



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN Y METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE
MODELOS BIM PARA SU APLICACIÓN EN PROYECTOS
INDUSTRIALES MULTIDISCIPLINARIOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GONZALO DANIEL ALIAGA MELO

PROFESOR GUÍA:
WILLIAM GEORGE WRAGG LARCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO ENRIQUE ROJAS PIZARRO
DAVID ALBERTO CAMPUSANO BROWN

SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2012

Tabla de contenido

Resumen	iii
Dedicatoria	iv
1. Introducción.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos Generales	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.4. Metodología	3
1.5. Resultados Esperados.....	3
2. Revisión Bibliográfica.....	4
2.1. Descripción de la Tecnología BIM/VDC.....	4
2.2. Beneficios	7
2.3. Limitaciones y Consideraciones.....	13
2.4. Uso de Software y Formato de Archivos.....	15
2.4.1. Formato	16
3. Situación Actual.....	19
3.1. Documentos de Guía y Apoyo.....	19
3.2. Uso de Plataformas BIM en Chile	21
3.3. Empresa multidisciplinaria de proyectos industriales.....	26
3.4. Comentarios Generales.....	30
4. Implementación y Metodología	33
4.1. Medidas de Implementación	33
4.1.1. Roles y Responsabilidades	35
4.1.2. Modelo de Tres Fases.....	38
4.1.3. Niveles de Detalle (LOD – <i>Level of Detail</i>)	41
4.1.4. Notación y Librería	44
4.1.4.1 Notación definida	45
4.1.4.2 Librería de Elementos	46
4.1.5. Software y Hardware	47
4.2. Metodología Propuesta	50
4.2.1.1. Diagrama de Trabajo	50
4.2.1.2. Descripción de Diagrama.....	50
4.2.1.3. Variabilidad de Uso.....	59

5. Análisis y Conclusiones	61
Referencias Bibliográficas	64
Anexos.....	65
Anexo A: Entrevistas realizadas	65
Anexo B: Diagrama actual de trabajo	70
Anexo C: Diagrama de trabajo propuesto.....	71
Anexo D: Detalle diagrama de ingeniería por especialidad.....	71

Indice de Imágenes

Imagen 2-1: Ejemplo de modelo BIM	6
Imagen 2-2: Ejemplo gráfico de obtención de documentos del modelo	11
Imagen 4-1: Jerarquía de Roles	36
Imagen 4-2: Diagrama de Roles en el Modelo	38
Imagen 4-3: Modelo de Tres Fases para BIM.....	40
Imagen 4-4: Esquema de librería de elementos.....	47

RESUMEN

En todo proyecto de ingeniería, el proceso de cómo va evolucionando el trabajo condiciona en parte el éxito del proyecto. A lo largo de los años, la complejidad de los proyectos ha ido en aumento y por lo tanto la cantidad de personas participantes para poder desarrollarlos también ha crecido, fomentado, entre otras razones, por la tecnología existente para poder llevarlos a cabo.

Durante el desarrollo del proyecto, la etapa de diseño tiene una mayor relevancia, ya que en ella se produce el mayor intercambio de ideas y modificaciones que condicionan la futura construcción del mismo. Gracias a la tecnología BIM, se puede tener un mejor control del proyecto completo en cada una de sus etapas, teniendo un buen acceso y manejo de la cantidad de información necesaria al nivel que se desee. Se trabaja en base a un modelo virtual con la información del proyecto de cada especialidad, logrando mejorar la manera en que se diseña.

En este trabajo de título se proyecta una metodología adecuada para implementar BIM en una empresa de ingeniería de proyectos industriales que comprenda la integración de múltiples disciplinas, con el fin de crear el proyecto en base a un modelo virtual que lo represente y por lo tanto logrando mejorar la coordinación y comunicación de las distintas especialidades que participan, generando de esta manera un flujo de trabajo colaborativo del diseño del proyecto.

Para lograrlo se realizó un estudio de documentación existente de diferentes entidades especializadas en esta tecnología, y en forma paralela se documentó el trabajo de una empresa especializada en el rubro especificado. Además, se evidenció el modo de implementación que ha habido en distintos casos nacionales y en diferentes rubros, con tal de identificar tanto buenas prácticas como similitud de errores entre ellos.

Con esta información, se realizó una modificación el proceso actual acorde a la implementación y forma de trabajo en base a plataformas BIM, obteniéndose una metodología de trabajo para elaborar modelos en proyectos industriales, enfocado al trabajo conjunto y coordinación durante la etapa de diseño.

DEDICATORIA

A mis compañeros y amigos de primer año, que han estado siempre a mi lado durante todo este proceso, apoyándome y dándome ánimo cuando fue necesario. Controles, trabajos, exámenes y largas noches de estudio en plan común que poco a poco fueron forjando una amistad que, a pesar del paso de los años, se ha ido fortaleciendo cada vez más. De igual manera a mis compañeros civiles, por todos esos momentos compartidos, horas de estudio, laboratorios, informes y trabajos memorables durante esos últimos años de carrera. Gracias a todos ellos por hacer mi paso por la universidad algo agradable y que recordaré por siempre como una de las mejores etapas de mi vida.

A cada una de esas personas que a lo largo de mi paso por la escuela, ayudaron en mi proceso universitario con sus consejos, compañía, y principalmente, amistad.

A mi familia, que con su apoyo incondicional me llevaron a lograr lo que finaliza con este trabajo. A mi papá que a pesar de no tenerlo físicamente cerca, siempre estuvo ahí, se preocupó por mí y se ha mantenido hasta ahora al tanto de mis logros y metas que he ido cumpliendo año a año. Gracias familia, por la educación entregada, los consejos de vida, enseñarme a creer y confiar en mis capacidades y sobre todo, a no rendirme y siempre ponerme de pie frente a los problemas y dificultades que la vida me ha ido poniendo en el camino. He llegado a este punto gracias al esfuerzo, pero principalmente por las enseñanzas que han sabido darme en cada una de las etapas que tuve que pasar para llegar hasta aquí.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La forma en que se desarrolla un proyecto de construcción durante sus distintas etapas ha ido sufriendo cambios a lo largo de los años, y dado el aumento tanto de la magnitud como de la complejidad de estos, ha sido necesario mejorar la gestión, intercomunicación entre especialistas, y sobre todo una buena planificación y control entre todas las áreas involucradas de este proceso. La planificación convencional no es suficiente para obtener mejores resultados, por lo que es necesaria la utilización de nuevas tecnologías y herramientas que ayuden en este aspecto.

El Modelado de Información para la Edificación/Construcción o BIM por su sigla en inglés (*Building Information Modeling*) es la mayor implementación y cambio que se ha hecho para satisfacer esta necesidad. Es una metodología de trabajo integrada en la que se unen en un modelo virtual elementos con información paramétrica, y se controlan los procesos de diseño, construcción y operación de un cierto proyecto durante sus distintas etapas de desarrollo. Es un proceso en que se genera y principalmente administra una base de datos centralizada, una modelación de la obra con información que facilita y optimiza la manera de crear el proyecto.

Gracias a características de los software que se utilizan, se cuenta con datos relacionados entre sí, por lo que en caso que exista la necesidad de modificar algún elemento o parte del proyecto, se actualiza el modelo completo automáticamente. Así se agiliza la administración del mismo y se tiene mayor control de la información, pudiendo encontrar errores de diseño, interferencias de elementos e incluso cubicaciones o análisis de costos del proyecto de manera rápida y efectiva. Esto evita principalmente la corrección de procesos en plena etapa constructiva, por lo que el ahorro de tiempo y recursos es significativo.

Por lo tanto, al utilizar plataformas BIM se puede gestionar en forma optimizada el proyecto en su totalidad, ya que mejora la interoperabilidad de las distintas áreas incluidas, manteniendo informados a todos los participantes respecto de los cambios en todo momento y durante todas las fases.

En nuestro país este tipo de forma de trabajo no ha sido hasta el momento muy utilizada. Se han ido desarrollando proyectos de complejidad cada vez mayor y en algunos casos se ha tomado la determinación de cambiar la forma de trabajo hacia una metodología con BIM, sin embargo se va topando con nuevos desafíos para una efectiva implementación. Los resultados no son siempre exitosos, o tienen costos elevados en varios aspectos, motivo

por el cual se produce un freno en la inclusión de estas opciones en las empresas de ingeniería.

Por este motivo, es que se plantea desarrollar una metodología de implementación para proporcionar un protocolo de trabajo en la etapa de diseño de ingeniería, basado en el modelo mismo que se va generando, manteniendo el proyecto centralizado en él, y por lo tanto utilizándolo como base de trabajo y comunicación entre las especialidades.

El modelo a generar debe cumplir con características acordes tanto a las necesidades y requerimientos del proyecto como al objetivo de uso que se desee dar a este modelo, por lo que el procedimiento de cómo se hace esto tiene directa relación con el cumplimiento de los alcances definidos.

Al conseguir trabajar bajo estas condiciones, se puede tener una maqueta virtual del proyecto con un grado de detalle y características que sea representativo de acuerdo a lo estipulado por el mandante o por el mismo grupo diseñador, y que sea útil no sólo para diseño y visualización, sino que para otras funciones que son posibles de lograr dependiendo del software que se utilice para la elaboración del mismo.

1.2. Objetivos Generales

El objetivo de este trabajo de título es elaborar una metodología de trabajo para la implementación y elaboración de modelos BIM en la etapa de diseño de proyectos de tipo industrial, enfocado en el desarrollo dentro de una empresa multidisciplinaria involucrando la coordinación de varias disciplinas en forma simultánea.

1.3. Objetivos Específicos

Para lograr el objetivo general se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Documentar el actual uso de BIM en algunas empresas chilenas de distintos rubros, y así determinar las principales falencias que ocurren en la implementación de plataformas BIM en proyectos.
- Analizar distintos documentos de entidades internacionales que han desarrollado manuales o guías de ayuda, y han planteado ciertos estándares de diseño y e implementación en forma general.
- Diseñar una propuesta de metodología acorde al tipo de proyecto escogido, basado en las recomendaciones recogidas y la información seleccionada de los documentos expuestos.

1.4. Metodología

De acuerdo a los objetivos planteados, se procedió de la siguiente manera:

1. **Revisión bibliográfica y análisis de BIM como medio de trabajo para la elaboración de proyectos.** Para poder diseñar una metodología modificada y adecuada para el tipo de proyecto seleccionado, se realizó un análisis del funcionamiento de plataformas y tecnología BIM en general en distintos casos, obteniendo las principales características y beneficios, como también los inconvenientes y problemas que surgen al utilizarla.
2. **Documentación del uso de BIM en Chile bajo las distintas empresas.** A través de entrevistas a distintas empresas y personas insertas en esta tecnología, se obtuvo información relevante del real uso que tienen estas plataformas en nuestro país, y cómo han trabajado en el desarrollo de proyectos utilizando parcial o totalmente estos programas para distintas fases.
3. **Estudio de guías internacionales.** De acuerdo a documentación existente del uso recomendado de BIM para trabajar en proyectos, se realizó una selección de la información aplicable al tipo de proyecto escogido y se modificó la necesaria para adaptarla al uso seleccionado.
4. **Diseño de metodología adecuada para desarrollar proyectos industriales en base un modelo BIM.** Con la información obtenida de las entrevistas, y la selección y modificación adaptada de las guías seleccionadas, se obtuvo una serie de puntos fundamentales y criterios que deben utilizarse para trabajar como base para el tipo de proyecto escogido. Con estos datos, selección de buenas prácticas y la metodología existente sin utilizar programas BIM, se planteó una metodología nueva de acuerdo a las capacidades y beneficios que se tiene al diseñar un proyecto basado en un modelo central en base a trabajo colaborativo con software BIM.

1.5. Resultados Esperados

En esta investigación se busca desarrollar una metodología para una adecuada implementación y posterior elaboración de un modelo representativo hecho con plataformas BIM, para aplicar al diseño de ingeniería dentro de una empresa que trabaja con varias especialidades en forma simultánea en proyectos de tipo industrial.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El área de la arquitectura dio inicio a lo que ahora son las plataformas BIM, pues es una especialidad que por defecto se enfoca más en el diseño y presentación digital de los proyectos para transmitir sus ideas al cliente. Poco a poco los desarrolladores de estos programas comenzaron a darse cuenta que era necesario acercar el resto del trabajo de ingeniería a este formato virtual para poder asimilar sus beneficios al ciclo constructivo de los proyectos, haciendo más entendible y fácil de desarrollar el trabajo y proceso completo asociado.

De esta manera se han ido integrando estos programas al diseño de ingeniería de proyectos, generando un cambio en el proceso tradicional de desarrollo que se ha mantenido vigente durante años. Con esta tecnología, la comunicación entre las distintas especialidades aumenta, pudiendo mejorar las distintas etapas del proyecto en grados diferentes.

Plantas de producción de alimentos, elaboración de distintos productos o proyectos industriales en general, tienen la característica de integrar y combinar áreas de la ingeniería en forma simultánea para sus procesos de producción, por lo que la coordinación y comunicación que debe existir a lo largo de su desarrollo juega un rol importante para el éxito del proyecto en cuanto a cumplimiento de plazos, metas y objetivos. Este tipo de proyectos por lo general es necesario que tengan un periodo de construcción pequeño, y finalicen lo antes posible para su pronta puesta en marcha, transformándose en la mayoría de los casos en un proyecto de tipo *fast-track*¹.

2.1. Descripción de la Tecnología BIM/VDC

BIM (*Building Information Modeling*) o VDC (*Virtual Design Construction*) comprende el proceso de generación y gestión de información de un proyecto de construcción durante sus diferentes etapas, ya sea desde el inicio en la fase de diseño o en su coordinación y planificación de construcción, basado en una plataforma virtual. El término VDC engloba el proceso completo más allá del modelo en sí, pues se refiere al uso que se le da al modelo BIM que se crea para el proyecto.

El uso de esta tecnología se basa en crear maquetas tridimensionales con información paramétrica de sus elementos, con propiedades de materialidad,

¹ Son tipos de proyecto que inician su construcción sin haber terminado aun la ingeniería respectiva. Se da inicio a la etapa constructiva con la ingeniería de detalle en desarrollo, y por lo tanto sujeto a modificaciones constantes. Suelen tener un costo más elevado, con la ventaja de tener una duración menor.

geometría, cantidades, propiedades particulares, costo o algún otro tipo de característica que se desee incluir. Está regido por datos estandarizados, permitiendo la interoperabilidad del modelo con los distintos participantes de un proyecto. Debido a que posee una gran facilidad de modelamiento paramétrico, es posible tener una representación virtual con datos necesarios para automatizar la gestión, por lo que cuenta con la ventaja de poder realizar planificación de obras y su visualización de construcción en tiempo real, logrando dar una visión más cercana de lo que se obtendrá como producto una vez finalizado, transformándose en una pre-construcción del proyecto en su totalidad.

El uso de la metodología BIM o VDC se debe entender exactamente como lo dice su nombre, una metodología. No está basado simplemente en la creación de un modelo con características como las recién señaladas, sino que es un procedimiento completo en que se debe desarrollar una forma de trabajo diferente a la utilizada actualmente en el desarrollo de proyectos. Si se desea hacer una maqueta virtual de un proyecto, esta maqueta puede tener distintos atributos dependiendo de los alcances y objetivos que se hayan planteado resolver al momento de su diseño, y por lo tanto es importante tener claramente identificados estos puntos al comenzar a desarrollarlo. Estos atributos están definidos principalmente por lo solicitado de parte del cliente, como también lo determinado para desarrollar internamente en cada disciplina que participe en el proyecto. Es importante utilizar inteligentemente esta metodología de trabajo, y por sobre todo aplicar un procedimiento ordenado en su implementación, puesto que la comunicación y principalmente la coordinación de las distintas especialidades durante todo el proceso de diseño juegan un rol fundamental para el éxito en la implementación completa de BIM. Podemos entender la metodología como un método innovador que facilita la comunicación entre los sectores de ingeniería, arquitectura y construcción, que logra generar e intercambiar información de manera eficiente y además crear representaciones digitales de las fases del proceso de construcción del proyecto.

Al trabajar con objetos paramétricos inteligentes, se cuenta con una base de información que entrega tanto datos geométricos como materialidad, resistencia y otros, que le dan un valor agregado a los elementos, transformando una representación gráfica en una representación virtual siendo en conjunto un modelo con condiciones reales del proyecto. Además, la ventaja de esta parametrización de los elementos, es que al cambiar sus propiedades se logra cambiar rápidamente su geometría, tarea extremadamente ventajosa al comparar con programas de diseño tradicionales basado solamente en representación gráfica.

A continuación se ejemplifica de manera más gráfica lo recién planteado, mediante un caso sencillo representado por un elemento cotidiano, para así simplificar en parte la definición anterior:

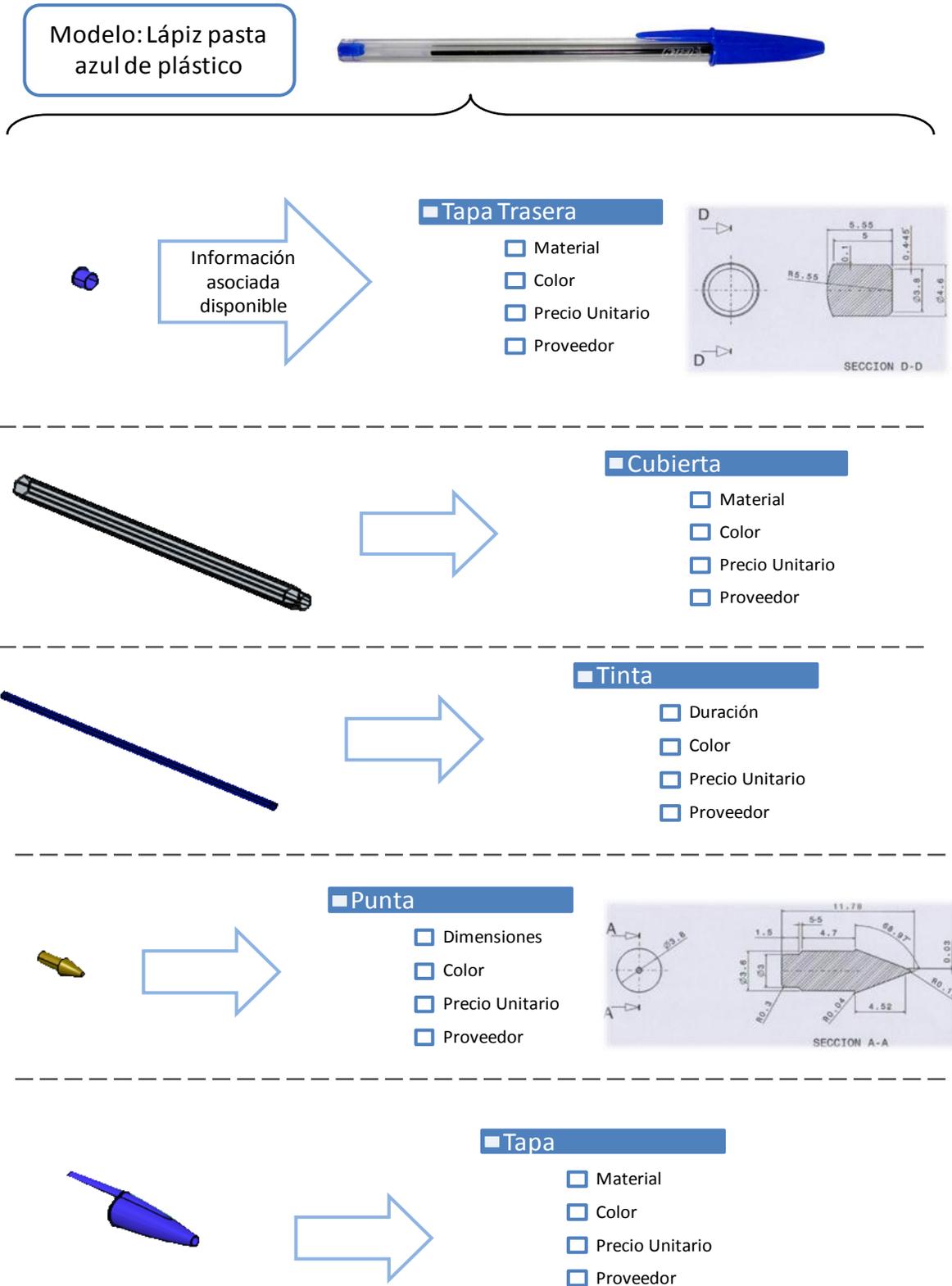


Imagen 2-1: Ejemplo de modelo BIM

Si tenemos un modelo BIM de un lápiz pasta azul, podemos tener toda la información que se desee en él. Es posible entonces separar este modelo en elementos, que a su vez pueden volver a separarse. En el ejemplo, se puede tener la tapa y el resto del lápiz, que se puede separar en la cubierta, punta y tapa trasera. Cada uno de estos elementos, tiene distintas propiedades asignadas, y es posible entonces obtener de cada uno de ellos: dimensiones, planos, costos, proveedores, materiales, etc. Si se quisiera realizar un cambio en el tipo de tinta que se utiliza, simplemente se modifica el parámetro correspondiente, y en forma inmediata se cuenta con la actualización del modelo completo, del costo total del producto y de las características que posea.

El cambio hacia esta tecnología se ha extendido a nivel global a lo largo de los años, y en nuestro país ha logrado implementarse lentamente en algunas empresas que se han atrevido a innovar en programas nuevos. Estas empresas por supuesto que se han visto enfrentados a distintos desafíos y dificultades para lograr una utilización efectiva a lo largo del tiempo, principalmente por la falta de conocimiento de cómo hacer la transición en la forma de trabajo que deben desarrollar al momento del cambio, así como en desconocer las características destacadas de las nuevas plataformas que deberían comenzar a utilizar.

En adelante se utilizará el término BIM directamente en vez de VDC, pues resulta un concepto más familiar en la literatura y entre los usuarios en general. Aunque existan pequeñas diferencias conceptuales entre ambas definiciones, para el caso de estudio no tiene mayor relevancia.

2.2. Beneficios

Al utilizar estas plataformas de trabajo BIM para diseñar los proyectos, hay múltiples beneficios asociados tanto a la productividad en la gestión del proyecto en sí, como en la mejora a nivel de empresa relacionado a la comunicación entre las personas que trabajan en ella. El grupo de beneficiados incluyen tanto a arquitectos, ingenieros y constructores, como al mismo cliente, pues el producto que se obtiene – un modelo centralizado con toda la información que se le incluyó del proyecto – es posible utilizar incluso una vez construido y finalizado el proyecto.

Podemos entonces identificar claros beneficios de los actores involucrados en el manejo o uso de BIM²:

² Mariangel, Martínez, Reyes, Vidal. Diseño en BIM: Cómo el diseñador industrial se puede incorporar al desarrollo de proyectos en la industria inmobiliaria con el uso del sistema BIM. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Diseño. Santiago de Chile.

Clientes:

- 1) Mejor conexión entre el diseño y las propuestas formales con los objetivos finales y conceptuales del proyecto que se desee desarrollar.
- 2) Menores costos asociados a pérdida de material, optimización de tiempo en elaborar el proyecto.
- 3) Posibilidad de tener mayores estándares de calidad al tener normativas y exigencias asociadas a las plataformas de trabajo BIM.
- 4) Mejora en la calidad del proyecto, aumento del valor como producto final.

Arquitectos:

- 1) Disminución de trabajo debido a la extensión de bibliotecas y posibilidades de integrar nuevos ítems, además de la especificidad de las características intrínsecas de los elementos.
- 2) Relaciones y compromisos del proyecto pueden ser gestionados de forma interconectada, lo que disminuye tiempo en pasar los modelos a papel para poder discutirlos.
- 3) Toma de decisiones en momentos clave.
- 4) Estimación de costos del diseño realizado, mediante programas interoperables.
- 5) Reducción de tiempo en la producción de la documentación para proyectar y emprender más tarde las obras.

Ingenieros:

- 1) Integración del análisis geo-espacial en la propuesta conceptual, permitiendo un ahorro en tiempo y dinero.
- 2) Coordinación directa entre todas las especialidades de las ingenierías involucradas, que se encuentran trabajando sobre el mismo modelo, permitiendo una evaluación instantánea a través de análisis de interferencias que optimizan el avance del trabajo sin choques entre las redes y las soluciones estructurales.
- 3) Análisis dinámicos, al permitir la planificación de los movimientos, las cantidades y la colocación del material durante la construcción, lo que ayuda a tener un panorama general más claro con respecto a las zonas a intervenir.

Constructores:

- 1) Mejoras en la integración del diseño.
- 2) Aumento de la información para la fase de construcción.
- 3) Relaciones y compromisos pueden ser gestionados de forma interconectada.
- 4) Mejoras de costos estimados en la producción debido a la optimización de materiales y tiempo total de trabajo en las obras, al tener solucionados elementos previamente al comienzo de la construcción.

A pesar de esto, la mayoría de los beneficios que se generan en la implementación suelen ser a mediano y largo plazo, ya que existen una serie de costos asociados que se detallan más adelante.

Uno de los puntos más fuertes que destacan entre los beneficios asociados, es la opción de fácil visualización de cualquier parte del proyecto, por compleja que sea la arquitectura o diseño. Utilizar herramientas BIM permite a los *stakeholders*³ del proyecto visualizar el proyecto durante todas sus etapas. Al utilizar un modelo 4D se tiene un beneficio extra, mejorando la comunicación y logrando un diseño pensado en la construcción. Se logra que el equipo de trabajo entienda e integre de manera más fácil el diseño y construcción que con los métodos actualmente utilizados, logrando así un desarrollo más ligado entre ambas áreas.⁴

Además, al tener una visualización simple, permite integrar a todos los participantes que se desee en la toma de decisiones pudiendo por ejemplo el mismo cliente optar por alguna u otra opción disponibles para cierto aspecto del proyecto en su diseño, sin tener que ver numerosos planos o documentación para ello. De esta manera, entender cómo se ha ido desarrollando el trabajo por parte de la empresa es más fácil, logrando una comunicación más eficiente con el mandante.

Otro punto a destacar, es la interacción “forzada” que se genera entre las distintas especialidades de ingeniería al tener que usar programas que logran entrelazar la información de la maqueta virtual. Esto permite mejorar la comunicación tanto interna como entre las mismas disciplinas, transformándose entonces en un requisito de implementación que se traduce en un beneficio no menor dentro de la empresa que utilice BIM para desarrollar sus proyectos. Existe así un intercambio mucho más dinámico de la información del proyecto, que se asocia directamente con una mejor integración del trabajo que se desarrolla.

Para el caso particular de esta investigación, la interacción se torna realmente ventajosa si hablamos del desarrollo de proyectos industriales multidisciplinarios dentro de una misma entidad, pues mejora la comunicación y fuerza a realizar un real trabajo en equipo entre los diseñadores e ingenieros durante el proyecto. Al tener esta característica, existe entonces un cambio necesario en la forma de comunicación durante la

³ Son por definición todos los integrantes o participantes de un proyecto, toda persona que se ve afectada por el proyecto ya sea en forma negativa como positiva. Incluye tanto a accionistas, clientes y constructores, como a los mismos usuarios finales de la edificación.

⁴ Martin Fischer, Formalizing Construction Knowledge for Concurrent Performance-bases Design, 2006.

etapa de diseño y se producen mejoras en la elaboración y desarrollo del trabajo.

Principalmente, se produce una optimización en la toma de decisiones al detectar problemas de diseño en el proyecto. Al contar con un solo modelo completo que integra el trabajo de varias disciplinas combinadas, estas decisiones se toman en forma conjunta entre los especialistas que se ven involucrados en el problema. En el caso del trabajo convencional, esta comunicación o decisión generalmente no existe, ya que se trabaja en forma separada y los problemas se resuelven en etapas posteriores una vez que ya existen planos terminados y se pasa a revisión. Ocurre un proceso iterativo en ambos casos pues ya sea que se encuentren errores u ocurran modificaciones al diseño en sí por otros factores, se modifica el trabajo hecho y después se vuelve a revisar.

Esto se traduce en una mejora en la gestión y coordinación del proyecto, pues la diferencia clara es el tiempo que demora cada una de estas etapas. En el caso del modelo BIM no se pasa por la emisión de planos y posterior revisión con las otras especialidades, sino que se hace directamente en forma virtual, sin aún siquiera mencionar la rapidez en la modificación de elementos.

Al elaborar el modelo, se crean objetos con propiedades geométricas y no geométricas (dimensiones, características de materialidad, costos, etc.), pudiendo mantener toda la información que se considere necesaria en un elemento de la maqueta. Al trabajar con objetos paramétricos, existe un beneficio asociado a la rapidez en la que se puede crear y/o modificar la información contenida en el modelo. Si antes con programas de diseño clásico tomaba horas realizar por ejemplo un cambio en los diámetros de las tuberías de un proyecto, la modificación con el uso de plataformas BIM toma tan solo minutos. De esta forma, la modificación de elementos se transforma en una tarea sencilla y sobre todo rápida, lo que se traduce en una disminución considerable en el tiempo que es necesario dedicar a las correcciones que van surgiendo a lo largo del diseño.

Otra ventaja relacionada está referida a la generación de documentación del proyecto. Al tener un modelo tridimensional, es posible generar planos a partir de diferentes cortes que se puede hacer a este modelo central. Si necesito obtener una vista en planta es posible sacar una vista superior del modelo y en base a eso se logra generar un plano 2D. Si pensamos en el trabajo que se desarrolla actualmente en muchas empresas, al tener una serie de planos para una especialidad en particular, ocurre el gran problema que existe al momento que surge la necesidad de realizar una modificación o corrección. Poniendo como ejemplo una modificación tan pequeña como un cambio en el largo de un muro o la ubicación de un ducto de ventilación, este

cambio se debe hacer en todos y cada uno de los planos en que está presente este elemento. Si por el contrario hablamos de un diseño tridimensional del elemento, solamente se modifica el parámetro asociado, y se vuelven a generar los planos a través de los cortes que se quiera en el modelo completo, en forma casi automática.

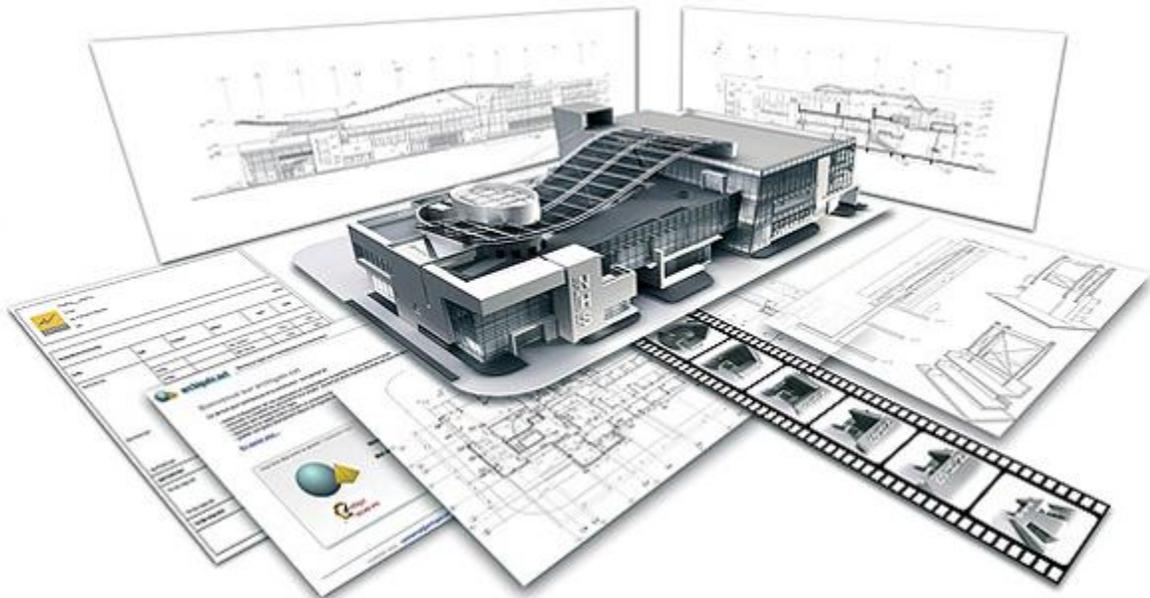


Imagen 2-2: Ejemplo gráfico de obtención de documentos del modelo

Cabe señalar que la obtención de planos con el nivel de detalle que se maneja actualmente al usar programas de dibujo clásicos como AutoCAD, es mucho mayor que los documentos que se obtienen directamente de estas plataformas, pero que es posible modificarlos y agregar la información que sea necesaria a través de estos programas clásicos en caso que se requiera.

Otro punto importante de los beneficios que se obtienen con BIM está asociado a la detección temprana de problemas que surgen normalmente en la etapa de construcción, específicamente la detección de interferencias. Habitualmente la detección de conflictos entre elementos es una tarea que se realiza una vez que se tiene un avance considerable del proyecto, y por lo tanto las modificaciones a realizar serán en una cantidad considerable, sin contar el tiempo que será necesario dedicar a esta labor.

Al considerar el trabajo con un modelo centralizado, esta detección se hace en etapas tempranas durante el desarrollo de la maqueta, logrando disminuir las interferencias a futuro pues se diseña en conocimiento del trabajo que se va elaborando en las otras disciplinas involucradas. De esta manera, existe una reducción considerable de las RDI (Requerimiento de Información) que se generan durante el diseño, disminuyendo el tiempo que se dedica en realizar las correcciones y cambios en el proyecto, y por lo tanto optimizando el avance del trabajo completo.

No solamente se pueden analizar las interferencias detectadas, sino que gracias a la visualización temprana es posible observar espacios reales disponibles para distintos fines tales como zonas de estacionamiento, altura necesaria de cielos falsos para instalación de equipos, espaciamiento mínimo entre elementos de ventilación y tuberías u otros elementos, etc.

Sin duda alguna, la gestión del proyecto en cuanto a planificación en la construcción es una característica destacable del uso de BIM. Gracias a las capacidades de los programas que se utilizan, es posible unir el modelo virtual con la programación de obra generando un modelo tridimensional y temporal (el llamado modelo 4D) que permite una visualización completa del proceso constructivo que se tendrá a futuro. De esta manera, es posible detectar errores de planificación de la etapa constructiva, pudiendo mejorarse este proceso para desarrollarlo quizás en menor tiempo y de mejor manera. No sólo es posible tener esta visualización señalada, existe una mejor gestión del proyecto en sí. Se tiene un análisis dinámico de la planificación de obra, ayudando a obtener un plano general más claro del proyecto en su totalidad.

Además de visualización de planificación de construcción, al tratarse de trabajo con elementos paramétricos es posible mostrar información de costo de los elementos, obteniendo así cubicaciones del proyecto completo casi en forma inmediata. Al hacer modificaciones al diseño, se cambia información de los elementos pero nuevamente la cubicación es fácil de obtener.

Todas estas ventajas señaladas, hacen que el trabajo final que se obtiene al utilizar una metodología BIM integrada durante la etapa de diseño, genere una mejora sustancial en el valor y calidad producto final traducido en un modelo virtual del proyecto, logrando mayores estándares de calidad en el trabajo desarrollado. Esto se logra al haber dedicado mayor esfuerzo al diseño en sí y menor tiempo en la elaboración y modificación de planos o traspasando información asociada al proyecto entre las distintas disciplinas.

A modo de recapitulación, los principales beneficios que se obtienen al hacer un cambio en la forma de trabajo migrando a las plataformas de trabajo BIM son:

- Mejor coordinación en la etapa de diseño del proyecto
- Detección de interferencias antes de la etapa de construcción
- Mejor comunicación entre las diferentes disciplinas
- Disminución de costos y ahorro en el tiempo de desarrollo de proyectos
- Mayor dedicación en la etapa de diseño, disminuyendo los errores y modificaciones en etapas futuras
- Menor tiempo asignado a la elaboración de documentos y traspaso de información

- Fácil visualización de las distintas fases del proyecto para los distintos *stakeholders*

2.3. Limitaciones y Consideraciones

A pesar de las múltiples características y beneficios que se obtienen en la implementación y uso, es necesario señalar que existen una serie de factores que deben tomarse en cuenta al momento de decidir hacer el cambio a una forma de trabajo con plataformas BIM.

El primer punto importante que produce muchas veces un freno en la decisión de cambiarse a esta nueva forma de trabajo es el alto costo que implica adquirir los software necesarios para ello. Es una inversión no menor que debe hacerse, y tal como se dijo anteriormente, los reales beneficios de una implementación son visibles a mediano y largo plazo, una vez que ya existe cierta experiencia en la elaboración de modelos BIM. Estudios respecto a los retornos de inversión (ROI) de esta decisión quedan fuera del alcance de este trabajo en particular, pero es necesario analizar la viabilidad de esta transición respecto al tipo de proyecto, como postula Rodolfo Saldías⁵.

No solamente es necesario invertir en la compra de los programas adecuados, sino que existe una capacitación asociada para el correcto aprendizaje de las plataformas de trabajo. Esta capacitación debe ser incluida en el costo de los programas que se pretenda utilizar.

Pierde completo sentido el hacer una inversión en software y no en aprender a utilizarlo, ya que no se saca real beneficio si no se conoce las capacidades de las herramientas de las que se dispone para desarrollar la maqueta del proyecto. La cantidad de tiempo necesaria para poder utilizar programas BIM es variable, dependiendo del área de la ingeniería que se esté desarrollando, los tipos de proyectos en los que se desempeñe la empresa, y por supuesto las capacidades del usuario.

Otra arista del problema, es la elección del programa adecuado con el que se va a trabajar. Esto no deja de ser una decisión importante al momento de optar por un cambio, ya que hay ciertos elementos que se deben considerar al momento de elegir la plataforma BIM, donde se puede destacar:

1. Diferentes especialidades cuentan con software especializado en diseño. Difieren en capacidades y posibilidades de interacción específicas.

⁵ Saldías Rodolfo, Estimación de los beneficios de realizar una Coordinación Digital de Proyectos con Tecnologías BIM, Tesis (Ingeniero Civil), Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2010.

2. Dependiendo de la etapa en que se trabaje y las especialidades que se involucrarán en el proyecto, se cuenta con diferentes alternativas y por lo tanto se tiene que tener pleno conocimiento de cuales opciones son más adecuadas, asociadas principalmente a las características de la empresa que realiza el proyecto.
3. La migración entre los programas clásicos CAD hacia opciones BIM puede resultar más fácil y amigable, dependiendo del software elegido. La definición de los elementos y parámetros en general toman importancia ya que por muy bien que se haga el modelo inicial, al traspasar en algún caso a programas CAD tiene correcciones asociadas que se realizan en forma manual para obtener los planos. Los planos que se obtienen directamente de los programas BIM de todas formas pasan por software CAD para correcciones menores.
4. Otro punto quizás de menor importancia es la compatibilidad entre versiones de un mismo programa. Las actualizaciones de los mismos, muchas veces terminan siendo un problema en el sentido de trabajar con archivos que no son posibles de leer en versiones de otros software.

Implementar BIM por supuesto que impone desafíos nuevos para el grupo de trabajo, y en este sentido el mayor esfuerzo se basa en respetar el orden y asignaciones de responsabilidades en el diseño. Al estar obligados a realizar un trabajo colaborativo, hay roles asignados a cada integrante que deben respetarse para mantener orden en la elaboración de la maqueta. Este orden se encuentra referido a las personas que manejan la información, cómo se comparte la información, quién lidera el manejo del modelo, cómo se trabaja en conjunto, etc.

Si nos enfocamos al caso puntual del desarrollo de proyectos industriales, nace entonces la necesidad de contar con una estrategia práctica para el intercambio de información entre software de las distintas especialidades involucradas. Los integrantes del grupo de trabajo deben tener una comunicación más frecuente de lo que estaban acostumbrados, resolviendo dudas y consultas, analizando discrepancias, todo en pos de mejorar el trabajo en la etapa de diseño.

Cabe señalar que la comunicación entre las partes hace que exista un mejor manejo de la cantidad de información, disminuyendo así el tamaño de los archivos que se utilizan en conjunto y por lo tanto resulta un trabajo más rápido que con archivos de mayor tamaño. Si no existe buena comunicación, surgen problemas que dificultan la labor de los proyectistas y dibujantes, pues si trabajan al mismo tiempo en el modelo se producirán conflictos entre sus respectivos cambios a menos que se cuente con un acceso controlado.

Las actualizaciones o modificaciones requeridas aumentan progresivamente tanto en cantidad como en el tiempo que demora su gestión a medida que crece el proyecto, y estas operaciones bloquean el trabajo de los otros usuarios mientras el dibujante realiza estos cambios. El resultado de una labor tan simple como esta se resume en una disminución en el rendimiento del equipo de trabajo, y por supuesto la complejidad de “decidir” quién puede acceder a la maqueta para trabajar.

Todas estas consideraciones, se ven directamente reflejadas en un hecho fundamental: la disponibilidad al cambio. Si no existe esta disponibilidad por parte de las personas que manejan estas plataformas de trabajo BIM, el cambio simplemente no tiene éxito. Esto no se refiere a que no se utilicen los programas correctamente, pero se pierde la base de lo que es trabajar con BIM, la comunicación y trabajo colaborativo durante la elaboración del modelo. Es claro que independiente de cómo se haga el cambio, hay un tiempo de asimilación del proceso completo, existirán errores asociados y por lo tanto será necesario estar preparado para ello.

Finalmente, el modelo que se elabore con estos programas será adecuado, bueno y útil en sus características dependiendo directamente de la calidad de la información que maneje. Por lo tanto, para poder lograr una buena maqueta se debe contar con buenas herramientas para fabricarlo, y por supuesto aprovechar correctamente las capacidades que estos programas entregan. Una buena referencia de esto se resume en la siguiente frase: “Utilizar Revit o cualquier otra plataforma BIM para simple visualización 3D o como herramienta para generar documentación, es lo mismo que utilizar un laptop como martillo.”⁶

2.4. Uso de Software y Formato de Archivos

En la actualidad, la mayoría de las empresas desarrollan sus proyectos basados en planos de cada área de ingeniería, y para la planificación se lleva un control del proyecto a través de curvas S, cartas Gantt o similares. Por supuesto que para desarrollarlo existen diferentes programas de diseño CAD, que por años han tenido un uso expandido en sus diferentes versiones para la creación de documentación, gracias a la versatilidad y amplias opciones de dibujo que entregan. La plataforma de trabajo AutoCAD ha sido líder en este rubro y se ha posicionado como herramienta casi única de diseño para proyectistas y dibujantes, y gracias al uso masivo que ha tenido a lo largo de los años, ha conseguido mantenerse como la herramienta de trabajo para diseño y confección de documentos de ingeniería en el desarrollo de proyectos.

⁶ Kel Pollard, “The BIM Fad?”, <www.revolutionbim.blogspot.com>, Enero, 2009.

Al utilizar BIM, es necesario realizar un cambio en el uso de los programas, ya que a pesar que AutoCAD cuenta con múltiples versiones para distintas áreas de diseño y por ende un gran abanico de posibilidades en cuanto al manejo del mismo, sigue siendo un software simple para el modelado en 3D respecto a la capacidad de asignar parámetros a elementos creados. Por este motivo, es que existen otros programas con mayor especificación y especial atención a este tipo de funciones, logrando una velocidad de modelado mayor que se traduce directamente en un desarrollo del proyecto más rápido.

Además del software necesario para crear el modelo en sí, se debe contar con otras aplicaciones que permitan utilizarlo para ligar la planificación del proyecto y analizar las interferencias de elementos, que suele ser el mayor problema en los proyectos, y que toma la mayor parte del tiempo en corregirse. El programa Navisworks de Autodesk en una de las herramientas más utilizadas para ello, aunque existen otras opciones de desarrolladores que cumplen características similares, pero no han logrado posicionarse dentro del mercado como lo ha hecho Navisworks.

Esta información de software es importante para decidir cuál utilizar, pero es fundamental definir previamente el uso que se le dará al modelo. Si por ejemplo se desea simplemente una visualización del proyecto, utilizar algún programa BIM básico o incluso AutoCAD, puede resultar la opción más rápida y sencilla, pues el modelo es de formato simple sin parametrización de elementos, obteniendo así una maqueta en 3D en que es posible agregar posteriormente su programación si se desea.

2.4.1. Formato

Una de las grandes limitaciones que se tiene con BIM, es con respecto a los formatos de trabajo y las respectivas compatibilidades entre ellos. Cada programa que existe trabaja con diferentes extensiones de archivo por defecto, permitiendo exportar en la mayoría de ellos a algunos otros más conocidos que suelen utilizarse en varios software. Se puede observar en la siguiente tabla una comparación de algunos de los programas más utilizados con las algunas de las principales extensiones de trabajo que utilizan cada uno:

Tabla 1: Principales formatos de software más utilizado en la industria

Programa	Exportación	Importación
AutoCAD Architecture	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	IGES (.IGES, .igs)	Microstation(.dgn)
Allplan	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)

	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	Microstation (.dgn)	Microstation (.dgn)
AutoCAD Civil 3D	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	Microstation (.dgn)	
AutoCAD MEP	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
		Microstation (.dgn)
Graphisoft ArchiCAD	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	IFCXMI 2X3 (.xml)	IFCXMI 2X3 (.xml)
Autodesk 3ds Max	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IGES (.IGES, .igs)	
Bentley Building Electrical Systems	AutoCAD (.dwg, .dxf)	IFC2X3 (.IFC)
	IFC2X3 (.IFC)	Microstation (.dgn)
	Microstation (.dgn)	STEP AP214 (.stp,.STEP)
	STEP AP203/AP214 (.stp,.STEP)	
Bentley Structural	AutoCAD (.dwg, .dxf)	IFC2X3 (.IFC)
	CIS/2 LPM6 design (.stp,.p21,.STEP)	Microstation (.dgn)
	IFC2X3 (.IFC)	STEP AP214 (.stp,.STEP)
	Microstation (.dgn)	
	STEP AP203/AP214 (.stp,.STEP)	
ETABS	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 analytical (.stp,.p21,.STEP)	CIS/2 LPM6 analytical (.stp,.p21,.STEP)
	Steel Detailing Format (.sdf,.sdnf)	Steel Detailing Format (.sdf,.sdnf)
		STEP AP214 (.stp,.STEP)
PipeDesigner 3D	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
Revit Structure	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 design (.stp,.p21,.STEP)	CIS/2 LPM6 design (.stp,.p21,.STEP)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
Revit MEP	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
SAP2000	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 analytical (.stp,.p21,.STEP)	CIS/2 LPM6 analytical (.stp,.p21,.STEP)
SolidEdge	AutoCAD (.dxf)	AutoCAD (.dxf)
	Microstation (.dgn)	Microstation (.dgn)
	STEP AP203/AP214 (.stp,.STEP)	STEP AP214 (.stp,.STEP)

Es claro que las posibilidades son muchas y por lo tanto el problema asociado a esta variada gama de formatos es la pérdida de información o la dificultad que se genera al moverse entre una u otra opción. Hay que recordar que no

se está trabajando con elementos que poseen simples características gráficas, sino que existe una base de datos asociada al modelo que es parte del archivo exportado, por lo que este traspaso de información entre programas no es un asunto simple de tratar.

Para solucionar este inconveniente, en la actualidad se trabaja en utilizar un formato que sea útil para poder hacer un traspaso efectivo de información entre los distintos programas. Por este motivo, se ha trabajado en el formato IFC (*Industry Foundation Classes*) que se ha ido posicionando de a poco como un formato estándar para el desarrollo de modelos BIM. En la tabla anterior se puede ver que es un formato válido en la mayoría de los programas BIM mencionados. Su principal ventaja es ser de especificación abierta y no pertenecer a ningún fabricante de software en particular, lo que facilita la interoperabilidad entre los programas de distintas compañías. Su mejor característica es la capacidad de "comunicar objetos" con funcionalidad y propiedades entre los distintos programas. Esto permite definir los datos relativos al modelo constructivo una sola vez para luego permitir dar soporte a la interacción entre ellos, obteniendo como principales ventajas un considerable aumento de la calidad, reducción de costos e inexistencia de sobreinformación del proyecto.

Cabe mencionar que de todas formas existen otros formatos que han intentado estandarizarse y masificarse en el uso de plataformas BIM, lo que ha generado un cierto nivel de competitividad por parte de distintas empresas desarrolladoras de software pero ninguna ha logrado crear un formato que cumpla las condiciones necesarias para que se estandarice.

Otro punto destacable, es el hecho de que la decisión del grupo de programas que serán adquiridos por parte de la empresa para elaborar el modelo no la toman los futuros usuarios de los mismos, por lo que al realizar la elección final se desconoce la problemática real del método de trabajo asociado, y probablemente las reales opciones que existen en el mercado de acuerdo a sus verdaderas necesidades.

3. SITUACION ACTUAL

3.1. Documentos de Guía y Apoyo

Existen numerosas entidades y universidades a nivel internacional que se han dedicado a crear documentación respecto del uso de la tecnología BIM, y con ellos han creado en algunos casos, guías de implementación o estándares de trabajo pero en un nivel que resulta por el momento, inutilizable en Chile. En nuestro país el desarrollo de proyectos con plataformas BIM es relativamente nuevo y por lo tanto no existe una metodología de trabajo asociada a ello, motivo por el que no es posible hacer uso de este material en forma directa pues principalmente no se cuenta con el nivel de organización o capacidad que recomiendan estas guías.

Los estándares de trabajo en USA y otros países que llevan tiempo utilizando este tipo de tecnologías son de un nivel mucho más elevado de lo que se podría lograr incluso si se llevara ya unos años usando BIM, pues algo tan básico como son los entregables o documentos que se generan durante un proyecto, es muy difícil cambiar la forma en que se elaboran o el tipo de documento que se entrega al cliente en cuanto al formato. Existe un estancamiento en general, un "rechazo" al cambio en la forma de trabajo por el tiempo que se debe dedicar a entender y aceptar este proceso.

Sin embargo, existen una serie de puntos rescatables de varios de estos documentos, que pueden servir de base para una implementación y uso a nivel nacional, específicamente para el caso de estudio en que se basa esta tesis, respecto al desarrollo de proyectos industriales. Se puede utilizar en la etapa de diseño del proyecto, sin realizar modificación alguna a los entregables que se generen para la etapa de construcción, o para revisión del cliente. Por lo tanto, es posible desarrollar algunas etapas del proyecto con una metodología BIM, y adaptar las entregas a las condiciones actuales de trabajo. Dentro del material seleccionado, existen dos instituciones que crearon una guía más general de la que se pudo obtener información que fue modificada en algunos casos para adaptarla a este trabajo en particular, y que se utilizaron para crear la metodología propuesta más adelante.

Por una parte, se tiene la GSA (*General Services Administration*), una entidad gubernamental de los Estados Unidos, dedicada a la ayuda en la gestión de proyectos. Esta institución ha creado una guía denominada "*GSA Building Information Modeling Guide*" que tal como lo dice su nombre, es una ayuda o manual de uso de BIM para el desarrollo de proyectos, pero no está enfocada a un tipo de proyecto en particular, por lo que se refiere a aspectos generales en su implementación.

Este documento señala ciertas recomendaciones en cuanto a grupos de trabajo, orden de archivos y una serie de puntos en base a buenas prácticas

que sirven de apoyo para crear una metodología de trabajo en forma general. También explica claramente el hecho de que no todas las aplicaciones que trabajan con BIM soportan un formato estándar de trabajo, pero si se ha trabajado en desarrollar uno, que es el ya nombrado IFC desarrollado por la *International Alliance for Interoperability* (IAI) con el propósito de ser un formato más estandarizado para los distintos programas que se utilizan para trabajar en BIM.

Además, se tiene la AIA (*American Institute of Architects*), que también ha hecho otro aporte considerable respecto al uso adecuado de BIM, con un enfoque particular en los diferentes niveles de detalle que deben existir durante la creación de la maqueta virtual. En sus documentos se utiliza el término LOD (*Level of Detail* o bien *Level of Development* en casos más específicos) y cómo deben desarrollarse para crear un modelo en forma más ordenada. Este documento se basa en desarrollar los modelos en 5 etapas o niveles de detalle principales, donde se definen distintas características para cada uno de ellos.

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de la propuesta de la AIA para trabajar con distintos LOD dentro de la creación de elementos:

§ 4.3 Model Element Table <i>Identify (1) the LOD required for each Model Element at the end of each phase, and (2) the Model Element Author (MEA) responsible for developing the Model Element to the LOD identified.</i> <i>Insert abbreviations for each MEA identified in the table below, such as "A – Architect," or "C – Contractor."</i> <i>NOTE: LODs must be adapted for the unique characteristics of each Project.</i>					Diseño Conceptual		Diseño Esquemático		Diseño de Ing. Básica		Diseño de Ing. de Detalle		Docs. para construcción		Note Number (See 4.4)
					LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	
Model Elements Utilizing CSI UniFormat™															
A SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations	100		200		300		400						
		A1020 Special Foundations													
		A1030 Slab on Grade													
	A20 Basement Construction	A2010 Basement Excavation	10												
		A2020 Basement Walls													
B SHELL	B10 Superstructure	B1010 Floor Construction													
		B1020 Roof Construction													
	B20 Exterior Enclosure	B2010 Exterior Walls	300		300		400		500						
		B2020 Exterior Windows													
		B2030 Exterior Doors													
	B30 Roofing	B3010 Roof Coverings													
		B3020 Roof Openings													
C INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions													
		C1020 Interior Doors													
		C1030 Fittings													
	C20 Stairs	C2010 Stair Construction													
		C2020 Stair Finishes													
	C30 Interior Finishes	C3010 Wall Finishes													
		C3020 Floor Finishes													
D SERVICES	D10 Conveying	D1010 Elevators & Lifts													
		D1020 Escalators & Moving Walks													
		D1030 Other Conveying Systems													
	D20 Plumbing	D2010 Plumbing Fixtures													
		D2020 Domestic Water													

Imagen 3-1: Propuesta de AIA para creación de elementos

Se utilizaron otros documentos como estudio para este trabajo de título, que se encuentran debidamente señalados en la bibliografía, pero su uso fue en un grado menor a los dos documentos recién mencionados por lo que no se consideró importante ahondar más allá en su descripción individual.

A pesar de no ser un tópico que tenga relación con este trabajo en particular, sí se consideró adecuado mencionar qué ocurre con los entregables del proyecto. A nivel internacional, además de tener un manejo considerablemente superior en el uso de BIM y la inclusión como herramienta de trabajo en equipo, se ha logrado implementar un cambio en cómo se entrega la información del proyecto para su construcción o aprobación. En algunos casos incluso se ha dejado de utilizar planos como un documento entregable y se facilita al cliente el modelo digital del proyecto, tal como se aconseja en parte en la *GSA BIM Guide*. En cambio, en Chile se sigue utilizando formato de planos (DWG) como entregable en los proyectos, por lo que se traduce en un problema al trabajar con plataformas BIM al tener que "dar un paso hacia atrás" en este ámbito.

3.2. Uso de Plataformas BIM en Chile

Es muy diferente ver la teoría de cómo funciona la implementación y manejo de BIM en general al desarrollar un proyecto de ingeniería, de lo que ocurre realmente dentro de una empresa que utiliza esta forma de trabajo, independiente de las recomendaciones que se puedan tener de los documentos anteriormente descritos.

Ya quedó en evidencia que la tecnología BIM tiene múltiples beneficios y un campo de aplicación bastante amplio para muchos tipos y etapas en el desarrollo de proyectos, pero si nos enfocamos a nivel nacional es posible observar que existe una diferencia aun mayor entre teoría y real implementación, pues a pesar de que es una tecnología que se conoce hace años son pocas las empresas que han dado el paso en utilizarla en alguna etapa de la ingeniería o arquitectura de un proyecto. Ya sea por el alto costo que representa o por la falta de conocimiento de cómo hacerlo adecuadamente, en muchos casos no se ha hecho el intento siquiera de integrar estas plataformas de trabajo.

Dado que se pretende dar un carácter práctico a este trabajo, para el desarrollo del mismo se identificó a distintas empresas que han trabajado con BIM en diferentes etapas de proyectos, y se consultó sobre la experiencia que han tenido en el proceso de cambio de trabajo, reales beneficios asociados en el desempeño y otros factores que se consideraron importantes al momento de la entrevista. En cada una de ellas han debido adoptar distintos procesos de cambio y modificaciones en su metodología de

trabajo, y obtener así en base a la experiencia principalmente, algún método para elaborar sus modelos en forma ordenada y productiva.

Se presentan entonces los resultados a las entrevistas realizadas a distintas personas seleccionadas por el alumno de acuerdo a áreas de desarrollo de proyectos, que son:

- Diseño y construcción de proyectos mineros e industriales
- Arquitectura
- Gestión y Coordinación en la Construcción

Cada una de las personas entrevistadas tienen distintas experiencias en el manejo de plataformas BIM como forma de trabajo, y al pertenecer a distintos rubros se logra obtener una visión más amplia del trabajo interno real que se logra dentro de la empresa.

Cabe señalar que las preguntas realizadas no fueron establecidas ni las mismas para cada entrevistado, sino que se mantuvo una serie de interrogantes similares que se fueron adaptando de acuerdo al desarrollo de cada entrevista.

BECHTEL

La primera entrevista fue en Bechtel, a un ingeniero estructural. La empresa se ha dedicado a desarrollar los proyectos a través de plataformas BIM hace alrededor de 10 años. Se comenzó describiendo el trabajo que desarrollan en el área en particular, explicando que está enfocado al diseño y construcción de proyectos mineros e industriales.

Desde que se comenzó a utilizar estos programas, se redujo en forma considerable el tiempo de construcción, pues se han mejorado las etapas anteriores de diseño. Desde un inicio, han hecho todos los proyectos con estos software independiente del tamaño del trabajo, fue un cambio forzado que tomaron la decisión hacer en la empresa. El mayor beneficio dentro de este tipo de proyectos ha sido en el área de piping, dada la complejidad en el diseño y montaje que presentan las piezas.

En relación al trabajo en equipo y colaboración en general, se señaló que “al utilizar BIM (...) el trabajo en equipo es real, estas herramientas te obligan a implementar esto. Se logran tomar decisiones en mejores condiciones y con opiniones de más de un área involucrada”. Se comenzaron a hacer las reuniones con el cliente directamente con el modelo, y resolver dudas sin necesidad de planos gracias a la visualización 3D. Las interferencias se analizaban mediante el programa PDMS.

Actualmente se trabaja en el área estructural con el software *Tekla Structures* y se exporta el trabajo en formatos compatibles con PDS para poder utilizar el modelo en las otras especialidades. Se trató de utilizar otras plataformas BIM sin éxito, por la falta de tiempo necesario en aprender a utilizarlo.

Respecto al manejo de la información en general y la notación utilizada para crear elementos, la empresa maneja un formato a nivel corporativo establecido con distintas nomenclaturas para cada término dependiendo del tipo de pieza, especialidad y otros parámetros, pues es posible agregar la información que se desee en cada elemento, con el detalle que se estime conveniente. De esta manera, el trabajo es mucho más ordenado y la búsqueda de la información en la biblioteca es notablemente más rápida. Al trabajar de esta forma, el tiempo de elaboración del modelo disminuye pues se cuenta con una librería de elementos más completa y detallada, por lo que "finalmente el trabajo termina siendo como trabajar con piezas de Lego, es simplemente ir uniendo objetos e ir agregando o modificando la información necesaria".

En términos prácticos, como se trabaja también en la construcción del proyecto, al enviar la información de las piezas a la maestranza éstas se marcan con la misma codificación que se tiene en el modelo y por lo tanto se tiene mayor control de su fabricación y posterior ubicación en caso que sea necesario. Al utilizar BIM en el diseño se logra optimizar la construcción, por lo que se puede ir fabricando y construyendo por fases, evitando tener que contar con galpones para el almacenamiento de las piezas.

Al consultarse por la documentación que se obtiene a través de estos programas, se hizo referencia a que ya no se trabaja con planos convencionales, sino que la emisión de documentos es simplemente para visualización del proyecto. "Pasa totalmente a segundo plano el detalle de dibujo, ya que se cuenta con toda la información directamente en el modelo. Por esto es que se entregan planos con la especificación mínima requerida. Esto es para proyectos de estructuras de acero solamente, porque para los de hormigón si se necesita el detalle por la construcción en terreno." En ese caso hay que maquillar los planos y dejarlos en formato estándar clásico. Como un aspecto "problemático" de la implementación de BIM en la empresa en general, fue el tiempo que se ha demorado en aprender a utilizar adecuadamente los programas. Es una real dificultad no saber usarlos, y por supuesto que no se dedica el tiempo necesario en capacitarse para ello. El trabajo es siempre contra el tiempo y es caro para la empresa dedicar horas a capacitación, aunque se tenga conocimiento de que son herramientas con capacidades mayores de las que se utilizan.

Montealegre Beach Arquitectos

Se entrevistó también a la empresa de arquitectura Montealegre Beach Arquitectos. A pesar de ser un rubro que se escapa en parte del caso de estudio particular de este trabajo, se consideró interesante conocer su experiencia de trabajo con BIM pues es una empresa que ha trabajado con plataformas de este tipo hace más de 10 años, y diseñado proyectos importantes como el caso del Estadio Sánchez Rumoroso en la ciudad de Coquimbo.

Desarrollan todos sus proyectos a través de Revit Architecture, y han logrado crear una buena metodología de trabajo dentro de la misma empresa. Sus limitaciones se derivan directamente en el traspaso de información con el área de ingeniería que le entrega el trabajo en planos, por lo que deben hacer un levantamiento de los planos entregados, desarrollar la arquitectura respectiva con Revit y posteriormente del modelo que acaban de crear, generar documentos en 2D para entregar nuevamente a la otra especialidad para revisión y correcciones. A pesar de que el proceso interno funciona bien pues tienen bibliotecas de elementos y un orden respetado en el manejo de la información, no logran utilizar la herramienta en su totalidad por la incapacidad de entregar un modelo para compartir con las otras especialidades. Deben hacer un modelo del trabajo de ingeniería cada vez que se hacen cambios al proyecto, y posteriormente trabajar sobre ese modelo en la arquitectura.

En este aspecto, se dejó en claro la negativa de muchas empresas de ingeniería en cambiar su sistema de trabajo, pues no sólo necesitan comprar los programas sino que deben "perder tiempo" en aprender a usarlos, sin pensar en los beneficios que les traería a futuro hacer el cambio en la forma de trabajo existente.

Constructora LyD

La tercera entrevista fue hecha a la empresa LyD, al Jefe de Coordinación de Especialidades. Actualmente la empresa se encuentra a cargo de la construcción de la Clínica Universidad de Los Andes en San Carlos de Apoquindo, y ya ha realizado trabajo similar con software BIM para la Clínica Dávila en Recoleta.

Para hacerse cargo del proyecto se reclutó un grupo de ingenieros y arquitectos, y se realizaron cursos de capacitación de los programas, que en este caso se optó por utilizar Revit para modelar. Basándose en la experiencia previa, pero sin tener mayor procedimiento de trabajo establecido se comenzó a ver la manera de coordinar el proyecto, lo que se tradujo finalmente en un método en base a "ensayo y error".

Respecto al modelo en sí, se entregó a LyD el trabajo hecho por otra empresa para ser ahora utilizado para la coordinación de instalaciones. Cabe señalar que fue requisito del cliente trabajar con BIM desde un comienzo. Con parte de esta maqueta entregada (arquitectura y estructura), se modeló de cero cada especialidad. Se vieron obligados a hacer esto principalmente por desorden en la maqueta completa, "se notaba que había sido mucha gente trabajando en él, lo que hizo que los distintos modelos tuvieran distintos formatos". Al consultarse respecto a esto, se argumentó que "Revit es una muy buena herramienta de trabajo pero se debe tener una estructura organizacional de las bases de datos bien definida para poder usar bien el programa. Si no se tiene una metodología de trabajo definida, es un verdadero caos".

Se comentó que al no contar con una metodología inicial, se fue decidiendo en el camino como se analizarían las interferencias, como segmentar el proyecto para que fuese ordenado y fácil de manipular y cómo se iría armando el modelo en sí.

Con el tiempo se definieron estos aspectos que aunque son detalles pequeños, en su conjunto hacen que el trabajo planteado no se pueda cumplir en plazos razonables ni de la manera que se pretendía originalmente. Se fijaron reuniones de coordinación mensual, donde se chequea el modelo con Navisworks y se señalan en fichas los errores a corregir. Estas fichas son creadas a través de Revit donde se muestra el detalle en 2D y 3D del problema, y la solución escogida.

Se cuestionó el análisis que es posible hacer con Navisworks, pues "muchas veces avisa de choques no reales, o problemas pequeños que se pueden ver directamente en terreno". En relación al trabajo colaborativo, se señaló que se utilizan servidores dentro de la empresa y bases de datos compartidas entre ellos y la empresa que aún trabaja en el diseño de algunas fases.

Un problema que no fue necesario resolver fue el de la notación de elementos, pues como el objetivo del modelo es netamente para coordinación y no para crear un modelo 4D del proyecto, y la elaboración del mismo fue a cargo de un grupo pequeño de personas, el trabajo de modelar en sí fue simplemente hacer un levantamiento a través de los planos del proyecto.

Para la obtención de planos, se arma en Revit con la cantidad de detalle que se desee, pero en general el nivel de precisión para el proyecto no es exigente. Caso contrario sería si se tratase de un proyecto industrial que necesita detalle de piping y montaje de piezas. En términos generales, nos dice que "se ha utilizado BIM para entender y coordinar el proyecto,

rediseñarlo en algunos aspectos. De todas formas al ser un proyecto tan grande es difícil coordinar todo”.

Respecto de los beneficios entregados, señala que “es ideal para geometrías complejas, permite tener mayor conocimiento de lo que realmente se está haciendo al poder visualizar el proyecto digitalmente. Se pueden hacer cambios sin involucrar dinero”.

Al estar trabajando durante la etapa de construcción del proyecto, existe la presión del tiempo por terminar lo antes posible y tener que constantemente estar solucionando problemas. Respecto a esto, comenta que “al poco tiempo de comenzar a utilizar BIM se logra entender, ya que es muy intuitivo. A veces se tienen consultas de las mismas personas que trabajan en otra área por problemas puntuales, surgen dudas de visualización” por este motivo, destaca el beneficio del uso en obra pues ofrece una ayuda en la etapa constructiva del proyecto.

A pesar de esto, los inconvenientes generales de falta de recursos asignados o la planificación en el uso sí suelen traer problemas durante el trabajo en el proyecto pues no ha habido una organización general de qué personas se dedican al dibujo o diseño, quienes se encargan de coordinar el modelo, resolver problemas, llevar las reuniones a cabo, etc. Si existiese esa organización previa, el trabajo en general sería aún más rápido desde un inicio y existiría una persona por función asignada, sin tener que mezclar los roles de cada uno.

Las entrevistas en extenso a los profesionales se encuentran al final de este trabajo. [Ver Anexo A]

3.3. Empresa multidisciplinaria de proyectos industriales

Como se dijo anteriormente, se busca analizar el caso de desarrollo de proyectos industriales por parte de una misma empresa que se encargue de varias disciplinas del proyecto. Por este motivo, se hará un análisis del modo de trabajo que existe dentro de una empresa, y mostrar la metodología utilizada respecto a la organización entre áreas, así como dentro de una misma especialidad.

Existen múltiples tipos de proyecto y por supuesto que cada uno comprende distintas especialidades, por lo que para efecto de este trabajo en particular, se verá el caso de proyectos de producción industrial donde las áreas de mayor desarrollo y por lo tanto relevancia dentro del proyecto son: Procesos, Civil/Estructuras, Piping, y Eléctrica en menor grado.

Los proyectos industriales al igual que la mayoría están determinados por tres fases primordiales que corresponden a:

- Ingeniería Conceptual
- Ingeniería Básica
- Ingeniería de Detalle

En cada una de estas etapas existen distintos procesos asociados, por lo que se consultó a un profesional del área respecto a la descripción de estas fases, y cómo se van desarrollando las distintas especialidades en el desarrollo del proyecto.

En este caso en particular, los proyectos desarrollados son del tipo *fast-track* pues se cuenta con poco tiempo para desarrollarlos y con una definición de puesta en marcha de acuerdo a lo que el cliente desea y no respecto a lo que realmente se necesita para su correcta elaboración. Por este motivo, es deseable terminar lo antes posible la fase de Ingeniería Conceptual para así poder comenzar con la etapa constructiva a medida que se diseña.

1. Ingeniería Conceptual: En esta primera fase se determina la necesidad por parte del cliente de desarrollar cierto proyecto (la creación o ampliación de una planta de producción de alimentos, o de productos por ejemplo), de donde se obtienen tres ítem fundamentales:
 - Qué se quiere hacer: Especificación del proyecto
 - Cuánto se quiere hacer: Cantidades a producir o procesar dentro de la planta
 - Cómo se quiere hacer: La mayoría de las veces no es una información de la que se tenga claridad desde un inicio, dificultando así el trabajo posterior

Con la definición de estos puntos, Procesos puede desarrollar las líneas de procesos necesarias de acuerdo a las necesidades del cliente. En conjunto, Arquitectura trabaja en el recinto y disposición de estas líneas en su interior, de donde finalmente con el trabajo combinado de ambas áreas se obtiene el Layout General del proyecto. Este layout contiene las salas, equipos, cámaras de refrigeración, sistemas de control y otros elementos como los diagramas de procesos y balances de producción que tendrá la planta.

Cabe señalar que durante esta primera etapa, Procesos está en constante comunicación con el cliente para poder definir correctamente lo que se desea obtener del proyecto. Además, es importante indicar que hasta este punto no existe participación de las otras especialidades, salvo algunos casos puntuales.

La finalización de esta etapa está determinada por la aprobación del layout por parte del cliente.

2. Ingeniería Básica: Se trabaja en base al layout obtenido en la etapa anterior, y de ahora en adelante cada especialidad que participará en el proyecto comienza a desarrollar su ingeniería, de acuerdo a los requerimientos entregados. Estos requerimientos son la base para los criterios de diseño y dimensionamiento general. El ingeniero diseña en base a esta información, y entrega al proyectista los datos para generar los planos respectivos en conjunto.
3. Una vez finalizada la ingeniería básica, hay dos sub-etapas asociadas que continúan con el desarrollo del proyecto:
 - a. Procurement: Se refiere al proceso de compra de los equipos. Se gestionan y muestran las diferentes opciones disponibles, y es el cliente quien realiza la compra de acuerdo a las necesidades. Al obtener esta información, se entregan las características respectivas al proyectista para continuar con la documentación necesaria y así generar los planos.
 - b. Ingeniería de Detalle: Es entregada a los proyectistas la especificación de compra de equipos y sistemas, y por lo tanto los ingenieros del área pueden hacer los cálculos detallados y criterios de diseño definitivos para completar planos y documentos. Se realizan cubicaciones y análisis de costos con esta información.

Otro punto que aún no ha sido comentado y que tiene gran importancia, es la programación de obra del proyecto. Para este caso en particular, se consultó respecto a la elaboración de esta planificación dentro de la empresa.

Se cuenta con la fecha de inicio que pide el cliente, en conjunto con una serie de hitos que Procesos define que deben cumplirse de acuerdo a la entrega final. Este listado de hitos contiene entrega de ciertas áreas de la planta o entregas parciales o finales del proyecto. En base a esta información, Coordinación (Civil) realiza la planificación general. Actualmente no se desarrolla la planificación en todos los proyectos, depende principalmente de los requerimientos del cliente.

Vale la pena mencionar que, a pesar de que no se trabaja con modelos BIM directamente, sí se elaboran maquetas en 3D de los proyectos para efectos de visualización y detección de interferencias. De todas formas, existen problemas principalmente por las compatibilidades de formato entre los

distintos programas que utilizan para trabajar en cada especialidad, no son programas que “conversen” entre ellos, refiriéndose este concepto a que existan extensiones de los archivos que sean comunes para trabajo conjunto. Por esta razón, se ven limitadas las ventajas de los software que se utilicen al crear estas maquetas virtuales. Las modificaciones que se deben hacer (y que por tratarse de diseño, existen múltiples cambios del proyecto) se realizan en forma lenta y poco eficiente. Para el caso de trazado de piping al no tratarse de un modelo paramétrico, prácticamente debe rehacerse todo el trabajo si por ejemplo existe una simple modificación al diámetro de tuberías. Esto sin contar la modificación independiente que se debe hacer al diagrama de P&ID que no tiene ninguna conexión virtual con el trazado de piping. En general, todas las modificaciones que se hacen durante el diseño son costosas en tiempo, ya que se trabaja por separado en elementos que debiesen ser únicos.

A modo de resumen, se presenta un esquema de flujo de trabajo del proceso descrito referente al diseño del proyecto.

[Ver Anexo B]

Durante el proceso de obtención de información de la empresa, fue posible observar una serie de puntos débiles que están referidos principalmente a coordinación y trabajo colaborativo. Estos puntos son los que se pretende dar solución al proponer una metodología de trabajo aplicada al tipo de proyectos especificados, y que son utilizables para otros casos similares.

Se torna realmente importante la coordinación del proyecto durante la ingeniería básica, pues se comienza a trabajar en distintas aristas del problema en forma simultánea. Es el jefe de proyecto la persona encargada de llevar el control general de este avance, y que exista conocimiento del trabajo que se desarrolla en forma transversal. Por este motivo, resulta indispensable realizar una reunión de coordinación general al inicio de esta etapa, donde se definan los criterios con los que se va a desarrollar el proyecto y la forma en que se organizará el trabajo a nivel global. No existe actualmente una reunión formal de coordinación donde estén presentes los encargados de cada área y el jefe de proyecto.

Claramente, al tratarse de proyectos *fast-track* nos estamos refiriendo a un tipo de desarrollo más caro, y que presenta mayores problemas de coordinación y problemas en terreno dadas las características del tipo de proyectos. Es por esto que realizar un modelo 4D independiente de la solicitud del cliente puede resultar ventajoso, pues permite hacer un seguimiento y control del proyecto completo de mejor forma. Al pensar en esta opción, surge la inquietud de en qué momento es mejor elaborar la programación de obra y posterior modelo 4D, y será un tema a tratar más adelante.

3.4. Comentarios Generales

Una vez finalizada la investigación y documentación descrita, es posible observar que dentro del grupo de entrevistados hubo una serie de opiniones en común respecto al uso y futuro de BIM en la industria.

En general, al momento de comenzar a utilizar BIM no existió una planificación o algún orden en la forma de trabajar en el proyecto, ni tampoco se ha aprovechado en su totalidad la tecnología disponible asociada. En más de un caso se pudo ver que hay un problema respecto a la poca preparación que existe al intentar hacer un cambio en las plataformas de trabajo. Se compró el software que se creyó necesario y se comenzó a utilizar sin mucho conocimiento de sus beneficios específicos que podían prestar en comparación a otras opciones.

Queda claro al ver estos casos la necesidad de contar con una metodología de trabajo antes de comenzar a utilizar BIM. Por ejemplo, no todos los software son válidos o útiles para todo tipo de proyectos, depende del uso que se quiera dar y del tipo de trabajo asociado. Si no se toma una decisión correcta al respecto, se puede incurrir en un gasto innecesario de software con prestaciones que no serán realmente útiles para la empresa.

Por ejemplo, el software Revit de Autodesk es una herramienta de trabajo con excelentes prestaciones pero se debe tener una estructura organizacional de las bases de datos muy bien definidas, para así poder usar correctamente el programa. Sin esto, el trabajo termina siendo un verdadero caos y en muchos casos puede resultar mejor mantenerse con programas de diseño CAD directamente.

En cuanto a la experiencia lograda en los distintos casos, es posible observar que en un comienzo puede resultar un proceso lento y sobre todo caro, pero con el tiempo se logra trabajar en los proyectos de manera más rápida y automatizada. Al contar con librerías de elementos para hacer los modelos, cuantos más proyectos se vayan desarrollando más amplia es la disponibilidad de material en librería. Con la experiencia acumulativa, el trabajo se reduce a armar una maqueta en base a elementos disponibles, simplemente se termina trabajando en un puzzle tridimensional. Existe una ventaja en general para los programas que se han utilizado en las empresas consultadas, que se refiere a la facilidad e intuición en el uso con el tiempo, que a pesar de no contar con un metodología predefinida, gracias a esta ventaja se pudo obtener un resultado deseable con el tiempo.

Fue posible apreciar que se torna imprescindible mantener una organización en torno al modelo en el que se trabaja. Si no se utilizan formatos adecuados para todos los participantes en el desarrollo del modelo, la información no

está disponible para todo el que la necesite pues los distintos programas que se utilizan dependiendo del área no leerán los datos necesarios ello.

Además, contar con espacios adecuados para el trabajo colaborativo también juega un papel importante en el éxito de implementación, pues es necesario para las reuniones, donde se ven análisis de interferencias y avance y modificaciones del proyecto. Vemos también que es necesario contar con profesionales dedicados al modelo en sí, ya sea creando o administrando su información. Si se cuenta con múltiples personas que lo manejen, se desordena el trabajo y no existe una colaboración grupal.

Por lo tanto, fue posible darse cuenta realmente que en nuestro país no se le está sacando provecho a la herramienta de la que se dispone, ya que se utilizan las mínimas prestaciones y con poca cantidad de personas con el conocimiento para ello.

Como un comentario más dirigido a la parte técnica directamente, que es parte del enfoque que se tiene de este trabajo en particular, fue posible notar que es mucho más lento hacer o modificar planos de un proyecto que simplemente tener un modelo virtual asociado con la misma información, por el simple hecho de que al cambiar el modelo se actualiza la documentación que se obtiene de él, se obtienen nuevos planos e información del proyecto.

A pesar de que se logre trabajar con software especializado, siempre es necesario verificar que la información que se ingresa y la que se obtiene a cambio en algunos casos sea coherente y en rangos adecuados. Aquí entra en juego la labor del ingeniero como profesional, que tiene que saber aplicar criterio para la toma de decisiones y lograr identificar adecuadamente errores que se cometen en la modelación, y no confiar a ojos cerrados en los programas.

En Chile se ha intentado tener algún grado de avance en este aspecto, pero no ha sido posible por falta de personal capacitado, mismo problema de los formatos que se mencionaba anteriormente o la necesidad creada de contar con un plano para entrega.

Va a existir esta "lucha" por parte de empresas con clientes u otras empresas más apegadas al modo tradicional de trabajo que se ha mantenido sin mayores variaciones por años, y ese punto tiende a ser una problemática no menor al momento de intentar cambiar la forma de trabajar en los proyectos.

A modo resumido, cabe destacar la importancia del alcance del modelo que se pretende crear. No es la misma manera de trabajar si se quiere realizar una planificación completa con un modelo 4D, o solamente diseñar el proyecto de alguna especialidad sin la necesidad de integrar este punto.

Independiente del tipo de proyecto es indispensable contar con una adecuada coordinación virtual, para que en caso de cambio y modificaciones que claramente van surgiendo durante el trabajo, sea más fácil de identificar y dar con una solución adecuada.

Finalmente, es posible observar que la falta de capacitación, planificación y en muchos casos, directamente nula metodología de implementación y trabajo, han hecho que el uso de BIM se haya visto limitado y no sea una posibilidad a primera vista para otras oficinas de ingeniería. La aversión al cambio en la forma que se trabaja en los proyectos ha hecho que el cambio haya sido forzado y apresurado en cierto aspecto, y por lo tanto no se otorgan los mayores beneficios de esta tecnología al proyecto.

4. IMPLEMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

4.1. Medidas de Implementación

Ya obtenida la información necesaria en base a documentos formales, experiencia en varios rubros con metodologías diferentes y buenas prácticas recopiladas, es posible presentar un plan de trabajo base para implementar total o parcialmente una metodología BIM dentro de una empresa con las características ya descritas.

Si se desea tener éxito en esta implementación de BIM para el diseño de proyectos, tal como se señala en los documentos analizados, es fundamental tener perfectamente definidos tanto los roles como las funciones de cada uno de los actores principales que estarán involucrados en el diseño del modelo.

Como ya se ha descrito en capítulos anteriores el hecho de comenzar a utilizar la tecnología BIM para el diseño, no está relacionada solamente a elegir cierto programa que pueda considerarse apropiado para trabajar en una determinada especialidad de un proyecto. Ya se pudo observar la realidad de distintos casos en Chile, y en ellos identificar claramente que no se contaba con una planificación de implementación acorde a las necesidades de la empresa o el cliente.

Es necesario producir un cambio en la forma en que se desarrollan los trabajos, enfocado específicamente a la estructuración interna de cada área, y para esto es importante crear un Plan de Ejecución o Metodología de Trabajo asociada. Al contar con esta descripción de planificación, tenemos definido un proceso para lograr un trabajo conjunto para el desarrollo del proyecto.

Por este motivo, se plantea una implementación que consiste en diferentes aspectos referidos al manejo y desarrollo del proyecto en sí, que por supuesto deben tomarse en consideración para comenzar el trabajo.

Se desarrollaron cinco puntos fundamentales como pasos previos para poder implementar una metodología de trabajo con plataformas BIM:

1. Roles y Responsabilidades: Definición de las obligaciones y compromisos que deben mantener distintos profesionales involucrados en el proceso de diseño. Se refiere tanto a la descripción del cargo en sí como a la conexión existente con los otros integrantes del equipo de trabajo que se forma.
2. Modelo de tres fases: Explica cómo debe ser el manejo del modelo en sí, para trabajar en forma ordenada y no contar con múltiples

versiones de trabajo ni formatos digitales durante el desarrollo del proyecto.

3. Niveles de Detalle: Describe a grandes rasgos y a modo general las características y diferentes "capas" que debe ir teniendo el modelo en su elaboración, de comienzo a fin para un trabajo eficiente y organizado.
4. Notación y Librería de Elementos: Habla de cómo debe manejarse el modelo en cuanto al nombramiento de sus elementos al momento de ser creados. Además, señala el uso de bibliotecas de elementos de trabajo para un proceso más ordenado y eficiente principalmente.
5. Software y Hardware: Una descripción de la elección de los programas adecuados para el tipo de proyecto señalado, y los respectivos requisitos necesarios para su utilización de acuerdo al tipo de proyectos que se refieren esta investigación.

Otro punto importante que no se ha mencionado aún y que es fundamental independiente del tipo de proyectos que se quiera diseñar, es la exigencia en la creación de una sala adecuada para las sesiones de trabajo grupal. Contar con este "laboratorio" de trabajo es prácticamente una necesidad, pues es en ellas donde se hacen las sesiones de trabajo colaborativo y comunicación entre los distintos integrantes del diseño del proyecto.

Es así como se define una Sala de Trabajo BIM con las siguientes características:

- Es un espacio preparado para realizar las Reuniones de Coordinación explicadas más adelante, donde se visualiza el trabajo realizado a la fecha con el resto del equipo de diseño.
- Debe contar con el tamaño y más que nada disposición adecuada para que pueda estar presente el grupo de trabajo completo, que puede ser de aproximadamente 12 a 14 personas dependiendo del tamaño y/o características del proyecto.

De acuerdo a la asignación de roles definida, en esta reunión se cuenta con dos participantes por especialidad de diseño además de los dos integrantes principales de la reunión (Jefe de Proyecto y Coordinador General).

- La existencia de herramientas adecuadas para visualización del modelo completo que se va a revisar en la reunión. Debe haber una pantalla o proyector amplio para ver el trabajo, así como un computador lo suficientemente potente para que pueda cargar el modelo completo sin problemas. Si no se cuenta con estas

herramientas no se proporcionan las condiciones necesarias para trabajar en equipo en el aspecto que se desea.

Este pequeño listado de requerimientos entrega las condiciones básicas con las que debe contar este espacio de trabajo. Es en esta Sala de Trabajo BIM donde se desarrolla el mayor trabajo de colaboración y comunicación del proyecto, y es en sí la base de implementación de una buena metodología basada en plataformas BIM.

Una vez definido el lugar de trabajo físico y sus características mínimas, se puede comenzar a desarrollar una descripción más detallada de los puntos fundamentales de implementación señalados.

4.1.1. Roles y Responsabilidades

Este cambio proyectado se refleja organizacionalmente en cada una de las especialidades, y a nivel de manejo general del proyecto dentro de la empresa. Es importante que la descripción de funciones que se señala sea asimilada lo mejor posible, y sobre todo realizar un esfuerzo en mantener activas las responsabilidades de cada uno de ellos, sin intercambio ni mezcla de ellas entre los profesionales involucrados.

Ya quedó definido que una herramienta fuerte de trabajo para el éxito de la implementación de BIM es la correcta coordinación y orden de trabajo interno en la creación y desarrollo del modelo, y por eso se recomienda mantener los márgenes de trabajo asignados.

Dentro de los roles definidos, se plantean dos cargos principales que tendrán el manejo del modelo en sí, uno para el modelo de cada especialidad y otro para el modelo general del proyecto que se genera de la unión de estos sub-modelos. El resto de las descripciones están enfocadas a las responsabilidades que deben mantenerse dentro de cada cargo, con tal de respetarlas para el correcto funcionamiento de la metodología señalada.

Esta creación de responsabilidades tiene una estructuración jerárquica que se detalla en el siguiente esquema:

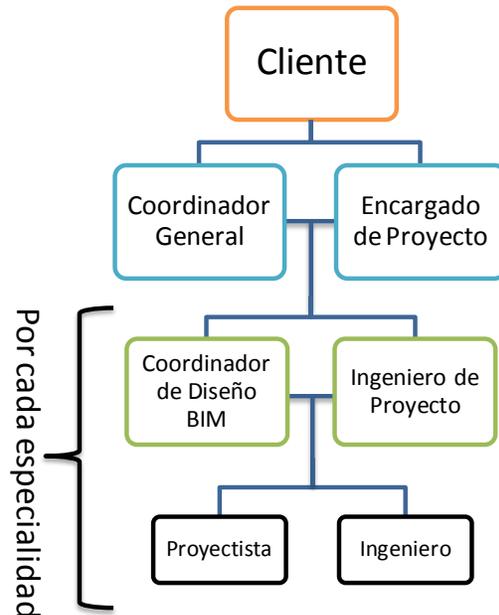


Imagen 4-1: Jerarquía de Roles

La organización de cada uno de los cargos queda definida entonces de la siguiente manera:

- **Coordinador General:** Es el encargado de definir y liderar las Reuniones de Coordinación que se realizan en toda la etapa de diseño del proyecto. Esta reunión es guiada en conjunto con el Jefe de Proyecto. Su labor principal es llevar control del proyecto virtual, y por esto tiene acceso y manejo total a la maqueta BIM. Se encarga de autorizar los cambios y actualizaciones de las versiones aprobadas que vayan surgiendo del modelo, y mantener esta información de manera organizada a lo largo del proyecto, así como el orden de los archivos y carpetas.

Es en la primera reunión formal del grupo de trabajo - Reunión de Coordinación Inicial - donde el Coordinador General y el Jefe de Proyecto tienen la labor de dejar en claro las responsabilidades de cada uno, así como de dejar preestablecido las fechas de control de avance y definir los alcances y objetivos del modelo, entre otros.

- **Encargado de Proyecto:** Cumple con la función de coordinar el trabajo a nivel de ingeniería, por lo que está en contacto directo con el Ingeniero de Proyecto de cada una de las disciplinas involucradas

en el diseño. Trabaja en apoyo con el Coordinador General, y debe asistir a las reuniones de coordinación para control del modelo y trabajo, pues es una forma eficiente de ver el avance del proyecto en general.

- **Coordinador de Diseño BIM:** Al igual que el Coordinador General está encargado de controlar el modelo virtual, pero específicamente de la especialidad en la que se desempeña. Coordina el trabajo del grupo de proyectistas y dibujantes, y se encarga de controlar y gestionar el acceso al modelo de cada uno de ellos, y la evolución de la maqueta de su especialidad. Además, debe preocuparse de mantener el modelo actualizado para la posterior aprobación del Coordinador General. Todo el trabajo que se desarrolle dentro de la especialidad está condicionado por él y el Ingeniero de Proyecto.

También, debe encargarse de que se cumplan los plazos de avances establecidos de su maqueta para la siguiente Reunión de Coordinación.

- **Ingeniero(s) de Proyecto:** Su labor es desarrollar la ingeniería del área en la que se desempeña, trabajando conjuntamente con los Proyectistas del área en el desarrollo del modelo. Es importante el trabajo codo a codo que debe desarrollar con el Coordinador de Diseño BIM durante el diseño, así como su asistencia conjunta a las reuniones de coordinación. El trabajo de ingeniería está controlado y aprobado por el Jefe de Proyecto.

Dependiendo del tamaño y características del proyecto en el que se esté trabajando, es posible que exista más de un profesional ingeniero involucrado, pero uno solo de ellos es quien tiene el cargo asignado de Ingeniero de Proyecto.

- **Proyectistas/Dibujantes:** Son los encargados de crear el modelo en sí, trabajando en equipo en un modelo común bajo el control del Coordinador de Diseño BIM. Su labor queda restringida por el acceso al modelo que controla el Coordinador de Diseño BIM, y condicionado a la ingeniería desarrollada.

Dependiendo de las características del proyecto, puede haber más de un Ingeniero de Proyecto y/o Proyectista/Dibujante por especialidad.

Finalmente y a modo de resumen, se puede ver una esquematización general de los roles asignados en un diagrama que incluye a todos los participantes en el diseño del proyecto:

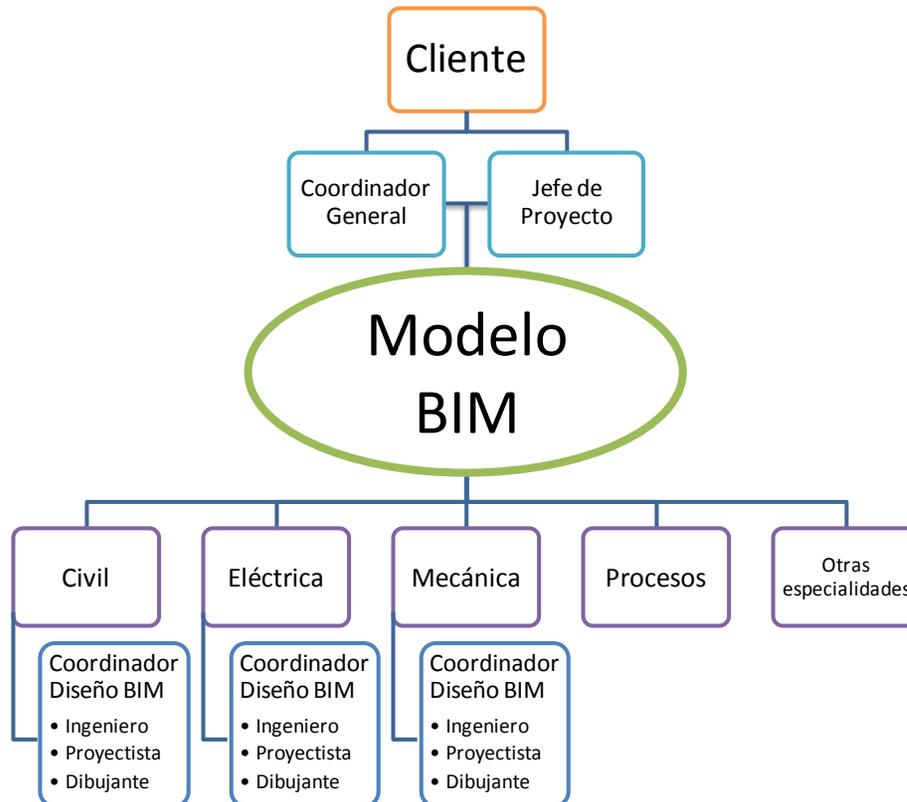


Imagen 4-2: Diagrama de Roles en el Modelo

4.1.2. Modelo de Tres Fases

Las modificaciones y avances que se vayan generando durante la elaboración deben coordinarse correctamente dado el número de personas que manejan archivos en común, labor que ya quedó definida para el Coordinador de Diseño BIM. Si no existe un manejo adecuado de los distintos archivos y versiones del modelo en el que se está trabajando, no es posible un trabajo interdisciplinario correcto que asegure el éxito del proyecto.

Dada entonces la importancia que tiene el manejo del trabajo virtual, se plantea instaurar un esquema ya utilizado en varios otros tipos de trabajo, pero que se adecua perfectamente a la necesidad reflejada en este caso. Este esquema es el llamado Modelo de Tres Fases que consiste en un desarrollo controlado en base a tres etapas principales en que cada una de ellas corresponde a un proceso y fase claramente establecidos. Este esquema puede transformarse fácilmente a un esquema de tres etapas de modelo: Modelo en Desarrollo, Modelo Preaprobado y Modelo Aprobado o

Final. Estas etapas se van repitiendo periódicamente dentro del avance que exista, y en cada fase de Ingeniería Básica y de Detalle, en un proceso iterativo a lo largo del proyecto.

Cada una de estas fases tiene un manejo distinto dentro del grupo de trabajo, tal como se detalla a continuación:

- a) En Desarrollo (Etapas de diseño de ingeniería): En primera instancia, es la primera etapa de creación de la maqueta en forma independiente para cada especialidad. En ella es importante que exista una correcta coordinación entre algunas especialidades participantes que desarrollan un diseño más complejo (tales como Mecánica & Piping, Procesos o Estructura, que son disciplinas de mayor importancia en el tipo de proyecto escogido), con tal de disminuir las modificaciones por interferencias que se pueda producir al momento de unir los modelos. Esta primera fase de diseño que se desarrolla dentro de cada área, es la controlada directamente por el Coordinador de Diseño BIM, y por lo tanto su aprobación es necesaria para poder pasar a la siguiente etapa. Esta fase es la primera aprobación informal del modelo para cierto nivel de avance establecido previamente en la Reunión de Coordinación., y que pasará a revisión del Coordinador General.
- b) Preaprobado (Coordinación en proceso): Una vez que se ha revisado y aprobado el modelo por parte del Coordinador de Diseño BIM y el Ingeniero de la especialidad respectiva, se revisa con el Coordinador General para una preaprobación. Debe ser examinado en conjunto con los trabajos de las otras áreas involucradas para el chequeo de interferencias, por lo que es conveniente hacer una revisión parcializada de los modelos (por ejemplo, por pares) para detectar errores de modelación y diseño. Esta revisión la realiza el Coordinador General previamente a la Reunión de Coordinación. Posteriormente, se realiza la Reunión de Coordinación donde se analiza cada problema encontrado y documentado en fichas RDI, de acuerdo a lo definido para ello. Después, se debe dar solución a los problemas encontrados y cada disciplina debe modificar su trabajo de acuerdo a lo estipulado. Al momento de encontrar errores o interferencias mayores, se trabaja en conjunto en la misma reunión para encontrar soluciones adecuadas del problema planteado.
- c) Final (Aprobado para trabajo): Una vez que se hizo una revisión y posterior corrección del modelo incluyendo el trabajo total de las distintas disciplinas, el Coordinador General realiza una reunión para la aprobación final de la versión en la que se trabaja. En ella se revisa el modelo completo hasta el nivel que se haya establecido para cada

disciplina, con las correcciones identificadas en las RDI de la etapa anterior.

Una vez que se pudo llegar a esta tercera etapa de Modelo Final, el Coordinador General es el encargado de guardar la versión final aprobada del modelo para cierto nivel de diseño. El trabajo posterior se realiza sobre este Modelo Final, donde cada especialidad puede acceder a los modelos de las otras áreas involucradas en caso que se requiera.

Para el trabajo interno de cada especialidad se puede utilizar el esquema general del Modelo Tres Fases, pero de forma simplificada:

1. Cada Proyectista/Dibujante realiza el trabajo en conjunto con el Ingeniero de Proyecto y lo deja en el servidor para revisión del Coordinador de Diseño BIM.
2. Se revisa el trabajo y unifica con el resto en caso que se haya hecho una división del proyecto, con tal de formar un solo modelo. En caso de error o mal diseño, se devuelve a la etapa anterior para corrección.
3. Una vez examinado, se deja para revisión del Coordinador General, pasando a la Fase I.

Esquemáticamente y a modo de síntesis, el proceso de evolución del modelo durante el desarrollo del proyecto queda de la siguiente manera:

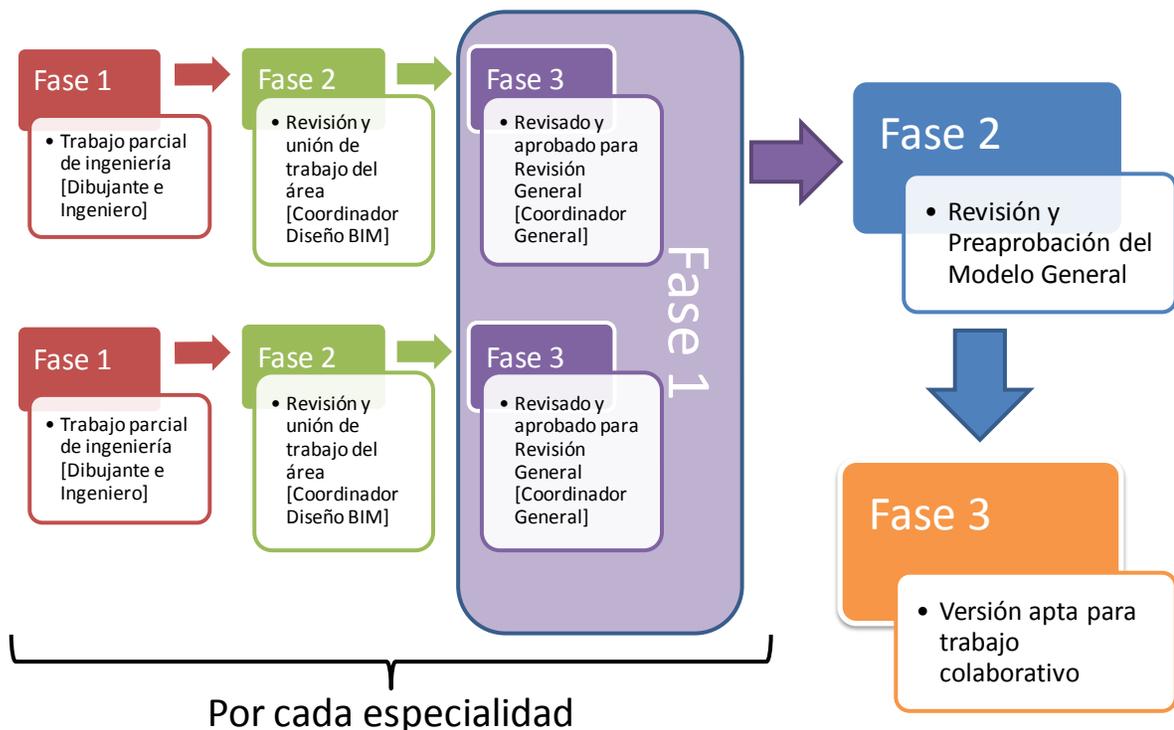


Imagen 4-3: Modelo de Tres Fases para BIM

Cabe señalar que este ciclo de trabajo se repite para las diferentes fases de ingeniería de diseño (básica y de detalle).

4.1.3. Niveles de Detalle (LOD – Level of Detail)

Una de los problemas que se generan en el trabajo cooperativo que se plantea y se requiere para implementar un diseño 3D paramétrico de los proyectos, está referido al orden que es necesario mantener en el desarrollo del mismo. Al ser un diseño colaborativo entre distintas disciplinas y a la vez dentro de una misma especialidad, es una condición necesaria respetar un cierto nivel de creación y desarrollo del modelo para mantener un trabajo organizado en conjunto.

Para ello, se pueden definir distintos niveles de desarrollo a medida que se avanza en el diseño. De acuerdo a los distintos documentos analizados, en particular a lo señalado en *AIA BIM Protocol Exhibit*, se puede separar el modelo en distintos niveles de detalle de acuerdo a la evolución en el diseño. Cada uno de estos niveles que se plantean determina de modo general los límites que es necesario que existan para cierto momento en el desarrollo de la maqueta. Si no se tiene acotado en parte el avance, se comete el error de tener una evolución dispareja y por lo tanto descontrolada del modelo que se proyecta.

El enfoque de este trabajo va relacionado directamente a la implementación en proyectos industriales multidisciplinarios, por lo que la descripción de estas etapas de diseño está basada en este tipo de trabajo. Por este motivo, se recomienda una división generalizada en cuatro niveles o etapas principales de desarrollo del modelo para cada disciplina, correspondientes a las etapas de ingeniería: Ingeniería Conceptual (Nivel 1), Ingeniería Básica Fase I (Nivel 2), Ingeniería Básica Fase II (Nivel 3) e Ingeniería de Detalle (Nivel 4). Estos niveles pueden variar de acuerdo a cada proyecto dependiendo de distintos factores, por lo que se sugiere mantener un esquema en forma general tal como se plantea.

Este proceso de creación de elementos ayuda a mantener un avance parejo del proyecto y principalmente controlar que se generen archivos de tamaño adecuado para poder utilizar internamente. Al inicio del proyecto se tiene una necesidad mayor de compartir información para diseñar, por lo que archivos más pequeños son más adecuados para cargar los modelos necesarios. A medida que avanza el proyecto esta interacción entre archivos disminuye pero aumenta la cantidad de información, por lo que no hay mayor inconveniente en que el tamaño de archivos aumente.

La descripción de cada uno de estos niveles se señala a continuación:

Nivel 1: Este primer nivel corresponde a la etapa de diseño de ingeniería conceptual. A nivel de proyecto industrial, al finalizar esta etapa se cuenta con la descripción de las líneas de producción, y la

disposición de elementos estructurales y equipos en general, así como la arquitectura y estructura bases.

No determina un modelo en sí aun, es la esquematización del proyecto correspondiente al layout general del mismo, una base para poder comenzar a trabajar en las otras especialidades.

- Contenido: Elementos generales que entreguen información básica del proyecto, como localización y orientación general. Algunos elementos geométricos generales, principalmente para visualización solamente. Arquitectura básica, elementos estructurales generales, estructura de piping con diámetro constante, para visualización.
- Posibilidad de análisis y decisiones: Basado en las geometrías y especificaciones anteriores de los elementos representativos.

Nivel 2: Ya se cuenta con elementos estructurales generales y líneas de producción más detalladas. Pertenece a la etapa de ingeniería básica (fase I) del proyecto y consiste en un diseño esquemático más detallado que en la fase anterior, con mayor aproximación en la disposición de equipos y con dimensiones generales. Se puede agregar información no geométrica a los elementos si se desea.

En esta fase ya se desarrollan los criterios de diseño definidos y se comienza el modelo a nivel general de cada especialidad, el dimensionamiento y disposición de cada una.

- Contenido: Elementos del modelo hechos como sistema general con cantidades y medidas aproximadas, pudiendo incluirse además información no geométrica como parámetro de los elementos creados (nombre de equipos, especificaciones, dimensiones u otras características). Civil: Elementos generales con dimensiones y características principales. Mecánica: Piping general, equipos con mayor detalle, líneas más definidas.
- Posible Estimación de Costos: Por técnica de estimación conceptual de acuerdo a la información que se tiene incluida en el modelo.
- Programa: Se puede comenzar a definir cierta planificación del proyecto de acuerdo a hitos definidos para la construcción del proyecto, y al avance en el modelo.

Este último punto se incluye de ahora en adelante en caso que haya sido establecido que se trabajará e incluirá la planificación

de obra como parte del proyecto a desarrollar. Caso contrario es completamente omisible.

Con este segundo nivel de avance terminado, ya es posible hacer un chequeo de interferencias más específico de los elementos presentes para una corrección parcializada del modelo. La detección de conflictos debe hacerse de esta forma por la gran cantidad de errores que surgen y la consiguiente demora en corregirlos si se hace en una etapa más avanzada del modelo.

Nivel 3: Es parte de la ingeniería básica (fase II). Al tener este nivel completo, el modelo es geoméricamente apto para generación de documentos, existen elementos secundarios más específicos de cada especialidad. Se puede incluir mayor detalle de información de los elementos y equipos por área de desarrollo.

- Contenido: Se agrega información no geométrica más detallada de los elementos, dependiendo de lo requerido por el proyecto. Características y especificaciones de equipo, materialidad de elementos, dimensiones, y otros elementos secundarios. Civil: Elementos como pasarelas o estructurales menores. Mecánica: Soportes, otros equipos menores. Otras: Instalaciones eléctricas, ductos de climatización, etc.
- Estimación de Costos: Ya es posible obtener cubicaciones del proyecto, costos por especialidad, listado de elementos y otros documentos.
- Programa: A este nivel de detalle ya se puede tener una planificación y secuencia constructiva más específica, pero no aún como parte del modelo.

A esta altura de detalle, la maqueta ya puede utilizarse para visualización parcial y hacerse un mejor seguimiento del nivel de avance del proyecto completo.

Nivel 4: Correspondiente a la Ingeniería de Detalle. En este nivel ya se cuenta con las especificaciones de equipos y sistemas completos, así como con todas las características de los elementos de acuerdo a lo especificado en un inicio del proyecto. Existe un nivel de detalle avanzado de los elementos, suficiente para el inicio de la etapa constructiva. Es posible obtener la información de cualquiera de sus elementos.

- Contenido: Información detallada de los elementos del modelo.

- Construcción: Elementos con representación virtual y aptos para construcción.
- Estimación de Costos: Es posible usar el modelo para realizar análisis de costos tanto de equipos como del proyecto completo, cubicaciones y análisis detallado de los distintos procesos de producción.
- Programa: Se incluye secuencia constructiva y de montaje completa con los elementos de la maqueta. Se crea el modelo 4D del proyecto.

El término de esta etapa representa el diseño del proyecto terminado. Es un modelo virtual completo utilizable perfectamente para visualización del proyecto construido.

4.1.4. Notación y Librería

Se pudo observar que el orden que se debe mantener no deja de ser un factor importante dentro del proceso de creación del modelo. Al tratarse de información que será utilizada por varios usuarios, es necesario que se genere y mantenga organizada, y sobre todo que esa organización sea conocida y respetada por las personas involucradas en la elaboración del modelo en sus distintas etapas. Esta debe tener un sentido lógico y una fácil comprensión a primera vista y al ver el nombre de un elemento o grupo de ellos se debe tener a priori una idea de lo que representa, a qué corresponde, la especialidad a la que pertenece (elementos estructural, mecánico, eléctrico, equipo específico, etc.) u otras posibles características, que faciliten su identificación.

A medida que se avanza en el proyecto es cada vez mayor la cantidad de datos que se manejan y si estamos trabajando con modelos BIM, los elementos van contando con mayor detalle y especificaciones por lo que se cuenta con una amplia base de datos. Recordemos que utilizar modelos virtuales se basa en esto: modelos de información, grandes bases de datos que presentan la información del proyecto en forma visual y paramétrica al alcance de los distintos usuarios. Es por este motivo, que la comunicación entre las especialidades es cada vez mayor con el avance del proyecto y por lo tanto se hace indispensable mantener algún esquema de notación a seguir en conjunto, a pesar de que cada especialidad de trabajo suele contar con ciertos parámetros establecidos para la notación de la información que se genera (ya sean planos o elementos dentro de la biblioteca que posean).

Esta notación en la creación de objetos tiene estrecha relación con los ya definidos Niveles de Detalle del modelo, pues a medida que se avanza en su especificación y aumenta este nivel, también se ve modificado el nombre del mismo. Mayor nivel de detalle implica notación más detallada, y viceversa.

Para esta labor, se recomienda guiarse en base al trabajo desarrollado por *UK BIM Standard*, que determina algunos puntos importantes en este ámbito.

4.1.4.1 Notación definida

La codificación que se utilice para definir la notación de los elementos debe ser simple y lo más fácil de interpretar visualmente. De esta manera se hace más rápida su ubicación dentro de la biblioteca de elementos que se dispone. Los primeros parámetros o secciones del nombre del elemento determinan características generales, y a medida que se avanza en el nombre se hace más detallada la información.

Por este motivo, se señala a modo general una posible notación. Dependiendo de la especialidad a la que corresponda el elemento, se definen siglas que lo identifiquen de mejor manera, tal como se utiliza actualmente: ARQ= Arquitectura, MEC/MPP= Mecánica y Piping, EST/CIV= Civil y Estructuras, CLI= Climatización, etc. Es importante mantener el mismo número de caracteres para el tipo de código que se esté utilizando, independiente del parámetro que se use. También se recomienda NO utilizar espacios, sino que guiones bajo "_" para separar los nombre y guiones "-" para sub-elementos.

Para nombrar un modelo de especialidad se puede utilizar la siguiente estructura: Proyecto-Especialidad-Zona/sector (en caso de división existente)-Nivel (Modelo Tres Fases: D-R-A)-Versión-Descripción (en caso que corresponda o se desee). Por ejemplo:

ALG-CLI-02-A-V2-Sala_de_Refrigeracion⁷

Pertenecería a un proyecto de Aliaga & Asociados, especialidad Climatización, zona 2 del proyecto, versión Aprobada para trabajo, versión 2 del modelo, y que correspondería a una sala de refrigeración de la planta.

La notación de elementos debe quedar definida en la Reunión de Coordinación Inicial que se realiza antes de comenzar a diseñar el proyecto, pues muchos elementos o el modelo en sí quedan disponibles para uso común del grupo de trabajo.

⁷ Se recomienda obviar tildes en el nombre de archivos para evitar errores de lectura asociados, como ocurre con muchos programas.

4.1.4.2 Librería de Elementos

Se recomienda ir creando una biblioteca de elementos a medida que avanza el proyecto, para aquellos que no existen dentro de la biblioteca que viene por defecto dentro del programa BIM que se utilice en la especialidad respectiva. Es recomendable guardar los elementos con un nivel de detalle básico, de esta manera se puede utilizar como base para cualquier caso.

Al hacerlo de esta manera, va aumentando la experiencia y la cantidad de objetos disponibles, logrando reducir el tiempo que se necesita para poder diseñar un modelo a futuro, pues se cuenta con elementos preestablecidos en los que se puede cambiar la información paramétrica que poseen de acuerdo a las especificaciones del proyecto. Además, se evita la redundancia de información dentro del proyecto, por lo que si un elemento se encuentra considerado en distintas especialidades no se repetirá dentro de los archivos de trabajo del modelo.

Una buena práctica es utilizar carpetas por proyecto, especialidad y divisiones sucesivas que ayuden a filtrar la búsqueda de elementos.

Tabla 2: Orden de archivos en librería

Proyecto	Especialidad	En proceso	Modelo BIM
			Elementos
		Revisión	Modelo BIM
			Elementos
	Aprobado	Modelo BIM	
		Planos	
	Entregado	Modelo BIM	
		Planos	
	Coordinación BIM	En proceso	
		Revisión	
Aprobado			
Final			

Para cada disciplina la subcarpeta de Elementos debiera dividirse en tipos de elementos útiles. Por ejemplo en el caso de Civil-Estructuras se puede tener: losas, fundaciones, pasarelas, muros, columnas (divididos en acero y hormigón) o para Arquitectura: Cielos, muros, puertas, ventanas, fachada, etc. Esto sería en caso que no existan los elementos dentro de la biblioteca del software que se utilice para el área.

Una buena recomendación a seguir es utilizar siempre el mismo nombre de archivo para trabajo, y al momento de guardar uno nuevo para modificación,

se agrega la versión al a que corresponde al final del nombre. Al trabajar con referencias entre archivos dentro del modelo principal, siempre se estará llamando a la referencia del mismo nombre, pero corresponderá a una nueva versión del archivo.

Cabe recordar que este trabajo está basado en el uso de servidores comunes, donde se encuentra disponible la librería de elementos señalados.

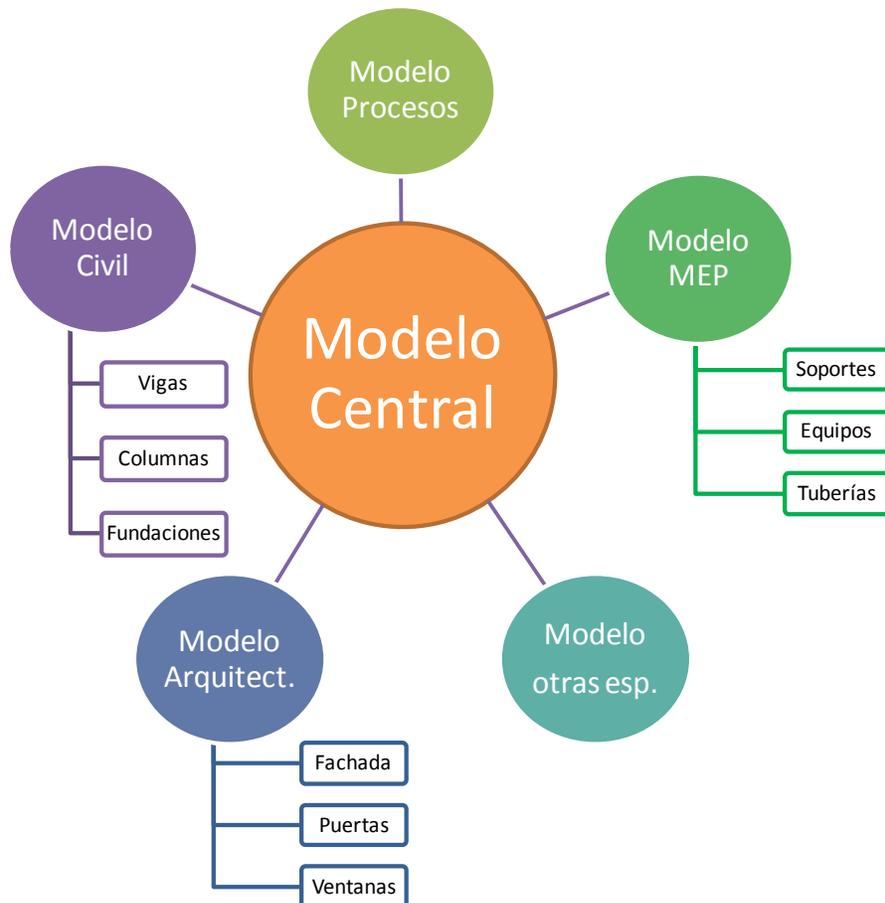


Imagen 4-4: Esquema de librería de elementos

Estos servidores son de uso interno de la empresa, por lo tanto el trabajo completo de todas las áreas se encuentra disponible en línea. Por tratarse de muchas personas trabajando con múltiples archivos entrelazados, se reitera la necesidad de mantener una estructura de trabajo común y en conocimiento de todos.

4.1.5. Software y Hardware

Como ya fue analizado, existen diferentes herramientas para poder diseñar modelos BIM, dependiendo del tipo de proyectos que se deseen desarrollar, así como de las características y necesidades del área del proyecto en sí que se quiera enfocar. A pesar que la gran mayoría de estos programas cuenta

con buenas capacidades para la creación de elementos paramétricos, muchos de ellos tienen propiedades específicas que los hacen más adecuados para cierto tipo de tareas o diseño en particular. Estas características que presenta cada uno son lo que hace que se pueda trabajar de mejor forma en alguna especialidad. Por este motivo es importante saber escoger dentro de las opciones disponibles, las que ayuden de mejor manera a desarrollar el proyecto escogido.

Los proyectos industriales cuentan con diferentes especialidades de ingeniería, y por lo tanto existen programas específicos diseñados especialmente para el desarrollo de cada una de ellas. Un ejemplo básico de estos programas es Autodesk Revit que es un software de diseño BIM comúnmente utilizado. A pesar de contar con tres versiones enfocadas a distintas áreas de diseño (*MEP, Structures y Architecture*), en general es un programa que tiene características más adecuadas para el diseño de proyectos habitacionales o de edificios en general. Las prestaciones del programa a pesar de no ser exclusivas para proyectos de este tipo, hacen mucho más fácil ese tipo de diseño, y ese es un punto importante a considerar pues lo que se busca al utilizar un software que sea rápido en la creación de un modelo. Esto no quiere decir que no sea una herramienta útil para otro tipo de diseños, pero existen otras opciones que pueden ser de mayor utilidad para ello, y esto es lo que se desea definir con esta implementación.

Por otro lado, si se desea trabajar en proyectos que consideren múltiples disciplinas, es importante utilizar software que “conversen” entre sí, refiriéndose al hecho de que sean compatibles en los formatos de importación y exportación de archivos entre ellos y que la comunicación en este sentido sea rápida y relativamente fácil de hacerse. Si no se cuenta con esta característica no se tiene una conexión efectiva entre los programas de cada área de diseño, lo que se refleja en una comunicación deficiente en el desarrollo general. Como se desea implementar esta metodología en un trabajo en conjunto, elegir los programas adecuados que mantengan una buena conexión de trabajo se transforma en una condición necesaria de implementación.

A pesar de las variadas opciones disponibles, es mejor utilizar para el tipo de proyectos escogido, programas que quizás no son la mejor opción en forma individual para cada especialidad, pero en conjunto comparten de mejor manera características que le dan mayores atributos de interoperabilidad dentro del proyecto.

En este sentido, Autodesk ha sido una de las empresas líderes en el desarrollo de herramientas computacionales en las diferentes áreas de la ingeniería, y cuenta con diferentes *Suites* o Paquetes de Programas

dependiendo del área de desarrollo, logrando una buena comunicación entre software de distinto tipo. Al ser conocidas a nivel global, han tenido un uso preferencial para diseño BIM, ya que a nivel de usuario es posible consultar a través de Internet cualquier tipo de duda respecto a su uso o prestaciones, tanto a nivel básico como en casos más específicos.

Por este motivo, se pensó en el uso de dos *Suites* diseñadas especialmente para desarrollo de proyectos industriales: *Factory Design Suite* y *Plant Design Suite*. Cada una de estas *suites* incluye el siguiente listado de programas:

Factory Design Suite:

- AutoCAD
- Autodesk Inventor
- Autodesk 3ds Max Design
- Autodesk Showcase
- Autodesk Vault
- Autodesk Navisworks Simulate/Manage
- Autodesk Factory Design Suite Utilities

AutoCAD Plant Design Suite:

- AutoCAD
- AutoCAD P&ID
- Autodesk Showcase
- Autodesk SketchBook Designer
- AutoCAD Plant 3D
- AutoCAD Structural Detailing
- Autodesk Revit Structure
- Autodesk Navisworks Simulate/Manage
- Autodesk Inventor

Como ya fue mencionado, la mayoría de estos programas mantienen formatos de archivos que resultan compatibles entre ellos, haciendo que la comunicación y traspaso de información sea más simple, logrando un trabajo e interoperabilidad mejorada en la elaboración del modelo.

Cabe recordar la necesidad de capacitación que debe hacerse para el cambio a estos programas. Se pudo obtener de acuerdo a las entrevistas realizadas, que no es una práctica común dedicar tiempo a este proceso de marcha blanca, pero sí es necesario tener las competencias necesarias desarrolladas para poder utilizar adecuadamente estos programas.

La mayoría de los software tienen herramientas que ayudan al diseño, como perfiles y elementos predefinidos que se le deben entregar algunos parámetros básicos para comenzar a dibujar, simplificando el trazado y detalle de elementos que se van creando, o funciones para la modificación de

objetos que lo realizan de forma rápida Se debe recordar que si no se cuenta con la capacitación adecuada de estas funciones, los beneficios de los programas no son realmente aprovechados, y por lo tanto hay una falencia importante que limita una correcta implementación y metodología.

4.2. Metodología Propuesta

Conforme a la documentación obtenida – tanto teórica como en base a la experiencia – y de acuerdo al tipo de proyecto elegido en esta investigación para implementar BIM, se pensó y diseño un flujo de trabajo particular basándose siempre en el uso de BIM como punto central de comunicación y trabajo global del proyecto, logrando de esta manera hacer el diseño en base al modelo.

4.2.1.1. Diagrama de Trabajo

[Ver Anexos C y D]

4.2.1.2. Descripción de Diagrama

La descripción de cada uno de los puntos del diagrama se detallan a continuación:

Inicio

Se identifica la idea o necesidad de desarrollar un proyecto con ciertas características definidas por el cliente, obteniéndose de esta manera las especificaciones generales del proyecto determinadas por:

- Qué se quiere producir
- Cuánto se quiere producir
- Cómo se quiere producir

Con esta información quedan identificados los servicios que contempla la ejecución del proyecto, que son la base para poder desarrollarlo conforme a las necesidades específicas definidas.

Ingeniería Conceptual

De acuerdo a los factores establecidos en el punto anterior, se comienza a desarrollar la ingeniería conceptual en un trabajo conjunto entre las áreas de Procesos y Arquitectura para trabajar en obtener el layout general del proyecto. Arquitectura desarrolla dimensionamientos generales del proyecto, condicionado por el trabajo del área de Procesos, que se basa en las especificaciones generales definidas por el cliente. El layout general terminado debe contener las especificaciones de las líneas de procesos, requerimientos y disposición general de los equipos, entre otros.

Hasta este punto, la coordinación entre las distintas disciplinas no es necesaria pues solamente se desarrollan labores menores de algunas de ellas dentro del proyecto, por alguna necesidad específica del área de Procesos. La comunicación con el cliente en esta etapa debe mantenerse en forma continua, ya que se realizan modificaciones constantes del proyecto que se deben ver reflejadas en el layout a generar.

El trabajo desarrollado por Procesos debe ser generado con software que cumpla con características de colaboración en formato BIM, esto se traduce en contar con una comunicación efectiva entre los programas de diseño y el área de Procesos. El trabajo del área de Mecánica en el proyecto está hecho en base a esta información, por lo que si se realizan modificaciones al diagrama de procesos debe poder cambiar automáticamente la información del modelo de mecánica y piping. Esta ventaja surge de utilizar programas compatibles entre las disciplinas nombradas.

A modo general, al finalizar esta etapa se cuenta con la siguiente información:

- Layout general
- Especificaciones técnicas y listado de equipos
- Balances de producción
- Otros (dependiendo del proyecto)

A partir de este trabajo se procede a desarrollar la ingeniería de las otras especialidades del proyecto.

Reunión de Coordinación Inicial (RCI)

Una vez obtenido el layout general y el resto de información de la etapa anterior, es necesario que exista una reunión inicial para coordinar el trabajo a realizar en las otras especialidades. En esta reunión es importante dejar definidos una serie de puntos necesarios para poder comenzar a elaborar el modelo conjunto del proyecto:

- Asistencia: La asistencia por parte de los integrantes del proyecto es fundamental, pues se definirán las bases del modelo y del proyecto en sí. Se recomienda que haya una participación mínima por parte de las especialidades de mayor importancia del proyecto (Procesos, Mecánica, Civil, Eléctrica), correspondiente a Ingeniero de Proyecto y Coordinador de Diseño BIM. Para el resto de especialidades se recomienda que haya un integrante por lo menos.
- Fechas tentativas de control de avance: Es recomendable dejar establecidas fechas de control, las próximas Reuniones de Coordinación. Una buena práctica es tener un control quincenal del progreso en conjunto del proyecto, obligando a tener un avance semejante entre las especialidades. Para que exista realmente un

trabajo en equipo, es necesario que los participantes principales estén informados del avance general conjunto, y es uno de los motivos principales de estas reuniones.

- Punto origen común de trabajo: Debe quedar establecido un punto georreferencial para todos, con tal de que al momento de separar el trabajo en cada disciplina se utilice el mismo y sea posible combinar los modelos elaborados por cada uno. Este punto puede sonar quizás poco relevante, pero es un problema que ha sido posible observar por lo que vale la pena mencionarlo de todas formas.

Esta reunión estará dirigida por el Coordinador General en conjunto con el Jefe de Proyecto, con el objetivo de dar a conocer las características y objetivos del modelo (criterios de diseño) a utilizar:

- Objetivo del modelo: Se debe establecer el objetivo del uso del modelo, y de acuerdo a ello, construirlo. Quizás no sea necesario hacer un modelo integrado con todas las especialidades del proyecto, no siempre la solución pasa por un diseño 3D y esto debe quedar claramente especificado antes de comenzar a desarrollar el trabajo. Por este motivo, se debe definir cuáles especialidades van a estar incluidas en el modelo, pues alguna de menor importancia puede utilizar el trabajo de otra especialidad pero no elaborar necesariamente un modelo 3D, sino que trabajar en base a diseño 2D convencional.

- Características del modelo: Conforme a las especificaciones obtenidas, es necesario definir tanto el equipo de trabajo que estará involucrado como los parámetros que van a desarrollarse en el modelo de cada especialidad que trabajará en el proyecto. Esto se refiere a definir qué especialidades deben tener mayor prioridad de trabajo una vez iniciada la etapa de ingeniería básica y detalle, y las características que debe tener el modelo que construirá cada una de ellas, vale decir:

- Plataformas a utilizar
- División del modelo en base al proyecto
- Protocolos de comunicación
- Equipo de trabajo
- Debe quedar establecido además el nivel de detalle que tendrá cada especialidad, a modo general. Este punto puede variar a lo largo del tiempo, pero es recomendable predefinir cierto grado para el modelo.
- También se debe definir si se desea realizar integración de la programación y/o obtención de costos del proyecto (modelo 4D-5D) en el modelo, aunque este punto se verá en detalle más adelante en la descripción.

En forma anexa, se puede realizar algunas reuniones que además cuenten con la presencia del mandante, con tal de poder resolver dudas que surjan o simplemente visualizar en conjunto el avance y proyecciones estimadas.

Resumiendo, al final de esta reunión tienen que haber quedado definidos los siguientes puntos:

- Fechas de próximas reuniones (periodicidad)
- Características de diseño a aplicar en conjunto
- Objetivo del modelo por especialidad
- Inclusión de programación o análisis de costos al modelo (posibilidad)

Ingeniería Básica (Diseño por área)

En esta etapa comienza el trabajo de cada disciplina en forma separada – pero no independiente – y antes de comenzar a pensar en la elaboración del modelo por especialidad, hay una serie de puntos que deben tomarse en consideración respecto al trabajo colaborativo, y que deben quedar claros para el equipo de trabajo.

Cada una desarrolla su propia ingeniería de acuerdo a la información entregada al finalizar la ingeniería conceptual y lo definido en la Reunión de Coordinación Inicial.

Prioridad de Modelación: Para poder trabajar en conjunto, es importante tener un modelo base para comenzar, por lo que se recomienda que el área Civil/Estructuras y Arquitectura en conjunto se dediquen al levantamiento de su modelo de manera temprana utilizando un nivel de detalle bajo (Nivel 1) que sirva de guía para el resto de las disciplinas, acorde a lo señalado en el capítulo anterior. Basta con tener una estructuración poco detallada, pero con los elementos principales sobre los que se pueda modelar en un comienzo. Se pueden generar objetos geométricos simples, permitiendo hacer modificaciones a sus parámetros cuando sea necesario

Responsabilidad de Modelación: Queda como responsabilidad del Coordinador de Diseño BIM de cada especialidad, el control del modelo de su área. La forma en que cada disciplina va desarrollando su trabajo puede variar entre una u otra, pero hay ciertos aspectos comunes entre ellos:

1. Previo a la modelación, se debe recordar los parámetros de diseño señalados en la RCI para utilizar criterios similares. Si se trabaja en zonas separadas del modelo, utilizar coordenadas acordes para poder unificar el trabajo posteriormente.
2. El trabajo que desempeñe cada proyectista/dibujante como parte del modelo, queda definido en base al trabajo del Ingeniero de Proyecto definido en conjunto con el Coordinador de Diseño BIM.
3. El Coordinador de Diseño BIM controla el trabajo del área, y se encarga de centralizarlo en un solo modelo, en caso que haya sido fraccionado.

Se preocupa de revisar el trabajo gráfico y que no contenga errores de diseño gráfico.

4. También debe preocuparse de mantener la información organizada adecuadamente, y que se mantenga los criterios definidos para notación de archivos y orden del trabajo en general. Debe utilizarse el criterio de Modelo Tres Fases definido para trabajo interno, dejando a disposición del resto versiones útiles para obtener información del proyecto.
5. Se recomienda establecer un nivel de desarrollo del modelo de acuerdo al nivel de ingeniería que se esté trabajando en forma global dentro del proyecto. Esto quiere decir que en caso que de exista un grado de avance mayor del proyecto en alguna especialidad (refiriéndose esto principalmente a tener mayor información por elementos que se traduzca en un archivo de mayor tamaño), no se debe dejar una versión tan avanzada para trabajo compartido de las otras especialidades.

Una vez obtenido cierto avance deseado, se debe guardar e ir actualizando una versión para revisión en la posterior Reunión de Coordinación, que se revisará por el Coordinador General antes de esta reunión.

Reunión de Coordinación

En esta sesión, al igual que en la Reunión de Coordinación Inicial, debe asistir el equipo principal de trabajo correspondiente a Jefe de Proyecto, Coordinador General, Coordinador de Diseño BIM, y por lo menos un Ingeniero de Proyecto por especialidad. Deben tener una regularidad establecida por el Jefe de Proyecto y el Coordinador General, encargados de llevarlas a cabo tal como se estableció previamente, dependiendo de las características y plazos del proyecto.

Se recomienda que previamente a la reunión, el Coordinador BIM haya hecho una pre-revisión de las maquetas disponibles, con tal de tener identificados con anterioridad los problemas a tratar en la reunión. Por este motivo se recalcó la importancia de la compatibilidad de formatos que se debe tener entre los programas utilizados para el diseño. En la reunión se controla el avance general en conjunto, y principalmente se van solucionando las interferencias encontradas en la revisión del modelo completo.

Dependiendo del tipo y grado del problema encontrado se pueden tener dos tipos de reuniones distintas para darle solución:

- 1) *Principal*: Si se encontró un problema mayor que involucra más de dos especialidades, o se debe tomar alguna decisión de diseño por requerimiento del cliente, son tópicos a resolver en esta reunión. Toda modificación hecha y decisión tomada al respecto debe quedar

documentada en fichas RDI, que contiene una imagen del problema, descripción y solución proyectada. El formato de este documento se recomienda que sea el planteado por Nicolás Hernández⁸

- 2) *Secundaria*: Este tipo de reuniones corresponden a reuniones para resolver problemas puntuales de menor importancia dentro del proyecto completo, por lo que solamente consideran al par de especialidades involucradas en encontrar una solución. En caso de que sea un problema cuya solución sea necesaria documentar, se debe llenar una ficha RDI al respecto. Caso contrario, simplemente se corrige el modelo sin documentación del cambio, pues al ser problemas menores, se recomienda no generar documentos extras, ya que tienen una frecuencia de aparición mayor y toma más tiempo hacer una ficha que corregir el problema directamente.

Estas reuniones tienen mayor frecuencia que la Reunión de Coordinación principal, pero de todas formas son fijadas por el Coordinador General, por solicitud del Coordinador de Diseño BIM en caso que sea necesario. Después de finalizada la reunión, se recomienda informar vía e-mail al Coordinador General respecto a los puntos tratados. La siguiente reunión dependerá de los problemas detectados, pues no son fijadas con anterioridad y ocurren entre las reuniones principales.

El éxito en el uso de la tecnología BIM radica en la práctica de estas reuniones pues obligan a mantener un trabajo continuo y colaborativo durante la creación del modelo en la etapa de diseño. Una buena práctica es contar por ejemplo con reuniones quincenales, independiente del avance de las áreas, ya que de esta manera se puede simplemente visualizar el progreso general del modelo. Si hay alguna especialidad que tenga mayor importancia en el proyecto (como suele ser el área de Mecánica & Piping en los proyectos de tipo industrial por ejemplo), se debe hacer un seguimiento de avance general en base al trabajo de ese área en particular, que tendrá mayor relevancia en el desarrollo general del proyecto.

Mediante esta práctica se logra una comunicación continua, logrando enfrentar los problemas de diseño de mejor manera, y así discutir y analizar eficientemente las distintas alternativas posibles.

Esta etapa de retroalimentación de información va a tener una duración dependiente directamente de los resultados del análisis y las modificaciones que se hagan en general al modelo central.

⁸ Hernández Nicolás, Procedimiento para la Coordinación de Especialidades en Proyectos con Plataforma BIM, Tesis (Ingeniero Civil), Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2011.

Versión Aprobada

Una vez corregido el modelo o llegado a cierto grado de avance deseado, el Coordinador General se encarga de que exista una versión oficial aprobada del modelo completo (tal como se dejó definido en el Modelo Tres Fases), para que el resto de las especialidades puedan utilizar esta información en caso que la necesiten para continuar trabajando en sus modelos.

Esta versión oficial corresponderá a dos versiones para cada modelo de especialidad:

- 1) Versión formato IFC: Debe quedar una versión del archivo en un formato que sea posible de utilizar por el resto del equipo de trabajo. Este formato mantiene las propiedades de los elementos y tiene ventajas de ser un ampliamente estandarizado para visualización y lectura con varios programas.
- 2) Versión formato propio: De acuerdo al software que esté utilizando cada disciplina, se deja una versión este formato para consulta de usuarios que deseen ver el archivo con el formato original de trabajo.

De todas formas, al utilizar Navisworks se puede utilizar cualquier formato para visualización ya que este programa permite cargar archivos de múltiples versiones sin problema de compatibilidad.

Estas versiones serán actualizadas una vez que se apruebe una nueva modificación del modelo de la especialidad, en la próxima Reunión de Coordinación. Además, la información que se incluya en esta versión debe ser acorde al Nivel de Detalle establecido. No se debe tener para compartir con el resto de las especialidades un archivo muy grande, pues dificulta el manejo del modelo al combinarlo con otras disciplinas, por capacidad de hardware principalmente. Es recomendable trabajar con información compartida lo más resumida posible.

Cabe recordar que se está considerando para esta metodología planteada que se estará trabajando con uso de servidores internos de la empresa, por lo que las versiones aprobadas deben estar en una ubicación acordada y conocida para el equipo completo de trabajo, independiente de la carpeta de trabajo de cada especialidad para evitar confusión. Como se plantea que los archivos serán para visualización y no modificación, es posible que esté siendo utilizado por más de un usuario a la vez.

Este trabajo iterativo se desarrolla hasta que se define la entrega de documentación al cliente para revisión y aprobación, hasta completar la Ingeniería Básica.

Emisión

Se realiza la emisión de planos y documentos para revisión del cliente, a través de las distintas herramientas de generación de documentación con las que cuentan los programas. Estos documentos incluyen planos, listado de equipos, diagramas de procesos, y otros.

Los planos generados directamente de los programas no cuentan con niveles de detalle de planos usuales, por lo que es necesario agregar mayor información de forma tradicional a través de AutoCAD para entregar al cliente, dependiendo del tipo de documento a presentar. La cantidad de "correcciones" que deban hacerse será variable en base a lo establecido como formato de entrega.

Aprobación del Cliente

Se hace entrega de la documentación para revisión con el cliente. Se obtienen modificaciones, comentarios o decisiones de cambio del proyecto. Una vez hecho esto, las modificaciones se hacen en los planos directamente de la manera tradicional de trabajo, dejando el modelo de lado. Terminadas las correcciones en todos los planos y habiendo después sido aprobadas nuevamente, se corrige el modelo para nueva revisión y respaldo de versión.

Ingeniería de Detalle (Diseño por área)

Una vez que se tiene la aprobación por parte del cliente, se continúa con la siguiente fase del trabajo de ingeniería de detalle del proyecto. Esto se refiere a seguir desarrollando el modelo de acuerdo a las reglas establecidas en cuanto al Nivel de Detalle que corresponde a esta etapa, previamente definido en la Reunión de Coordinación.

Cómo se desarrolla este proceso es semejante a lo previamente señalado, pues simplemente corresponde a un grado de avance del proyecto más avanzado en cuanto a la ingeniería del mismo. Ocurren los mismos hitos anteriores: Reunión de Coordinación, Versión Aprobada, Emisión y Aprobación de cliente.

Hasta aquí se produce un ciclo iterativo de trabajo para continuar con la ingeniería del proyecto. Es un proceso bastante más largo de lo que ocurre realmente en la actualidad con la forma convencional de trabajo, pero finalmente aquí es donde se mejora la ingeniería desarrollada y se reducen los problemas en la etapa de construcción ocasionados por una falta de diseño colaborativo.

Al tratarse de la etapa de diseño, suceden la mayor cantidad de modificaciones del proyecto, por lo que los cambios deben verse reflejados periódicamente en el modelo central por ser la base de información de todas las especialidades. Si se realizan cambios al proyecto, deben definirse y

explicarse en la Reunión de Coordinación y modificar los modelos individuales que se vean afectados para poder actualizar las versiones compartidas de trabajo en el servidor.

Modelo Final

Finalizado el proceso de diseño y coordinación, donde se hizo la detección y corrección de conflictos documentados en las RDI, se tiene un modelo completo con las características y especificaciones definidas al inicio del proyecto. De este modelo se puede obtener toda la información y documentación que se desee (planos, cubicaciones, detalle de equipos, listado de elementos con especificaciones técnicas, etc.) de acuerdo a lo estipulado en un comienzo respecto al grado de detalle y especialidades del modelo.

Recordar que no necesariamente todas las especialidades trabajaron con BIM, sino que puede haberse definido que sólo se incluirán las especialidades de mayor complejidad del proyecto. Esto tiene que haber quedado definido en un comienzo dependiendo de las características del proyecto o consideraciones por parte del cliente y la empresa desarrolladora.

Planificación de Obra y Generación de Modelo 4D

Para este punto, es recomendable comenzar con la planificación de construcción de la obra al tener un grado de avance considerable de la ingeniería básica del proyecto, para poder crear el modelo 4D una vez terminada la maqueta 3D.

La tarea de unir el modelo tridimensional con la planificación desarrollada, debe hacerse en la etapa que se cuenta con el modelo completo. A nivel de software, al crear la conexión entre un elemento y una tarea de la planificación de obra, si se modifica el elemento (en términos de parámetros geométricos, no de otra información) se pierde este link entre ambos. Además, la manera de elaborar un modelo 4D es diferente a un modelo 3D pues deben ser elementos de dimensiones pensadas en la planificación de obra y montaje.

Debe hacerse un nuevo modelo en base a la programación, y no una programación en base al modelo ya existente. Por este motivo se recomienda tener en consideración los siguientes puntos:

- Realizar una división de los elementos de grandes dimensiones, de acuerdo a un cierto avance definido para poder hacer la programación de construcción del proyecto. Estos elementos son paños de losa o explanadas de grandes dimensiones, vigas o columnas de tamaño considerable, equipos que no se puedan montar en una sola jornada de trabajo, etc.

- Se puede definir la división de elementos considerando un avance estimado de obra diaria, o cada cierta cantidad de días. Lo importante es definir tamaños de elementos acordes a un avance programado. Esto hace más rápida la asociación entre tareas y elementos en Navisworks, logrando una visualización más real de su etapa constructiva una vez que se pueda visualizar el modelo.
- Unión de elementos de pequeñas dimensiones o de menor importancia, en relación a los elementos que no son de tipo estructural o por motivos geométricos están hechos en bases a múltiples elementos. Si se desea asignar una tarea a un objeto (por ejemplo la instalación de algún equipo o elemento secundario como pasarelas) en la realidad se programa y asigna a una sola tarea, independiente de la duración en el proceso de instalación. Ocurre lo mismo con elementos de cañerías, ductos, cerchas o elementos prefabricados, etc.

Por este motivo, es una mejor práctica realizar directamente un nuevo modelo al final del proyecto con las características necesarias de acuerdo a la programación de construcción. Esta programación se realiza con MS Project o software similar, pudiendo obtener finalmente con el programa Navisworks un modelo 4D del proyecto completo.

4.2.1.3. Variabilidad de Uso

Se pensó para este caso, una metodología diseñada para dar inicio al modelo en conjunto con el proyecto desde el comienzo de la ingeniería conceptual, pero se debe considerar la opción de que se integre en otro punto más avanzado, o solamente desarrollar hasta una etapa de ingeniería. Es por esto que no se especificó en mayor detalle, pues reduciría las posibilidades de uso al ser muy específica.

Por lo tanto, con la metodología señalada se puede desarrollar tanto el proyecto completo o parte de él en caso que sea solicitado de esta manera. Es posible comenzar a trabajar en base a ingeniería ya desarrollada con dibujo 2D de modo convencional, utilizando la misma metodología planteada.

Otros posibles casos son:

- Elaboración de modelo 4D en base a ingeniería desarrollada, para visualización de secuencia constructiva.
- Diseño de ingeniería básica o de detalle cada una en forma individual y/o con algunas especialidades del proyecto.

- Elaboración de modelo 3D en base a planos entregados, para detección de interferencias o visualización, con un nivel de detalle acorde a estas características.

Es importante poder trabajar en forma de que exista flexibilidad para poder incluir una nueva especialidad al proyecto en alguna fase del proceso, y que esto no entorpezca o frene el trabajo general de cómo va evolucionando el modelo completo.

5. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

La necesidad de producir un cambio en la manera en que se ve y en general en cómo se desarrolla un proyecto que abarca un grupo de trabajo importante, representa gran parte del desafío de implementación y posterior éxito al desarrollarlo con una metodología BIM.

La integración de la información de las distintas disciplinas del proyecto produce beneficios y mejoras en la fase de diseño directamente, que por supuesto lleva a obtener una mejor visión en la preconstrucción del proyecto. Además de tener un intercambio de información más dinámica, permite compartir la información justa con el nivel de detalle que se desee de cada especialidad y en el momento que se desee, logrando así un manejo y desarrollo transversal del diseño del proyecto.

Implementar una metodología, independiente de las propiedades o características del proyecto, requiere un proceso de adaptación que tendrá un rango de duración variable, dependiendo de factores principalmente internos por motivo de la cantidad de gente involucrada. Se deben crear los incentivos correctos, y ver la forma en cómo se organiza el proyecto. Los beneficios de un cambio en el diseño de ingeniería basado en modelos BIM son principalmente a largo plazo, por lo que una visión cortoplacista y búsqueda de beneficios inmediatos no es útil dentro de las condiciones de trabajo que se desean mantener.

Al enfocarse en un proyecto multidisciplinario específicamente en la etapa de diseño, la visualización, intercambio de información y colaboración entre especialidades toman un rol protagónico en el transcurso del proyecto, ya que como se pudo observar son un punto conflictivo al momento de realizar la ingeniería de cada área. Por este motivo, se definió utilizar el formato IFC para trabajo compartido gracias a su ventaja de mayor compatibilidad de lectura frente a otras opciones, independiente del tipo de software con características BIM que es esté utilizando.

Debe dársele la importancia necesaria al modelo, pues representa el proyecto en forma virtual, se transforma en una preconstrucción del mismo, y por lo tanto se torna indispensable la dedicación de profesionales exclusivamente para la gestión en cuanto a la actualización y control del trabajo colaborativo que se pretende desarrollar.

La jerarquización de roles que se decida establecer para la construcción del modelo BIM debe conservarse durante el desarrollo del proyecto completo o de la etapa en la que se trabaje, tal y como se desempeña el trabajo regular de ingeniería, manteniendo cada uno de los profesionales sus responsabilidades y funciones. La importancia de mantener un profesional,

tanto a cargo del modelo como del grupo que trabaja en él, es una condición que debe establecerse independiente de la importancia o tamaño del proyecto.

En el caso de estudio de este trabajo, la mayor ventaja está asociada a la visualización del modelo de todas las especialidades en forma constante durante el diseño. El uso de distintas versiones de trabajo tanto en forma individual para cada disciplina como en forma global dentro del proyecto completo, son un aporte considerable en la labor de organización para desarrollar el modelo, ya que obligan a mantener actualizaciones periódicas de la información que se maneja y comparte con el resto del equipo de trabajo.

La adecuada elección de los programas que se utilizarán para crear el modelo de acuerdo a las características necesarias para la empresa y el modelo en particular, se traduce en un aprovechamiento de las ventajas que poseen y en una mejor comunicación del trabajo colaborativo que se desea implementar. Las herramientas que cumplan con características de comunicación efectiva entre ellas deben tener mayor preferencia en comparación a las cualidades propias que posean cada una, ya que el compartir el trabajo entre las distintas especialidades involucradas es la principal utilidad que se desea utilizar al momento de pensar en proyectos multidisciplinarios de ingeniería. Si no se toma una correcta decisión al respecto, se pierden beneficios que son primordiales que existan al utilizar una metodología BIM en comparación a un diseño tradicional del proyecto.

La capacidad de lograr estandarizar una metodología completa de trabajo no se puede asegurar, pues a pesar de que existen cierto tipo de proyectos similares, la forma en cómo se desarrolla cada uno de ellos va a producir modificaciones en el proceso de diseño. De todas formas el método planteado entrega una base de metodología con plataformas BIM, que dependiendo del grupo de trabajo se irán produciendo adaptaciones y mejoras generales, y con el paso del tiempo generar una estrategia de procedimiento propia y más específica en base a la experiencia adquirida.

La implementación de una metodología debe hacerse en forma parcializada, acorde a la capacitación obtenida y el cambio organizacional dentro de la empresa, ya que existe un periodo de adaptación necesario para ello, y por lo tanto debe respetarse para tener éxito en este proceso. Al contar con una buena metodología, es posible integrarla en cualquier momento del proyecto y por lo tanto lograr crear un modelo BIM en forma ordenada y con información confiable. A pesar de contar con una base para elaborar el proyecto, la organización y equipo de trabajo debe mantenerse en torno al modelo y no en base al proyecto en sí, pues de esta manera se logra

implementar BIM como una metodología de trabajo y no simplemente como un grupo de programas como ayuda para crear el proyecto.

Al momento de comenzar en pensar a desarrollar un proyecto mediante una metodología de trabajo basada en un modelo BIM, es primordial fijar los alcances y objetivos de la maqueta que se desea crear, pues esto entrega las condiciones bajo las cuales se comenzará a trabajar y por lo tanto la evolución que irá teniendo el modelo a lo largo del proyecto. Si no quedan establecidos estos parámetros al inicio, difícilmente se logre mantener un trabajo uniforme, organizado y correctamente controlado, traduciéndose en una posible construcción poco eficiente del modelo que se quiere que represente al proyecto.

Analizando un poco más el aspecto de los entregables de los proyectos, es posible darse cuenta que un hecho relevante que frena definitivamente que se pueda integrar BIM a nivel nacional tiene estrecha relación con los formatos de entrega de los proyectos. Si se continúa trabajando como formato de entrega el actual DWG, se tiene un retroceso en las capacidades de las herramientas BIM pues se necesita un esfuerzo extra en devolverse a utilizar esta extensión.

Si se cambiase este punto y se planteara trabajar con formatos IFC para los entregables de proyectos estatales por ejemplo, existiría un cambio forzado por parte de las empresas de ingeniería a desarrollar los proyectos con plataformas BIM, logrando así el objetivo de inclusión de esta tecnología en Chile. Un cambio así de drástico obligaría a invertir en nueva tecnología a las empresas que deseen ganarse la licitación para los proyectos señalados.

Si no se acompaña una buena implementación y metodología, con una adecuada modernización de los entregables legales para los proyectos, se está perdiendo gran parte de los beneficios que ofrece trabajar con BIM y por lo tanto no se logra el objetivo de incentivar su uso en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. The American Institute of Architects. AIA Document E202. 2008.
2. General Services Administration. GSA BIM Guide. 2007.
3. The AEC (UK) CAD Standards. AEC (UK) BIM Standard. Noviembre, 2009.
4. Indiana University. BIM Guidelines & Standards for Architects, Engineers, and Contractors. Enero, 2012.
5. Martyn Day. The trouble with BIM. [en línea]. <http://aecmag.com/index.php?option=com_content&task=view&id=450>.
6. Carlos Cámara. Nombrar archivos (o cómo mantener el orden en los proyectos). <<http://carloscamara.es/blog/2007/01/16/nombrar-archivos-o-como-mantener-el-orden-en-los-proyectos>>
7. Saldías, Rodolfo. Estimación de los beneficios de realizar una Coordinación Digital de Proyectos con Tecnologías BIM, Tesis (Ingeniero Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2010.
8. Hernández, Nicolás. Procedimiento para la Coordinación de Especialidades en Proyectos con Plataforma BIM. Tesis (Ingeniero Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2011.
9. Mariangel, Sebastián et al. Diseño en BIM: Cómo el diseñador industrial se puede incorporar al desarrollo de proyectos en la industria inmobiliaria con el uso del sistema BIM. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Diseño. Santiago de Chile.

ANEXOS

Anexo A: Entrevistas realizadas

1) Bechtel

Realizan proyectos mineros e industriales, y hacen diseño y construcción del mismo.

¿Cuándo comenzaron a utilizar programas BIM y cómo era el trabajo anteriormente dentro de la especialidad?

En Bechtel llevamos alrededor de 10 años trabajando con BIM. Ha significado ahorro en tiempo y dinero y una disminución considerable en los tiempos de construcción porque se han mejorado las etapas anteriores. Podría decir que el mayor beneficio de todo este cambio ha sido en el área de piping por la complejidad en el diseño y montaje dadas las características de los proyectos en los que trabajamos.

Comenzamos a hacer las reuniones con el cliente directamente con el modelo hecho, y así se pueden ir resolviendo dudas directamente sin complicaciones. Las interferencias que iban saliendo en terreno también se redujeron, usamos PDS para detección de interferencias, con una revisión mensual del trabajo. Al usar BIM te das cuenta que el trabajo en equipo es real, estas herramientas obligan a implementar esto. Se toman decisiones en mejores condiciones y con opiniones de más de un área involucrada.

En realidad se trató de utilizar otras plataformas BIM, pero tuvimos problemas principalmente por el tiempo necesario para aprender a usarlas. Esta es una desventaja de todo esto, el tiempo que se requiere en la implementación, se demora en aprender a usar adecuadamente los programas. Por ejemplo para crear elementos en Tekla se tiene que hacer de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, porque o si no cuando se sacan los planos los ejes coordenados salen cambiados y pueden cambiar algunas propiedades de los objetos. Estas cosas simples demoran un tiempo en aprender, por eso es necesario dedicar HH en capacitarse en el uso de estos programas.

¿Cómo trabajan con BIM ahora?

Actualmente, funcionamos en base a un dibujante para los proyectos, y sólo está dedicado a crear el modelo. Utilizamos Tekla y se exportan estos modelos a otros formatos para PDS, porque hay otras especialidades en la empresa que trabajan con este software. La idea es comenzar a utilizar Smart Plant 3D, pero a los ingenieros estructurales no les sirve ya que no es compatible con Tekla, y esta es nuestra herramienta principal de trabajo. Para los casos de proyectos grandes, se contaba con un dibujante por cada

especialidad, y estaba presente en las reuniones que teníamos para coordinar el proyecto.

Para el tema de la notación de los elementos, existe un formato a nivel corporativo establecido, una nomenclatura para cada término dependiendo del tipo de pieza, especialidad y otros parámetros. Hace que el trabajo sea mucho más ordenado y fácil de buscar la información. Está enfocado al uso en maestranza, porque se marcan las piezas con este código y simplemente es cosa de ubicar la pieza en el modelo y después ir y sacarla donde están guardadas, o poder identificar fácilmente el elemento en obra. Con este método se tiene control de TODAS las piezas del proyecto, incluyendo las más pequeñas como pernos. El manejo de la pérdida de material, las cubicaciones, costos, todo es mucho más rápido y fácil.

En la empresa desarrollamos todos los proyectos con BIM, independiente de su tamaño. Es mucho más rápido a medida que se lleva tiempo con esto, porque se cuenta con una librería de elementos cada vez más completa y detallada. Finalmente el trabajo termina siendo como trabajar con piezas de Lego, es simplemente ir uniendo objetos e ir agregando o modificando la información necesaria.

Ya no se trabaja con planos para trabajo, sino que la emisión es simplemente para visualización. No tienen el nivel de detalle clásico, sino que son vistas del modelo. Pasa totalmente a segundo plano el detalle de dibujo, ya que se cuenta con toda la información en el modelo. Por esto es que se entregan planos con la especificación mínima requerida. Esto es para proyectos de estructuras de acero solamente, porque para las de hormigón si se necesita el detalle por la construcción en terreno.

Es mucho más lento hacer o modificar planos que hacer un modelo en sí. A pesar de trabajar con software especializado, siempre se debe chequear que la información que se ingresa y se obtiene sea coherente y en rangos adecuados. Ahí entra en juego la labor del ingeniero como profesional, saber aplicar el criterio para tomar decisiones y poder identificar errores de modelación

¿Qué ventajas y desventajas ve en el uso de BIM?

En general no se piensa en la construcción en la etapa de diseño, y al utilizar modelos virtuales se puede separar para optimizar la etapa constructiva a parámetros reales. Además hay muchas otras ventajas al utilizar este tipo de software:

- Se requiere menos control de los elementos a fabricar, ya que se tiene la información necesaria en cada elemento de la maqueta.
- La cubicación del proyecto es exacta, y fácil de obtener.

- Se puede ir fabricando y construyendo por fases, evitando tener que contar con galpones para el almacenamiento de las piezas.
- Se puede agregar toda la información que uno quiera a un elemento, y en nuestro caso se tiene identificado cada uno de ellos por código. Así su identificación física es mucho más rápida. Algunas veces existe incluso la información del tipo de pintura del elemento, se puede agregar todo el detalle que se desee.

Con el uso de BIM en la etapa de diseño y construcción en este caso, las pérdidas de material se redujeron prácticamente a cero.

Quizás la mayor desventaja o freno que ocurre al utilizar BIM es el cambio de mentalidad en la forma de trabajo. La gran dificultad es no saber ocuparlo, sabemos que tiene un uso más potente de lo que hacemos actualmente, pero no se dedica tiempo a capacitarse para ello. Claramente el beneficio mayor es a largo plazo, porque se tiene que dedicar recursos en software y hardware, capacitación, adaptación al cambio y experiencia en el manejo. Nosotros hemos tenido que llevar gente al extranjero para capacitarse en algunos proyectos, o incluso el desarrollo mismo mandarlo a hacer afuera por la falta de personas capacitadas en el manejo de BIM a nivel nacional.

2) Constructora LyD

Como empresa partieron trabajando en proyecto Clínica Dávila pero con AutoCAD, no Revit. Había un dibujante que solo modelaba, pero sin "control" de otra área y utilizaron el modelo para algunas soluciones puntuales.

Surgió este nuevo proyecto de la Clínica Universidad de Los Andes como incentivo de uso de BIM. Se hicieron cursos y se reclutó personal para desarrollar el proyecto. Se armó un grupo pequeño de trabajo (arquitecto que modelaba, e ingenieros) y bajo cierto "procedimiento" que finalmente fue a ensayo y error, se comenzó a trabajar, sin ninguna metodología establecida.

El cliente quería trabajar con BIM y había partido modelando el edificio con otra empresa de inspección y coordinación de proyectos, modelo que fue entregado a LyD para continuar trabajando, pero contenía muchos errores en la forma que se había hecho. Albergaba modelo estructural, de arquitectura y cada una de las especialidades del proyecto. Como se quería coordinar instalaciones, solo se conservó del modelo original la parte arquitectura y cálculo, el resto fue hecho desde cero. Los problemas originales eran principalmente desorden de la maqueta, se notaba que había sido mucha gente trabajando en él, lo que hizo que los distintos modelos tuvieran distintos "formatos".

Revit es una muy buena herramienta de trabajo pero se debe tener una estructura organizacional de las bases de datos bien definida para poder usar bien el programa. Si no se tiene una metodología de trabajo definida, resulta todo el proceso un verdadero caos.

Se pensó en cómo segmentar el proyecto (un modelo por especialidad) y cómo se verían interferencias, que finalmente se hizo detectando choques por pares de especialidad en Navisworks. Esto fue por cantidad de interferencias, y por tamaño del modelo a cargar pues pesaba mucho si se unían muchas áreas a la vez.

Para soluciones de algunos problemas, se señalaban en fichas y se realizaban reuniones de coordinación con especialistas donde utilizaban Navisworks para recorrido virtual y dar solución al problema. Estas reuniones tenían un carácter mensual.

El dibujante al tener que ordenar las distintas especialidades en el proyecto se guiaba por un layout general definido de cómo debían ordenarse. Al no hacerse así las iteraciones de modificación por choques eran muchas. Muchas interferencias se hacían en forma visual directamente, ya que Navisworks avisa de choques no reales muchas veces, o problemas pequeños que se pueden ver directamente en terreno. También permite hacer recorridos virtuales y determinar por ejemplo distancias mínimas entre instalaciones. Todas las anotaciones o marcas quedan hechas directamente en el programa, y se revisan después en reunión de coordinación por ejemplo. Se tuvo que modificar varios planos y diseño de elementos por errores detectados en esta etapa.

A nivel de archivos, se trabaja con servidor y base de datos compartida. En este caso solo se quería coordinar el proyecto, por lo que no fue necesario tener una notación de elementos del modelo (como es necesario en caso de modelación 4D). Las fichas que se arman en Revit deben ser lo más simple posible, ya que si no es así la información realmente importante no queda clara. La idea es comunicar la solución planteada, de la forma más precisa posible.

Para trabajo en obra, se debe pasar a 2D el modelo (se arma el plano en Revit, con nivel de detalle que uno desee), ya que el nivel de precisión para el proyecto no es tan necesario como en el caso de proyectos industriales (piping y montajes)

Se ha utilizado BIM para entender y coordinar el proyecto, rediseñarlo en algunos aspectos. De todas formas al ser un proyecto tan grande es difícil coordinar todo. Se cuenta con una sala de reuniones y coordinación BIM, con

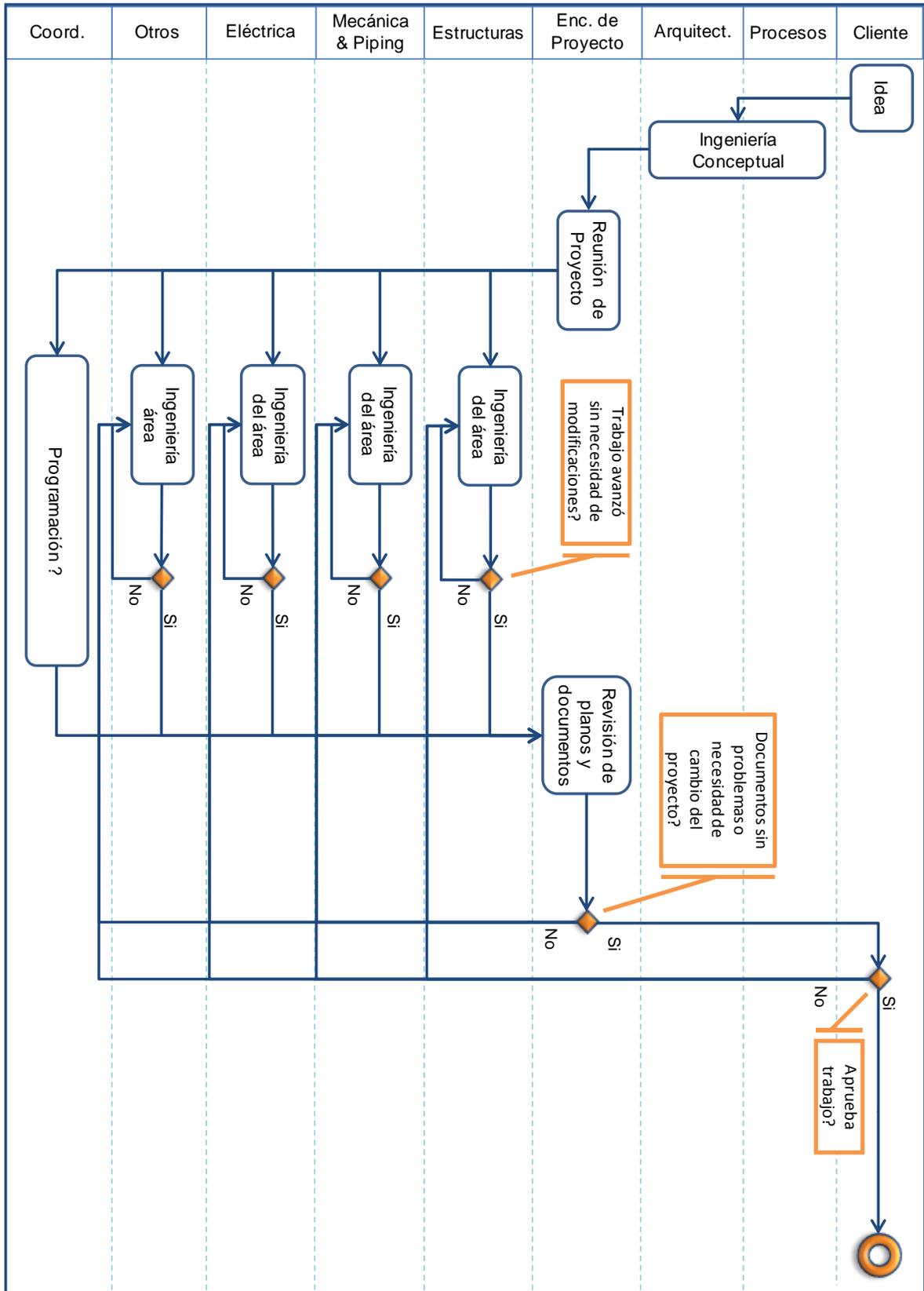
proyector. Incluye especialistas de área (supervisores), independiente de si el problema es de una u otra área.

Beneficios considerados: Minimizar errores, coordinación y entendimiento del proyecto. Para geometrías complejas es ideal, permite tener mayor conocimiento de lo que realmente se está haciendo al poder visualizar el proyecto digitalmente. Se pueden hacer cambios sin involucrar dinero.

Al poco tiempo de comenzar a trabajar con BIM, se logra entender ya que es muy intuitivo. A veces se tienen consultas de las mismas personas que trabajan en obra por elementos puntuales, dudas de visualización.

Inconvenientes generales: Falta de recursos, cantidad de gente dedicada en específico. Falta gente coordinando, dibujando, resolviendo problemas. De esta manera sería aún más rápido. Idealmente debiera existir una persona por función, no tener labores mezcladas como les ocurre a ellos.

Anexo B: Diagrama actual de trabajo



Anexo C: Diagrama de trabajo propuesto

