM, donde se construye virtualmente el edificio. Finalmente lo construido virtualmente libre de incompatibilidades se podrá reflejar en la realidad.

Fig. 26 Imagen Virtual y Real –DPR-EEUU



Fuente: CIFE – Stanford



a) Modelamiento en bim-4d para la simulación

El proceso de simulación nos ayuda a ver el proceso constructivo o de montaje de instalaciones. En la Fig 27. se observa la simulación del proceso constructivo del casco estructural, donde se observa movimiento de torres grúas para cargas de prelosas, acero. También se observa brazo hormigonador

Fig. 27 Simulación del proceso constructivo



Fuente: Obra Pacífico-GyM

La simulación de procesos constructivos es bien conocida y la desarrollada en anteriores investigaciones. La aplicación de la simulación para el montaje o llegada de equipos como chillers o grupos electrógenos ayuda a visualizar cualquier imprevisto y tomar las acciones preventivas.

iv. Implementaciones adicionales

a) Calculo de concreto

Cuando se trabaja con Modelos de Estructuras los siguientes Materiales han sido definidos bajo Concreto y son los únicos que deberán de ser usados para correctamente calcular volúmenes de material.

- GyM - Concreto 80Kg/cm²,
- GyM - Concreto 100Kg/cm²
- GyM - Concreto 140Kg/cm²
- GyM - Concreto 175Kg/cm²
- GyM - Concreto 210Kg/cm²
- GyM - Concreto 245Kg/cm²
- GyM - Concreto 280Kg/cm²
- GyM - Concreto 315Kg/cm²
- GyM - Concreto 350Kg/cm²

b) Cálculo de encofrado

El cálculo de Encofrados se realizara por intermedio de una herramienta de Revit llamada "paint", la cual permite aplicar "pintura" a las diferentes superficies de los elementos y de esta manera calcular su área de manera automática.

Los siguientes elementos del Modelo podrán hacer uso de esta herramienta:

- GyM - Encofrado de Columnas
- GyM - Encofrado de Fondos de Vigas
- GyM - Encofrado de Costados de Vigas
- GyM - Encofrado de Fondos de Losas
- GyM - Encofrado de Costados de Losas
- GyM - Encofrado de Muros y/o Placas
- GyM - Encofrado de Fondos de Escaleras
- GyM - Encofrado de Costados de Escaleras
- GyM - Encofrado de Pasos de Escaleras
- GyM - Encofrados Especiales

Tabla 4 Colores predeterminados

ESQUEMA DE COLORES		
TIPO	RGB	COLOR
Encofrado de Columnas	255-000-000	
Encofrado de Costados de Escaleras	128-128-255	
Encofrado de Costados de Losas	000-000-255	
Encofrado de Costados de Vigas	000-255-000	
Encofrado de Fondos de Escaleras	255-128-64	
Encofrado de Fondos de Losas	000-255-255	
Encofrado de Fondos de Vigas	255-255-000	
Encofrado de Muros y/o Placas	255-000-255	
Encofrado de Pasos de Escaleras	255-128-255	
Encofrado de Especiales	128-000-255	

Fuente: Soporte BIM-GyM

c) Cálculo de tabiquería

Quizá una de las mejores aplicaciones del BIM, sobre todo el modelo de arquitectura, es el metrado de albañilería. La gestión de materiales cuando no se subcontrata ésta partida, resulta ser muy laboriosa. El Uso del modelo BIM para la gestión de los materiales y el avance de esta partida es muy útil. Con el modelo BIM podemos calcular los metros cuadros de tabiquería de albañilería diferenciando el metrado por espesor de tabique, por la altura y por tipo de seguridad (Normal o cortafuego), si será solaqueado en ambas caras o en una sola, etc. La llegada de los materiales debe ser basada en el precio de Just In Time para no generar costos de almacenaje y problemas de espacio, justamente el resultado que nos arroja el modelo BIM es tan rápido para poder tomar acción en la cantidad de materiales a traer, por ejemplo número de ladrillos, numero de parihuelas y número de camiones por día; de igual manera para la llegada de mortero en bolsa, concreto en bolsa o si fuera el caso de arena para el solaqueo.

CAPITULO IV: CASO APLICATIVO EN EL EDIFICIO REAL 8

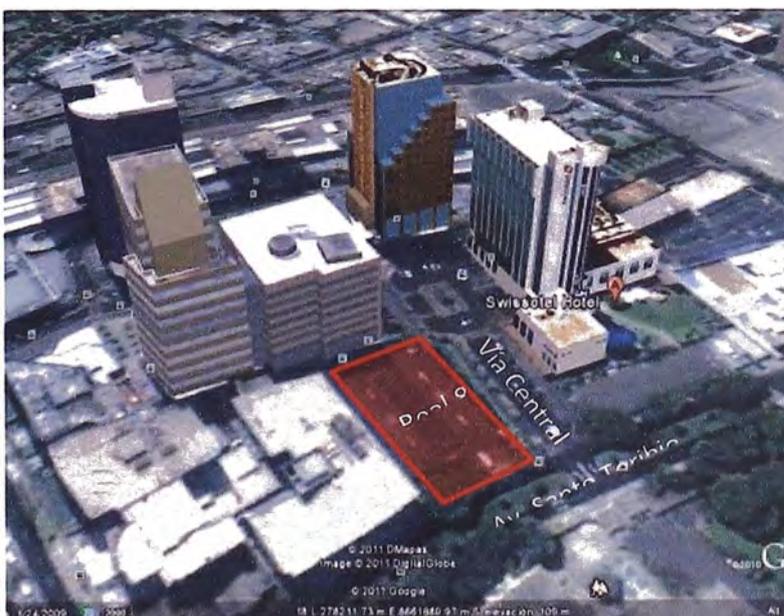
4.1 AREA DE ESTUDIO

La experiencia del BIM en el primer proyecto demostrativo de GyM S.A. el Edificio Educativo Universidad del Pacífico ubicado en el distrito de Jesús María, Lima sirvió de base para implementación de los estándares de modelamiento que finalmente dio lugar en el 2012 al manual de estándares BIM, a través de la empresa norteamericana Microdesk. El mismo Año, Stanford University a través del CIFE, introducen los conceptos del VDC en el país, siendo GyM una de las empresas que introduce dichos conceptos en algunas obras.

El edificio Real 8, ubicado en el Centro Empresarial de San Isidro Esquina de AV. Santo Toribio con Calle Vía Central, Lima, es uno de las primeras obras en el país que hace uso de las herramientas del VDC, particularmente el Modelo BIM y las reuniones ICE. Se considera al modelo BIM del edificio Real 8, el primer modelo desarrollado en base al manual de estándares y aquel que contiene el modelo de todas las especialidades del proyecto.

Se utilizarán las herramientas del VDC para hacer el control de las incompatibilidades en la etapa de proyecto y en la etapa de construcción, recordando que es una adaptación al medio local, cuya característica relevante son los proyectos Fast Track y el desarrollo de planos en 2D tradicionales por parte de los proyectistas que aún no han implementado del todo el uso de los modelos BIM para el desarrollo de sus proyectos.

Fig. 28 Ubicación



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 35. se muestra la imagen de terreno donde está El edificio Real 8, anteriormente era usado como patio de estacionamiento de vehículos, el terreno está ubicado dentro del área del centro empresarial de san Isidro y en vecindad con el Swiss Hotel.

4.2 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO Y LA DECISION DE USAR LA FORMA DE TRABAJO DEL VDC

El proyecto en estudio es un edificio para oficinas Premium que contara con 16 pisos de los cuales 14 serán de oficinas, dos locales comerciales en la primera planta y 5 sótanos de estacionamientos. El edificio Real 8 está dentro Centro Empresarial Real el cual está conformado por varios edificios de oficinas, un hotel (Swissotel), un edificio de estacionamientos y un club empresarial.

Fig. 29 Render del edificio Real 8, exportado desde programa Revit 2014



Fuente: Obra Real 8-GyM

➤ **Generalidades del Proyecto**

- **Cliente** : Inversiones Centenario SAA.
Viva GyM S.A.
- **Supervisor** : Gallegos, Casabonne, Arango,
Quesada
S.A.C./G.C.A.Q
- **Residente** : Maykol Ñahuis Castañeda



Descripción:

El Proyecto "Torre Real 8" es la construcción de un edificio de 16 pisos y 5 sótanos (Área Techada 31,060m²)

➤ **Datos básicos del contrato**

- **Tipo de contrato** : Suma alzada
- **Monto de la Obra** : S/. 59'641,187.05 (Sin IGV)
- **Plazo** : 24 meses calendario
- **Forma de Pago** : Adelanto (40%) más valorizaciones mensuales
- **Seguros** : CAR y regulares de GyM
- **Fianzas** : Fiel cumplimiento (10%-S/ 4'883,079.16)
Adelanto (20%-S/8'080,979,48)
Adelanto por ascensores (S/ 743,069.60)
Adelanto por climatización (S/ 1'244883.58)
Fondo de garantía mensual (5%-retenido)

➤ **Proyectistas**

- **Arquitectura** : HUNERWADEL ARQUITECTOS
- **Estructuras** : Antonio Blanco Blasco
- **IISS** : Augusto Valdivia EIRL
- **IIMM** : Proterm Perú SAC

Como se podrá observar el esquema de contrato es a suma alzada en la cual se cerró considerando los adicionales por incompatibilidades cerradas a una fecha y en adelante bajo la responsabilidad del contratista estarán las incompatibilidades no detectadas así como el costo que esto implica.

Los edificios de oficinas tienen las características de poseer acabados de primer nivel, así como instalaciones complejas como la instalación mecánica, la instalación de agua contra incendios, instalaciones eléctricas, instalaciones de cableado estructurado, entre otras.

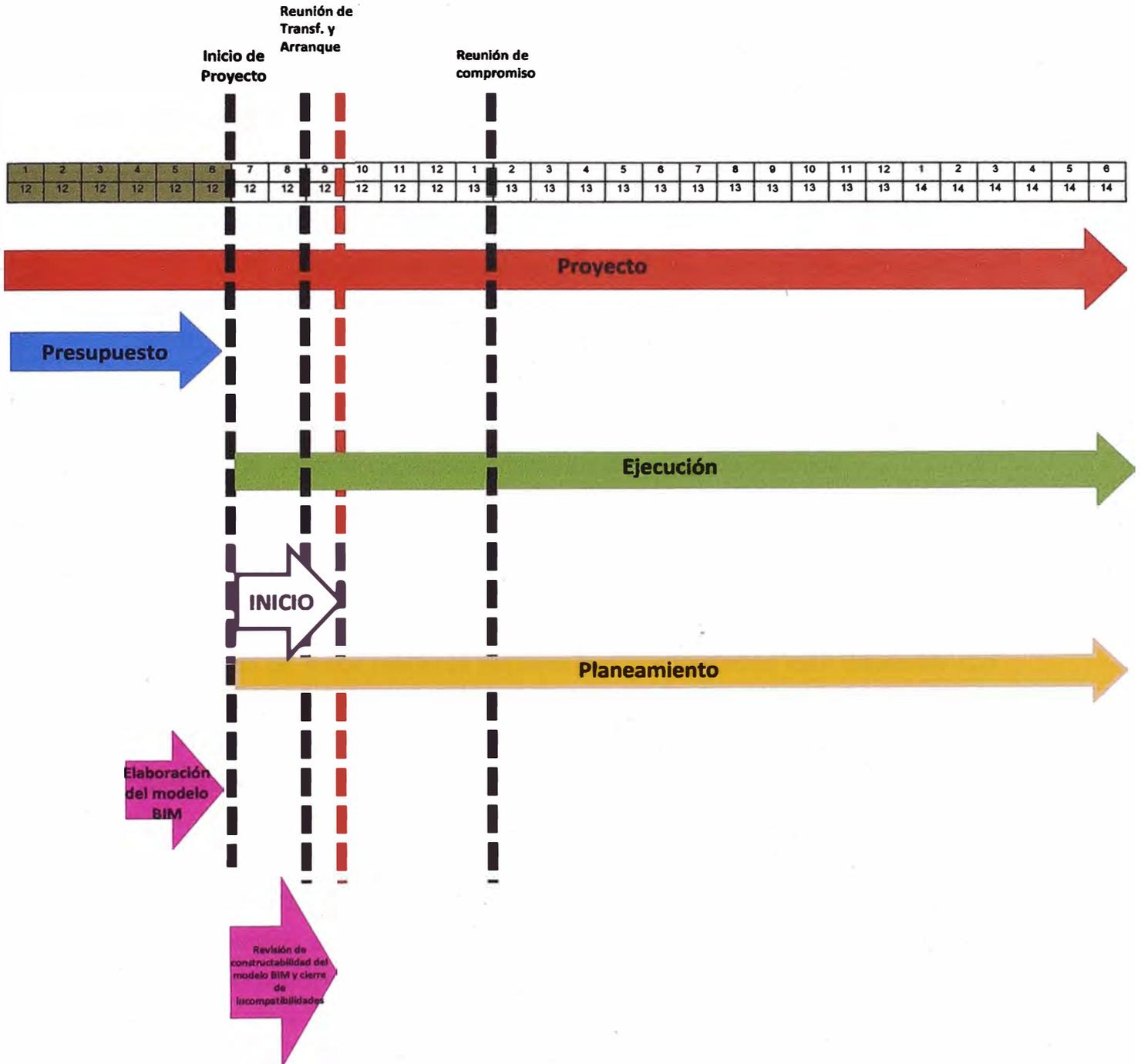
El proyecto consta de un plazo ajustado de 24 meses, lo cual motivó que desde las fases iniciales de planeamiento del proyecto, se propusieran mejoras e innovaciones a los procesos tradicionales de construcción, basándose en un planeamiento orientado al uso de equipos que permitan usar masivamente elementos prefabricados y pre-armados, dando mayor celeridad a los procesos de construcción y disminuyendo la variabilidad inducida por las características del proyecto ya mencionadas. Se usaron equipos como 2 torres grúa, 2 excavadoras, la faja inclinada para movimiento de tierra.

Se tuvieron inconvenientes para el arranque de la obra a nivel gerencia de 6 meses aproximadamente, la cual fue aprovechada por la gerencia técnica de GyM para planear la elaboración del modelo BIM de este edificio dada su complejidad. Fueron 3 meses de arduo trabajo en todas las especialidades, tomando en cuenta al manual de estándares BIM, desarrollado previamente.

Luego de la llegada a obra del modelo BIM, a nivel contractual se dispuso de 3 meses adicionales para detectar todas las incompatibilidades posibles para cerrar el llamado adicional por incompatibilidades. En estos se evaluaron procedimientos constructivos y de instalación utilizando el modelo y retroalimentándolo con los cambios previstos en el proceso de análisis, dando inicio la implementación del modelo a nivel de subcontratas

4.2.1 Esquema de desarrollo del modelo:

Fig. 30 Etapas del proyecto y desarrollo del modelo



Fuente: Obra Real 8-GyM

4.2.2 Criterios 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 pre armados, 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. En ese mismo tiempo GyM

venia Introduciendo los conceptos del VDC (Virtual Design Construction) a sus proyectos producto de la capacitación que recibida por parte de Stanford University a través del CIFE (Center for Integrated Facility Engineering)

4.2.3 Alcances del modelado en BIM

Antes de la etapa de construcción del Edificio Real 8, ya se disponía del modelo BIM del edificio, el cual fue elaborado por el área de Soporte BIM de GyM en la oficina Principal y el cual está elaborado en función del manual de estándares BIM.

El modelo BIM del edificio comprende los modelos de Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Mecánicas, Instalaciones eléctricas, Instalaciones de Agua Contraincendios, Instalaciones Sanitarias, Cableado estructurado y Diseño de interiores. El software a usarse para estos modelamientos comprende los programas Revit 2014, y Naviswork 2014.

4.3 CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES EN LA ETAPA DE DISEÑO DEL EDIFICIO REAL 8

El área de soporte BIM, luego de la implementación de los estándares BIM realizada por la empresa norteamericana Microdesk, decidió implementar el uso del modelo BIM para el Edificio Real 8, empezando a modelarlo a partir de los planos entregados por los proyectistas, dándoles una retroalimentación a los mismos. Esta forma de trabajo es una imitación similar a la forma de trabajo desarrollada en países como EEUU (en algunos de sus estados), donde el diseño de un proyecto se hace en función al modelo BIM y es partir de éste modelo donde se extraen los planos para la obra. En el medio actual se tiene aún la limitación que los proyectista no desarrollan sus proyectos con BIM y si lo hacen tampoco están realizada en función a estándares que nos permiten la comunicación entre empresas relacionadas al proyecto.

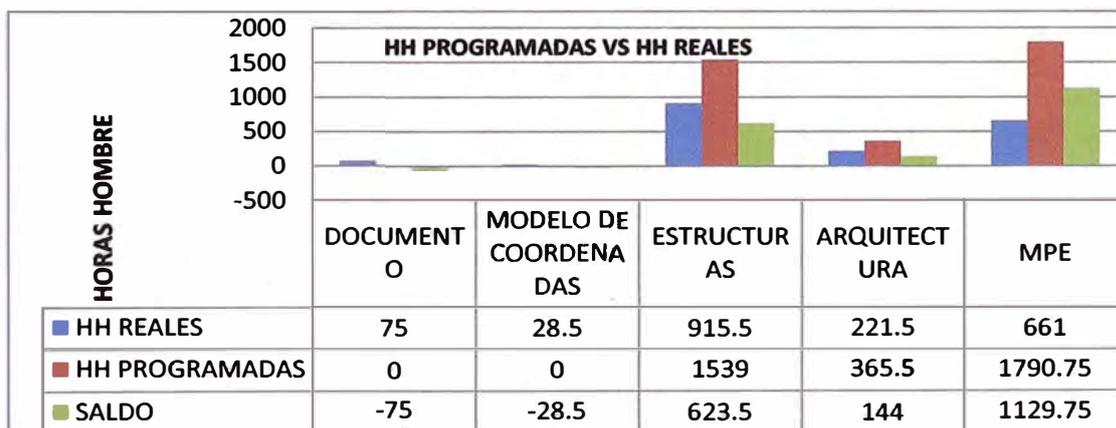
El control de incompatibilidades empieza con el modelamiento virtual del edificio a través de los softwares BIM tales como Revit y Naviswork principalmente. Luego se hace un control de las incompatibilidades por conflictos y discrepancias en los documentos contractuales (planos, contrato, especificaciones, memoria etc.) y un control de las incompatibilidades por interferencias o errores de coordinación interdisciplinaria haciendo uso del Clash Detective.

4.3.1 Elaboración del modelo BIM del Edificio Real 8

El modelo BIM del proyecto Edificio Real 8, fue desarrollado en las tres especialidades como son Arquitectura, Estructuras y MEP (mecánica, eléctrica y plomería), donde se planeó el consumo de HH por cada especialidad, éste planeamiento consiste en un análisis detallado del trabajo colaborativo que nos brinda el software REVIT , donde 2 o más modeladores pueden trabajar en simultaneo para desarrollar el mismo modelo, sincronizando su trabajo para complementarlo con el trabajo de los otros modeladores. Para este análisis se asignan frentes de trabajo para cada modelador tal que se realice un trabajo colaborativo ordenando y minimizando las pérdidas de tiempo en modelar. Sin embargo en la modelación de las instalaciones, es más complicado asignar frentes de trabajo, a veces resulta más conveniente que un solo modelador termine con una disciplina debida completa.

En el siguiente cuadro podremos observar las HH programadas por cada especialidad, estructuras, arquitectura e instalaciones mecánicas, eléctricas y plomería: podemos observar que el mayor consumo de HH para la elaboración del modelo, es el referente al modelo de instalaciones MEP, esto debido a su complejidad; el modelo de estructuras del edificio Real 8 considera Acero, razón por la cual su consumo de HH se elevó; el modelo de arquitectura considera el modelado de tabiquería, muro cortina, puertas, enchape entre otros.

Fig. 31 Gráfica de control, horas programadas y consumidas



Fuente: Obra Real 8-GyM

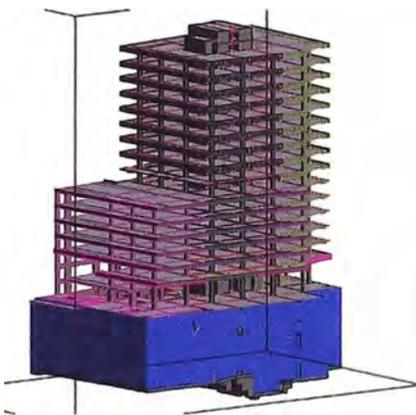
En el área de soporte BIM, se realizó un control adicional de las horas consumidas por los modeladores de cada especialidad, en los modelos de arquitectura ocurrieron casi nada de retrabajos en producto final, mientras que en estructuras y MEP, el retrabajo fue mayor, esto se puede observar en las gráficas del anexo 1:

i. Modelo de Estructuras

El modelo de estructuras consideró las cimentaciones y la superestructura, donde se modelaron muros pantalla, calzaduras, zapatas, falsas zapatas, el PIT del ascensor, cimientos corridos, vigas, columnas, losas, placas. Se analizaron partidas para metrados incidentes como Concreto, Acero y encofrado, resumiéndose en lo siguiente:

En la Fig. 32 Se observa el modelo de estructuras dividido en 4 frentes de trabajo del modelo, un modelador que se encarga de los sótanos y los otros 3 que se distribuyen la superestructura en 3 sectores horizontales desde el piso 1 al piso 16. La distribución del trabajo para cada modelador tiene que ser vertical (es decir partir el trabajo como si fuera una torta) para evitar errores de modelamiento de los elementos horizontales

Fig. 32 Sectorización de modelado



Fuente: Obra Real 8-GyM

a) Concreto:

A los elementos modelados se le agregaron datos como el tipo de concreto, con la finalidad de obtener un volumen de consumo por tipo de concreto en todo el casco estructural. Estos datos son útiles para hacer un comparativo con lo indicado en el presupuesto oferta, sin embargo su aplicación en Obra es muy limitada para el pedido de concreto a la empresa concretera debido a que la sectorización de vaciado requiere cortes al tercio, y conseguir estos cortes en el modelo son laboriosos consumiendo muchas horas en el modelamiento, a esto hay que considerar que la sectorización de vaciado es dinámica y presenta geometrías complicadas para el modelo BIM. Una retroalimentación por cambio de sectorización, consume varias horas de modelamiento que en realidad no ayudan mucho ya que se puede conseguir fácilmente con el cálculo tradicional. A

pesar de todo esto, las plantillas elaboradas para el cálculo de concreto ayudan mucho cuando se trata de hacer estimaciones de concreto por niveles, es decir cantidad de concreto por piso, o cuando queremos saber el volumen total de vigas, columnas, placas, de cimientos, etc. Si profundizamos en el análisis podemos obtener el volumen de concreto por piso y además por tipo de elemento (viga, columna, placa, etc), haciendo un desglose por tipo de concreto y obteniendo un consumo total por nivel.

Una de las mejores aplicaciones resulta estar en muros anclados donde la representación geométrica en el modelo resulta ser apropiada y ayuda mucho, en estecaso, a realizar los pedidos de concreto, y al control del desperdicio a cual es conocida y siendo por lo general el 30%. Representar al muro anclado en rectángulos con cierto espesor, nos ayuda a elaborar una tabla, extraída del modelo, con los consumos de concreto por código de anillo de excavación de acuerdo al tren de muros anclados.

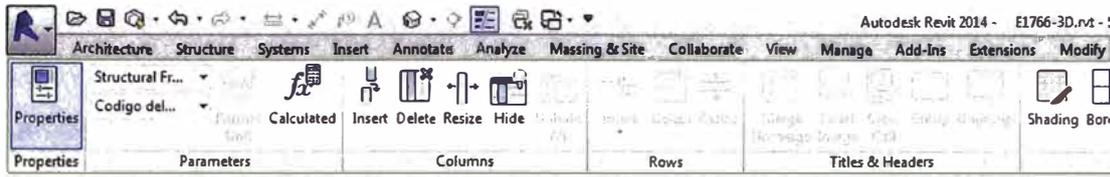
En la tabla 5, podemos visualizar el cuadro extraído del modelo BIM, donde se está calculando el volumen de concreto en vigas por nivel (techo, Nivel 16, Nivel 15, etc.) considerando su sección (por ejemplo la viga V-45 es de 120cm x 50cm), estas vigas son de concreto 350 kg/cm², el software calcula el volumen de cada viga para finalmente obtener el volumen total de concreto por nivel. Una de las mayores ventajas de estas tablas es que se actualizan constantemente al variar las dimensiones o realizar alguna otra modificación en el modelo, esto es una gran ayuda debido a que no requerimos realizar ningún cálculo para obtener el resultado de volumen total. Desde el modelo además podemos presentar los datos como más queramos, es decir obtener por ejemplo el volumen de solo columnas por nivel, de solo placas por nivel o una combinación de ambas, sin embargo la sectorización de vaciado aún sigue siendo una de las limitaciones más importantes para obtener un mejor uso del modelo en el cálculo de concreto, por ahora su uso aun es limitado. En la Tabla 5 se observa en el cuadro adjunto el tipo de concreto y el volumen para cada viga, además del nivel donde se encuentran, las dimensiones de la sección y el código de la viga. Se observa también el volumen total de las vigas por cada nivel.

b) Acero:

Este modelo también incluye el modelado de acero donde se consideró, el diámetro, longitud de la varilla y los empalmes según especificación técnica. Fue la primera vez que se modelo acero, haciendo uso de una extensión en el

programa, se maximizó su modelado, fueron casi 400 Horas de modelamiento consumidas, sin embargo se desconocida su aplicación y sus beneficios en obra.

Tabla 5 Reporte de metrado de concreto



Autodesk Revit 2014 - E1766-3D.rvt - :
Architecture Structure Systems Insert Annotate Analyze Massing & Site Collaborate View Manage Add-Ins Extensions Modify

Properties Structural Fr...
Codigo del... Calculated Insert Delete Resize Hide
Properties Parameters Columns Rows Titles & Headers Shading Bon

Modify Schedule/Quantities

<VOLUMEN DE CONCRETO - VIGAS>				
A	B	C	D	E
Codigo del Ele	TIPO	Reference Level	CONCRETO	VOLUMEN
V-46 POST	120cm x 50cm	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	6.36 m³
V-46 POST	120cm x 50cm	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	5.41 m³
V-17 POST	120cm x 50cm	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	6.63 m³
V-48	V. Irregular	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	0.42 m³
V-48 POST	V. Ima.	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	1.37 m³
V-39	Vig. Irregular	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	0.97 m³
V-50	Vig. Irreg.	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	0.54 m³
V-52	Vig Irreg	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	0.65 m³
V-48 POST	Viga postensada irregular	Nivel -53.60 (Techo)	Gyl1 - Concreto 350Kg/cm³	2.77 m³
Nivel -53.60 (Techo): 9				25.12 m³

Fuente: Obra Real 8-GyM

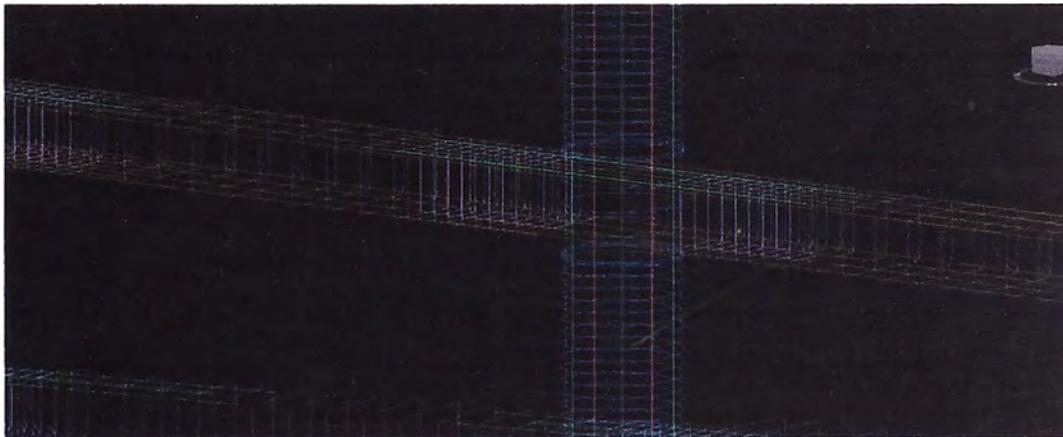
El principal problema encontrado en obra, es la retroalimentación al modelo, debido a las consideraciones estructurales encontradas en el proyecto, habian consultas de refuerzos faltantes o dudas de dibujo aclaradas durante el proceso constructivo, además de las incompatibilidades de constructabilidad; todos esto problemas son muy dinámicos y la actualización del modelo no puede ir a la misma velocidad que los cambio indicados haciendo que el modelado de acero sirva muy poco para obra, salvo para estimaciones grandes de consumo de acero.

Sin embargo, la aplicación del modelamiento de acero resulta ser muy práctica para los muros anclados, donde si podemos hacer estimaciones precisas de consumo de acero en todos los muros anclados, esto se debe a que la geometría de los muros anclados es casi constante, haciendo que las actualizaciones en el modelo sea rápidas y vayan a la misma velocidad de los cambios de ingeniería. Una de las aplicaciones en obra fue precisamente lo indicado, donde se modelo el muros anclado, que en su mayoría resulto ser rectangular, de geometrías similares, a esto se adicionó el modelamiento de acero con los empalmes típicos, la doble malla, los estribos, los refuerzos por tensores de anclaje y los espaciamientos de acuerdo a lo indicado por el proyecto; esto nos permitió extraer datos rápidamente del modelo para obtener el consumo de concreto, acero y encofrado por cada muro anclado; sabiendo

que por día aproximadamente se vaciaban 4 muros anclados entonces podemos estimar el consumo los recursos indicados rápidamente para el día siguiente, agregándoles obviamente el desperdicio correspondiente. Esto nos permite hacer un control mucho más práctico, incluso marcando de colores los muros anclados que ya fueron ejecutados y estimando el consumo acumulado de acero, concreto y encofrado.

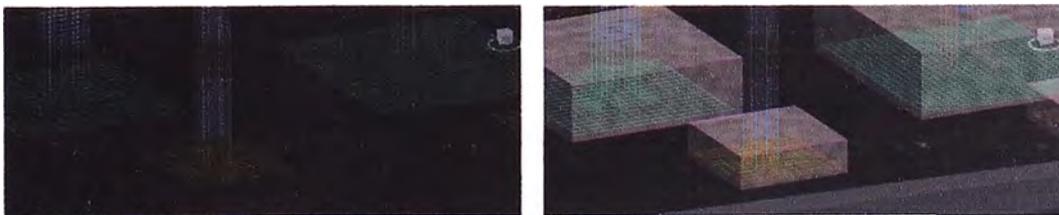
Lamentablemente cuando la geometría de los elementos es muy variable (vigas de varias secciones, columnas de varias secciones, etc.) entonces la retroalimentación al modelo resulta ser muy tediosa consumiéndose muchas horas en actualizar el modelo ante un cambio, resultando a su vez más práctico una estimación manual del consumo de acero. En la Fig. 33 se observa distribución de estribos. Las varillas están representadas por colores, por ejemplo las varillas de 3/8" correspondiente a estribos esta color morado.

Fig. 34 Se observa modelamiento del encuentro de las columnas con la zapata.



Fuente: Obra Real 8-GyM

Fig. 33 Modelamiento BIM de estribos, los diámetros por colores.



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig 34. Se observa el encuentro de las columnas con la zapata. En la figura de la izquierda podemos ver los refuerzos de colores, las cuales representan un diámetro en particular. En la figura de la derecha podemos visualizar la volumetría del concreto con la ubicación de la malla inferior de acero en las mismas, tratando de representar la forma más real de su instalación en obra. Generalmente en el presupuesto nos indica un consumo de acero, la cual es elaborado en una hoja de metrados que mayormente usa ratios y no se asemejan tanto a la realidad, el modelo BIM trata de representar lo más cercano posible a la realidad.

En el proyecto se tuvo un desperdicio considerable en el la varillas de 1 ¼" y eso fue porque no se analizó los cortes de esta varilla que por el diámetro que presentan generan un desperdicio incidente. Es recomendable que se use el modelo para simular los cortes de varillas con el capataz de acero o los ingenieros de producción.

c) Encofrado:

El análisis del encofrado haciendo uso del modelo, no fue analizado en esta oportunidad debido a sus limitaciones en el cálculo de metrados, por ahora resulta muy limitado, sin embargo el modelo introduce, la idea del cálculo de encofrado a través de los elementos de color.

ii. Modelo de Arquitectura

El modelamiento BIM de la arquitectura del proyecto consistió en modelar, muros cortina, marcos de madera para las ventanas traseras al muro cortina, acabados de falso cielo, tabiquería de albañilería, tabiquería de drywall, puertas, enchapes, modelo de luminarias, automóvil de mayor dimensión prevista, colores de pintura, cajuelas para luminarias, decorativos de muros cortina, piedra en fachadas, barandas.

Con el Naviswork se puede hacer un recorrido rápido de todos los frentes de la fachada del muro cortina con la finalidad de encontrar posibles incompatibilidades las cuales por lo general son con la estructura de concreto del edificio y los encuentros en esquina.

Fig. 35 Imagen Naviswork del Modelo de arquitectura y sus detalles

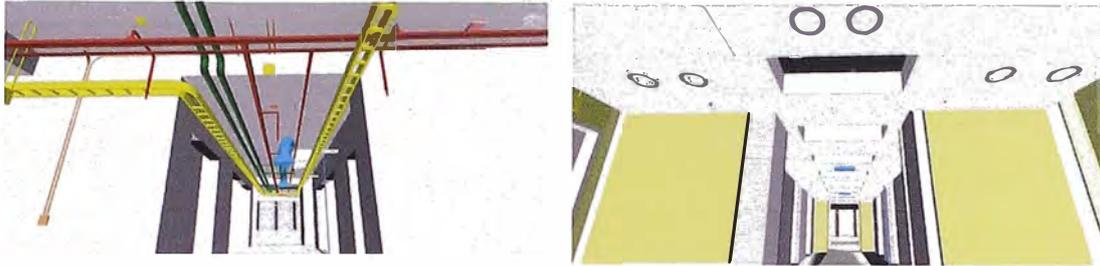


Fuente: Obra Real 8-GyM

En el frente de muros cortina, desarrollado por Miyasato, se realizó una coordinación de avance de producción que tenía que ser compatibilizado con el avance de instalación de Piedras y marcos de madera en las ventanas, desarrollado por la empresa Norcex y la empresa Artco, esto con la finalidad de no superponer actividades en un frente, para ello se usó el modelo para evaluar los frentes de ataque de cada subcontrata.

Una de las incompatibilidades encontradas fue la colisión de las instalaciones por encima del falso y la geometría de las cajuelas, para esto se movió bandejas, tuberías, ductos, rociadores, luminarias adecuadamente para evitar las colisiones. El producto final fueron los planos sin incompatibilidades que incluyen recorrido de bandejas eléctricas y de comunicaciones, ubicación de rociadores de acuerdo a normativa vigente, ubicación de equipos fancoil, ubicación de tapas de inspección para mantenimiento de equipos así como para cableado, ubicación de luminarias empotradas, ubicación de señalética, de sensores de humo, de luces estroboscópicas, de rejillas de suministro y retorno de aire acondicionado, y recorrido de tuberías por encima del falso cielo.

Fig. 36 Modelo de arquitectura en el hall de ascensores



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 36 se observa la Imagen Naviswork del modelo de arquitectura, a la izquierda se observa instalaciones por encima del falso cielo, y a la derecha el falso cielo con los detalles de arquitectura correspondientes.

En anteriores proyectos se tuvieron problemas con la compatibilización de espacio para estacionamientos, con lo cual se tuvieron que eliminar estacionamientos, esto a su vez impidió, en aquella oportunidad la licencia municipal por el número mínimo de estacionamientos requeridos. En ésta oportunidad se usó el modelo BIM para prever esas incompatibilidades, para ello se modeló un automóvil Hummer, la cual presenta las mayores dimensiones, respecto a un automóvil normal, con el cual se empezó a evaluar cada estacionamiento, encontrándose colisión con un ducto colector de monóxido de todos los sótanos, en referencia al cual se hubieran perdido varios estacionamientos en ese frente. La solución planteada fue biseccionar al ducto en dos, pero conservando la sección del ducto, es decir si dividir al ducto original en dos partes similares tal que no se altere el caudal de salida de monóxido. Esta incompatibilidad representa un costo adicional para las instalaciones mecánicas, detectadas a tiempo antes de que se instale la ductería. La bisección del original fue evaluada para que el capot de auto pueda entrar al estacionamiento antes de llegar al topellantas. El modelo del auto también fue usado para evaluar las alturas de las rampas respecto a las vigas de techo, la normativa de alturas es muy exigente en este aspecto por lo que se debe realizar un buen control en campo.

Fig. 37 Imagen Naviswork con el modelo de automóvil Hummer



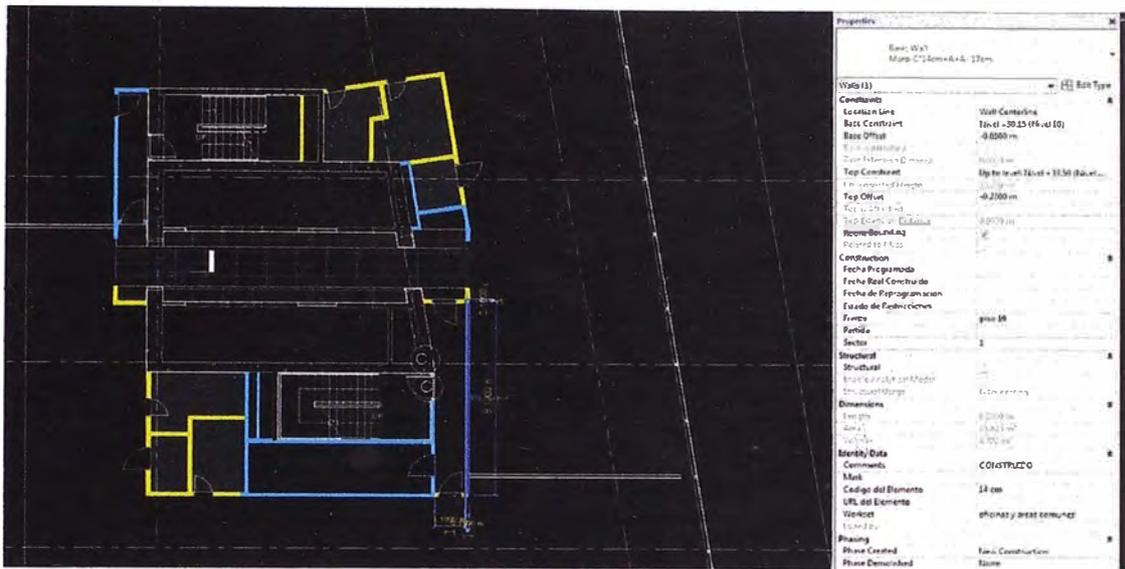
Fuente: Obra Real 8-GyM

Como se comentó en el Capítulo III, donde se describe la metodología para el modelamiento de tabiquería, ésta fue aplicada en obra, con grandes resultados. Como se observa en la Fig. 38, podemos visualizar la tabiquería de color amarillo correspondiente a los tabiques de albañilería de 14cm de espesor; también podemos visualizar la tabiquería de color celeste, correspondiente a los tabiques de 12cm pero del tipo cortafuego; la particularidad de estos tabiques cortafuego es que están rellenos completamente de concreto para resistir 2 horas expuesto a un incendio. Generalmente ésta partida es subcontrata con suministro e instalación, sin embargo en la obra se tomó la decisión de subcontratar solamente la mano de obra y el material estuvo a cargo de la constructora con la finalidad de generar mayores brechas por la gestión de materiales.

Cabe mencionar que los ladrillos usados en el proyectos fueron los ladrillos de concreto, fabricadas por UNICON, éstos ladrillos tiene la particularidad de presentar un acabado lateral que requiero solo un solaqueo y empaste antes de pasar la pintura, sin embargo requieren un diseño estructural de arrostamientos y diseño de refuerzo para conservar su estabilidad. Estos ladrillos tienen unas vigas y columnas internas que le dan la estabilidad, a su vez el asentado es a través de mortero, finalmente el solaqueo también se realiza con un mortero simple.

La gestión de los materiales dentro de obra, fue de cuidado ya que se tuvo poco espacio para el almacenamiento, así la llegada de ladrillos, concreto para columnas y vigas de tabiquería, mortero para el asentando, mortero y arena para el soqueo debe estar muy bien coordinada, y es precisamente el aporte de los datos sacados de modelo BIM que toman una importancia relevante. La ventaja del modelo es que puedes obtener datos rápidamente las cuales se actualizan al momento de realizar cualquier cambio en la tabiquería (alturas, longitudes, etc).

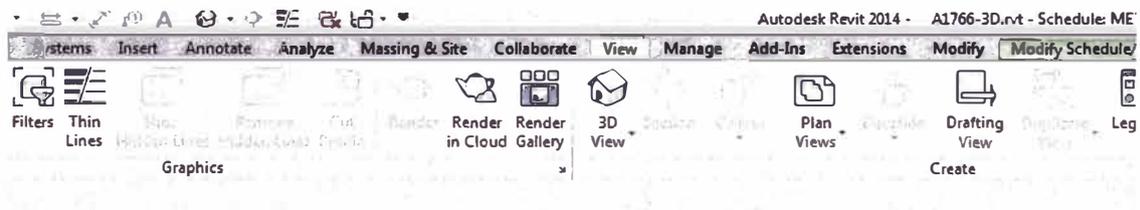
Fig. 38 Imagen Revit 2014, tabiquería de 14cm y 12cm



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la tabla 6 podemos ver que en el proyecto se usó el modelo para estimar los metros cuadrados de tabiquería por tipo y espesor, con estos datos automáticamente se puede obtener el número de ladrillos necesarios para la construcción de los tabiques.

Tabla 6 Metrado de albañilería en Revit 2014



<METRADO - MUROS>

D	E	F	G	H	I	J
TPO	ANCHO	LONGITUD	VOLUMEN	Altura	Area (m2)	Estado de Restr
Muro-Estruc.met.12cm+A+A- 20cm	0.200 m	10.390 m	5.12 m³	2.485 m	25.611409	Corta fuego
Muro-C*12cm	0.120 m	1.890 m	0.76 m³	3.350 m	6.332337	Corta fuego
Muro-C*12cm	0.120 m	1.890 m	0.78 m³	3.350 m	6.332337	Corta fuego
Muro-C*12cm	0.120 m	0.490 m	0.14 m³	2.379 m	1.165658	Corta fuego
Muro-C*12cm	0.120 m	0.490 m	0.14 m³	2.341 m	1.147156	Corta fuego
Muro-C*12cm	0.120 m	0.692 m	0.21 m³	2.469 m	1.709876	Corta fuego
Muro-C*12cm+D.A- 18.5cm	0.185 m	1.080 m	0.25 m³	1.261 m	1.337283	Corta fuego
Muro-C*12cm+D.A- 18.5cm	0.185 m	3.956 m	2.01 m³	2.749 m	10.876026	Corta fuego

Fuente: Obra Real 8-GyM

El cálculo no termina allí, sino hay que indicarle la empresa proveedora de los ladrillos la cantidad de despacho de planta transformado a número de parihuelas por camión y a su vez la cantidad de camiones que deberían llegar por día para no tener retrasos en el avance de la producción considerando la cuadrilla que se

dispone y la programación. El número de camiones que debe llegar debe ser precisa, como se puede observar se observa la aplicación de la teoría del justo a tiempo, esto por un tema de almacenamiento de los materiales y por un tema de utilización de la torre grúa, la cual está siendo usada por otras actividades aún más críticas como el vaciado de concreto o moviendo encofrado.

En la tabla 7 podemos ver que los datos extraídos del modelo BIM nos sirven para hacer un cuadro con la cantidad de ladrillos que se consumirán por nivel (sótanos 5, sótano 4, etc.), con estos datos se obtienen la cantidad de parihuelas que se requieren por nivel. Con estos datos estimamos una programación de la llegada del número de parihuelas por semana en una cierta cantidad de camiones, tal que se logre la descarga a tiempo con las grúa considerando un espacio limitado y la productividad de las torres grúa en otras actividades, debemos considerar también el plazo de ejecución de ésta partida y compatibilizarlo con el desmontaje de las torres grúa y la llegada del elevador como su desmontaje. Estos datos son muy útiles para el área de producción que sabrá el flujo de materiales que estará llegando, con ello preverá el almacenaje en la posición más indicada, con el apoyo de la torre grúa, tal que se eviten consumir horas hombre en acarreo de ladrillos, que es lo que generalmente sucede; dejarla las parihuelas en la posición más cercana a la área de trabajo es lo más óptimo.

Tabla 7 Programación de la llegada del parihuelas y desmontaje de torre grúa

Sótano	Alc. (m)	M ³ Ladrillo	M ³ Parihuela
Sótano 5			
e-9cm	0	0	0
e-12cm Concreto	47.06	434.352763	4.0703120543
e-14cm	79.06	913.364932	8.644813402
e-18cm	0	0	0
TOTAL	126.12		
Sótano 4			
e-9cm	0	0	0
e-12cm Concreto	52.62	718.123457	4.532900625
e-14cm	51.6	696.354275	6.10838818
e-18cm	0	0	0
TOTAL	104.22		
Sótano 3			
e-9cm	0	0	0
e-12cm Concreto	51.61	696.491228	4.46447299
e-14cm	51.6	696.354275	6.10838818
e-18cm	0	0	0
TOTAL	103.21		
Sótano 2			
e-9cm	0	0	0
e-12cm Concreto	51.6	696.354275	4.464472774
e-14cm	51.6	696.354275	6.10838818
e-18cm	0	0	0
TOTAL	103.2		
Sótano 1			
e-9cm	1.444	19.4971795	0.1814195726
e-12cm Concreto	333.8	9139.28511	30.05114406

Fuente: Obra Real 8-GyM

De igual manera se coordinó la llegada de las bolsas de concreto para las vigas y columnas internas de los tabiques, así como también las bolsas de mortero para el asentado y para el solaqueo, además de la arena. Cabe mencionar que el modelo BIM adicionalmente sirve para hacer análisis de sombras de acuerdo

al movimiento del sol, sin embargo esto no será materia de estudio en la presente investigación.

iii. Modelo de Instalaciones

Asimismo, el modelo maestro consta de sub modelos de instalaciones desarrollados también por el área de soporte BIM. Fue un arduo trabajo para elaborar estos modelos, su aplicación resulto muy importante sobre todo en los modelo de instalaciones mecánicas, de agua contraincendios, de instalaciones eléctricas, de instalaciones sanitarias y de cableado estructurado, el orden descrito anteriormente está en función, en el presente estudio, al nivel de utilidad desarrollada en obra, es decir resulta ser que el modelo de instalaciones mecánicas (IIMM) fue el más usado y al que se sacó el mejor provecho, esto también debido a la iniciativa de responsable de la subcontrata a cargo del modelo de IIMM, fue fácil su implementación y su manejo en obra fue mucho mejor.

En la Fig. 39 se muestra Imagen Naviswork donde se muestran todas las especialidades, por ejemplo la especialidad de de Instalaciones eléctricas de color amarillo, la especialidad de Instalaciones mecánicas (sistema de agua helada de color verde, sistema de extracción de monóxido de color magenta, sistema de inyección de aire fresco de color celeste, etc)

Fig. 39 Imagen Naviswork con las especialidades del proyecto Real 8



Fuente: Obra Real 8-GyM

a) Modelo de Instalaciones mecánicas (IIMM):

El modelo mecánico del proyecto Real 8, comprendió todos los sub-proyectos, es decir el modelamiento de aire acondicionado (tuberías de agua helada y de

condensación, rejillas de suministro y retorno), sistema de extracción de monóxido, sistema de inyección de air en sótanos, sistema de ventilación forzada en baños y oficinas, sistema de presurización de escaleras, el equipamiento de chillers, torres de enfriamiento, fancoil (equipó intercambiador de calor que suministra aire frio), UMAs (unidad manejadora de aire, son equipos de mayor capacidad que los fancoils), extractores centrífugos, extractores axiales, inyectores, bombas primarias y secundarias, tanques de expansión entre otras.. Todos estos componentes fueron modelados para obtener las posibles incompatibilidades con otras especialidades así como para analizar su montaje e instalación a través de las herramientas de la simulación. El modelo mecánico como se indicó anteriormente resulto ser el más útil dentro de todos los modelos de instalaciones, esto se vio reflejado en su registro de avance ya que fue la subcontrata que tuvo e mayor avance en su trabajo reflejándose en sus valorizaciones, esto generalmente no sucede, suele ocurrir en proyectos diversos que la parte mecánica llega a ser la más retrasada debido a viarias causas sin embargo resulta ser la más importante las definiciones de proyecto y su coordinación para evitar retrabajos, en este tipo de edificaciones. En la Fig. 40 podemos ver el cuarto técnico perteneciente al área denominada de chillers (equipo del sistema de aire acondicionado), generalmente ésta área presenta un espacio limitado para el recorrido de tubos, bandejas, ducterías y debe ser bien analizada con los submittals (hoja técnica de dimensiones, pesos, energía, etc.) de los equipos para evitar cualquier imprevisto a la hora de llegada de los mismos (verificamos altura de vigas, giros de chillers, apoyos, etc.).

Fig. 40 Planta del cuarto técnico

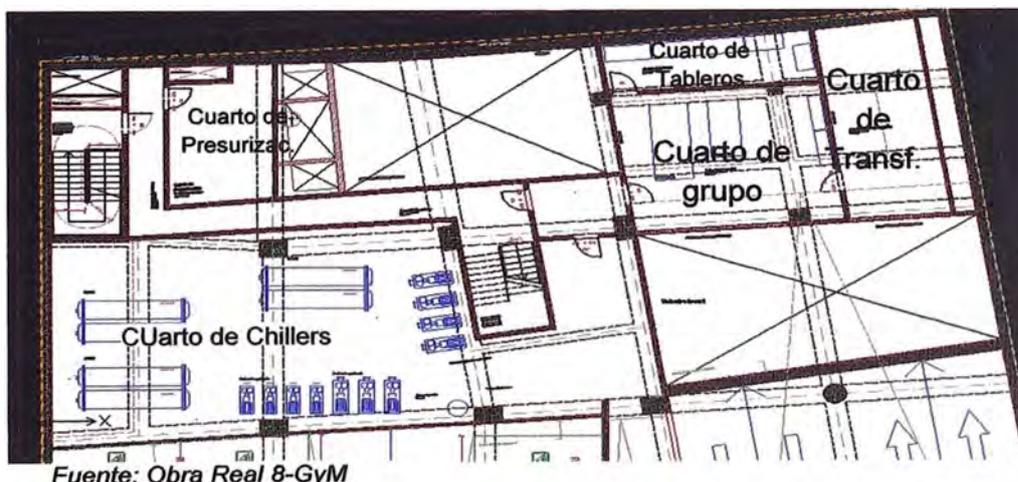
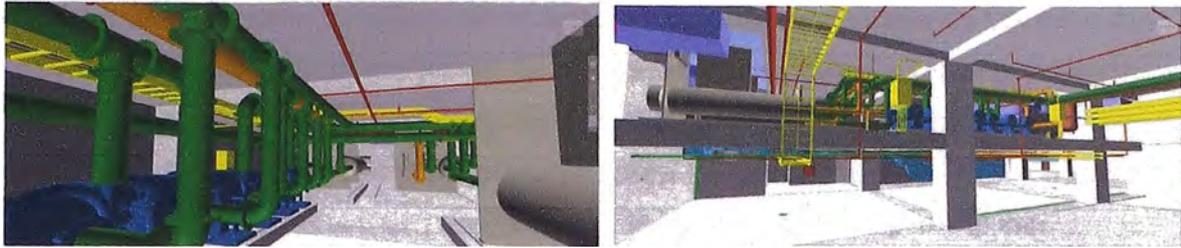


Fig. 41 Imagen Naviswork del cuarto técnico



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 42 podemos visualizar las UMAs y donde su montaje debe ser bien analizado para evitar colisiones con la arquitectura del proyecto (paneles de cristal, reticulados para soporte de paneles móviles, columnas de soporte de acabados de madera, cenefas, falso cielo, etc.). Debido a la altura de más de 6m de estos ambientes, la instalación de estos equipos debe ser precisa para evitar un retrabajo por un mal análisis de las incompatibilidades, de igual manera se debe analizar su instalación debido a que generalmente estos equipos usan soportes metálicos que los ayudan a colgar del techo y estos a su vez impiden el recorrido de otras instalaciones por encima de ellos, de igual manera una arriostramiento muy largo requiere una estructura de soporte mucho más robusta para evitar la vibración de los equipos evitando cualquier problema de mantenimiento las adelante. De igual manera los accesos mediante pasarelas metálicas u otros similares deben ser analizadas para el mantenimiento de los equipos considerando la doble altura es muy complicado para el personal de mantenimiento realizar estos trabajos, siendo muchas veces necesario de todo un circuito de pasarelas.

Fig. 42 Imagen de Unidades manejadoras de aire (UMAs) colgada de techo.



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 43 podemos visualizar el ducto colectivo de monóxido de sótanos, colisionando con la camioneta en su intento por estacionarse en una de los

estacionamientos disponibles, este ducto tiene una sección diseñada justamente para transportar todo los gases de monóxido de todos los sótanos y llevarlos al exterior, sin embargo es la sección la que debe conservarse y no la geometría del ducto, mientras se mantenga la sección total de salida, el sistema de extracción funcionará; bajo éste principio, para no perder los estacionamientos se planteó un ducto adicional para reducirle la sección del ducto inicial siempre y cuando la suma de las dos secciones de ductos nuevas sean igual a la sección inicial cuando existía un solo ducto.

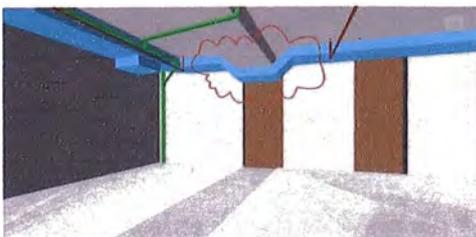
Fig. 43 Imagen de colisión del auto con ducto y solución planteada



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 43 también se puede observar la solución planteada acortando la sección del ducto para permitir el ingreso del capot del carro, tal que cope toda el área de estacionamiento. Por otro lado la instalación de un ducto adicional también tiene que ser analizada, por lo general ocurre una nueva interferencia; en el proyecto sucedió que al modelar el ducto adicional este obstruía el funcionamiento de los rociadores contra incendios, siendo necesario la colocación de más rociadores para cumplir con la normativa. Generalmente los ductos de sección grande es preferible que pasen rectos para evita bayonetas, sin embargo al pasar rectos y si el ancho es mayor a 1.20 m, entonces el humo producto de un incendio se acumulara en la parte más alta y puede impedir el accionamiento de los rociadores, por tal motivo la normativa exige un rociador adicional para estos casos, colocándolos por debajo de los ductos, tal que el accionamiento de los rociadores sea inmediatamente cuando el humo empieza a

Fig. 44 Imagen donde se observa las bayonetas para los ductos



Fuente: Obra Real 8-GyM

b) Modelo de Instalaciones eléctricas (IIEE):

El modelo BIM de instalaciones eléctricas para el proyecto real 8, contempla los tableros eléctricos, los transformadores, las bandejas, las cajas de pase, los conduits, entre otros elementos. En orden de utilidad en obra podemos decir que el modelamiento de bandejas eléctricas es muy útil debido al espacio que ocupan, de igual manera el modelamiento de los transformadores y tableros para definir espacios en el cuarto técnico, el cual por lo general es muy limitado en cuanto a espacio se refiere.

En la Fig. 45 podemos visualizar el cuarto de transformadores, donde se observan las celdas y los transformadores propiamente dichos, estas se apoyan sobre unas canaletas por las cuales llega la acometida de media tensión de la empresa distribuidora de energía eléctrica, se debe considerar espacios suficientes tanto para el mantenimiento de los equipos como para el sistema de extracción de aire dentro de este ambiente, evitando de esta manera temperaturas altas que podría dañar los equipos, por lo cual generalmente son usados los termostatos para hacer el control de la temperatura. La apertura de las tapas de estos equipamientos también debe ser analizados, así como el espacio mínimo para la salida de los cables hacia la bandeja eléctrica. En el proyecto se presentó, en éste ambiente, la incompatibilidad por interferencia entre el equipo de extracción de aire con la puerta de acceso, el espacio era muy limitado, se tuvo que cambiar la sección del ducto y reubicar la puerta para permitir un espacio necesario de acceso del personal de mantenimiento hacia los equipos así como para apertura de las puertas de los transformadores.

Fig. 45 Imagen BIM del cuarto de transformadores



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 46 se observa el recorrido de las bandejas eléctricas en el área de la rampa vehicular del sótano 1, algunas como se observa, son de 3 filas en paralelo, éstas son bandejas de fuerza para las áreas de oficinas del edificio, en su recorrido se presentaron problemas como el arriostamiento de la soportería

de éstas bandejas en el techo debido que las bandejas estaba modeladas debajo de las tuberías de agua helada y de condensación provenientes del cuarto de chillers, éste problema fue analizado, dejando una separación prudente entre tubos para el arriostamiento de la soportería. De igual manera la normativa para bandejas eléctricas fue revisada para dejar las separaciones prudentes con otras especialidades, de igual manera era inevitable interferencias previstas con los rociadores y tuberías de agua contraincendios siendo estas las que tenían que acomodarse al paso de las bandejas ya que son más maniobrables para cambiar de recorrido y menos costosas también.

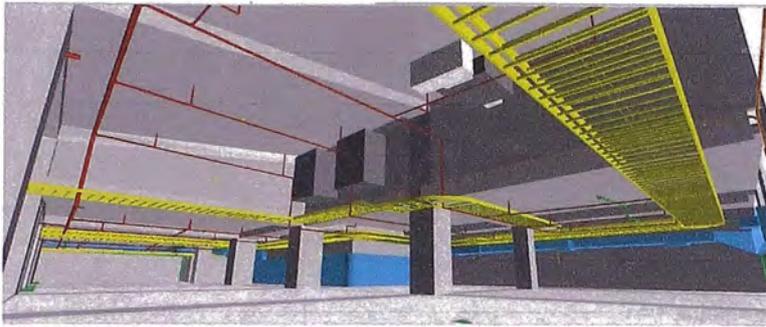
Fig. 46 Imagen de recorrido de bandejas en el sótano 1.



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la Fig. 47 se observa una congestión considerable de bandejas eléctricas que salen por debajo del cuarto de tableros y en donde empieza la distribución de la energía al edificio para las áreas comunes y para el área de oficinas. En la misma figura se puede observar de color celeste el recorrido de la ducteria de inyección de aire fresco para renovación del aire contaminado con CO, así como las tuberías de color rojo corresponden a tuberías de agua contraincendios. La sección del ducto tuvo que ser cambiada para evitar perder estacionamientos en este frente, se puede observar que un tramo del ducto está en el piso para evitar colisionar con la bandeja eléctrica, además de darle un espacio libre de acceso para el paso del personal encargado de hacer el tendido del cableado en las bandejas, luego más adelante de recorrido de este ducto de inyección nuevamente vuelve a elevarse pero esta vez por debajo de la bandeja eléctrica y siempre dejando el espacio para hacer el cableado; como el ducto esta por debajo de la bandeja se tuvo que armar la ducteria lo más pegado al muro de concreto tal que el ducto se apoye mediante una escuadra sin necesidad de un soporte colgado del techo que hubiera sido imposible porque por encima se encuentra la bandeja eléctrica. A su vez las tuberías de agua contraincendios se tuvieron que acomodar al recorrido de las bandejas, siempre conservando el espacio mínimo y máximo entre rociadores, que por normativa debemos cumplir.

Fig. 47 Recorrido de bandejas eléctricas en el sótano 2



Fuente: Obra Real 8-GyM

c) Modelo de Instalaciones sanitarias (IISS):

El modelo de Instalaciones sanitarias contempló el modelamiento del cuarto de bombas, tuberías de PVC para agua, desagüe y ventilación, aparatos sanitarios (inodoros, urinarios, lavaderos). Este modelo se usó para hacer el análisis de la ruta crítica, considerando que se trata de un edificio de oficinas se tiene que dar la importancia suficiente a los ambientes de baños de oficinas y hall de ascensores. Sin embargo dentro de los modelos de instalaciones, éste quizá fue el menos usado debido a la falta de presupuesto de la subcontrata de IISS que no tuvo un ingeniero responsable al 100% como si lo tuvieron las demás subcontratas, el trato fue directo entre el responsable BIM de la obra y el capataz de la subcontrata. La congestión de tuberías hacia lenta una retroalimentación ante un cambio de recorrido, sin embargo el principio de la mínima pendiente para el flujo de agua en una tubería de desagüe fue unos de los criterios más usados, donde se dieron las cotas mínimas de acuerdo a l modelo para hacer el tendido de las tuberías libre de inferencias.

En la Fig. 48 , se puede visualizar el baño de hombres de las oficinas, se observan los inodoros, urinarios, tuberías de ventilación (color rosado), tuberías de agua (color azul), tuberías de desagüe (color verde). Las tuberías de desagüe fueron del tipo colgadas, las tuberías de agua adosadas, y las de ventilación empotradas y colgadas a su vez. Con estos elementos se analizan los espacios para recorrido para éstas tuberías considerando además ducterías de inyección de aire, posición de luminarias, tapas de inyección, retornos, etc.

Fig. 48 baterías de baños de hombres y damas



Fuente: Obra Real 8-GyM

De igual manera también se observa el baño de damas de las oficinas, se pueden ver las instalaciones colgadas, esto fue materia de estudio debido al poco espacio encima de la falso cielo, inclusive se tuvo que bajar 20cm el nivel del falso cielo para evitar colisionar con las instalaciones colgadas.

d) Modelo de Agua contra incendios (ACI):

El modelo de agua contraincendios comprendió el modelamiento de tuberías de presión, rociadores, gabinetes, válvulas mariposa, válvulas compuerta, tuberías de drenaje, el equipamiento del cuarto de bombas consistente en la motobomba, tanque de combustible, la tubería de escape de la motobomba, la tubería de venteo del tanque de combustible, las tuberías enterradas de alimentación de combustible de la motobomba, el plato vortex, entre otros.

Cuando el modelo fue llevado a obra, se observaron varios problemas normativos en la ubicación de los rociadores, principalmente en su altura y distancia mínima respecto a otros obstáculos que según norma debería respetarse.

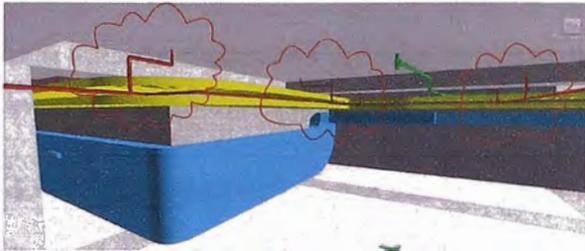
Con la ayuda de la subcontrata de agua contraincendios se corrigió el modelo respetando la normativa vigente. Cabe mencionar que se aprovechó la etapa de excavaciones, la cual duro un poco más de tres meses, para la corrección de modelo de agua contraincendios, siendo muy aplicable y útil su aplicación finalmente por la subcontrata.

La lección aprendida, debido al retrabajo en el modelamiento de agua contraincendios, fue que antes de empezar a modelar, se debe hacer una inducción a los modeladores en temas normativos que relacionan las distancias mínimas entre los rociadores y los objetos colindantes, si el objeto es eléctrico o no, si está pegado a la pared, a qué distancia se encuentra del techo, etc.

En la fig. 49 podemos ver los codos en las tuberías de agua contraincendios que se hicieron con la finalidad de respetar distancias mínimas de alcance de la

campana de agua de rociador a la pared, tal que cubra la mayor área en caso de incendios, aquí se tuvo especial cuidado para no atravesar las bandejas eléctricas que por normativa nos impiden.

Fig. 49 Imagen del modelo Mecánico y de Contraincendios



Fuente: Obra Real 8-GyM

4.3.2 Control de Incompatibilidades

- **Control de las Incompatibilidades por interferencias o errores de coordinación interdisciplinaria**

El control de este tipo de incompatibilidades se realiza a través del software Naviswork, donde se realiza un cruce entre los elementos modelados de los respectivos modelos de arquitectura, estructuras, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, instalaciones mecánicas, instalaciones de agua contraincendios.

El reporte de colisiones es fácilmente obtenido por el software naviswork en una tabla de reportes. Con la ayuda de la programación HTML se pueden generar modelos de reportes como el que se observa en la tabla 9, donde se puso el logo de la empresa constructora y se editó los formatos de reportes.

Tabla 8 Formato de Reporte de interferencia

AA vs V y T (3 de 3)		Interferencias	Elementos	Elementos	Elementos	Elementos	Elementos	Elementos	Elementos																																													
0.00m		30	0	0	27	2	2																																															
<p>REGISTRO SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD REPORTE DE INTERFERENCIAS</p> <p>GyM GyM</p> <p>Nombre del Proyecto: [] Código del Proyecto: [] Fecha de Edición: []</p>																																																						
<p>AA vs V y T (3 de 3)</p> <p>Interferencias Aprobadas</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Imagen</th> <th rowspan="2">Número de Interferencia</th> <th rowspan="2">Fecha de Aprobación</th> <th rowspan="2">Aprobada Por</th> <th colspan="3">Primer Elemento</th> <th colspan="3">Segundo Elemento</th> <th rowspan="2">Comentarios</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>Nivel</th> <th>Item Name</th> <th>Element ID</th> <th>ID</th> <th>Nivel</th> <th>Item Name</th> <th>Element ID</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>interferencia 1.1</td> <td>2012/09 22.17.11</td> <td>juan.melgarejo</td> <td>416</td> <td>Radio</td> <td>721948</td> <td>416</td> <td>Radio</td> <td>720756</td> <td>416</td> <td>0.75 W</td> <td>750756</td> <td>interferencia entre ducto de aire acondicionado con ducto de evacuación de agua lluvia. Soluciones: 1) en C. 5. 2. Pasa 3. 3) reacomodar pander el ducto de HYDROSA hacia la sala VCA.</td> </tr> </tbody> </table>										Imagen	Número de Interferencia	Fecha de Aprobación	Aprobada Por	Primer Elemento			Segundo Elemento			Comentarios	ID	Nivel	Item Name	Element ID	ID	Nivel	Item Name	Element ID		interferencia 1.1	2012/09 22.17.11	juan.melgarejo	416	Radio	721948	416	Radio	720756	416	0.75 W	750756	interferencia entre ducto de aire acondicionado con ducto de evacuación de agua lluvia. Soluciones: 1) en C. 5. 2. Pasa 3. 3) reacomodar pander el ducto de HYDROSA hacia la sala VCA.												
Imagen	Número de Interferencia	Fecha de Aprobación	Aprobada Por	Primer Elemento			Segundo Elemento							Comentarios																																								
				ID	Nivel	Item Name	Element ID	ID	Nivel	Item Name	Element ID																																											
	interferencia 1.1	2012/09 22.17.11	juan.melgarejo	416	Radio	721948	416	Radio	720756	416	0.75 W	750756	interferencia entre ducto de aire acondicionado con ducto de evacuación de agua lluvia. Soluciones: 1) en C. 5. 2. Pasa 3. 3) reacomodar pander el ducto de HYDROSA hacia la sala VCA.																																									
<p>ISS vs HMM</p> <p>Interferencias</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Imagen</th> <th rowspan="2">Número de Interferencia</th> <th rowspan="2">Fecha de Aprobación</th> <th rowspan="2">Aprobada Por</th> <th colspan="3">Primer Elemento</th> <th colspan="3">Segundo Elemento</th> <th rowspan="2">Comentarios</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>Nivel</th> <th>Item Name</th> <th>Element ID</th> <th>ID</th> <th>Nivel</th> <th>Item Name</th> <th>Element ID</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>interferencia 2.1</td> <td>2012/09 20.21.43</td> <td>juan.melgarejo</td> <td>Element ID</td> <td>416</td> <td>Radio</td> <td>720756</td> <td>Element ID</td> <td>416</td> <td>Radio</td> <td>750756</td> <td>interferencia entre tubería de escape y ducto de extracción localizada de 50mm, ubicación Item 8.4, 8.4, Pasa 3. Se recomienda mover la tubería de escape hacia la izquierda y el ducto de extracción hacia la derecha.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>interferencia 3.1</td> <td>2012/09</td> <td>juan.melgarejo</td> <td>Element ID</td> <td>416</td> <td>Radio</td> <td>720756</td> <td>Element ID</td> <td>416</td> <td>Radio</td> <td>750756</td> <td>interferencia entre tubería de escape con el extractor</td> </tr> </tbody> </table>										Imagen	Número de Interferencia	Fecha de Aprobación	Aprobada Por	Primer Elemento			Segundo Elemento			Comentarios	ID	Nivel	Item Name	Element ID	ID	Nivel	Item Name	Element ID		interferencia 2.1	2012/09 20.21.43	juan.melgarejo	Element ID	416	Radio	720756	Element ID	416	Radio	750756	interferencia entre tubería de escape y ducto de extracción localizada de 50mm, ubicación Item 8.4, 8.4, Pasa 3. Se recomienda mover la tubería de escape hacia la izquierda y el ducto de extracción hacia la derecha.		interferencia 3.1	2012/09	juan.melgarejo	Element ID	416	Radio	720756	Element ID	416	Radio	750756	interferencia entre tubería de escape con el extractor
Imagen	Número de Interferencia	Fecha de Aprobación	Aprobada Por	Primer Elemento			Segundo Elemento							Comentarios																																								
				ID	Nivel	Item Name	Element ID	ID	Nivel	Item Name	Element ID																																											
	interferencia 2.1	2012/09 20.21.43	juan.melgarejo	Element ID	416	Radio	720756	Element ID	416	Radio	750756	interferencia entre tubería de escape y ducto de extracción localizada de 50mm, ubicación Item 8.4, 8.4, Pasa 3. Se recomienda mover la tubería de escape hacia la izquierda y el ducto de extracción hacia la derecha.																																										
	interferencia 3.1	2012/09	juan.melgarejo	Element ID	416	Radio	720756	Element ID	416	Radio	750756	interferencia entre tubería de escape con el extractor																																										

Fuente: Obra Real 8-GyM

4.4 CONTROL DE LAS INCOMPATIBILIDADES EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO REAL 8

Luego de la elaboración del modelo BIM, éste fue llevado a obra para su implementación, donde se realizó la transferencia de la información BIM para su gestión y retroalimentación. Fueron implementados todos los programas BIM y una sala de reuniones ICE. La implementación constó de varias etapas, desde la instalación de los software hasta la gestión de las subcontratas con el modelo.

4.4.1 Implementación del modelo BIM en obra

El modelo fue transferido desde el soporte BIM en todas sus especialidades, con esta data se empezaron a desarrollar ploteos de imágenes de las instalaciones en los puntos más importantes para visualización del personal obrero así como las subcontratas.

Fig. 50 Visita del equipo del Soporte BIM GyM a obra

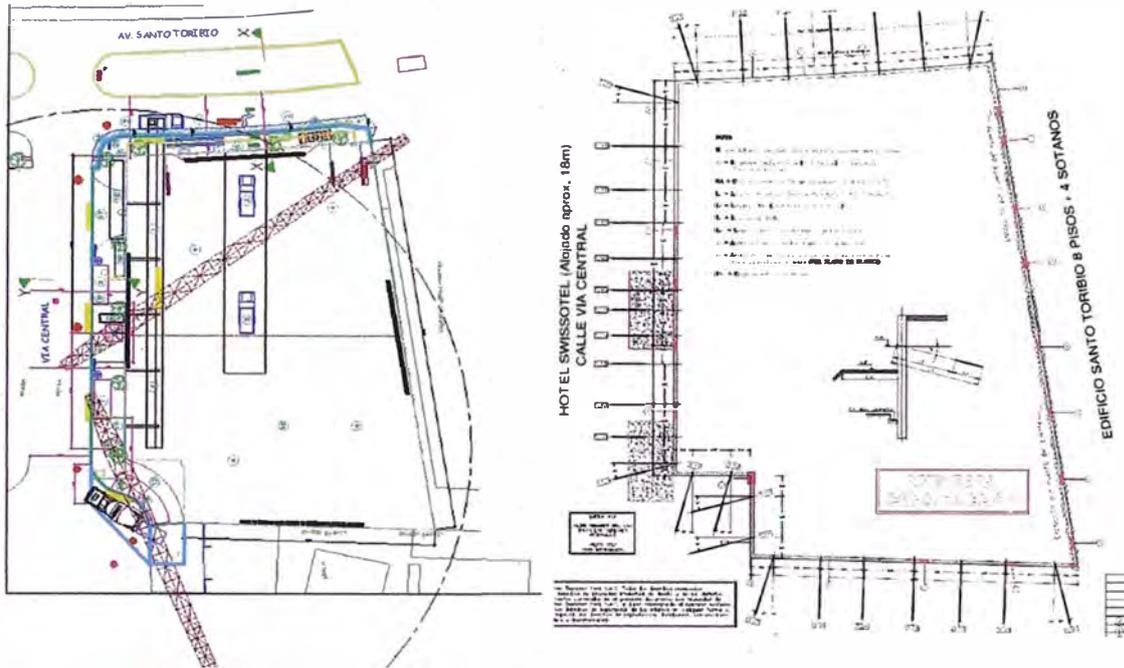


Fuente: Obra Real 8-GyM

De acuerdo a la experiencia constructiva de los ingenieros de Obra fue necesario el modelamiento de la instalación de las grúas, la faja inclinada y sus anclajes, tal que encuentre la ubicación más idónea de los mismos. Por otra parte también se preparó la simulación del proceso constructivo de los muros anclados en

paralelo con la construcción de calzaduras, a su vez sirvió para hacer el control de avance porque el modelo es capaz de proporcionar el volumen de concreto, acero y encofrado por cada muro anclado así como calzaduras; la secuencia constructiva de los muros anclados en paralelo con las calzaduras fue retroalimentado 3 veces, donde los ingenieros de producción evaluaron la mejor

Fig. 51 Layout de la obra y plano de Terratest



Fuente: Obra Real 8-GyM

Con el layout de la obra se pueden hacer un sin número de simulaciones para revisar su funcionalidad, como por ejemplo simular el giro de las grúas, simular la llegada de camiones y el transporte de prelosas así como la llegada de camiones mixer para la carga del concreto con la torre grúa o la alimentación al brazo hormigonador, de igual manera el transporte de encofrados, acero, desmonte, etc.

En la etapa de excavaciones se ha usado la simulación para verificar la programación de trabajos de muros anclados en paralelo a los trabajos de calzaduras como se pueden observar en las siguientes esquemas:

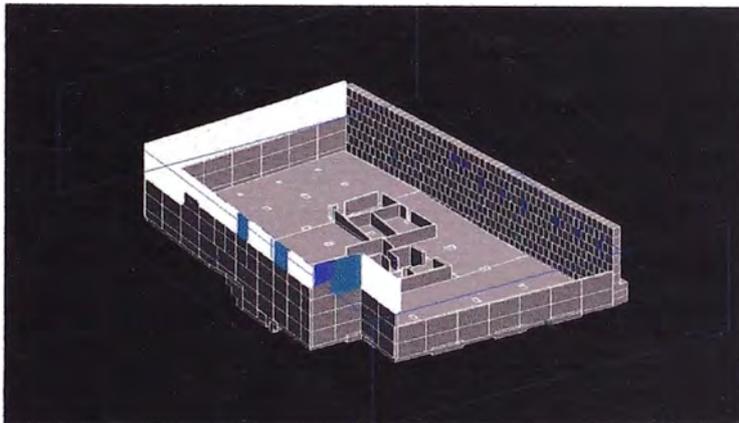
En la Fig. 52 se observa la etapa de excavaciones también se simularon las instalaciones de las torres grúa, faja inclinada, donde se obtuvieron los puntos de instalación más ideales.

Fig. 52 Modelo de torres grúa en el planeamiento



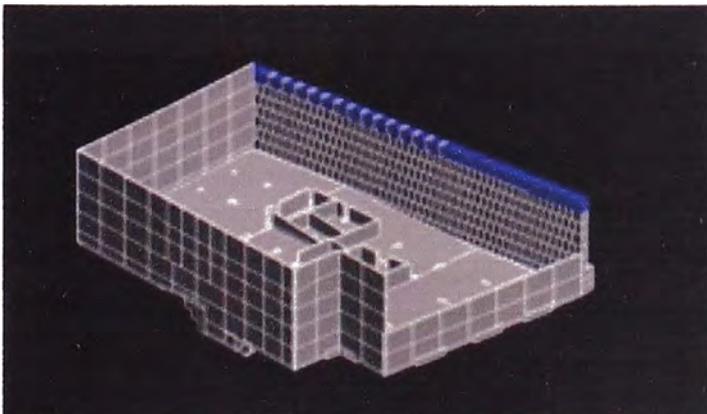
Fuente: Obra Real 8-GyM

Fig. 53 Modelo de cimentaciones y estabilización de suelos



Fuente: Obra Real 8-GyM

Fig. 54 Secuencia constructiva de calzaduras y muros anclados



Fuente: Obra Real 8-GyM

- i. **Control de las incompatibilidades de campo por interferencias o errores de coordinación interdisciplinaria**

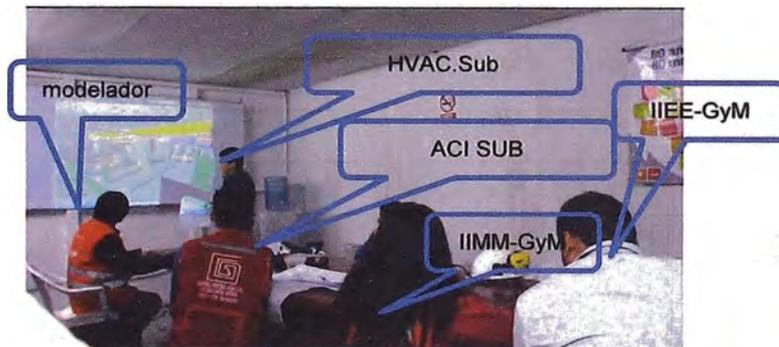
Esto fue controlado a través de las reuniones ICE, con los proyectistas, ingenieros especialistas de GyM y los ingenieros especialistas de las subcontratas así como los capataces

Fig. 55 Reunión ICE con proyectista de Instalaciones Mecánicas



Fuente: Obra Real 8-GyM

Fig. 56 Reunión ICE en la obra



Fuente: Obra Real 8-GyM

a) Implementación del modelo BIM en las subcontratas

En ésta etapa se implementó el manejo Naviswork Freedom en las siguientes subcontratas: Instalaciones Mecánicas, Agua Contra-Incendios, Instalaciones Eléctricas e instalaciones Sanitarias. La curva de aprendizaje detectada fue de 2 horas y donde las subcontratas hicieron uso de una laptop.

Fig. 57 Reunión de capacitación con las sub-contras de IIMM, ACI, IIEE, IISS



Fuente: Obra Real 8-GyM

b) Reuniones ICE con Sub contratadas

La gestión del modelo se realizó a través del encargado de obra de cada subcontrata, logrando que éste coordine directamente con su capataz, principalmente las incompatibilidades por interferencia con otras especialidades. Las responsabilidades del uso del modelo se delegan a las subcontratas, y el responsable de los mismos a su vez las delega a su capataz. El responsable del modelo BIM en obra, cumple la función de moderador en las reuniones ICE.

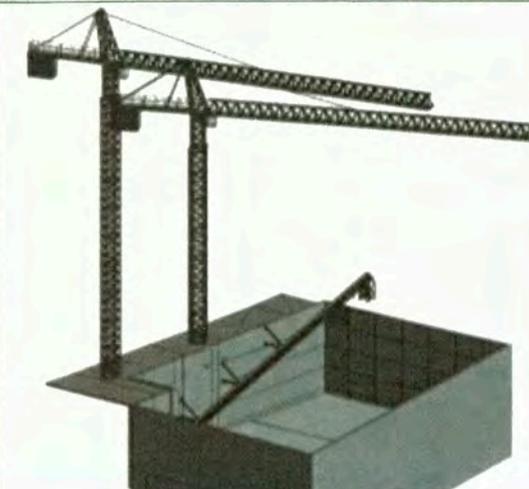
Fig. 58 Reunión ICE de Subcontrata de IIEE

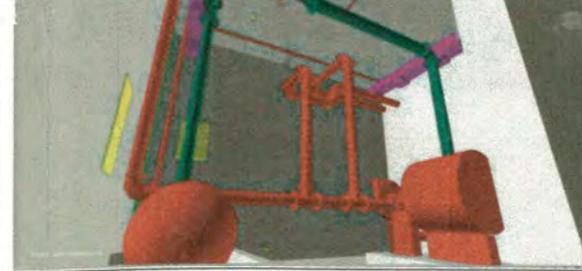


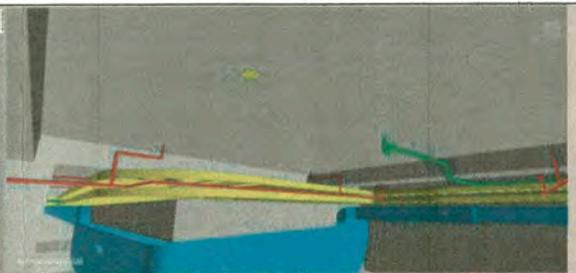
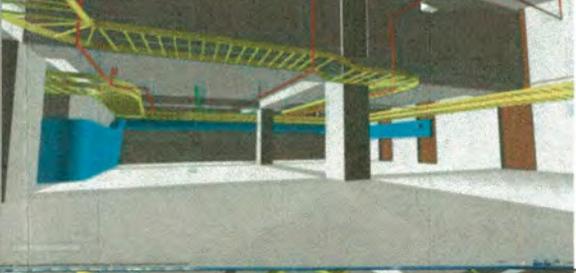
Fuente: Obra Real 8-GyM

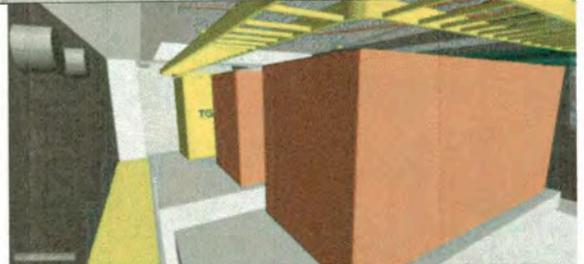
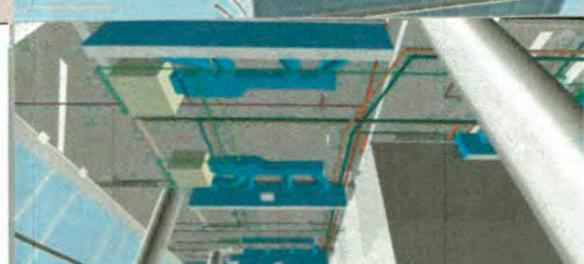
En el siguiente cuadro se han reportado 22 reuniones ICE a lo largo de toda la obra, las cuales fueron documentadas debidamente para su análisis. En estas reuniones se trataron temas mecánicos, eléctricos y de las demás instalaciones así como reuniones con producción para revisar el proceso constructivo de los muros anclados y calzaduras.

De igual manera también se registraron reuniones para verificar los montajes y llegada de chillers y grupo electrógenos, así como para analizar el recorrido de las tuberías de venteo y escape del grupo electrógeno, entre otras revisiones.

DESCRIPCION DE REUNIONES ICE DESARROLLADAS EN EL PROYECTO									
N°	FECHA	DURACION	Reunión ICE	Agenda	Asistentes	El problema se resolvió SI/NO	Aporte de subcontratistas	Adicional generado	Imágenes
1	01/06/2012	20 min	Reunión explicativa de la simulación de estabilización de suelo	Se mostró la secuencia constructiva de muros anclados y calzaduras	Ingenieros de producción GyM	SI	NO	NO	
2	04/07/2012	60 min	Reunión explicativa del recorrido de todos los sistemas	Mostrar a las subcontratas, trabajos desarrollaran, indicándoles sus recorridos	Subcontratistas de IIEE, IIMM, ACI, IISS	SI	NO	NO	
3	11/07/2012	20 min	Reunión de llegada grupo electrógeno y su montaje	Ver el ingreso de los grupos electrógenos por el ducto dejado así como las alturas disponibles	Ingenieros de Instalaciones GyM	SI	SI	SI	
4	08/08/2012	25 min	Reunión de llegada de Chillers y su montaje	Ver el ingreso de los chillers, su ubicación estratégica antes de construcción de losas flotantes y simular el montaje sobre las losas.	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM	SI	NO	NO	

5	16/08/2012	20 min	Reunión de recorrido de tuberías en cuarto de chillers.	Ver el recorrido de tubos de agua helada y de condensación dentro del cuarto de chillers. Mostrar el espacio disponible para las otras instalaciones y la necesidad de otra puerta.	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, IIEE, ACI	SI	NO	NO	
6	05/09/2012	20 min	Reunión recorrido de tubería de escape del grupo electrógeno	Ver el recorrido de tubos de escape del grupo electrógeno y la salida a la montante hacia la azotea.	Ingenieros de Instalaciones GyM, Subcontrata del grupo electrógeno	SI	SI	SI	
7	12/09/2012	20 min	Reunión de recorrido de ductería de inyección de aire en sótanos	Mostrar la incompatibilidad en recorrido de ductos de inyección, mostrar el tramo sin conexión	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM,				
8	3/10/2012	20 min	Reunión de recorrido de colector de extracción de monóxido en sótanos	Mostrar el recorrido del colector de extracción de los sótanos, y su interferencia con los estacionamientos para automóviles	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM,	SI	SI	SI	
9	10/10/2012	20 min	Reunión de recorrido de tuberías de escape de motobomba contraincendios	Mostrar el recorrido de tuberías de escape de la motobomba contraincendio desde los sótanos hasta la azotea	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de ACI	SI	SI	SI	
10	07/11/2012	20 min	Presentación de cuarto de bombas de contraincendios	Mostrar todas las instalaciones dentro del cuarto de bombas contraincendios (motobomba, tableros, recorrido de tuberías de combustible, pozos sépticos, etc.)	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de ACI	SI	NO	NO	

11	14/11/2012	30 min	Reunión de replanteo de recorrido de tubos de contraincendios y ubicación de rociadores	Mostrar el replanteo de la ubicación de rociadores de acuerdo a la normativa de seguridad	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de ACI	SI	NO	NO	
12	21/11/2012	20 min	Reunión de recorrido de bandejas en cuarto de montantes	Mostrar las instalaciones en el cuarto de montantes	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIEE	SI	NO	NO	
13	05/12/2012	20 min	Presentación de cuarto de tableros	Mostrar las dimensiones reales de los tableros, su posición y espacio disponible.	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIEE	SI	NO	NO	
14	12/12/2012	20 min	Reunión de recorrido de sistemas IIEE, IIMM, ACI, IISS debajo de la sub-estación propia	Mostrar el recorrido de bandejas eléctricas, tuberías ACI, ducterías de monóxido y salida de ductería de aire caliente	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, ACI, IIEE, IISS	SI	SI	SI	
15	08/01/2013	20 min	Presentación de cuarto de transformadores	Mostrar las dimensiones reales de los transformadores, celdas eléctricas y canaletas dentro del cuarto de transformadores y el espacio disponible.	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIEE	SI	SI	SI	
16	15/01/2013	30 min	Presentación de sistemas en Hall de ascensores	Mostrar las instalaciones existentes en el hall de ascensores (cajas de luminarias, fancoils, tuberías de ACI, Tuberías de AA)	Ingenieros de producción, calidad e Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, ACI, IIEE, IISS	SI	SI	SI	

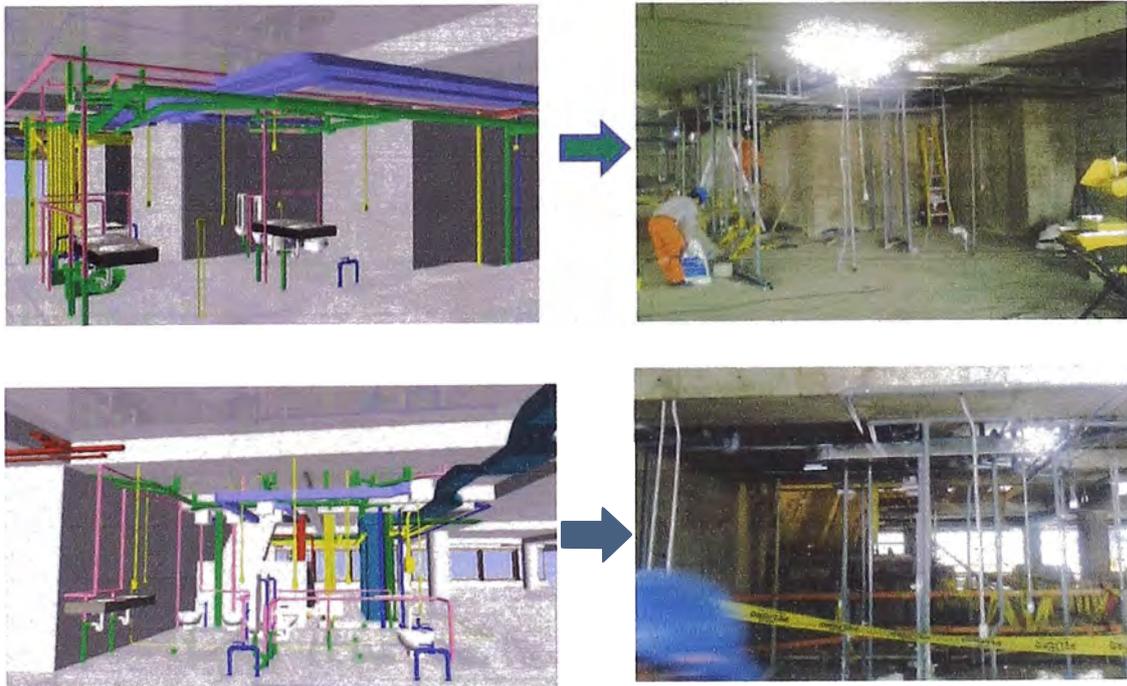
17	07/02/2013	30 min	Presentación de Sistemas en baños	Mostrar las baterías de baños, los ductos del sistema de extracción de baños, los equipos de extracción.	Ingenieros de producción, calidad e Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, ACI, IIEE, IISS	SI	NO	NO	
18	14/02/2013	20 min	Presentación del cuarto de grupo electrógeno	Mostrar la ubicación de los grupos electrógenos, los tanques de combustible, la salida de las tuberías de escape y las tuberías de venteo.	Ingenieros de Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIEE, grupo electrógeno y tableros	SI	SI	SI	
19	05/03/2013	30 min	Presentación de los sistemas en el área de sala de seminarios, pasillos y SUM.	Mostrar recorrido de los ductos del sistema de ventilación de baños, UMAS, Tuberías de AA, Tuberías de ACI, equipos de extracción, tuberías sanitarias, y alturas de falso cielo raso.	Ingenieros de producción, calidad e Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, ACI, IIEE, IISS	SI	SI	SI	
20	12/03/2013	20 min	Presentación de muros cortina e incompatibilidad con parapeto.	Mostrar el conflicto de una ventana y el parapeto para soporte de piedra.	Ingenieros de producción, arquitectos	SI	SI	SI	
21	06/04/2013	20 min	Presentación de instalaciones en la azotea.	Mostrar todas las instalaciones en la azotea, llámense equipos, recorrido de tubos.	Ingenieros de producción, calidad e Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, ACI, IIEE, IISS	SI	NO	NO	
22	13/05/2013	20 min	Presentación de equipos UMA y luminarias en Lobby.	Mostrar el falso cielo del lobby, donde se aprecia las UMAs, las cajuelas de las luminarias, recorrido de tuberías ACI.	Ingenieros de producción, calidad e Instalaciones GyM y Subcontratistas de IIMM, ACI, IIEE	SI	SI	SI	

➤ **Programación de trabajos de acuerdo a las reuniones ICE con Sub-Contratistas.**

Luego de la reuniones ICE entre especialidades para liberar los conflictos entre especialidades, se realiza una programación de los trabajos de Instalaciones tal que siempre estén delante de la albañilería de baños y hall de ascensores. Se observa que se ataca a la ruta crítica minimizando las paras por flujo de producción las cuales se presentan cuando la albañilería entra primero (por ejemplo cuando se presentan dimensiones erradas de vanos para ductos, refuerzo que obstruyen el pase de ducterías, observaciones por temas de calidad cuando hay que picar para abrir el vano, etc.).

- ✓ En baños: se presentan baños típicos, para las cuales, luego de revisar las colisiones entre especialidades se plantean soluciones para cada baño típico, como se observa en las figuras adjuntas a continuación:

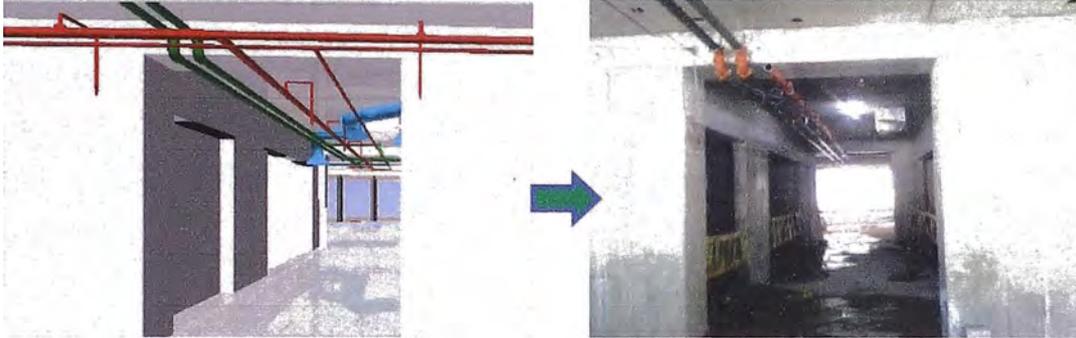
Fig. 59 Modelamiento y construcción de instalaciones en baños



Fuente: Obra Real 8-GyM

- ✓ En hall de ascensores: tenemos tuberías de ACI, tuberías de aire acondicionado fancoils, bandejas eléctricas

Fig. 60 Modelamiento y construcción en hall de ascensores



Fuente: Obra Real 8-GyM

➤ Uso de tabletas y Smartphone

Fig. 61 Tecnología de la información en obra



Fuente: Obra Real 8-GyM

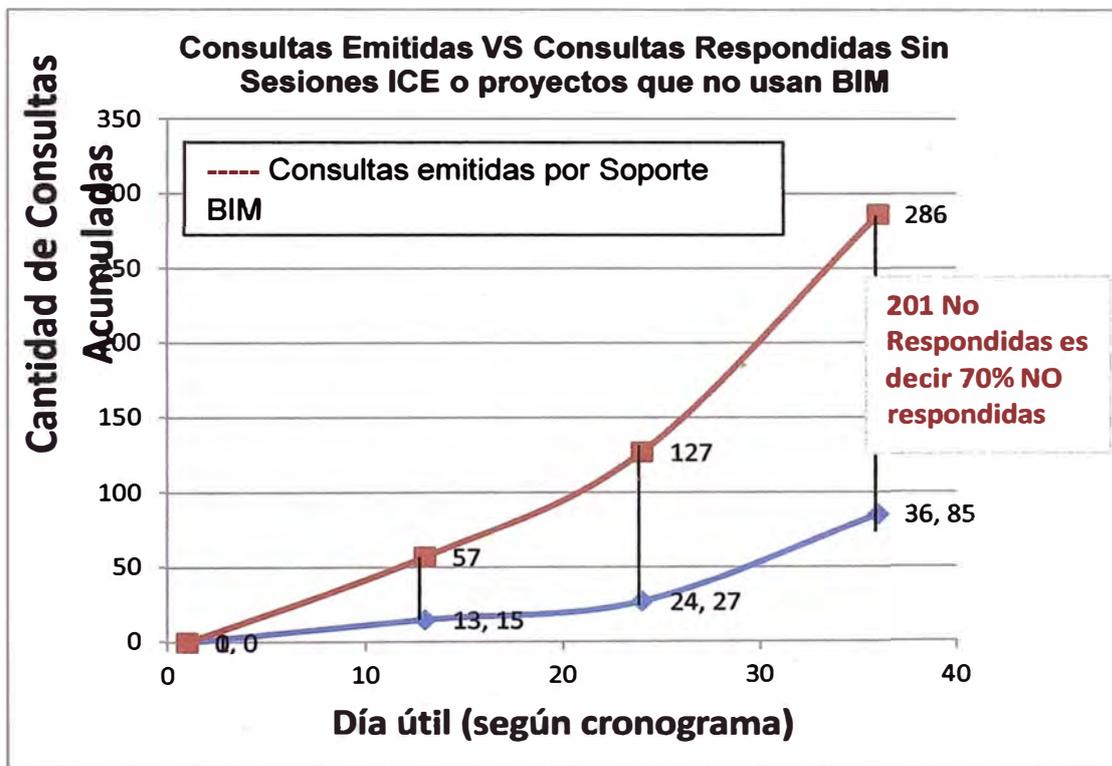
4.5 RESULTADOS

4.5.1 Etapa de diseño

En la Fig. 62 podemos ver las consultas emitidas en forma tradicional (Sin usar reuniones ICE) en la etapa de diseño y las consultas respondidas por gerencia. Fue evaluada la velocidad de respuestas de los RFIs, obteniendo un total de 201 RFIs no respondidas hasta el día 40.

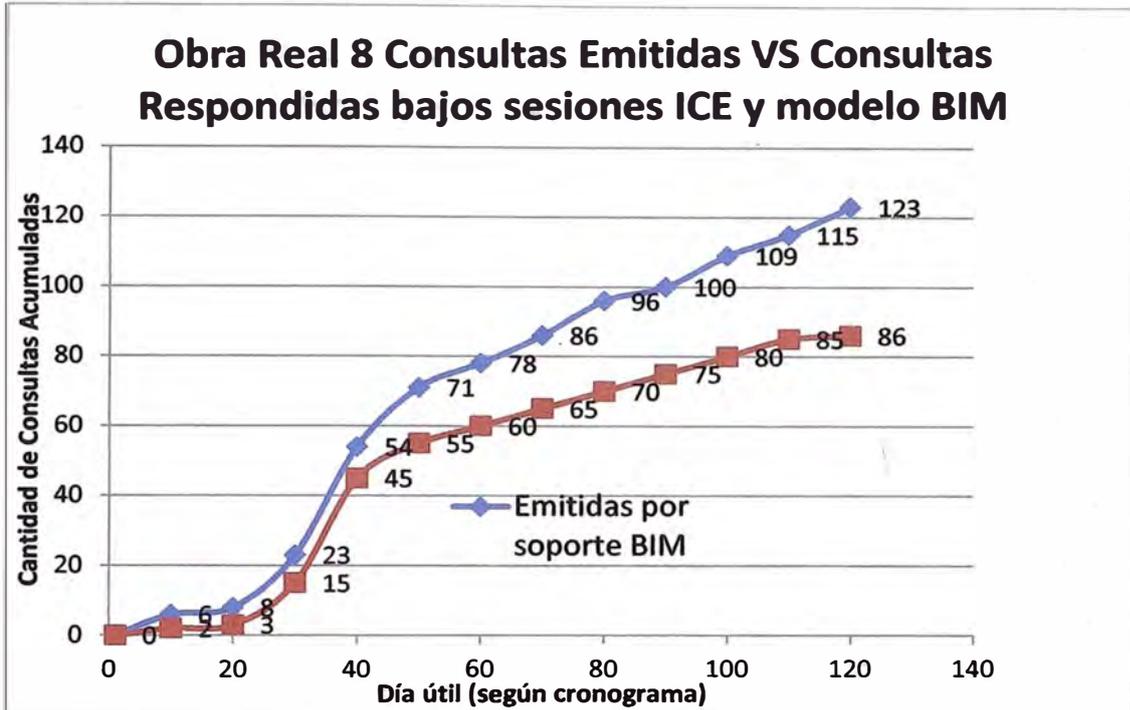
En la Fig. 63 podemos ver el resultado del proyecto Real 8, donde se usó reuniones ICE, observándose una mejora notoria de la velocidad de respuesta de los RFIs.

Fig. 62 Velocidad de respuestas de los RFIs en la etapa de diseño.



Fuente: Soporte BIM GyM

Fig. 63 Velocidad de respuestas de los RFIs en el proyecto Real 8

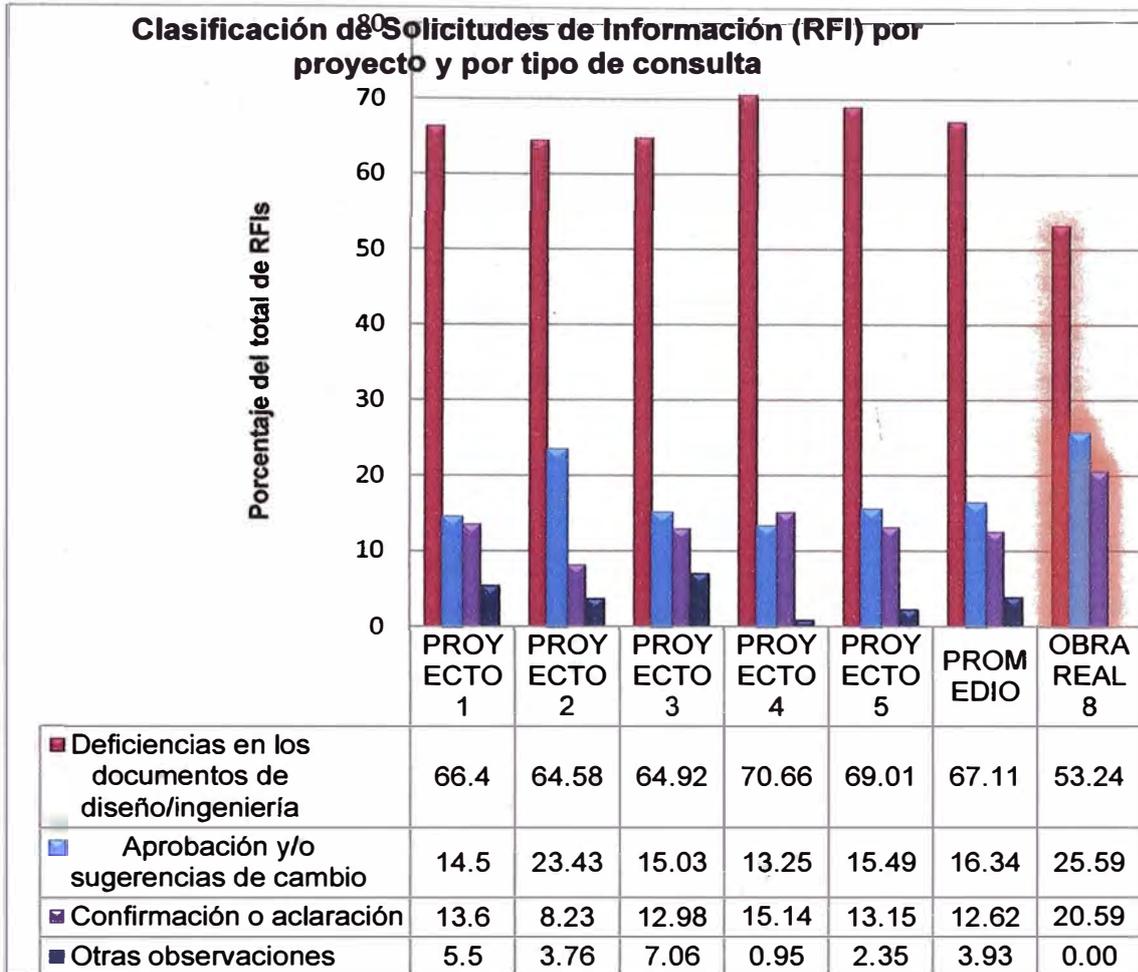


Fuente: Obra Real 8-GyM

4.5.2 Etapa de Construcción

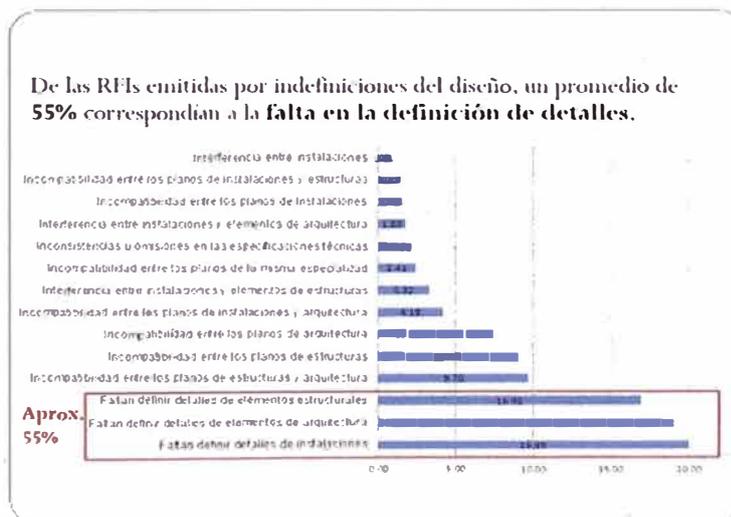
En la Etapa de Construcción con el control de las incompatibilidades se obtuvo el resultado mostrado en la Fig. 64 donde se comparó con el estudio desarrollado, en proyectos donde NO se usa el modelo BIM, por el tesista Alcantara Rojas, Vladimir, cuya investigación se titula “Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción Virtual usando tecnologías BIM” y donde se encuentra que el 75% de incompatibilidades se encuentran en la falta de definición de detalles. En la Fig. 65 podemos ver la clasificación realizada Alcantara donde se observa las deficiencias de diseño en proyectos donde NO se usa el modelo BIM.

Fig. 64 Resultado del control de Incompatibilidades en la obra Real 8



Fuente: Obra Real 8-GyM

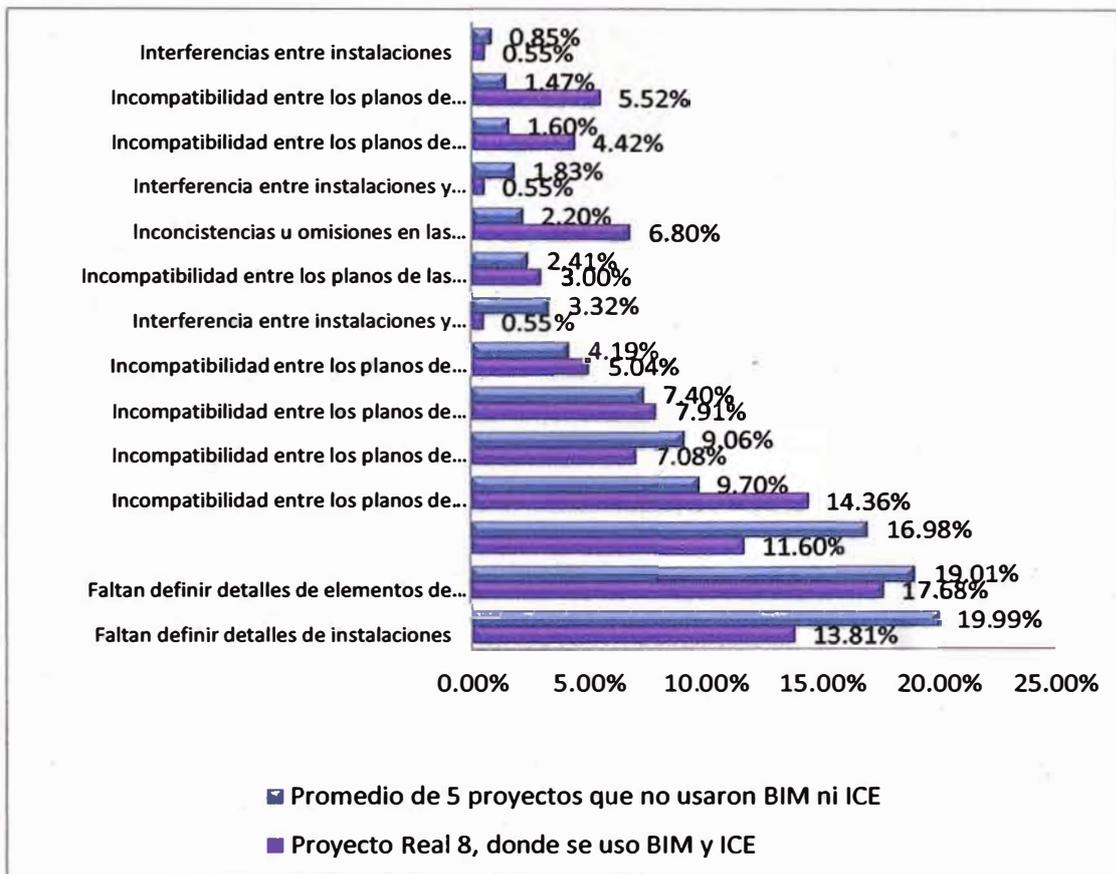
Fig. 65 Estudio de deficiencia de diseño SIN uso del modelo BIM



Fuente: Obra Real 8-GyM

En función a la Fig 65 se realiza la Fig 66 para la obra Real 8 donde se pueden ver la nueva clasificación de las incompatibilidades. La Fig. 65 Muestra el resultado de un estudio "Clasificación de las deficiencias en los documentos contractuales" mostrado en el Capítulo II donde se estudia 5 proyectos donde NO se usó BIM, los proyectos fueron: El Edificio educativo de la universidad el Pacífico; El Centro Cívico; El Edificio del Centro de Computo del Banco de Crédito; El Edificio Claro; El edificio Pardo y Aliaga. Si bien es cierto que los edificios en estudio son para usos diferentes sin embargo nos mostraran una data de las incompatibilidades más comunes en proyectos de edificaciones y la compararemos con el resultado obtenido para un edificio destinado a oficinas donde se usó el modelamiento BIM y la metodología de las reuniones ICE.

Fig. 66 Deficiencias de Diseño haciendo uso del modelo BIM en el proyecto Real 8



Fuente: Obra Real 8-GyM

De acuerdo al gráfico 66 se realiza el Pareto mostrado en la Fig. 67, donde ahora alrededor del 30% de incompatibilidades corresponden a la falta de definición de detalles.

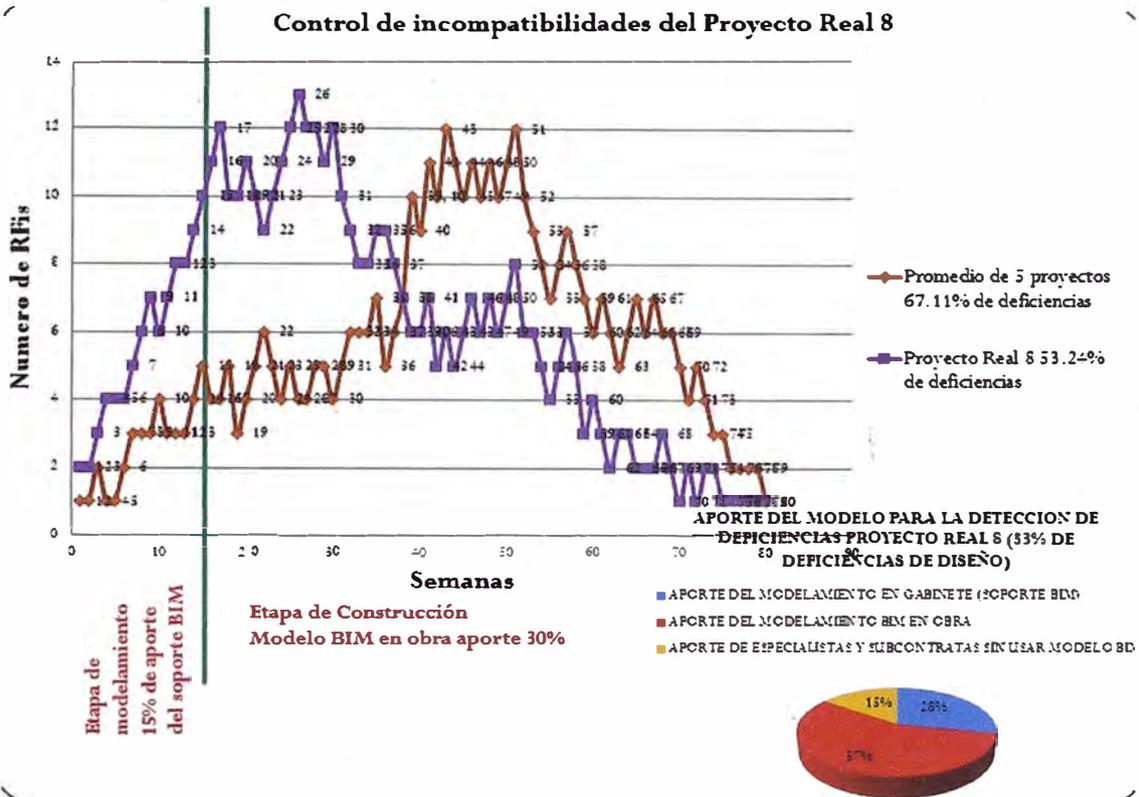
Fig. 67 Pareto de las deficiencias de Diseño haciendo en el proyecto Real 8



Fuente: Obra Real 8-GyM

El uso del modelo BIM y las sesiones IFC permiten una detección temprana de las incompatibilidades evitando paradas en la etapa de producción, podemos ver la gráfica de color morado, correspondiente a la obra Real 8, donde se encuentra más tirado al lado izquierdo respecto a la gráfica de color rojo (proyecto tradicional)

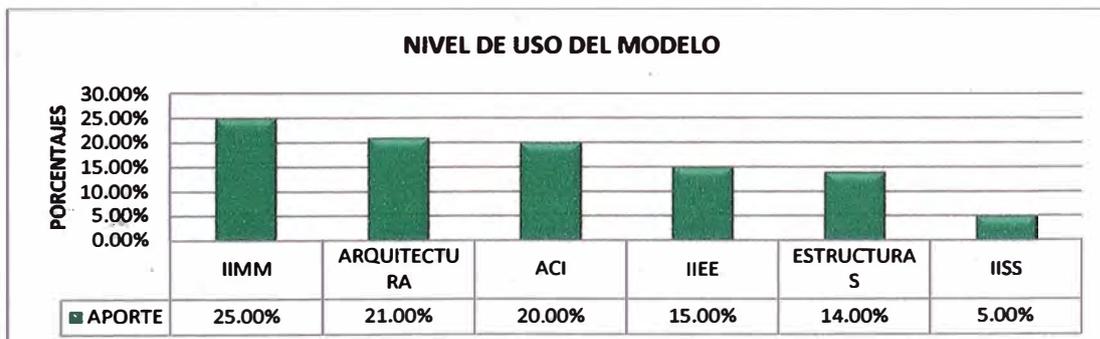
Fig. 68 Control de incompatibilidades en el proyecto Real 8



Fuente: Obra Real 8-GyM

En la gráfica 69 podemos ver el nivel de uso de las incompatibilidades por disciplinas, siendo las IIMM la de mayor incidencia y la de mayor utilidad para el proyecto Real 8, luego tenemos a la arquitectura, agua contraincendios, instalaciones eléctricas, estructuras y finalmente las instalaciones sanitarias la de menor uso sin embargo no quiere decir que éste modelo sea poco importante, todo lo contrario resulta ser importante cuando se quiere visualizar la batería de baños y ambientes críticos como el hall de ascensores

Fig. 69 Utilidad del modelo BIM por especialidades



Fuente: Obra Real 8-GyM

Cabe mencionar que este grafico del nivel de uso del modelo es el referencial para un edificio de oficinas, cosa distinta será para un edificio de viviendas o centros hospitalarios donde cambiara la incidencia de uso del modelo mecánico en menor a mayor grado respectivamente

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la gestión de las subcontratas, también es aplicable las herramientas del VDC como el modelo BIM y las reuniones ICE, que permiten mejorar la coordinación entre el responsable de la subcontrata y el capataz, haciendo que ellos por iniciativa propia programen sus reuniones ICE y lleven el modelo BIM a campo (uso de laptops y tablets) para sus coordinaciones. La etapa más importante del control de incompatibilidades resulta estar en la etapa de la construcción.
- La revisión minuciosa del proceso constructivo y de montaje de instalaciones por las subcontratas hará que se minimice las incompatibilidades por constructabilidad, las cuales son las más difíciles de encontrar en gabinete. Para ello se utiliza las herramientas de la simulación con participación de los constructores (Ingenieros responsables, maestro de obra, capataces), los instaladores y los encargados de montaje de equipos e instalaciones.
- Las incompatibilidades detectadas en gabinete por interferencia se eliminan con el uso de las herramientas del modelamiento BIM y las sesiones ICE de gabinete
- La retroalimentación al modelo debe ser diaria, de lo contrario su aporte disminuirá debido al arduo trabajo que se debe realizar para mantenerlo actualizado.
- El conocimiento de la normativa vigente por los modeladores para las instalaciones a desarrollarse en el proyecto, deberán conocerse antes de empezar a modelar, de lo contrario generaran retrabajos de modelamiento. En este proyecto se tuvo que volver a modelar casi en su totalidad el sistema contraincendios por un tema normativo. Este conocimiento nos sirve para poder efectuar sugerencias de soluciones para aspectos que no cumplen la normativa; es recomendable que lo modeladores conozcan dicha normativa a fin de agilizar la aprobación o conformidad de los diseñadores en las reuniones ICE.
- El modelamiento de acero es muy útil cuando se usa para muros anclados, tanto como visualización como reporte de metrados. El

metrado para los demás elementos estructurales no resulta conveniente debido a la variación de la forma geométrica (sección transversal de vigas, columnas, placas) y la posterior retroalimentación al modelo. En la presente experiencia se modelo acero en, columnas, vigas, losas, placas y cimientos, pero posteriormente no fue útil porque su actualización demanda un consumo excesivo de horas hombre.

- El modelamiento y reporte de metrado de la albañilería es útil cuando para controlar la gestión de llegada de los materiales así como para la programación de las actividades relacionadas al mismo.
- En el presente caso de estudio se reportaron 22 reuniones ICE donde se trataron temas diversos de coordinación, dicha cantidad de reuniones fueron suficientes para solucionar la problemática encontrada entre la contratista principal y las subcontratistas. De otro lado las reuniones ICE son desarrolladas por la subcontrata, entre ingeniero responsable y capataz, si deberían ser más frecuentes, con la finalidad de una mayor claridad en la ejecución de los trabajos.
- La transferencia de las herramientas del VDC a las subcontratas fueron valoradas por las subcontratistas como herramienta de solución de las sus problemas.
- La entrega de la información del modelo BIM a las subcontratas debe ser a través del Naviswork Freedom, siendo ésta una herramienta gratuita, además sirve para que la subcontrata solo pueda visualizar el modelo mas no modificarla, evitando de ésta manera cualquier problema adicional de incompatibilidad. La subcontrata reportara cualquier inconveniente con el modelo para poder iniciar la retroalimentación del mismo.
- El mayor interés mostrado en el manejo del modelo BIM fueron los subcontratistas, entre ellos especialmente el subcontratista mecánico; esto en contraste con los diseñadores que mostraron poco interés en el manejo del modelo.
- En el proyecto en análisis, el manejo de la subcontrata haciendo uso de las herramientas del VDC resulta ser el primer ejemplo demostrativo.
- Los tablas de metrados extraídas en gabinete a partir del modelo BIM no fueron usados en su totalidad, apenas se usó

aproximadamente el 30%, siendo los más importantes el metrado de albañilería, metrado de barandas, metrado de puertas, metrado de acero para muros anclados, metrado de concreto, metrado de enchape de baños; metrado de aparatos sanitarios. Los metrados de instalaciones no fueron usados, sin embargo podrías ser de mucha utilidad los metrados de cables de cobre y de comunicaciones si el proyectista entrega los planos de proyecto sin omisiones; metrado de tuberías, entre otras. Cabe mencionar que el metrado de cantidades (número de puertas, número de rociadores, numero de válvulas, etc.) es útil en cualquier disciplina de instalaciones, arquitectura y estructuras.

- El resultado de la Fig. 79 nos muestra un resultado ambiguo (las incompatibilidades detectadas aumentaron con el uso del modelo BIM) para la clasificación de incompatibilidades entre planos de instalaciones y estructuras; incompatibilidades entre planos de instalaciones y otros Item; esto se debe a que el estudio mostrado en el capítulo 2 titulado “estudio de clasificación de diseño” realiza un promedio entre incompatibilidades de edificios de diversos usos: Cabe mencionar que los edificios educativos y los de oficinas por ejemplo difieren en las cantidad de instalaciones a ejecutar, lo mismo ocurre entre edificios de viviendas y oficinas; la cantidad de instalaciones del edificio depende del uso que se quiera dar. Sin embargo el estudio de clasificación del edificio Real 8 nos da un punto de partida para poder hacer futuras comparaciones entre edificios del mismo tipo, en este caso oficinas. Sin embargo el resultado más interesante se encuentra en la Fig. 81 donde se muestra que las incompatibilidades fueron detectadas con mucha anticipación para ser resueltas, esto minimiza los costos en retrabajos y paras por flujo, siendo el aporte más importante del modelo BIM en obra.

5.2 RECOMENDACIONES

- De acuerdo a la experiencias obtenida e obra se recomienda manejar, a nivel de contrato, mayor involucramiento y compromiso de los proyectistas para participar de las sesiones ICE para resolver incompatibilidades en un tiempo menor, tal que se disminuya la latencia de respuestas, dejando un porcentaje de los honorarios a cancelar cuando se concluya la construcción.
- Es recomendable para toda empresa constructora que desee un proyecto exitoso (máxima rentabilidad y satisfacción del cliente), realizar la compatibilización usando los modelos BIM. Generalmente el típico proyecto de edificaciones en el medio local es del tipo Fast track donde el proyecto se va definiendo en el camino, y resulta indispensable el modelamiento BIM, para llevar el control de las incompatibilidades en todas las etapas del proyecto.
- Se recomienda una mayor profundización en el desarrollo de la coordinación, haciendo uso de más herramientas del VDC, como la latencia de respuestas o el mapeo de proceso, que no se implementaron en ésta experiencia.
- Se recomienda un mayor reforzamiento en temas normativos al elaborar el modelo BIM, tal que se minimice los retrabajos, tanto en el modelamiento como en la ejecución.
- Como se indicó en las conclusiones el estudio de clasificación de diseño mostrado en el capítulo N° 2, ha usado proyectos de edificaciones de usos diversos (Oficinas, educativos, Centro de computo) razón por la cual se obtuvo resultados ambiguos en la Fig. 79, se recomienda hacer un estudio de deficiencias de diseño donde se clasifiquen los edificios del mismo uso (estudio de deficiencias de diseño en edificios de oficinas, en viviendas, etc.).

BIBLIOGRAFIA

- Alcantara Rojas, Vladimir, "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción Virtual usando tecnologías BIM". Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, 2013.
- 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, 2008.
- Ballard, Glenn y Zabelle, Todd, "Lean Design: Process, Tools & Tecniques", LCI White Paper N°10, 2000.
- Koskela, L., Dave, BA. Owen, Sacks, R. "The interaction of lean and building information modeling in construction", Journal of Construction Engineering and Management, 136 (9), Febrero, 2010.
- Koskela, L., "Application of the new production philosophy to construction", Technical Rep. No. 72, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford Univ., Stanford, California, 1992.
- Orihuela, P. y Orihuela, J., "Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios", VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. Lima, 2003
- 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.
- 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.
- 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.
- Tatum, B. y Korman, P., "MEP Coordination in Building and Industrial Projects", CIFE Working Paper #54, Stanford University, 1999.
- Vargas, T., "Opción Diseño-Construcción", Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-2011.

ANEXOS

ANEXO 1

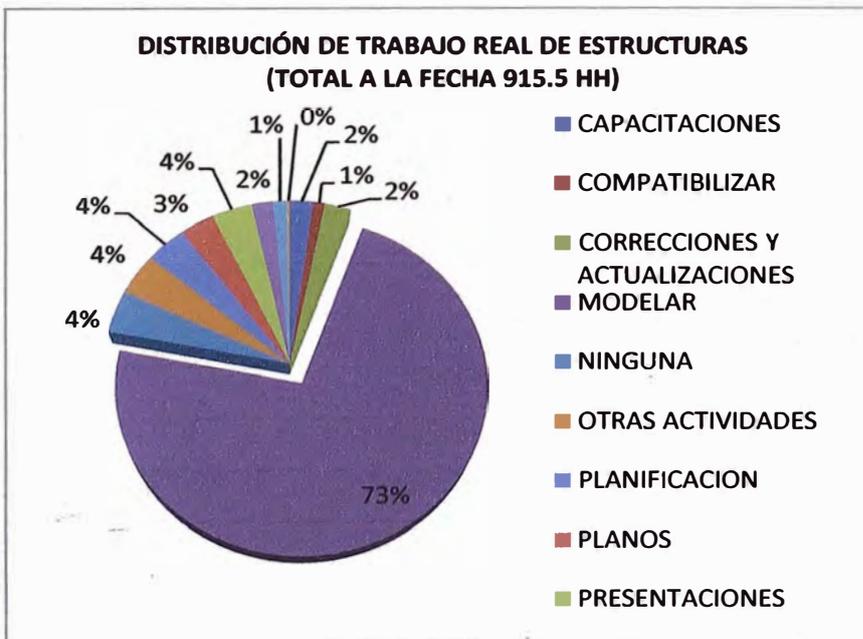
Gráficos de distribución de HH en el modelamiento del edificio Real 8

Fig. 70 Consumo de horas en modelar



Fuente: Soporte BIM GyM

Fig. 71 Distribución de las HH de modelado



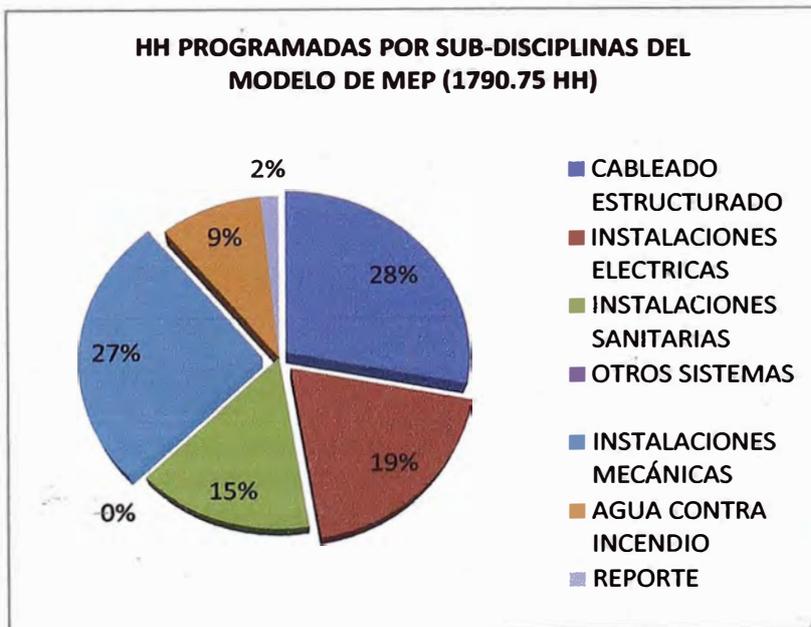
Fuente: Soporte BIM GyM

Fig. 72 Horas Hombre en modelamiento de instalaciones.



Fuente: Soporte BIM GyM

Fig. 73 Consumo de HH por disciplinas de instalaciones



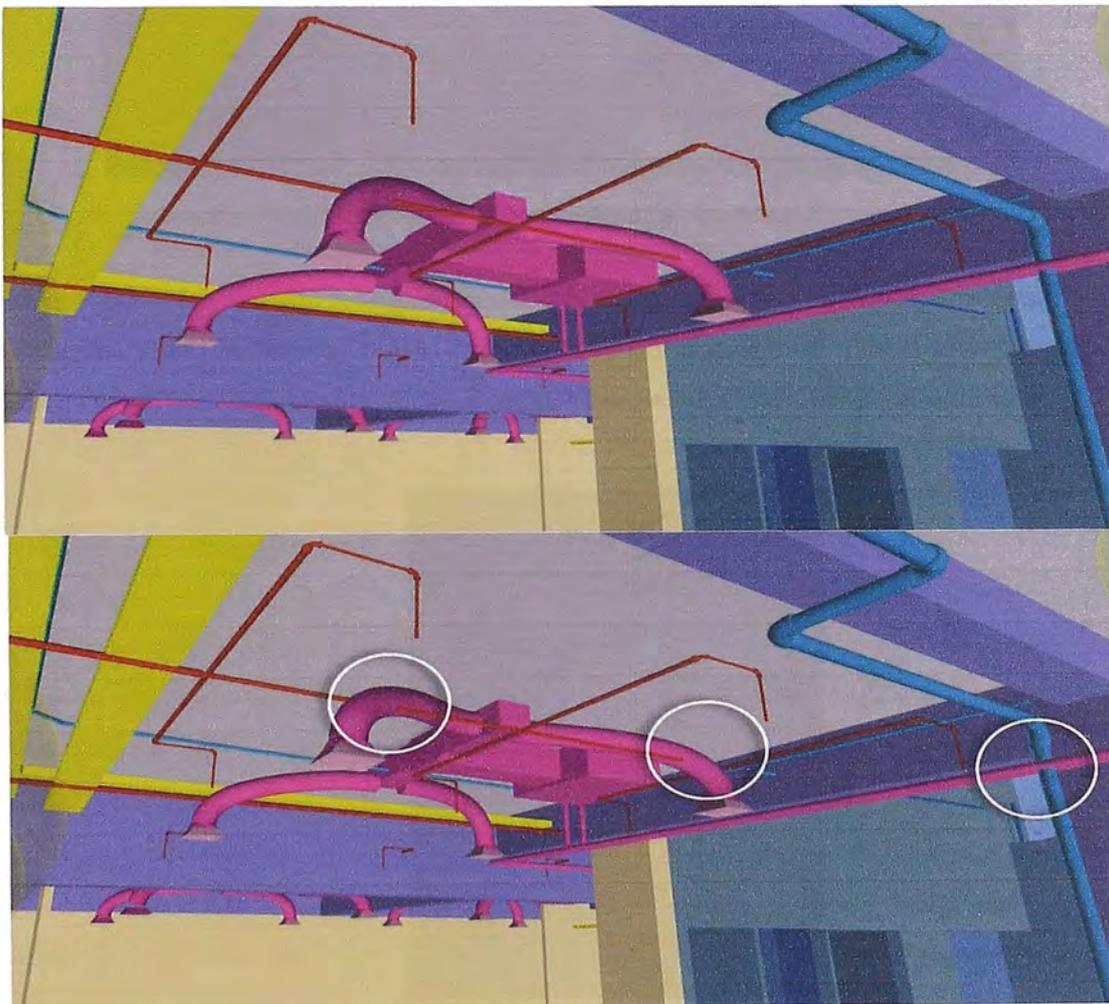
Fuente: Soporte BIM GyM

ANEXO 2

Ejemplos de interferencias

Los ejemplos de interferencias presentados a continuación 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 0.5.

Fig. 74 Ejemplo de interferencias



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

La Fig. 74 ilustran casos de interferencias encontradas en obra cuando, previo a su colocación, no han sido plenamente identificadas en los planos del proyecto. La Figura 0.6 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.

Fig. 75 Interferencia entre tuberías de ACI con ductos de IIMM



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

En la Figura 76, 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 estru

Fig. 76 Caso de interferencia entre una tubería y la estructura



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

En la Fig. 77 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.

Fig. 77 Interferencia entre un ducto y una tubería



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

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 Fig. 78, 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.

Fig. 78 Pases en vigas mediante perforaciones diamantinas



Fuente: Tesis "Metodología para minimizarlas las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usado tecnologías BIM"

ANEXO 3

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.

Fig. 79 Etapas de la entrega de proyectos



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

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.

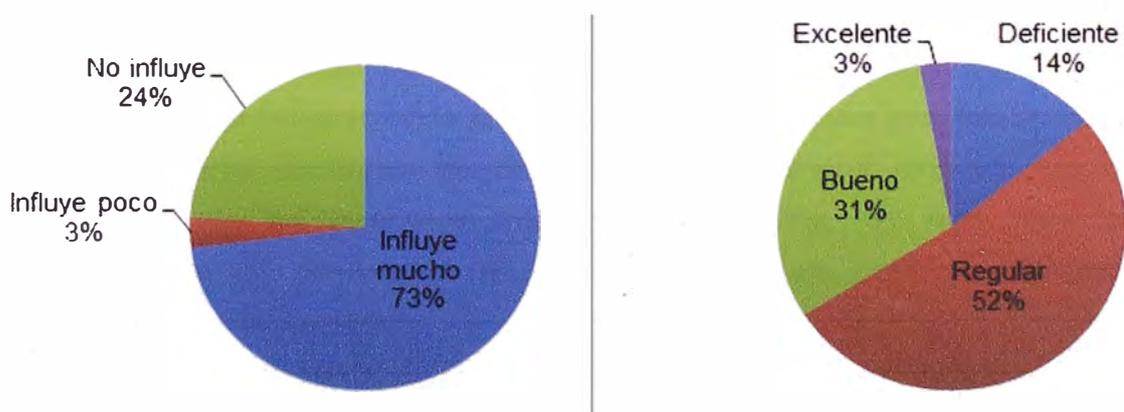
ANEXO 4

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 Fig. 80 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.

Fig. 80 Influencia de las definiciones de diseño en la productividad



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

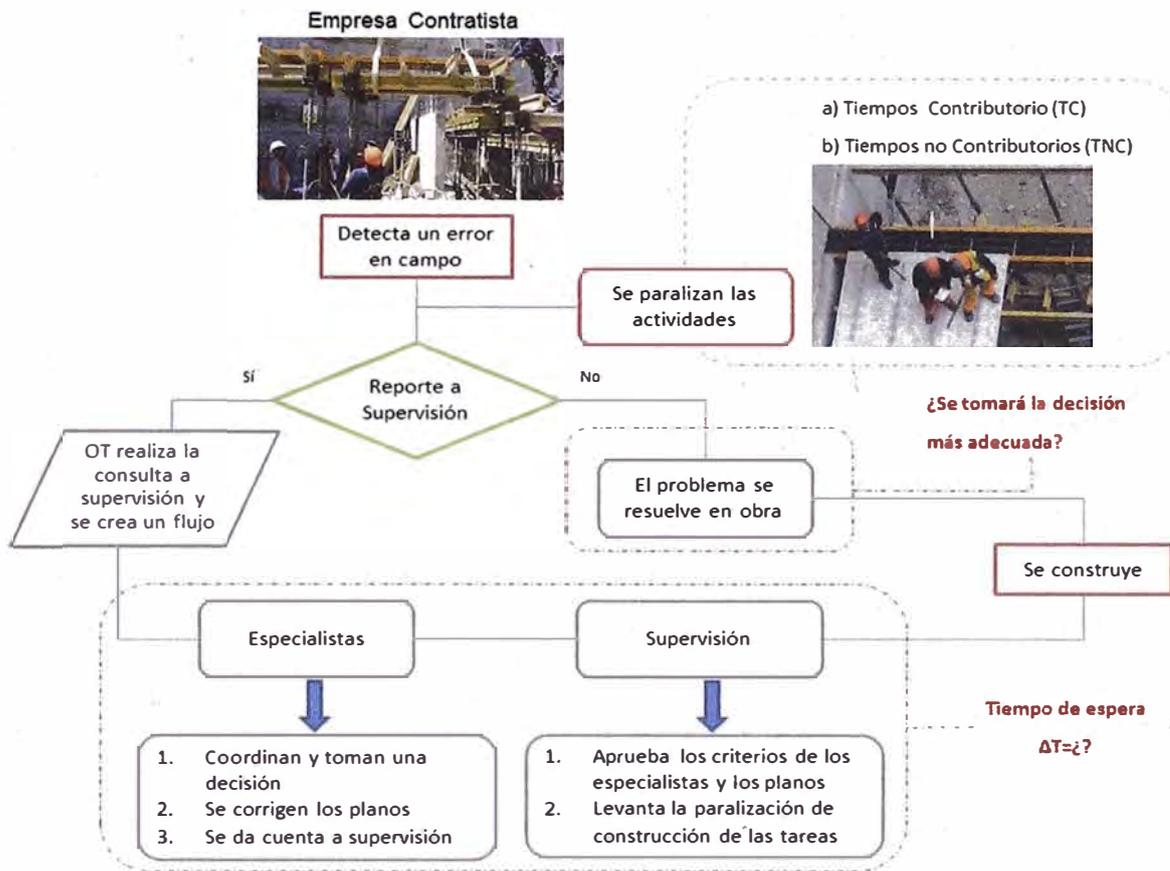
De acuerdo a la revisión de la literatura y en base a consultas realizadas a ingenieros jefes de área y residentes con amplia experiencia en construcción de

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 Fig. 81 que paralizan temporalmente el desarrollo de cierta actividad en obra, perjudicando principalmente a la contratista.

Fig. 81 Flujo para resolver una incompatibilidad en planos y las paralizaciones



Fuente: Tesis "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basadas en la construcción virtual usando tecnologías BIM"

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.

a) 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.

b) 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.

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.

c) 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.

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).

ANEXO 5

BIM COMO HERRAMIENTA TIC PARA LA CONSTRUCCIÓN

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 9. Asimismo, el estudio también identifica los beneficios de las herramientas TIC en las diversas fases de los procesos de diseño y construcción.

Tabla 9 Herramientas TIC más influyentes en las construcción (Colwell, 2008)

Nº	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%

Fuente: Colwell, 2008

ANEXO 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.