



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

METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE AVANCE EN MODELOS DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN REALIZADOS CON METODOLOGÍA BIM

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTIAN IGNACIO ZAPATA MARTINEZ

PROFESOR GUÍA:
WILLIAM WRAGG LARCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO ROJAS PIZARRO
DAVID CAMPUSANO BROWN

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: Ingeniero civil mención estructura,
construcción y geotecnia
POR: Cristian Ignacio Zapata Martinez
FECHA: 06/09/2021
PROFESOR GUÍA: William Wragg Larco

METODOLGÍA DE MEDICIÓN DE AVANCE EN MODELOS DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN REALIZADOS CON METODOLOGÍA BIM

Este trabajo parte explicando los elementos necesarios para llevar a cabo la metodología de medición de avance y las problemáticas a enfrentar. Esta metodología se desenvuelve en un proyecto de edificación realizado con metodología BIM y busca cuantificar la medición de avance, en específico en la etapa de diseño, al realizar un modelo 3D.

Luego se presentan y analizan los resultados de la recopilación de la información requerida para llevar a cabo este trabajo, que son datos obtenidos por la encuesta enfocada a las problemáticas actuales que hay en el mundo laboral con respecto a la medición de avance, y un estudio sobre como diferentes autores han creado estándares y formas de subdividir los estados de avance de cada nivel de madurez del modelo.

Finalmente, como resultado de todo lo anterior, se expone la metodología de medición de avance propuesta, que es el objetivo principal de este trabajo. Esta consta de cinco pasos a seguir, los cuales abarcan los objetivos secundarios. En ella el primer paso da a conocer la ponderación de cada estado de avance del modelo logrando tener un marco general de avance, los pasos dos y tres se enfocan en definir los modelos requeridos para cada estado de avance y las entidades respectivas que requiere cada modelo. El paso número cuatro es clave, ya que es donde se genera la línea base con cual se comparará el trabajo actual sobre el modelo con el trabajo deseado a alcanzar, esta se logra mediante el conocimiento del total de entidades a llevar a cabo en base al modelamiento en el estado de avance de diseño conceptual. Por último, el paso número cinco expone la información necesaria y la fórmula que permite conocer el estado de avance actual del modelo en base a la línea base y el marco general de ponderaciones del paso número uno.

Para terminar, se puede concluir que los resultados obtenidos cumplen los objetivos planteados al inicio del trabajo, logrando subdividir el avance del modelo, definiendo los niveles de desarrollo de las entidades, creando una línea base con la cual poder comparar y sincronizando los estados de pago con la valorización del modelo.

Agradecimientos

Primero que todo tengo que agradecer a mis papas Carmen Paz y Carlos que siempre me han apoyado y son los mejores modelos a seguir que puedo tener. A mis dos hermanos Francisca y Sebastián con los que me tocó vivir todo este proceso universitario y donde me han ayudado a crecer como persona. A mi grupo de amigos de Antofagasta, Los Miyes, que han hecho cada fin de semana los mejores días desde los últimos 10 años.

Es imposible no mencionar a los grandes amigos que me han dejado estos años, al entrar a la universidad me toco ser parte de la sección 4 y desde entonces el grupo que se formó se ha mantenido inseparable. Unirme al equipo de futbol Los Talentos ha sido una de las mejores decisiones que pude haber tomado donde las pichangas y las ligas jugadas son imborrables y a los Kia con los que hemos pasado momentos buinisimos. Por último, a mi polola Valentina, que siempre creyó en mí y me alentó a salir adelante, no pude pedir mejor persona para estar en esta etapa de mi vida.

Tabla de contenido

Capítulo 1	1
1. Introducción.....	1
1.1. Introducción general	1
1.2. Motivación	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos secundarios.....	4
1.4. Metodología de trabajo	5
1.5. Resultados esperados	6
Capítulo 2.....	7
2. BIM	7
2.1. Introducción BIM.....	7
2.2. Objetivos y beneficios BIM	9
2.3. Modelos 3D BIM	11
2.4. Estándares de medición de avance BIM	17
Capítulo 3.....	21
3. Medición de avance.....	21
3.1. Introducción medición de avance	21
3.2. Medición de avance tradicional.....	22
3.3. Problemáticas de medición de avance del modelo 3D BIM.....	24
Capítulo 4.....	26
4. Resultados de encuesta e información recabada	26
4.1. Resultados encuesta.....	26
4.2. Conclusiones encuesta e información recabada	30
Capítulo 5.....	32
5. Metodología propuesta	32
5.1. Contexto metodología de medición de avance	32
5.2. Propuesta de metodología	33
Capítulo 6.....	40
6. Comentarios y conclusiones	40
6.1. Comentarios	40
6.2. Conclusiones	41
Bibliografía.....	42
Anexos	43

Anexo A: Respuestas individuales de la encuesta 43

Índice de figuras

Figura 1: Introducción.....	2
Figura 2: Entorno colaborativo.....	9
Figura 3: Tabla 02 Modelos BIM.....	11
Figura 4: Tabla 03 Entidades mínimas para modelos.....	12
Figura 5: Tabla 03 Entidades mínimas para modelos.....	13
Figura 6: Documentos de apoyo y extraíbles del modelo BIM.....	14
Figura 7: Tabla 05 Modelos BIM que se pueden requerir según EAIM.....	16
Figura 8: Tabla 10-1 NDI por EAIM para cada entidad.....	19
Figura 9: Tabla 10-2 NDI por EAIM para cada entidad.....	20
Figura 10: Indicadores de medición de avance.....	21
Figura 11: Ejemplo planos de ingeniería.....	22
Figura 12: Transición de planos a modelos 3D.....	23

Índice de tablas

Tabla 1: Resultados encuesta preguntas 1 y 2.	43
Tabla 2: Resultados encuesta preguntas 3 y 4.	43
Tabla 3: Resultados encuesta preguntas 5 y 6.	44
Tabla 4: Resultados encuesta preguntas 7 y 8.	44

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Introducción general

El sector de la construcción en Chile es una parte importante de la economía del país, representa el 7,2% del producto interno bruto y da empleo a aproximadamente 870 mil personas. Sin embargo, comparado con otras industrias la productividad es bastante baja, dos de las principales razones son, la fragmentación del trabajo entre los responsables tanto de diseño y construcción, y la falta de estándares en cada etapa para su correcto seguimiento, control y corrección.

En conocimiento de lo anterior Corfo impulsó en Chile el plan BIM, el cual hará obligatorio el uso de la metodología BIM en los proyectos públicos con el objetivo de reducir los costos y plazos de las etapas de diseño y construcción, y a su vez aumentar la eficiencia en la operación y mantención de la infraestructura. Se espera que a 2025 todos los proyectos públicos sean realizados con la metodología BIM y con esto mejorar los estándares con los cuales se ejecutan los proyectos hoy en día.

En específico, la metodología BIM tiene como producto final de la etapa de diseño el modelo 3D, a pesar de que de este se extraen los entregables clásicos como planos, planillas de cálculo entre otros, a diferencia de la metodología tradicional donde los planos y documentos son el producto del diseño, se presenta un problema: medir cuantitativamente el avance del modelo en la etapa de diseño. Existen diferentes procedimientos que buscan lograr este objetivo, pero no solucionan el problema por completo, el cual es poder cuantificar el avance del modelo 3D y de esta forma tener un control sobre este y saber en qué etapa del diseño uno se encuentra.

A la fecha la medición de avance en cualquier etapa del proyecto en que uno se encuentre es mediante la comparación de lo planificado con la situación real del proceso que uno está realizando. Existen varios parámetros con los cuales se logra medir el avance, los más utilizados son plazos de ejecución y costos asociados a la realización de tareas. Estos dos parámetros son en cierta medida fáciles de aplicar en las tareas en la etapa de diseño de un proyecto con las metodologías de trabajo actuales, pero con la metodología BIM al ser un proceso dinámico y relativamente nuevo no se tienen claros los rendimientos de modelación, lo que complica la predicción de un plazo determinado. Por otro lado, el problema se presenta que como el producto principal es la generación del modelo 3D el cual permite extraer los entregables que se requieren posteriormente, el mercado aún no está acostumbrado a esto y no pondera monetariamente el modelo, sino los entregables clásicos y por esto los estados de pago no contabilizan el modelo 3D.

Este trabajo propondrá un procedimiento, con el cual se logrará medir el avance del trabajo puesto en el modelo y de esta forma tener un mayor control en la etapa de diseño y lograr corregir errores en las etapas tempranas del proyecto, donde cada esfuerzo puesto en el diseño se justifica al momento de reducir errores e interferencias en la etapa de construcción, operación y mantención que se traducen en menores costos y plazos. Se logrará usando una combinación de estándares ya escritos por diferentes autores donde los parámetros de medición no son costos estimados por horas de trabajo o rendimientos al momento de modelar, sino niveles de madurez de los elementos que componen el modelo.



Figura 1: Introducción.

1.2. Motivación

Todo lo mencionado anteriormente crea una motivación para realizar este trabajo y lograr cumplir el objetivo propuesto. Con la mejora de los softwares de modelación, hoy en día uno de los mayores problemas es el entendimiento del comportamiento de la estructura, ya que la capacidad computacional permite abordar problemas cada vez más complejos y también como lograr un aumento de productividad y eficiencia en las etapas de ejecución, operación y mantención de la obra, que se logra con mejoras en las etapas tempranas de diseño que son cruciales para detectar y corregir errores que se presentan después en la infraestructura.

BIM al ser un proceso dinámico e interdisciplinario logra lo anterior, mediante un trabajo colaborativo que permite a todas las disciplinas ser parte del modelo 3D y verse involucradas en el proceso global del proyecto. El problema se encuentra en la falta de existencia de una metodología para medir el avance y estado del modelo, y a su vez resolvería un problema importante que es como lograr valorizar el modelo 3D y de esta manera tener una forma de estados de pago alineado con el esfuerzo, que es precisamente a lo que apunta a resolver este trabajo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

- Desarrollar una metodología para medir el avance de los modelos en proyectos de edificación que sean realizados con los estándares BIM y de esta forma lograr cuantificar el avance real del modelo en las etapas de diseño.

1.3.2. Objetivos secundarios.

- Lograr subdividir el nivel de detalle en la etapa de modelación de la estructura.
- Definir los entregables esperables en cada etapa subdividida de la modelación con respecto al nivel de detalle.
- Especificar el nivel de detalle de los elementos en el modelo.
- Crear línea base para controlar y comparar el avance real del modelo contra el avance planificado.

1.4. Metodología de trabajo

El proceso para realizar este trabajo se subdividirá en dos partes, la primera consiste en la revisión bibliográfica de cómo se aborda la problemática hoy en día y se recopilará la información requerida para obtener un análisis de la situación actual, la segunda parte consiste en la creación de la metodología para medir el avance del modelo, definiendo los niveles de desarrollo de las entidades para cada estado de avance de los diferentes modelos a medida que progresa el proyecto.

- Revisión bibliográfica y recopilación de información.
 - Se estudiará los estándares BIM tanto nacionales como internacionales, se obtendrá como las diferentes instituciones explican de cómo debe abordarse el tema de trabajo.
 - Se analizarán proyectos ya realizados y se realizará una encuesta a diferentes profesionales involucrados en la materia, con esto se obtendrá información de cómo se aborda en la realidad la problemática.
 - Se analizará la manera de medir el avance de los proyectos desarrollados bajo la metodología tradicional.
- Creación de metodología de medición de avance.
 - Definición de nivel de detalle en cada entrega de avance del modelo.
 - Definición de los entregables en cada nivel de detalle.
 - Creación de línea base comparativa de lo planificado con la realidad.
 - Creación de metodología detallada del paso a paso de como medir el avance del modelo en proyectos de edificación.

1.5. Resultados esperados

En base a los objetivos y la metodología para lograrlos se esperan tres resultados, en base a las dos etapas de la metodología propuesta, los que en conjunto darán como resultado una metodología clara de cómo medir el avance del modelo en proyectos de edificación que se realicen con metodología BIM.

Se espera obtener la definición detallada de los niveles de avance de los modelos en cada etapa del proceso de modelación. Con lo anterior se espera obtener una línea base de comparación y a su vez los mínimos requerimientos para poder avanzar a la siguiente etapa de modelamiento.

Todo lo anterior permitirá tener un control sobre el avance de los modelos de cada etapa por parte del mandante y del contratista, para alcanzar los niveles de detalle y cantidad de información en cada elemento del modelo y de esta forma no tener imprevistos en las etapas siguientes de la modelación y tener que revisar y/o rediseñar cada proceso desde cero.

Capítulo 2

2. BIM

2.1. Introducción BIM

BIM, por sus siglas en inglés Building Information Modeling, es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una obra civil en un espacio virtual 3D, en el cual diferentes disciplinas trabajan de forma colaborativa. Las nuevas tecnologías permiten generar y gestionar la información mediante modelos virtuales 3D a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, y en conjunto a los estándares crean una estructura que da la posibilidad de compartir la información de forma más fluida entre los diferentes participantes. BIM viene a reemplazar el trabajo fragmentado en un proyecto y crear una nueva forma de trabajo colaborativa donde el centro es la generación de información y la fluidez de ser compartida.

Se puede llegar a pensar que BIM se centra en el modelo 3D y esto no es así, BIM se enfoca en cuatro pilares: estrategias, personas, procesos y tecnologías. Este quiere decir que debe haber una estrategia para que las personas puedan realizar procesos con ayuda de nuevas herramientas tecnológicas. De este modo conseguir industrializar cada etapa del ciclo de vida del proyecto y lograr optimizar sus procesos.

Actualmente en Chile la industria de la construcción es una de las que menos transformación digital han experimentado en los últimos años, y esto como consecuencia se representa en su baja productividad, un 35,5% menos al promedio de las industrias. Los bajos rendimientos se deben a cuatro factores.

1. Fragmentación entre etapas y actores críticos: Genera poca eficiencia en el flujo de información entre profesionales y técnicos que operan de forma separada.
2. Baja adopción de métodos avanzados de gestión de información: Todavía la mayoría de la información se maneja de forma tradicional y/o manual.
3. Baja capacitación de trabajadores: No se fomentan las capacitaciones, por ende, no se cuentan con los conocimientos y herramientas para desempeñarse.
4. Poca uso de elementos prefabricados: Se trabaja con muchos elementos hechos en obra, mientras que elementos prefabricados reducen tiempo, costos y residuos en obra.

Si bien BIM apunta a solucionar solo los dos primeros puntos, es ahí donde hay más campo para mejorar y en consecuencia tener mayores beneficios al implementar BIM. A través del manejo tradicional de información se producen pérdidas de tiempo, aumento de los costos y esto se traduce en baja productividad. Las consecuencias más comunes son:

1. Deficiencia en la calidad.
2. Impacto en el costo final del activo.
3. Modificaciones en los contratos.
4. Sobrecostos de mano de obra y materiales.
5. Retraso en los tiempos.

Las consecuencias se ven reflejadas en un estudio realizado por el MOP donde se indica que el 96% de los contratos se modifican, 30% de los proyectos tienen atrasos y 6% sobrecostos lo que equivale a 114 millones de dólares.

2.2. Objetivos y beneficios BIM

El objetivo final de BIM es aumentar la productividad y sustentabilidad en todas las etapas del proyecto (diseño, construcción, operación y mantenimiento) mediante la correcta gestión de información, esta se encuentra ubicada en las entidades del modelo 3D y que puede ser tanto geométrica como no geométrica, centrándose en ella y creando un entorno colaborativo donde todos los actores críticos tengan acceso para realizar de correcta forma sus funciones. Se busca optimizar los recursos con el objetivo de ser más eficientes, logrando garantizar que la calidad de la información y el flujo de esta sea suficiente y consistente.

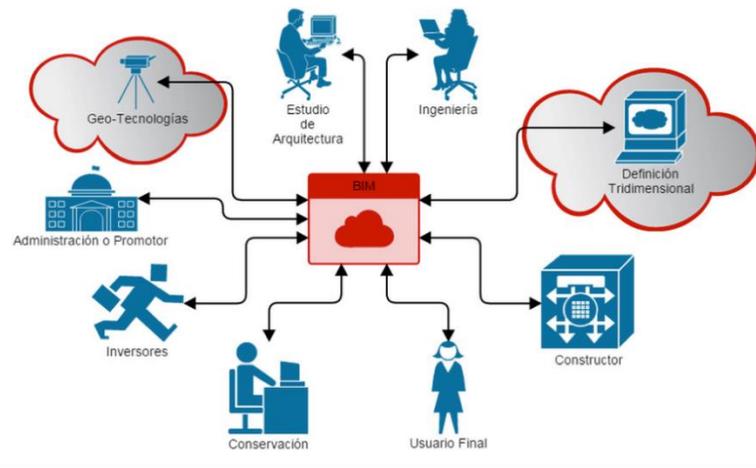


Figura 2: Entorno colaborativo.

Los objetivos específicos de BIM son:

- 1) Mejorar la calidad y eficiencia en todo el ciclo de vida del proyecto, se busca que la información en los modelos facilite la revisión del proyecto en general y sus parámetros, en especial estándares de calidad, evitando que los errores de diseño lleguen a la construcción y operación.
- 2) Reducir costos, plazos e ineficiencias en todas las etapas del proyecto con programas, diseños y planificaciones más precisas.
- 3) Mejorar la predictibilidad y control de costos y plazos mediante mejores herramientas en la etapa de diseño, mejorando el plan de ejecución en obra y obteniendo un aumento de rendimiento en la etapa de operación.
- 4) Aumentar la trazabilidad y transparencia en la información del proyecto, mejorando la toma de decisiones teniendo en cuenta que pueden ser decisiones a largo plazo.
- 5) Asegurar el cumplimiento de normativas y reducir los tiempos de espera para las aprobaciones de permisos de edificación.
- 6) Lograr gestionar la información obtenida en la etapa de construcción de tal manera que para futuras mantenciones, remodelación o ampliaciones se tengan planos acordes a la realidad.

Los beneficios se observan a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, siendo las etapas de construcción, operación y mantenimiento las más beneficiadas, pero para ello las etapas de planificación y diseño deben ser realizadas de la mejor forma posible para obtener los mayores beneficios en las etapas posteriores. Un estudio realizado por JC Canistrato Smart Market Report McGraw Hill 2014, indica que los proyectos sin BIM tienen un sobrecosto de 18,42%, los proyectos BIM sin colaboración tienen un sobrecosto de 11,17% mientras que los proyectos con BIM colaborativo tienen un sobrecosto de 2,68%. Se observa claramente que la aplicación de BIM con alta colaboración de los actores críticos genera un beneficio monetario alto.

En específico los beneficios por etapa son:

1. Planificación: Arquitecto y cliente pueden recorrer el edificio con realidad virtual, la información BIM se comparte y los cambios se actualizan automáticamente.
2. Diseño: La comunicación entre las diferentes especialidades es más fluida permitiendo la detección de interferencias más rápidamente. Conectar a los proveedores y contratistas para que reciban la información en tiempo real y poder actualizar la programación.
3. Construcción: Producir planos de mayor calidad, predecir atrasos y lograr tomar acciones preventivas. Generar planos As-Built actualizados en cada momento.
4. Operación: Al tener planos As-Built acorde a la realidad se logra tener un conocimiento mejor sobre las necesidades al momento de hacer mantenencias o reparaciones posteriores.

2.3. Modelos 3D BIM

Un modelo BIM es una representación digital tridimensional basada en entidades, en las cuales se guarda toda la información generada a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Este es creado por uno o varios actores del proyecto utilizando una herramienta de software BIM. Una entidad es un elemento virtual que representa un objetivo físico o abstracto de construcción que puede ser o no paramétrico, tanto 2D como 3D.

El “Estándar BIM para proyectos públicos” nos provee de nueve tipos de modelos BIM que se generan a lo largo del proyecto, tanto de edificación como de infraestructura, estos son creados por diferentes participantes y van acorde a las etapas del proyecto, que son planificación, diseño, construcción y operación. A continuación, se presenta la tabla 02: Tipos de modelos BIM del “Estándar BIM para proyectos públicos” que contiene todos los tipos de modelos.

Tabla 02. Tipos de modelos BIM

En la siguiente tabla se muestran nueve tipos de modelos BIM que se pueden generar para proyectos de edificación o infraestructura, según corresponda:

Modelo BIM	Edificación	Infraestructura
Sitio		
Volumétrico		
Arquitectura o Diseño de Infraestructura		
Estructura		
Mecánico Eléctrico Sanitario (MEP por sus siglas en inglés)		
Coordinación (**)		
Construcción (***)		
As-Built		
Operación		

(**): El modelo de coordinación debe ser realizado a través de la consolidación de, al menos, los modelos de arquitectura o diseño de infraestructura, estructura y MEP. Esta consolidación debe realizarse por medio de modelos federados o integrados según lo indicado en el punto 5.8.2

(***): El modelo de construcción podrá considerar la utilización de otros de los nueve tipos de modelos. Esta consolidación debe realizarse por medio de modelos federados o integrados según lo indicado en el punto 5.8.2

Elaborada por Planbim

Figura 3: Tabla 02 Modelos BIM.

Como se dijo anteriormente las entidades conforman los modelos 3D, el “Estándar BIM para proyectos públicos” contempla un total de 21 entidades. Estas abarcan todas las disciplinas involucradas en el proyecto, pasando desde arquitectura hasta instalaciones MEP. Las entidades se entrecruzan con los modelos BIM en una matriz donde se indica cuáles son las entidades mínimas que deben estar presentes en cada modelo BIM, para cada proyecto en particular pueden ser necesarias más entidades de las que aparecen. De esta forma se logra tener en cierto grado conocimiento de la información requerida en cada elemento para cada modelo. A continuación, se presentan las figuras 4 y 5 que es la tabla 03: Entidades mínimas para modelo BIM del “Estándar BIM para proyectos públicos” donde se muestran las entidades mínimas que cada modelo debe contener.

Tabla 03. Entidades mínimas para cada tipo de modelo BIM

En la siguiente tabla se indican algunas de las entidades mínimas requeridas en cada tipo de modelo de información. La descripción de IFC de cada entidad se puede encontrar en la norma ISO 16739-1:2018 y en el documento Matriz de Información de Entidades, disponible en repositorio digital de Planbim³⁰.

Modelos BIM	Entidades	Ejes (IfcGrid)	Terreno (IfcSite)	Elementos Chillas (IfcChillElement)	Elementos Geográficos (IfcGeographicElement)	Fundaciones (IfcFootings)	Zonas / Espacios (IfcSpace-IfcZone)	Columnas (IfcColumn)	Vigas (IfcBeam)
Sitio			●	*	*	*	●	*	*
Volumétrico			●	*	*		●		
Arquitectura o Diseño de Infraestructura		●	●	●	●	●	●	●	●
Estructura		●	●	●		●		●	●
MEP		●	●				●		
Coordinación (**)		●	●	●	●	●	●	●	●
Construcción (***)		●	●	●	●	●	●	●	●
As-Built		●	●	●	●	●	●	●	●
Operación		*	●	●	●		●	●	●

Figura 4: Tabla 03 Entidades mínimas para modelos.

● : Elemento requerido, según el tipo de modelo. ★ : Elemento sugerido, según el tipo de modelo.
 (**): El modelo de coordinación debe ser realizado a través de la consolidación de al menos los modelos de arquitectura o diseño de infraestructura, estructura y MEP. Esta consolidación debe realizarse por medio de modelos federados o integrados según lo indicado en el punto 5.8.2.
 (***) : El modelo de construcción podrá considerar la utilización de otros de los nueve tipos de modelos. Esta consolidación debe realizarse por medio de modelos federados o integrados según lo indicado en el punto 5.8.2.

Losas / Radier (IfcSlab)	Muros (IfcWall)	Muros Cortina (IfcCurtainWall)	Ventanas (IfcWindow)	Puertas (IfcDoor)	Cubiertas / Techumbre (IfcRoof)	Cielos Falsos / Acabados (IfcCovering)	Sistemas de Circulación / Escaleras / Rampas (IfcTransportElement - IfcStair - IfcRamp)	Equipos e Instalaciones (IfcContourTerminal - IfcMedicalDevice - IfcLamp)	Muebles (IfcFurniture - IfcSystemFurnitureElement)	Estructuras Especiales (IfcElementAssembly)	Equipamiento y Tableros MEP (IfcEnergyConversionDevice - IfcDistributionControlElement)	Distribución y Tuberías MEP (IfcDistributionFlowElement)
★	★	★			★							
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
●	●	★			●		●			●		
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	★	●	●	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Figura 5: Tabla 03 Entidades mínimas para modelos.

Es importante resaltar que el modelo 3D no es el objetivo final de la metodología BIM, sino la generación de información para esta sea compartida de forma fluida entre los actores participantes. Se puede resumir de la siguiente manera, con los requerimientos del solicitante, fichas técnicas de materiales, criterios de construcción, normas y legislaciones vigentes y una serie de otros elementos de apoyo, más el trabajo de cada uno de los actores involucrados se trabaja toda la información reunida para llevar a cabo uno o varios modelos 3D que se van desarrollando a medida que el proyecto avanza, logrando niveles de detalle cada vez mayores, siendo el producto final de todo el trabajo realizado el modelo 3D. De este gran entregable se extraen los diferentes requerimientos que fueron definidos al principio del PEB, el cual es un documento elaborado por el proveedor que define como serán llevados a cabo los aspectos de la modelación y gestión de la información, facilitando la entrega de los entregables que pueden ser cubricaciones, planos de ejecución, programas de mantenimiento, planos de diseño, etc.

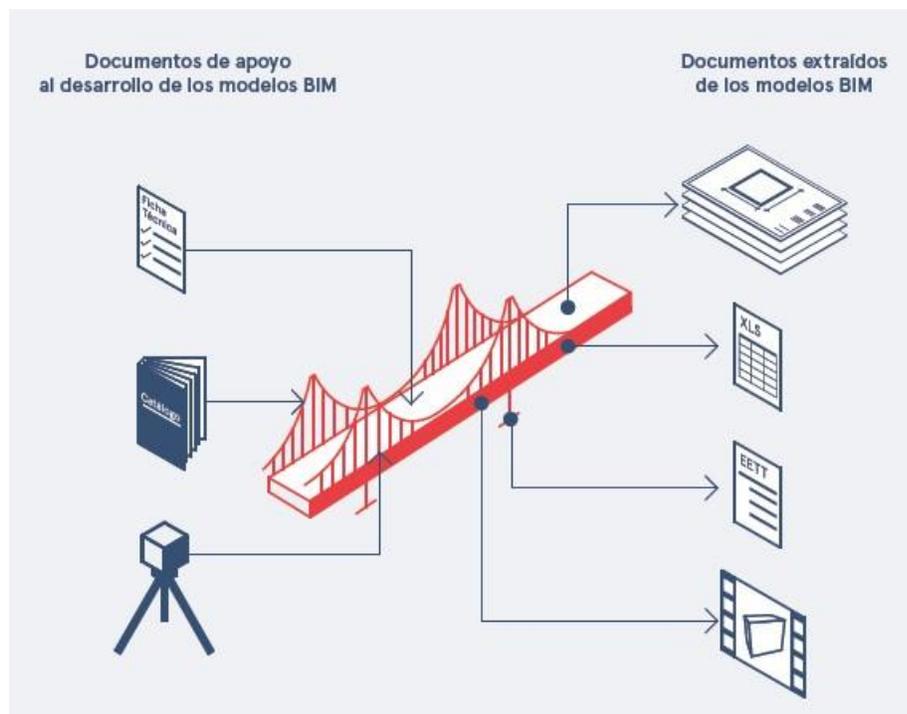


Figura 6: Documentos de apoyo y extraíbles del modelo BIM.

A medida que el proyecto avanza, el modelo también madura y va generando nueva información o detallando en mayor medida la que ya se tiene. Para llevar de forma ordenada el progreso del modelo el “Estándar BIM para proyectos públicos” creó los EAIM (Estados de Avance de la Información de los Modelos) que son las distintas fases consecutivas de definición de los datos contenidos en los modelos BIM, y están vinculados directamente al progreso en el tiempo del proyecto, en él se han definido nueve EAIM en las cuatro etapas del proyecto.

1- Planificación:

- DC: Diseño conceptual: Fase inicial del proceso de diseño, a partir de especificaciones, requisitos y necesidades del solicitante se busca una solución para el problema planteado.

2- Diseño:

- DA: Diseño de anteproyecto: Fase temprana del proceso del diseño, se establecen los criterios generales para el proyecto, considerando requerimientos y restricciones del solicitante.
- DB: Diseño básico: Se preparan los criterios y especificaciones generales de los sistemas que considera el proyecto.
- DD: Diseño de detalle: Se elabora documentación específica de cada elemento del proyecto, mediante una descripción completa de la información necesaria para su fabricación o construcción.

3- Construcción:

- CC: Coordinación de construcción: Fase en la que se planifica la ejecución de las tareas para llevar a cabo la construcción de la edificación.
- CM: Construcción, manufactura y montaje: Fase de ejecución de las actividades previamente planificadas.
- AB: As-Built: Fase en la que se registra el proyecto tal como se ha construido realmente en el lugar, incluyendo los cambios de diseño ocurridos en el curso del trabajo.

4- Operación:

- PM: Puesta en marcha: Se llevan a cabo las actividades de traspaso del activo al cliente y la información requerida para su operación.
- GM: Gestión y mantenimiento del activo: Fase en la que se ejecutan tareas de mantenimiento al programa de servicios del activo.

Al tener los EAIM definidos y al cruzarlos con los tipos de modelos que existen, se obtiene una matriz en la que se logra exponer cuales modelos son requeridos para cada etapa del proyecto y a su vez con la tabla 03 de las figuras 4 y 5 se conoce cuáles son las entidades requeridas para cada modelo en cada etapa a lo largo del ciclo de vida del proyecto. A continuación, se presenta la figura 7 que corresponde a la tabla 06: Modelos BIM que se pueden requerir según EAIM del “Estándar BIM para proyectos públicos”.

Tabla 05. Modelos BIM que se pueden requerir según Estado de Avance de la Información
 En la siguiente tabla se indica cuáles son los tipos de modelos BIM que pueden ser requeridos en cada EAIM

EAIM		Modelos BIM									
		Sitio	Volumétrico	Arquitectura o Diseño de Infraestructura	Estructura	MEP	Coordinación	Construcción	As-Built	Operación	
Información de Planificación	DC Diseño Conceptual	•	•	•	•	•					
	Información de Diseño	DA Diseño de Anteproyecto	•	•	•	•	•	•			
		DB Diseño Básico	•	•	•	•	•	•			
	DD Diseño de Detalle	•	•	•	•	•	•				
Información de Construcción	CC Coordinación de Construcción						•	•			
	CM Construcción, Manufactura y Montaje							•			
	AB As-Built								•		
Información de Operación	PM Puesta en Marcha								•	•	
	GM Gestión y Mantenimiento del Activo									•	

Figura 7: Tabla 05 Modelos BIM que se pueden requerir según EAIM

2.4. Estándares de medición de avance BIM

Para lograr definir el estado de avance de los modelos BIM se debe conocer el estado de avance de las entidades que contiene, el “Estándar BIM para proyectos públicos” se basa en las definiciones de LOD (Level Of Development) del “BIM Forum”, estas aparecieron el 2013 y son una referencia que permite a los profesionales de la industria de la ingeniería, arquitectura y la construcción especificar y articular con un alto nivel de claridad el contenido y la confiabilidad de las entidades BIM en varias etapas del diseño y la construcción.

A continuación, se presentarán las definiciones de LOD y luego las definiciones del “Estándar BIM para proyectos públicos” NDI (Niveles De Información) y se señalará como se relacionan con EAIM (Estado de Avance de la Información de los Modelos).

El “BIM Forum” describe seis niveles de desarrollo LOD, son los siguientes.

- LOD 100: El elemento del modelo se puede representar gráficamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica, pero no satisface los requisitos de LOD 200.
- LOD 200: El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje genérico con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximadas. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo.
- LOD 300: El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo.
- LOD 350: El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, orientación e interfaces con otros sistemas de construcción. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo.
- LOD 400: El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con información detallada, fabricación, montaje e instalación. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo.
- LOD 500: El elemento modelo es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación. También se puede adjuntar información no gráfica a los elementos del modelo.

A continuación, se presentan los seis niveles de información descritos en el “Estándar BIM para proyectos públicos” que pueden tener las entidades.

- NDI-1 Información inicial general: Puede ser estimativa acerca áreas, volumen, localización y orientación.
- NDI-2 Información básica aproximada: Información básica del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje.
- NDI-3 Información detallada: Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos.
- NDI-4 Información detallada y coordinada: información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico.
- NDI-5 Información detallada de la fabricación y montaje: Información detallada de la fabricación y montaje, considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre los elementos.
- NDI-6 Información detallada de lo construido y su puesta en marcha: Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos construidos.

El “Estándar BIM para proyectos públicos” presenta la tabla 10: Niveles de información por estado de avance de la información de los modelos, donde se pueden observar el NDI mínimo para cada entidad en cada EAIM, en otras palabras, se logra apreciar el nivel de desarrollo o madurez de las diferentes entidades dentro del modelo para cada etapa en la que se encuentra el proyecto. A continuación, se presenta la figura 8 y 9 correspondiente a la tabla 10 del “Estándar BIM para proyectos públicos”.

Tabla 10. Niveles de Información por Estados de Avance de la Información de los Modelos

En la siguiente tabla se muestran los Niveles de Información mínimos que pueden tener las Entidades BIM para cada Estado de Avance de la Información de los Modelos.

EAIM	Entidades de Modelos	Entidades BIM									
		Ejes (#cGrid)	Terreno (#cSite)	Elementos Civiles (#cCivilElement)	Elementos Geográficos (#cGeographicElement)	Fundaciones (#cFounding)	Zonas/Espacios (#cSpace/#cZone)	Columnas (#cColumn)	Vigas (#cBeam)	Losas/Radler (#cSlab)	
Información de Planificación	DC Diseño Conceptual	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1
Información de diseño	DA Diseño Anteproyecto	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1
	DB Diseño Básico	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-1	NDI-1	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2
	DD Diseño de Detalle	NDI-3	NDI-2	NDI-3	NDI-2	NDI-2	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3
Información de construcción	CC Coordinación de Construcción	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-4
	CM Construcción, Manufactura y Montaje	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4
	AB As-Built	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-5
Información de operación	PM Puesta en Marcha	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-5
	GM Gestión y Mantenimiento del Activo	NDI-3	NDI-3	NDI-6	NDI-4	NDI-4	NDI-6	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-5

Figura 8: Tabla 10-1 NDI por EAIM para cada entidad.

Muros (IfcWall)	Muros Cortina (IfcCurtainWall)	Ventanas (IfcWindow)	Puertas (IfcDoor)	Cubiertas/ Techumbres (IfcRoof)	Cielos Fijos/ Acabados (IfcCovering)	Sistemas de Circulación/ Escaleras / Rampas (IfcStairs, IfcRamp)	Equipos e Instalaciones (IfcPlant, IfcMedicalDevice, IfcLamp)	Muebles (IfcFurniture, IfcSystemFurnitureElement)	Estructuras Especiales (IfcElementAssembly)	Equipoamiento y Tableros MEP (IfcEnergyConversionDevice, IfcDistributionControlElement)	Distribución y Tuberías MEP (IfcDistributionFlowElement)
NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1
NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1
NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-1	NDI-1	NDI-2	NDI-2
NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-2	NDI-2	NDI-3	NDI-3
NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-4	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-4
NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-5
NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5
NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-6	NDI-5	NDI-5	NDI-6	NDI-6
NDI-4	NDI-6	NDI-6	NDI-6	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-6	NDI-5	NDI-5	NDI-6	NDI-6

Figura 9: Tabla 10-2 NDI por EAIM para cada entidad.

Capítulo 3

3. Medición de avance

3.1. Introducción medición de avance

La medición de un proyecto se puede llevar a cabo considerando diferentes parámetros, los más utilizados son costo y tiempo. Estos se basan en el mismo concepto, realizar una comparación entre lo que se planificó previo a la ejecución y el estado actual de avance que se lleva en cierto momento.

La curva S es una de las metodologías más usadas para conocer el estado de avance de un proyecto, se puede visualizar en función del costo y del tiempo. El problema es que con la variable de costo se logra conocer si uno se encuentra por abajo o encima de lo presupuestado a la fecha, y con la variable tiempo si uno está atrasado o adelantado con respecto a lo planificado, pero en ningún caso se sabe realmente cuanto porcentaje del proyecto se ha ejecutado. Como se explicará más adelante, la metodología propuesta no logra generar por completo la curva S, ya que al ser proceso dinámico y no tener suficiente información sobre los rendimientos de modelación en proyectos BIM no se puede llevar a cabo, pero si lograr obtener el punto final de la curva S logrando conocer el total de entidades en las que hay que trabajar y calcular en función de eso el estado de avance del modelo 3D.

La problemática de saber cuál es el estado del avance real de una etapa del proyecto, en específico en la etapa de diseño donde, dado por las nuevas tecnologías se tienen modelos 3D del proyecto que permiten el trabajo multidisciplinario se ha vuelto más complejo de lo esperado. Lo anterior sucede a base de que el proceso de diseño de la obra es más un proceso dinámico que variar a medida que avanza, en vez de ser un proceso lineal donde el nivel de refinamiento aumenta progresivamente. La metodología BIM presenta estándares y definiciones que ayudan a saber el estado del nivel de información (NDI) o madurez que tiene un elemento en el modelo 3D, pero por sí solo no sirven para conocer el estado de avance del modelo.



Figura 10: Indicadores de medición de avance.

3.2. Medición de avance tradicional

Tradicionalmente en los proyectos de edificación, más específico en la etapa de ingeniería detalle uno de los entregables finales más importantes son los planos de construcción, tanto estructurales como de instalaciones. Estos son un indicador que puede representar cual es nivel de avance de la ingeniería de detalle, ya que a medida que se generan más planos y se van revisando, el proyecto va madurando y más cerca se encuentra un plano de su versión final o revisión 0.

Los planos se efectúan luego de una serie de actividades, como haber calculado estructuralmente la obra, revisando que cumpla con todos los requerimientos normativos, llegar a acuerdos con los arquitectos, conversar con las diferentes disciplinas involucradas para llegar a una óptima disposición entre los equipos y la estructura para obtener un buen funcionamiento de la obra.

Los pasos típicos para la ejecución de la ingeniería de detalle es primero llevar a cabo las tareas descritas anteriormente y emitir la primera versión de planos, la cual corresponde habitualmente al 60% de la etapa de ingeniería de detalle. Luego se manda a revisión y como es de esperar existen errores o modificaciones las cuales deben ser arregladas, una vez efectuadas dichas correcciones se obtiene la revisión B de tal plano, este paso corresponde típicamente a un 20%, es decir se lleva un total de 80% aproximado de avance. Por último, la versión B del plano se corrige y en caso de que todo se encuentre aprobado el plano pasa a la versión de revisión 0, donde no se efectúan más modificaciones y se da por concluido el trabajo sobre dicho plano, llegando al 100% de la ingeniería de detalle para ese plano. El proceso de revisión puede llegar hasta las versiones que sean necesarias para obtener un plano en estado de revisión 0.

Los pasos descritos previamente, además de ordenar y ayudar a tener un conocimiento aproximado del avance de la ingeniería de detalle, sirve para establecer una programación de estados de pagos por parte del cliente al proveedor, en este caso el prestador de servicios de ingeniería. De esta forma el cliente asegura de pagar al ver avance real sobre esta etapa y el proveedor logra financiar su trabajo a medida que avanza en el proyecto pudiendo cubrir los gastos generados mes a mes.

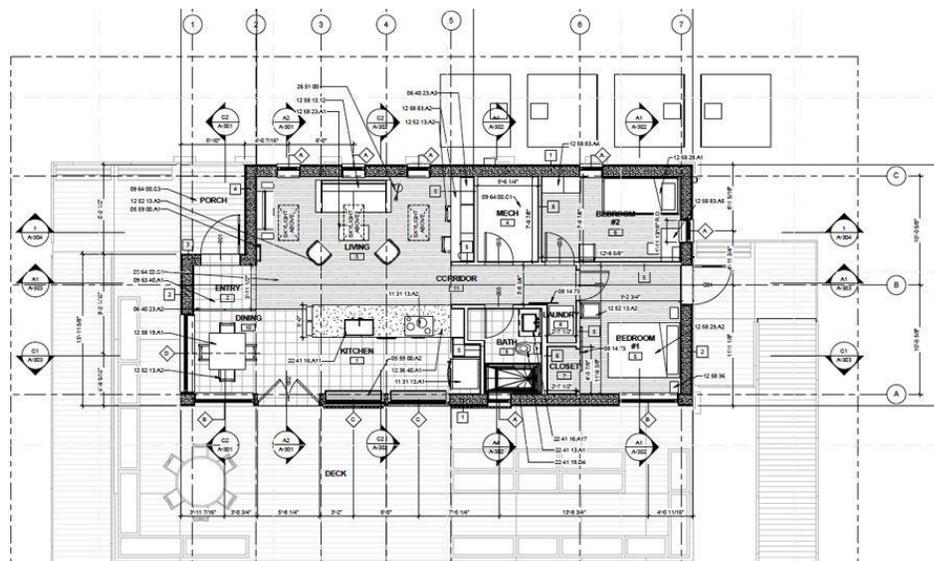


Figura 11: Ejemplo planos de ingeniería.

Con la implementación de la metodología BIM en los proyectos se transformó la medición de avance tradicional, ya que al trabajar con BIM se generan modelos 3D, de los cuales se extraen los planos de construcción y otros entregables clásicos.

Lo anterior quiere decir que, se deja atrás el proceso de revisión de planos, de pasar por revisión A, B y hasta llegar a 0. Esto es porque al trabajar en un espacio virtual donde todas las disciplinas interactúan entre sí, no es necesario emitir planos y lo que se revisa es el modelo. La forma de llevar a cabo la ingeniería de detalle con la metodología BIM es que cada disciplina o especialidad trabaje sobre el modelo, intercambiando información con los demás grupos de trabajo para llegar a un modelo 3D final y de este extraer todos los planos requeridos para la materialización de la obra.

Esto presenta un problema al tratar de combinar el estilo tradicional de medición de avance basado en planos y el trabajo que se efectúa a través de modelos BIM, ya que, si el estado de pago se genera en base a planos y en BIM solo se entregan planos definitivos una vez revisado y aprobado el modelo completo, se generan problemas tanto para el cliente como el proveedor. El proveedor no tendrá remuneración por su trabajo hasta que este se encuentre completamente terminado, lo cual significa que pasará un cierto periodo en el cual tendrá que financiar los gastos asociados al trabajo ejecutado y se verá forzado a realizar modelos de baja calidad y con errores para emitir planos defectuosos para lograr cobrar algún porcentaje de lo acordado para permitirse seguir trabajando. Por parte del cliente el problema es que no verá avance por un periodo largo, hasta que le entreguen los planos finales y todo se encuentre aprobado, esto es un problema ya que tendrá que pagar todo el servicio solicitado de una sola vez, o en caso de que el proveedor decida entregar planos defectuosos se encontrara pagando por entregables los cuales sabe que están incorrectos.

Dado lo anteriormente se debe entender que la forma de medir el avance en esta etapa del proyecto es crucial para sus actores, ya que en ella se basan los estados de pago, que a su vez influyen como se lleva a cabo el trabajo y cuáles son los entregables dados.

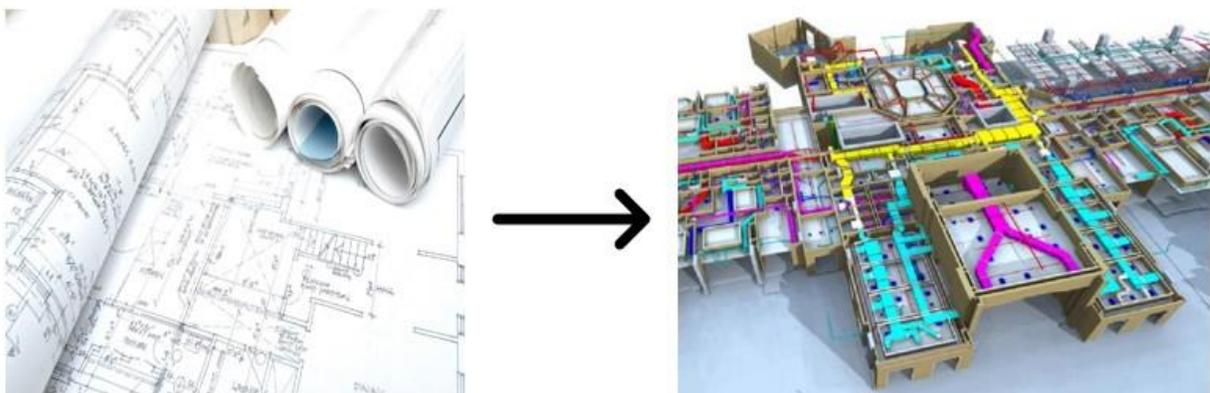


Figura 12: Transición de planos a modelos 3D.

3.3. Problemáticas de medición de avance del modelo 3D BIM

La metodología BIM llegó como solución para resolver varios de los problemas que se presentan al realizar un proyecto de obras civiles, abarca problemáticas desde las etapas de planificación y diseño hasta la construcción y operación e incluso llegando a la etapa de mantención. Logrando mejoras significativas en las etapas de planificación y diseño en la detección de errores, interferencias, afinando detalles y mejorando la planificación de la secuencia constructiva, esto consigue que la ejecución de la obra se realiza de mejor manera, obteniendo un aumento en la eficiencia de los recursos y la sustentabilidad del proyecto.

Pero al igual que todas las mejoras en el ámbito de la ingeniería, se solucionaron algunos problemas y se presentaron otros nuevos. Sin la metodología BIM el progreso del proyecto es de forma lineal y es relativamente más sencillo conocer el estado actual del proyecto ya que uno sabe los rendimientos que se tiene en la generación de planos y cubriciones por las diferentes disciplinas involucradas, logrando tener un estimado del avance en la etapa de diseño del proyecto, pero no hay que olvidar que por otro lado los errores en el diseño y ejecución de la obra aumentan y esto implica un mayor gasto económico y atrasos en la fecha final de entrega. Sin embargo, con la metodología BIM se tiene el problema de lograr conocer con exactitud y de forma cuantitativa el estado de avance real en que se encuentra el modelo 3D del proyecto en la etapa de diseño. Esto se debe a que BIM tiene como foco de importancia la generación de información, la cual se va almacenando en el modelo 3D, en particular en las entidades que este contiene. Al volverse un proceso dinámico donde todos los actores involucrados son capaces de trabajar en el modelo 3D creando, modificando o eliminando entidades y acorde a que avanza el proyecto los requerimientos cambian y se logran mayores niveles de detalle haciendo difícil la medición del avance.

La problemática de la medición de avance se basa en tres conceptos, los cuales se centran las entidades y sus niveles de información tanto gráfica como no gráfica. Se presentan a continuación los tres conceptos.

1) Niveles de información de las entidades:

Las entidades son la representación gráfica de los elementos en el modelo y estos contienen la información gráfica y no gráfica. Basándose en los estándares dados en el “Estándar BIM para proyectos públicos” y “EY BIM measurement of design progress” se observa que los niveles de información y detalle van aumentando a medida que el ciclo de vida del proyecto avanza. La forma que dan los estándares para medir NDI o LOD de cada entidad es una serie de características específica de cada entidad y que se va chequeando cuales se encuentran realizadas, en proceso o inconclusas. El problema ocurre en que la lista de características es muy general y para cada proyecto estas características varían dependiendo de los requerimientos, además de que el modelo puede contener entidades con diferentes niveles de desarrollo y en diferentes disciplinas lo cual genera un problema poder medir un modelo en base a los NDI o LOD de las entidades que contiene.

2) Proceso dinámico:

Una de las ventajas de la metodología BIM es la interoperabilidad de los datos en del modelo 3D, lo cual permite que todos los actores involucrados en el diseño de la infraestructura logren realizar modificaciones, pero esto a su vez es un problema al querer conocer el estado de avance del modelo. Esto se debe a que uno para medir el avance realiza una comparación entre el total a ejecutar y lo realizado a la fecha, pero como en el modelo todos los involucrados pueden crear, modificar o eliminar entidades se vuelve complejo conocer la cantidad exacta de entidades con las que terminará el modelo y con esto no hay con que comparar el estado actual en que se encuentra.

3) Información no asociada a características de las entidades:

Las entidades contienen información gráfica (Altura, espesor, etc.) y no gráfica (proveedor, capacidad de resistencia al fuego, etc.) y estas son las características que pueden ser medibles en base a un listado especificado para cada etapa del ciclo del proyecto, no obstante existen situaciones en la que la entidad contiene toda la información requerida pero en el modelo no se encuentra correctamente ubicada, hay interferencias entre los elementos generando un choque entre elementos o superposición dado la modalidad de modelamiento que cada persona realiza al momento de efectuar dicha tarea.

A modo de conclusión, se puede decir que los tres problemas planteados están conectados entre sí de alguna forma. La existencia de estándares donde se presentan definiciones de LOD o NDI ayudan a crear un listado de características mínimas que requieren las entidades para que el modelo vaya madurando, pero no incluyen la información que no está asociada directamente a sus características, como se presenta en el problema tres. Por último, al ser un proceso dinámico donde la interoperabilidad es la clave del trabajo BIM, esta también es uno de los mayores problemas al momento de medir el avance del modelo, ya que a pesar de la existencia de las definiciones de LOD al no haber una metodología que cree un proceso de cómo utilizar estas herramientas donde exista la coordinación entre especialidades se generan confusiones y objetivo de BIM se pierde.

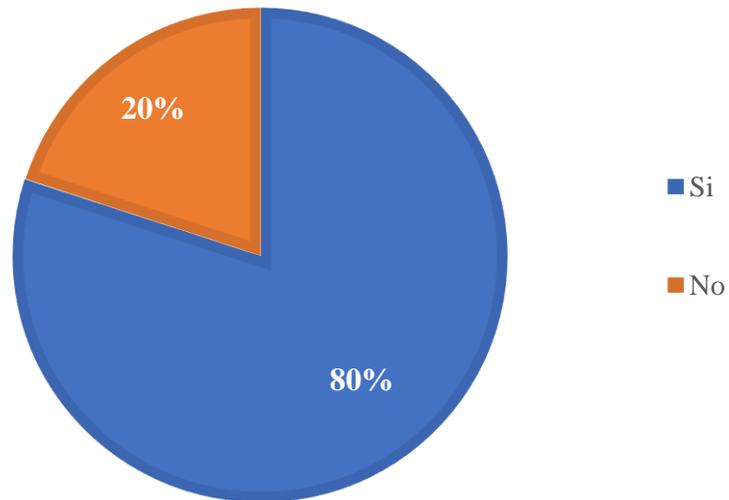
Capítulo 4

4. Resultados de encuesta e información recabada

4.1. Resultados encuesta

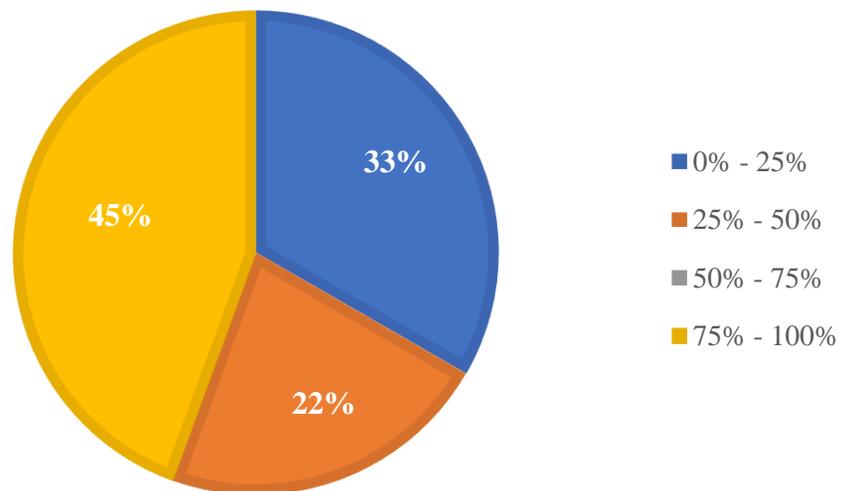
Pregunta 1:

¿UTILIZA LA METODOLOGÍA BIM PARA DESARROLLAR SUS PROYECTOS?



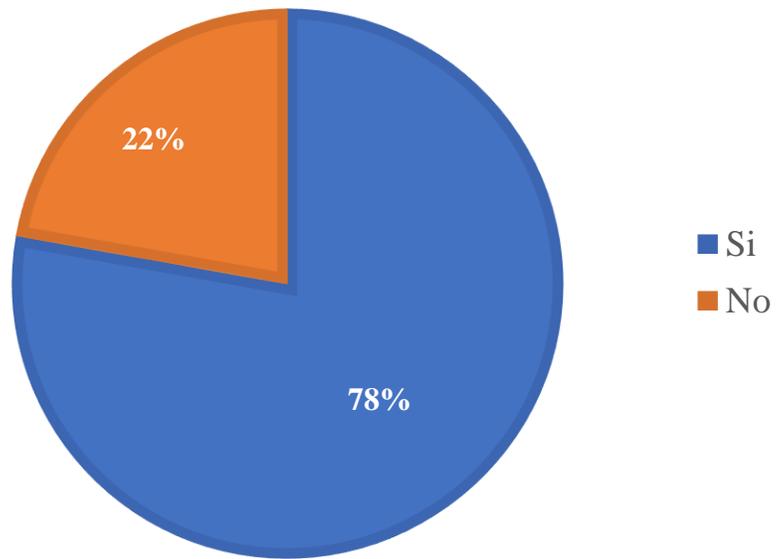
Pregunta 2:

¿A QUÉ PORCENTAJE DE LA ETAPA DE DISEÑO DEL PROYECTO REPRESENTA EL MODELO?



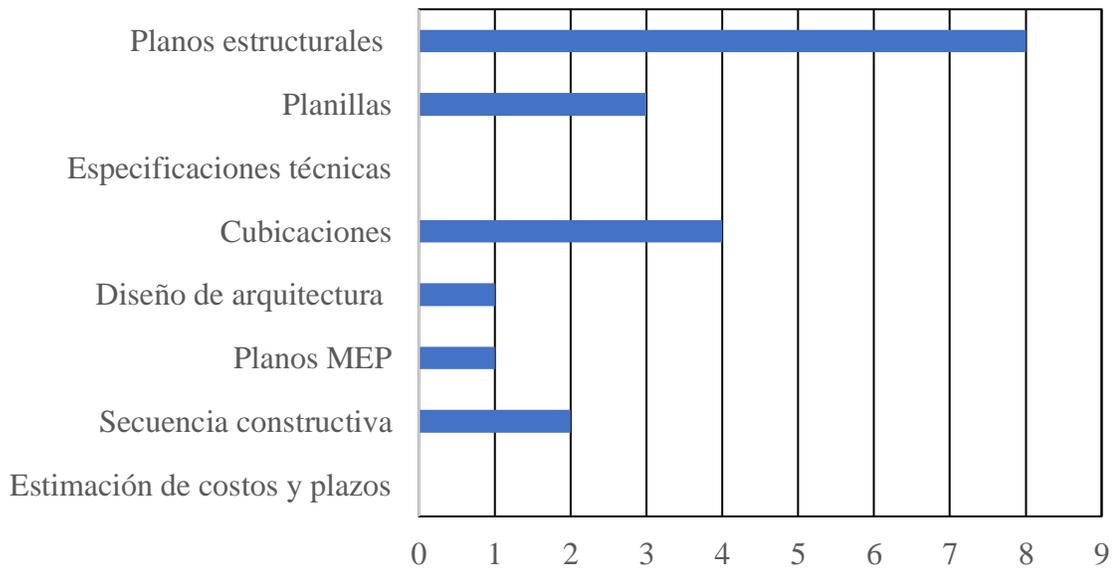
Pregunta 3:

¿VALORIZA ECÓNOMICAMENTE EL MODELO 3D?



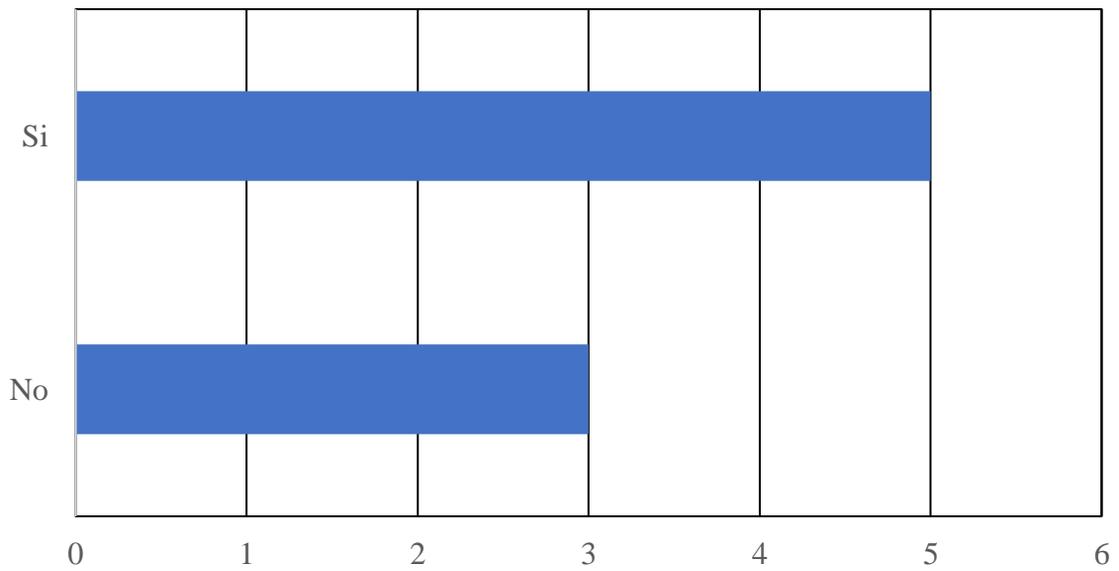
Pregunta 4:

¿Cuales son los entregables que extrae del modelo 3D?



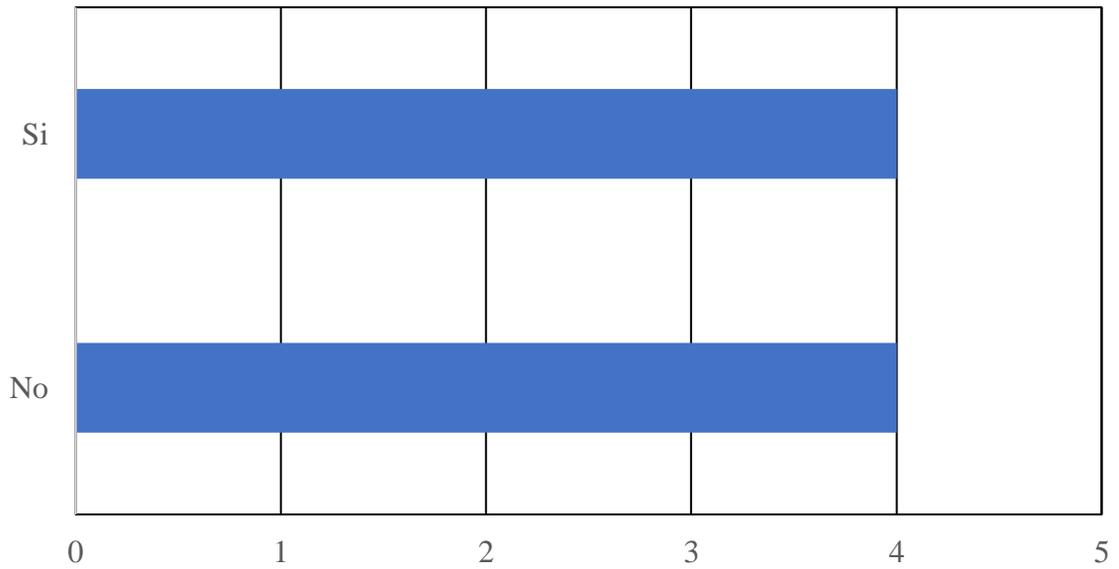
Pregunta 5:

¿Tiene problemas el progreso o avance del modelo 3D?



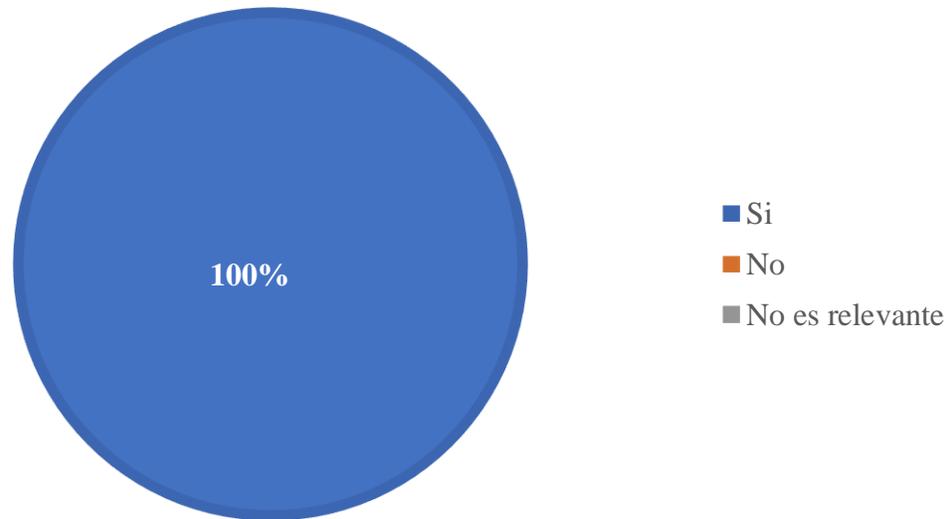
Pregunta 6:

¿Utiliza alguna metodología para medir el avance del modelo 3D?



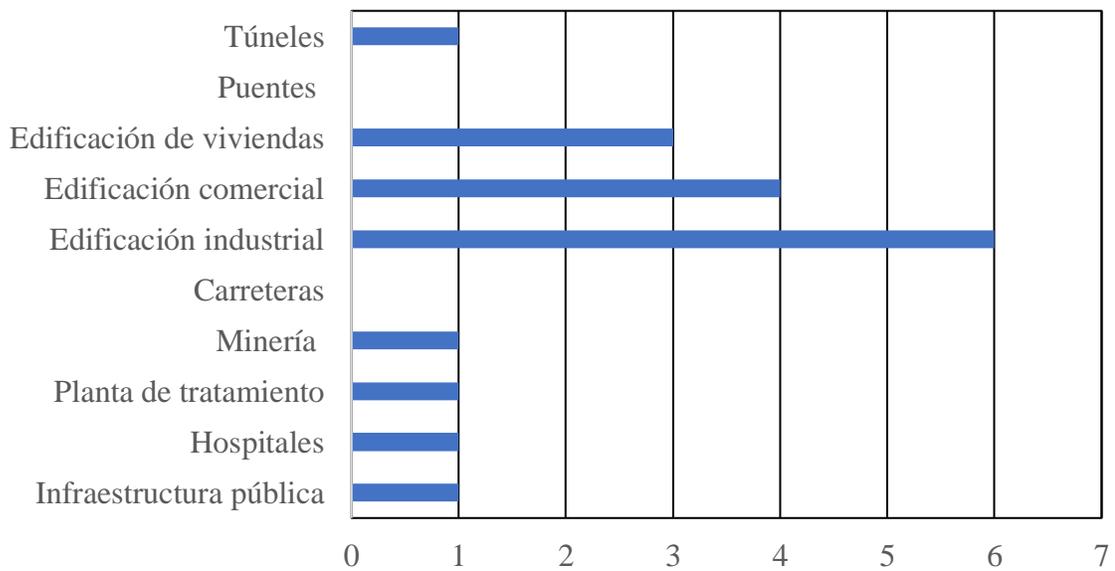
Pregunta 7:

¿ENCUENTRA RELEVANTE MEDIR EL AVANCE DEL MODELO 3D?



Pregunta 8:

¿A que rubro se dedica?



4.2. Conclusiones encuesta e información recabada

Con la información obtenida gracias a la encuesta realizada, más la revisión bibliográfica y diferentes conversaciones con actores involucrados en el proceso de diseño de un proyecto utilizando metodología BIM se logra llegar a varias conclusiones, en algunas ya se tenía un presentimiento y otras llegaron a sorprender de cuál es la situación actual de las empresas y sus involucrados frente a la problemática planteada.

La primera gran conclusión se extrae de la primera pregunta de la encuesta, donde se observa que el 80% de los encuestados utiliza la metodología BIM, lo que significa que el Plan BIM impulsado por la CORFO y CChC está dando resultados y el nivel de utilización de esta metodología está en aumento. Por lo tanto, con cuatro años más del Plan BIM se puede hacer la predicción de que el objetivo planteado de que el 100% de los proyectos públicos sea ejecutada con esta metodología se encuentra bien encaminada.

Luego las preguntas dos y tres se relacionan directamente, ya que en la pregunta dos se logra observar que el 45% señala que la generación del modelo 3D corresponde a más del 75% de la etapa de diseño y en la pregunta siguiente el 78% dice valorar económicamente el modelo en su propuesta, tanto como cliente como prestador del servicio de ingeniería. Esto demuestra que el modelo 3D es sumamente relevante en la etapa de diseño del proyecto ya que no solo es útil para le generación de los entregables que se extraen de él, sino que también que la industria ha cambiado su forma de solicitar la información de la etapa de diseño, dejando atrás la ingeniería tradicional donde los entregables eran solo de planos de construcción, cubicaciones, etc. y transformado la etapa de diseño en la creación de un modelo BIM que da mayores beneficios y facilidades en las etapas siguientes del proyecto. Lo anterior es posible de visualizar con las respuestas de la pregunta cuatro donde se ve que del modelo se logra extraer varios usos de la ingeniería tradicional que se utilizan para la construcción, generación de presupuestos y planificación de la obra. De las tres preguntas analizadas anteriormente se logra concluir que a medida que las empresas y las personas que trabajan en ellas se vayan dando cuenta de los beneficios de utilizar la metodología BIM, la etapa de diseño se centrara completamente en la generación de información dentro del modelo por la cual ira disminuyendo la valorización económica de los planos y otros entregables e ira aumentado el valor económico del modelo 3D, dando como consecuencia que la creación del modelo sea cada vez más relevante en la etapa de diseño y planificación.

De las preguntas cinco y seis dan un ejemplo de la situación actual en el ámbito laboral. En la pregunta cinco el 62,5% apunta que tiene problemas en poder medir el estado del modelo y en la pregunta seis se indica que el 50% dice tener algún método o metodología para lograr medir el avance del modelo, lo que quiere decir que a pesar de tener alguna metodología esta no es útil o tiene varios defectos, lo que sustenta la búsqueda de una metodología clara para medir el avance y estado actual del modelo 3D en la etapa de diseño. La falla de las metodologías utilizadas por los encuestados puede deberse a varios factores de los cuales, es por eso por lo que en la metodología propuesta más adelante se abarcan las tres problemáticas descritas anteriormente logrando crear un listado de los requerimientos mínimos para cada EAIM, una línea base con la cual poder comprar el estado actual del modelo y llegando a un valor porcentual de cuál es el avance de este en cada momento.

Para finalizar con el análisis de la encuesta, en la pregunta siete se resalta que el 100% de los encuestados encuentra necesario medir el avance del modelo 3D, dando por hecho de que es un de suma importancia. La pregunta ocho demuestra que independiente del rubro en que uno se desenvuelva es un problema que afecta a todos por igual, es decir que a pesar de que esta metodología está orientada a proyectos de edificación podría existir la posibilidad de con las modificaciones pertinentes para cada rubro podría ser utilizada, ya que sin importar el rubro de la ingeniería civil cada vez es más frecuente la utilización de software de modelamiento más avanzados donde la interacción interdisciplinaria es cada vez más relevante.

Del análisis sobre la revisión bibliográfica se puede observar que en varios capítulos se habla de los niveles de información o niveles de desarrollo de las entidades, como a medida que avanza el proyecto estas aumentan el nivel de detalle y el modelo en general va progresando, pero son bastante categóricos en decir que el nivel de desarrollo de las entidades no se traduce en nivel de desarrollo de los modelos en general, pero si sabe que a un mayor desarrollo de entidades el modelo se perfecciona y se acerca cada vez más a su última versión. Lo anterior es sumamente relevante ya que será la base de cómo se desarrollará la metodología de medición de avance del modelo BIM.

Revisando informes de proyecto ya ejecutados se observa que al momento de definir una escala de progresión de avance sobre el modelo este es bastante genérico y no se establecen metas o requisitos claros para poder decir que cierta etapa esta completada y cuando es posible avanzar a la siguiente etapa. Esto genera conflictos en los estados de avance ya que, al no tener claros los criterios y/o requisitos que cada paso del modelamiento necesita para poder llamarla terminada o aprobada todo queda de forma muy ambigua y subjetiva para cada persona que trabaja en el modelo y por ende genera una desincronización entre el trabajo, las entregas y los estados de pago.

Por otro lado, medir el avance quiere decir que se tiene una planificación previa de las tareas que se llevaran a cabo y la secuencia de cómo se realizaran estas, esto quiere decir que se podrá entregar un plan de ejecución del modelo al cliente en el que se explicará el orden del avance del modelo y que después de que la última revisión sea aprobada se podrán extraer lo entregables del modelo tales como planos, cubicaciones, secuencia constructiva, etc. Dando más importancia a la generación información que se plasma en las entidades del modelo y obteniendo al final los entregables clásicos.

Dado todo lo anterior se puede concluir que la necesidad de tener una metodología clara basada en estándares, tanto nacionales como internacionales, sería de gran utilidad y beneficiaría a una gran cantidad de usuarios de la metodología BIM, en una gama amplia de rubros en la ingería civil. Esta sería bastante útil para lograr conocer el estado de avance que se tiene el modelo y de esta forma saber si tiene que tomar medidas correctivas para acercarse a lo que se tenía planificado e informar al cliente con datos y no solo generalidades de cómo se encuentra la etapa del proyecto que este solicitó.

Capítulo 5

5. Metodología propuesta

5.1. Contexto metodología de medición de avance

En los proyectos realizados con metodología BIM existen diferentes modelos 3D a lo largo de todo el ciclo de vida de este, desde el diseño básico hasta la gestión y operación de la infraestructura y en cada uno de ellos se puede medir su avance, observando como las entidades que aumentan su nivel de desarrollo, conteniendo cada vez más detalles e información relevante sobre sus características geométricas y no geométricas.

El presente trabajo tiene como meta en crear una línea base con la cual empresas prestadoras de servicios de diseño de ingeniería pero que no van más allá, y no se involucran los procesos de construcción, compra de materiales, contratación de personal, gestión, operación y mantenimiento del activo que en este caso es la infraestructura. Es por eso por lo que con la información en la figura 7, se extrae que se utilizarán los EAIM de las etapas de planificación, diseño y solamente el primer EAIM de construcción. En total serían cinco EAIM, diseño conceptual (DC), diseño de anteproyecto (DA), diseño básico (DB), diseño de detalle (DD) y coordinación de construcción (CC). Además, se usarán síes de los nueve modelos que presenta el “Estándar BIM para proyectos públicos”, estos son: sitio, volumétrico, arquitectura, estructura, MEP y coordinación.

Dicho lo anterior la figura 4 nos muestra que se usarán todas las entidades presentadas en el “Estándar BIM para proyectos públicos”, además de cualquier otra que pueda ser necesaria para cada caso en particular. Luego analizando las figuras 8 y 9, se concluye que los NDI que se emplearán para medir el nivel de información de las entidades en los modelos son los NDI-1 hasta NDI-3 o NDI-4 dependiendo de la entidad que se vaya a medir, que al hacer la transformación a las definiciones de LOD, estas son las equivalentes a LOD 100 hasta LOD 300 o LOD 350.

5.2. Propuesta de metodología

Primero que todo hay que decir que los modelos no se definen según NDI o LOD, sino que estos contienen entidades que se encuentran en diferentes NDI o LOD. Por lo tanto, la metodología tendrá un enfoque de más a menos, es decir, parte desde las etapas que se presentan en un proyecto en el marco anteriormente descrito (planificación, diseño y construcción) y avanza cada vez más profundo hasta llegar a los NDI o LOD de las entidades en cada modelo requerido.

A continuación, se presentan los pasos a seguir en la metodología de medición de avance en modelos BIM.

- 1) Como se dijo en el punto 5.2. anteriormente esta metodología se encuentra en las etapas de planificación, diseño y construcción y en estas se tienen los cinco EAIM que se usaran para medir el avance. El primer paso de la metodología consiste en otorgar un porcentaje a cada EAIM, se esta forma se creará un marco general del progreso del modelo donde cada vez que se cumplan el 100% de los requisitos de cada EAIM se podrá dar por completada y se tendrá un valor porcentual de avance del modelo y de la etapa de diseño. Basándose en las mediciones clásicas se presentan a continuación los porcentajes de cada EAIM. Es importante mencionar que estos porcentajes pueden variar para cada usuario de la metodología, ya que puede definir que ciertos EAIM son más o menos relevantes.
 - Información de planificación:
 - Diseño conceptual: 10%
 - Información de diseño:
 - Diseño de anteproyecto: 10%
 - Diseño básico: 15%
 - Diseño de detalle: 35%
 - Información de construcción:
 - Coordinación de construcción: 30%

Es importante mencionar que en teoría la etapa de diseño termina con el EAIM diseño de detalle, y la información generada hasta ese momento puesta en el modelo se pasa al siguiente equipo que se encarga de la coordinación y planificación de construcción, pero en la práctica el equipo de diseño con el de construcción interactúan bastante para llegar a acuerdos sobre cuáles serían las mejores opciones para llevar a cabo la ejecución de la obra. Es por eso por lo que el EAIM coordinación de construcción se encuentra presente en la metodología a pesar de poder ser contemplada por otro equipo de trabajo.

2) Una vez definidas las ponderaciones de cada EAIM se procede al paso número dos de la metodología. Usando la información de la figura 7 se definen cuáles serán los modelos que generarán en cada EAIM, varios de los modelos se repiten en cada EAIM y es porque a medida que progresa el proyecto las entidades de estos modelos van obteniendo un mayor grado de desarrollo. Cabe resaltar que al igual que en el paso anterior dependiendo de las particulares del proyecto puede haber más modelos asociados a cada EAIM.

- Diseño conceptual:
 - Modelo de sitio
 - Modelo volumétrico
 - Modelo de arquitectura
 - Modelo de estructura
 - Modelo MEP

- Diseño de anteproyecto:
 - Modelo de sitio
 - Modelo volumétrico
 - Modelo de arquitectura
 - Modelo de estructura
 - Modelo MEP
 - Modelo de coordinación

- Diseño básico:
 - Modelo de sitio
 - Modelo volumétrico
 - Modelo de arquitectura
 - Modelo de estructura
 - Modelo MEP
 - Modelo de coordinación

- Diseño de detalle:
 - Modelo de sitio
 - Modelo volumétrico
 - Modelo de arquitectura
 - Modelo de estructura
 - Modelo MEP
 - Modelo de coordinación

- Coordinación de construcción:
 - Modelo de coordinación
 - Modelo de construcción

3) Una vez definidos los modelos que se usarán en el proyecto, el paso número tres consiste en determinar las entidades mínimas que estos deben contener. Las figuras 4 y 5 contienen la tabla con la información necesaria. A continuación, se nombran las entidades mínimas para cada modelo. Como en todos los pasos hasta el momento esta información es referencial o mínima para cada modelo, pero en caso de que se requieran otras entidades, estas pueden ser agregadas y la forma de aplicar la metodología no cambia.

- Modelo de sitio:
 - Terreno
 - Elementos civiles*
 - Elementos geográficos*
 - Fundaciones*
 - Zonas/Espacios
 - Columnas*
 - Vigas*
 - Losas*
 - Muros*
 - Muros cortinas*
 - Cubiertas*

- Modelo volumétrico:
 - Terreno
 - Elementos civiles*
 - Elementos geográficos*
 - Zonas/Espacios

- Modelo de arquitectura:
 - Ejes
 - Terreno
 - Elementos civiles
 - Elementos geográficos
 - Fundaciones
 - Zonas/Espacios
 - Columnas
 - Vigas
 - Losas
 - Muros
 - Muros cortinas
 - Ventanas
 - Puertas
 - Cubiertas
 - Cielos falsos
 - Sistemas de circulación/Escaleras/Rampas
 - Equipos e instalaciones
 - Muebles
 - Estructuras especiales

- Modelo de estructura:
 - Ejes
 - Terreno
 - Elementos civiles
 - Fundaciones
 - Columnas
 - Vigas
 - Losas
 - Muros
 - Muros cortinas*
 - Cubiertas
 - Sistemas de circulación/Escaleras/Rampas
 - Estructuras especiales

- Modelo MEP:
 - Ejes
 - Terreno
 - Zonas/Espacios
 - Equipos e instalaciones
 - Equipamiento tableros MEP
 - Distribución de tuberías MEP

- Modelo de coordinación:
 - Ejes
 - Terreno
 - Elementos civiles
 - Elementos geográficos
 - Fundaciones
 - Zonas/Espacios
 - Columnas
 - Vigas
 - Losas
 - Muros
 - Muros cortinas
 - Ventanas
 - Puertas
 - Cubiertas
 - Cielos falsos
 - Sistemas de circulación/Escaleras/Rampas
 - Equipos e instalaciones
 - Muebles*
 - Estructuras especiales
 - Equipamiento tableros MEP
 - Distribución de tuberías MEP

- Modelo de construcción:
 - Ejes
 - Terreno
 - Elementos civiles
 - Elementos geográficos
 - Fundaciones
 - Zonas/Espacios
 - Columnas
 - Vigas
 - Losas
 - Muros
 - Muros cortinas
 - Ventanas
 - Puertas
 - Cubiertas
 - Cielos falsos
 - Sistemas de circulación/Escaleras/Rampas
 - Equipos e instalaciones
 - Muebles*
 - Estructuras especiales
 - Equipamiento tableros MEP
 - Distribución de tuberías MEP

*: Entidad sugerida

Se puede observar que para los diferentes modelos en un mismo EAIM varias de las entidades se repiten y una vez unida toda la información en el modelo de coordinación se logra observar que todas las entidades son requeridas en cada EAIM, es por lo que recién consolidada la información se aplica el paso número cinco de la metodología.

Lo anterior aplica para cada EAIM excepto el primero, diseño conceptual, que al no haber un modelo de coordinación no existe interacción entre las especialidades y cada modelo debe ser revisado por separado a pesar de contener entidades repetidas.

- 4) Este paso es uno de los más importantes, ya que permitirá generar la línea base con la que se comparará el estado actual del modelo y se podrá decir cuál es el porcentaje de avance.

Consiste en que, una vez terminada el EAIM de diseño conceptual, el primer EAIM del paso número uno de la metodología, se tiene realizada una estimación bastante certera de la cantidad de entidades que el modelo contendrá a lo largo de su desarrollo. Esto permite generar la línea base de la cantidad de entidades existentes en el modelo, es decir se sabrá el total del trabajo presupuestado.

Entonces una vez que se quiera medir el estado actual del modelo se hará el ejercicio de contabilizar la cantidad de entidades que cumplen con el NDI o LOD del EAIM en que se encuentra el proyecto, y al tener conocimiento del total de entidades del modelo, se realiza una división entre las entidades que cumplen con el NDI o LOD requerido y el total de entidades y de esta forma se logra conocer el porcentaje de trabajo que se ha ejecutado y el que falta por realizar para cumplir con el EAIM en el que se encuentra. La ejecución de la línea base consiste en contabilizar la cantidad de entidades existentes de acuerdo con cada grupo, por ejemplo, contabilizar el número de columnas, y con esto se tiene conocimiento de cuantas entidades hay que trabajar.

Esto también se hará cuando se recibe el modelo de alguna otra empresa y me encuentro en alguna etapa avanzada del proyecto, por ejemplo, diseño básico. Es decir, se creará una nueva línea base con la cual trabajar de ese momento en adelante.

En las siguientes tres formulas se representará lo que explico anteriormente.

$$1- \text{ Trabajo presupuestado} = \sum_{i,j}^{n,k} LOD_{deseado}$$

i: Entidad
j: Modelo

De esta forma se logrará conocer el total de entidades de cada modelo y con el NDI o LOD que se requiere para cada EAIM.

$$2- \text{ Trabajo realizado} = \sum_{i,j}^{n,k} LOD_{real}$$

i: Entidad
j: Modelo

Con esto se conocerá el total de entidades que cumplen con el NDI o LOD del EAIM actual de cada modelo.

$$3- \text{ Estado actual} = \frac{\sum_{i,j}^{n,k} LOD_{realizado}}{\sum_{i,j}^{n,k} LOD_{deseado}}$$

Logrando conocer el porcentaje de entidades que cumplen con el NDI o LOD correspondiente al EAIM en que se encuentra.

- 5) Para el paso final se utiliza la información de las figuras 8 y 9, estas contienen el NDI o LOD correspondiente para cada entidad en cada EAIM del proyecto. Con esto se tiene conocimiento del nivel de desarrollo que los elementos en el modelo deben presentar para poder pasar al siguiente EAIM.

Por lo tanto, se debe hacer una revisión de las entidades existentes donde se debe chequear cuales cumplen con las definiciones de NDI o LOD correspondientes al EAIM actual. En esta etapa el coordinador BIM cumple una función importante, además de la tarea descrita anteriormente, debe ver que no falten entidades y en caso de que esto ocurra debe anotarse y ser notificado para ser completado de manera correcta el modelo. Este paso final es crucial ya que, en el modelo de coordinación, que es en el cual se unifican todos los otros modelos, se logran observar las interferencias y errores que pueden ocurrir al haber interacción entre las especialidades por ende puede que en el modelo estructural las entidades se encuentren de forma adecuada, pero al momento de observar el modelo de coordinación existan interferencias y esto signifique que las entidades no cumplan con el NDI o LOD requerido para el EAIM.

Por último, para conocer el estado de avance del modelo se debe multiplicar el porcentaje acordado en el primer paso para cada EAIM con el valor obtenido de la fórmula 3, estado actual, y de esta forma conocer finalmente el porcentaje del estado de avance del modelo en el proyecto. Una vez que cada entidad alcance el NDI o LOD correspondiente al EAIM en el que se encuentra en el modelo o el Estado actual sea igual a uno se puede decir que se logró el 100% requerido para avanzar al siguiente EAIM y aumentar el nivel de detalle requerido de las entidades. En la fórmula 4 se representará la ecuación descrita anteriormente.

$$4- \textit{Estado de avance} = \textit{Porcentaje EAIM} \times \textit{Estado actual}$$

Capítulo 6

6. Comentarios y conclusiones

6.1. Comentarios

Para partir es difícil no mencionar la situación sanitaria en la que nos encontramos, donde no podría afirmar que complicó la realización de este trabajo, pero sí que se llevó a cabo de una forma en la que personalmente no me imaginaba.

Sobre el trabajo en sí, se presentan varios tipos de modelos y entidades y es importante mencionar que estos son referenciales y opcionales ya que al ser obtenidos del “Estándar BIM para proyectos públicos” donde se afirma que estos son el mínimo para cumplir en cada etapa del proyecto, y en caso de necesitar entidades o modelos diferentes dependiendo de las particularidades de cada proyecto se pueden agregar y la metodología no cambia.

A pesar de que el trabajo se basa más en la información del Estándar BIM para proyectos públicos, ya que todas las tablas, definiciones y términos usadas para generar la metodología se obtiene de este, no quita que para ser presentada de forma internacional los términos NDI son totalmente intercambiables con los de LOD que son más conocidos por ser usados en el BIM Forum.

Por último el alcance de esta metodología se limita a las etapas de planificación, diseño y coordinando con el equipo involucrado de la planificación de la ejecución de la obra, pero si se quisiera se podría extender hasta la totalidad de la información de construcción, abarcando los EAIM de construcción, manufactura y montaje y As-Built, donde se debería ponderar de forma diferente cada EAIM del modelo en el paso número uno de la metodología y con la tabla de las figuras 8 y 9 observar los nuevos NDI o LOD que se deben ir alcanzando.

6.2. Conclusiones

Se puede concluir que el Plan BIM impulsado por la CORFO y la CChC ha dado sus frutos y cada vez más empresas han empezado a implementar y utilizar la metodología BIM para llevar a cabo sus proyectos. Esto se ve reflejado en la encuesta realizada donde el 80% de los encuestados utiliza BIM. Sin embargo, todavía faltan varios años para que el Plan BIM concluya y quedan aún grandes etapas de un proyecto donde no se ha interiorizado BIM, como las etapas de construcción y gestión del activo, por otro lado, en las etapas de planificación y diseño donde es más relevante BIM se ve un uso sostenido de esta metodología.

De la encuesta realizada se logran desprender tres grandes conclusiones. La primera es que al ser cada vez más utilizado BIM en los proyectos se ve una valorización tanto económica como conceptual del modelo 3D, siendo este el entregable final y del cual se extraen los entregables típicos de la ingeniería como cubicaciones, planos, planillas, etc. La segunda conclusión, donde se vio un resultado esperado, pero no por eso menos sorprendente, es que a pesar de haber 50% de quienes poseen una metodología para medir el avance del modelo, un 62,5% posee problemas para medir el avance, esto se traduce que hay encuestados que no están conformes con la metodología que están utilizando. Por último, es la gran variedad de rubros que se ven afectados por esta problemática desde edificaciones de viviendas hasta túneles y plantas de tratamientos.

Con respecto a los objetivos planteados al inicio de este trabajo se puede llegar a decir que tanto los objetivos secundarios como el objetivo general se cumplieron. Se logró subdividir la etapa de planificación, diseño y coordinación de tal forma de tener un proceso de modelación progresivo por sus diferentes EAIM. En conjunto a las definiciones de NDI o LOD, donde quedan claramente definido el nivel de detalle de las entidades y sus características propias tanto gráficas y no gráficas, más la información contenida en las figuras 7, 8 y 9 se logra obtener el nivel de información requerida para cada entidad en cada EAIM del proyecto. Como último objetivo secundario se logró generar una línea base con la cual se comparará el estado actual del modelo con lo planificado, esta se debe realizar una vez terminado el EAIM de diseño conceptual ya que de forma previa no se tiene conocimiento de la cantidad de entidades en las que habrá que trabajar en el modelo. Con todo lo anterior se puede decir que el objetivo principal de este trabajo se concretó, se logró crear una metodología para medir el avance del modelo definiendo las etapas a cumplir, los requisitos que los elementos en este deben cumplir y creando una línea base con la cual comparar dicho progreso.

Para concluir, la metodología resuelve los problemas planteados de detallar los requerimientos mediante los NDI o LOD de las entidades y los modelos logrando definir con claridad que se espera en cada etapa y al crear una línea base se logra comparar el estado actual para medir el avance, solucionando el proceso dinámico al que se presenta el modelo. Como modo de recomendación sería ideal poder conseguir un proyecto en el cual aplicar esta metodología y conocer de forma empírica si es útil, cuáles son los puntos correctos que tiene y los que se pueden mejorar.

Bibliografía

[1] BIM Forum LOD 2019.

[2] Estándar BIM para proyectos públicos.

[3] EY BIM measurement of design progress.

[4] Plan de Ejecución BIM Proyecto CUGEP Expansión Minería Subterránea – Compañía Contractual Minería Candelaria.

[5] Capacitación PlanBIM “Introducción a la metodología BIM (versión 8)”

Anexos

Anexo A: Respuestas individuales de la encuesta

A continuación, se presenta la matriz de las respuestas de la encuesta, la cual en su columna izquierda tiene enumerado los encuestados, en su fila superior se encuentran las respuestas y en el interior las respuestas de cada integrante para cada pregunta.

Tabla 1: Resultados encuesta preguntas 1 y 2.

	Pregunta 1	Pregunta 2
#	¿Utiliza la metodología BIM para desarrollar sus proyectos?	¿A qué porcentaje de la etapa de diseño del proyecto representa el modelo?
1	Si	Mas del 75%
2	Si	Mas del 75%
3	Si	Mas del 75%
4	Si	Mas del 75%
5	Si	Entre el 25% y el 50%
6	No	-
7	No	Menos del 25%
8	Si	Menos del 25%
9	Si	Entre el 25% y el 50%
10	Si	Menos del 25%

Tabla 2: Resultados encuesta preguntas 3 y 4.

	Pregunta 3	Pregunta 4
#	¿Valoriza económicamente el modelo 3D?	¿Cuáles son los entregables que extrae del modelo?
1	Si	Planos estructurales
2	Si	Planos estructurales, planillas y cubicaciones
3	Si	Planos estructurales, cubicaciones, planos MEP y secuencia constructiva
4	Si	Planos estructurales y cubicaciones
5	No	Planos estructurales, planillas y secuencia constructiva
6	-	-
7	No	-
8	Si	Planos estructurales y diseño de arquitectura
9	Si	Planos estructurales
10	Si	Planos estructurales, planillas y cubicaciones

Tabla 3: Resultados encuesta preguntas 5 y 6.

	Pregunta 5	Pregunta 6
#	¿Tiene problemas para medir el avance o progreso del modelo 3D?	¿Utiliza alguna metodología para medir el avance del modelo 3D?
1	No	No
2	Si	No
3	Si	Si
4	No	Si
5	Si	Si
6	-	-
7	-	-
8	Si	No
9	Si	No
10	No	Si

Tabla 4: Resultados encuesta preguntas 7 y 8.

	Pregunta 7	Pregunta 8
#	¿Encuentra necesario medir el avance del modelo 3D?	¿A qué rubro de la construcción se dedica?
1	Si	Edificación de viviendas
2	Si	Edificación de viviendas, edificación comercial y hospitales
3	Si	Edificación industrial
4	Si	Túneles y edificación industrial
5	Si	Minería y plantas de tratamientos
6	-	Infraestructura publica
7	-	Edificación industrial
8	Si	Edificación comercial y edificación industrial
9	Si	Edificación comercial y edificación industrial
10	Si	Edificación comercial, edificación industrial y edificación de viviendas