



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“PROTOTIPO DE SOFTWARE PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL MONITOREO DEL AVANCE DE  
OBRA BASADO EN UN MODELO BIM 5D”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ARQ. PASTOR AARÓN GÓNGORA CANTO**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
OPCIÓN CONSTRUCCIÓN**

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO**

**2017**

“Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiera sido aprobado por el sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.”

## RESUMEN

La productividad y éxito de las empresas constructoras están fuertemente relacionados a cómo se administra la información de los proyectos constructivos, los cuales muchas veces son complejos de administrar y controlar, debido a que interviene una gran cantidad de recursos de diversos tipos que son transformados mediante la ejecución de un gran número de operaciones y por un conjunto de diferentes actores. La información obtenida de las actividades de los proyectos es muy importante ya que es la base sobre la cual se toman las decisiones basadas en la planeación y el control.

La fase de construcción y control de los proyectos es la etapa donde dicha información de obra toma niveles críticos debido a la periodicidad y el volumen de datos generados, sobre todo información relevante en términos de tiempo, dinero y calidad, que además es directamente proporcional al volumen de la obra a ejecutar.

Es así como uno de los retos de las empresas constructoras es el correcto control y monitoreo de los recursos en general de una construcción, que procuren un ritmo de avance de obra enfocado en el cumplimiento de los objetivos planteados en cuanto a la calidad, tiempo y costos.

La industria de la construcción implementa métodos tradicionales de administración de información de los proyectos, que en su mayoría son ineficientes debido al tiempo requerido y costo para la recopilación y procesamiento de información, además de su inexactitud, la falta de reutilización y la disponibilidad de dicha información. Este criterio tradicional de monitoreo consiste en vigilar las jornadas de trabajo de forma periódica, generalmente cada semana, supervisando cada uno de los aspectos técnicos y administrativos de una obra, verificando que hayan sido correctamente ejecutados en cuanto calidad, tiempo y costo, pero con el actual volumen de obras, el criterio antes señalado sólo puede aplicarse superficialmente y con un grado de inexactitud elevado.

El objetivo de este trabajo se basa en el desarrollo de un prototipo de software llamado ProFin, para el mejoramiento del monitoreo del avance de obra basado en un modelo BIM 5D, como una manera de coadyuvar a incrementar la eficiencia y eficacia de los procesos de planeación y control de los proyectos en las empresas constructoras.

Este prototipo se validó como caso de estudio en la construcción de la primera etapa de la Facultad de Contaduría y Administración del Campus de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Yucatán. Para realizar este modelo fue necesario contar con el proyecto ejecutivo para conocer todos los detalles constructivos, además del programa y el presupuesto de la obra. Se eligió este proyecto debido a que contiene elementos complejos y partidas completas que permitieron la evaluación del prototipo ante estos elementos.

Sin embargo los planos proporcionados del proyecto ejecutivo realizados en Autocad 2D, no estuvieron libres de errores e inconsistencias, ya que al realizar el modelo con la metodología BIM en Revit 2016 se pudo evidenciar algunos errores, colisiones y defectos que presentaba el proyecto ejecutivo en cuestión.

El primer paso de este trabajo se basó en el desarrollo de una herramienta de software a la cual se le llamó iConverter, que tuvo como objetivo convertir un presupuesto de la obra a una base de datos, obteniéndose una estructura por partidas y conceptos del proyecto, especificando su descripción, unidad, costo, cantidad e importe de cada uno.

El siguiente paso estuvo conformado por la importación del modelo BIM en un formato estándar de intercambio llamado IFC (Industry Foundation Classes), con un nivel de detalle (LOD) entre 200 y 400. De esta forma, con la herramienta se pudieron asociar los elementos del modelo BIM del proyecto con sus correspondientes trabajos de la estructura de desglose de los trabajos (EDT), definiendo para esto los parámetros de cuantificación y unidades de medición de cada uno de los elementos constructivos.

Finalmente para la validación del prototipo en la obra en construcción seleccionada, se utilizó esta herramienta en un Dispositivo Móvil (Tablet) con soporte para Windows. La herramienta permite el despliegue de los elementos 3D del modelo BIM, filtrado por el avance actual y faltante de los elementos, opciones para completar la información de medidas de los elementos con un caso de excepción, el registro del porcentaje de avance y la elaboración de reportes de avance de la obra (estimaciones).

Con esta herramienta se obtuvieron datos libre de errores de precisión, ya que la modelación de elementos con la metodología BIM es exacta. Además, dicha información fue clara, entendible, y pudo generarse específicamente para lo requerido.

## **ABSTRACT**

The productivity and success of construction firms are strongly related to the managing of project information which very often is complex but the number of resources involved with large number of operations and a set of different actors. The information obtained from the project activities is important since it set the basis on which decisions are made based in planning and control.

The phase of construction and control of the projects is the stage where this work information takes critical levels due to the periodicity and the volume of the generated data, above all in relevant information in terms of time, money and quality, which is also directly proportional to the volume of the work to be performed.

Thus, one of the challenges of construction companies is the correct control and monitoring of the overall resources of a construction, which seeks a pace of progress of the work focused on the fulfillment of the objectives set in quality, time and costs.

The construction industry implements the traditional methods of project information management, which are mostly inefficient due the time required and the cost of collecting and processing information, in addition to its inaccuracy, lack of reuse and the availability of such information. This traditional monitoring criteria consists of monitoring the workdays periodically, usually every week, supervising each of the technical and administrative methods of a work, verifying that it has been correctly executed in terms of quality, time and cost, but with the actual volume of work, the above mentioned criteria can only be managed superficially and with a high degree of inaccuracy.

The objective of this work is based on the development of a prototype software called ProFin, for the improvement of the monitoring of the progress of the work based on a BIM 5D model, as a way to contribute to increase efficiency and effectiveness for the project planning and control processes carried out by construction firms.

This prototype was validated as a case of study by modeling the construction of the first stage of building at the Faculty of Accounting and Administration of the Campus of Social Sciences of the Autonomous University of Yucatan. In order to achieve this modeling, all blueprints, budget data and schedule were used. This project was chosen

because it contained complex elements and complete items that allowed the evaluation of the prototype for these sort of elements.

However, the blueprints of the executive project were drawn using Autocad 2D, and were not error free. These inconsistencies arised in the modeling process using the BIM authoring methodologies in Revit 2016, and it could evidence some errors, collisions and defects that presented the project.

The first step of this work was based on the development of a software tool called iConverter, which aimed to convert a budget of the project to a database, obtaining a structure by items and tasks for the project, specifying all of its descriptive information: measurement unit, cost, quantity and amount.

The next step consisted of importing the BIM model into a standard exchange format called IFC (Industry Foundation Classes), with a level of development (LOD) between 200 and 400. With the use of the software prototype, all work data defined in (WBS) were associated with the quantity takeoff taken from the BIM model and its elements parameters.

Finally validation purposes of the software prototype in the selected project, this tool it was used on a mobile device (tablet) with Windows support as well. The mobile software tool allowed showing all of the 3D elements of the BIM model, filtering actual and missing advance for constructive elements, and with options to complete the information of measurements of the elements in the exception cases, registration of the percentage of progress and the elaboration of progress reports (estimates).

Using this tool, progress data was obtained with accurate precision, since the element modeling with the BIM methodology is very accurate. In addition, such information was clear and understandable.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Información en la Construcción.....	8
2.2. Métodos Modernos e Innovación .....	9
2.3. Monitoreo y Recopilación de Datos.....	10
2.4. Estructura de Desglose de los Trabajos .....	14
2.5. Automatización de Procesos.....	15
2.6. Ingeniería de Software .....	17
2.6.1. Programación Orientada a Objetos.....	21
2.6.2. Metodologías Ágiles.....	23
2.6.3. Extreme Programming (XP).....	24
2.6.4. Modelo 4+1 de Kruchten.....	25
2.7. Building Information Modeling (BIM) .....	28
2.8. Usos BIM .....	35
2.8.1. Estimación de costos: Cuantificación.....	39
2.9. Nivel de Desarrollo en BIM .....	40
2.10. Industry Foundation Classes (IFC).....	42

2.11. BIM en Internet.....	46
3. METODOLOGÍA.....	49
3.1. Diseño Conceptual del Prototipo.....	50
3.2. Programación de la Herramienta de Software .....	51
3.2.1. Implementación del Modelo “4+1” de Kruchten .....	52
3.2.1. Software Utilizado para la Programación del Prototipo.....	54
3.3. Software Empleado para el Desarrollo de la Investigación y Preparación de Modelos BIM .....	58
3.4. Validación del Funcionamiento del Prototipo .....	72
3.4.1. Indicadores Cuantitativos.....	75
3.4.2. Indicadores Cualitativos .....	77
4. RESULTADOS .....	79
4.1. Resultados del Diseño Conceptual del Prototipo .....	79
4.2. Resultados de la Programación de la Herramienta de Software.....	81
4.2.1. Vista Lógica .....	82
4.2.2. Vista +1 o Vista de Escenarios .....	83
4.3. Resultados del Software Empleado para el Desarrollo de la Investigación y Preparación de Modelos BIM.....	84
4.4. Resultados de la Validación del Prototipo.....	90
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
6. REFERENCIAS.....	110
APÉNDICE 1. CASOS DE USO.....	114
APÉNDICE 2. NIVEL DE DESARROLLO BIM .....	143
APÉNDICE 3. COMPARACIÓN DE MONITOREOS.....	147
APÉNDICE 4. GENERADORAS DEL PROYECTO .....	168



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propósito y objetivo del Uso de BIM.....	37
Tabla 2. Niveles de desarrollo del AIA.....	40
Tabla 3. Lista de familias permitidas en Revit.....	63
Tabla 4. Categorías del CSI UniFormatTM 2010.....	64
Tabla 5. Especificaciones de la Tablet utilizada en esta investigación.....	73
Tabla 6. Formato utilizado para las estimaciones en la Facultad de Contaduría y Administración.....	91
Tabla 7. Resultados obtenidos para la precisión.....	92
Tabla 8. Resultados obtenidos para el tiempo de obtención de resultados.....	95
Tabla 9. Resultados obtenidos para la densidad de información obtenida.....	97
Tabla 10. Ejemplo una estimación realizada para el proyecto de la Facultad de Contaduría y Administración.....	99
Tabla 11. Resultados obtenidos para la facilidad de operación.....	100
Tabla 12. Resultados obtenidos para el equipo y herramientas utilizadas.....	102
Tabla 13. Ejemplo de inversión para la implementación de BIM.....	108

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructuración del marco teórico.....	7
Figura 2. Vistas del modelo 4+1.....	26
Figura 3. Diferentes dimensiones de BIM.....	33
Figura 4. Los propósitos de los usos de BIM.....	36
Figura 5. Interfaz de usuario del software Microsoft Visual Studio 2015.....	55
Figura 6. Ejemplo de aplicaciones del software DevExpress 15.2.....	56
Figura 7. Interfaz del software Eyeshot 9.0.....	57
Figura 8. Interfaz de usuario del programa AutoCAD.....	59
Figura 9. Interfaz de usuario del software Autodesk Revit.....	61
Figura 10. Ejemplo de una familia en Revit dividida por niveles.....	62
Figura 11. Interfaz de usuario del software SincoWFI.....	69
Figura 12. Interfaz de usuario del programa iConverter.....	70
Figura 13. Interfaz de usuario del software ProFin.....	72
Figura 14. Modelo de Tablet Dell Venue Pro 11.....	74
Figura 15. Ejemplo del diagrama de clases UML del prototipo.....	82
Figura 16. Estructura de la base de datos relacional del formato IFC convertido.....	83
Figura 17. Plantas arquitectónicas del complejo habitacional Campocielo.....	85
Figura 18. Modelo BIM para comprobar el funcionamiento del software.....	85
Figura 19. Fachada sur de la Facultad de Contaduría y Administración.....	86
Figura 20. Ejemplo de modelado de elementos del proyecto.....	89
Figura 21. Ejemplo de la información precisa obtenida de un elemento del modelo BIM en el prototipo desarrollado.....	94

Figura 22. Ejemplo de la obtención de volúmenes exactos de un objeto específico...	99
Figura 23. Diagrama de caso de uso – Gestión de Modelos BIM.....	114
Figura 24. Interfaz de usuario de la gestión de modelos BIM.....	114
Figura 25. Diagrama de caso de uso – Gestión de Conjuntos de Ítems.....	121
Figura 26. Diagrama de caso de uso – Gestión de Actividades de la EDT.....	131
Figura 27. Diagrama de caso de uso – Asignación de Cuantificadores a las Actividades.....	133
Figura 28. Diagrama de caso de uso – Gestión de Avances de Trabajos.....	135
Figura 29. Interfaz de usuario del estimador de ProFin.....	137

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Planteamiento del Problema

La industria de la construcción está caracterizada por proyectos que son complejos de administrar y controlar, ya que incluye una gran cantidad de recursos de diversos tipos que son transformados mediante la ejecución de un gran número de operaciones y por un conjunto de diferentes actores que intervienen en el proceso. Como menciona González (2010), “esto se agrava debido a que poseen características que los hacen muy especiales tales como su naturaleza única y alto grado de incertidumbre, su multi elementalidad, la gran cantidad de personas y organizaciones que intervienen, una adjudicación altamente competitiva y retos siempre crecientes a los que se enfrenta la industria de la construcción, como el aumento constante de normas y restricciones, la aparición de nuevos avances en materiales y equipo, presupuestos con muy poco margen de utilidad, exigencias por reducir las duraciones, costos inestables en el tiempo, escasez de mano de obra calificada, etc.”

Además, la calidad en las construcciones y las propias políticas de calidad de las empresas constructoras, establecen un marco de mayores exigencias y desafíos al sector de la construcción en general. Es así como el correcto control y monitoreo de los recursos en general de una obra, se convierten en una parte muy importante de cualquier proyecto de construcción debido a que, con este seguimiento de avance, las actividades se tienen que ir revisando, y en su caso, reprogramando cuando sea necesario para alcanzar los objetivos planteados (Russell 1993).

En los últimos años la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) ha sufrido bajas tasas de productividad que están fuertemente relacionadas a cómo se administra la información del proyecto (Eastman *et al.* 2008).

De igual manera Shiau y Wang (2003) concuerdan con lo anterior, en que el ambiente desfavorable del negocio de la construcción está creando una fuerte competencia entre los contratistas locales. Debido a esto, es necesario para el éxito de las empresas la mejora de la administración de la información con el fin de elevar su competitividad.

La industria AIC ha venido implementando métodos tradicionales de administración de información de los proyectos, que son en su mayoría ineficientes debido al tiempo requerido y costo para la recopilación y procesamiento de información, además de su inexactitud, la falta de reutilización y su disponibilidad cuando se requiere dicha información (Hajian y Becerik-Gerber 2009; Arcudia *et al.* 2005).

Aunque muchos países están utilizando métodos modernos de construcción a gran escala, particularmente Escandinavia y Alemania, muchos otros países reconocen los beneficios de dichos métodos, pero no los utilizan ampliamente (Rahman 2014).

Es necesario reconocer el hecho de que también, durante los últimos años, el número de viviendas y el volumen de las obras de infraestructura han aumentado notablemente. Este hecho hace casi impracticable inspeccionar las obras basándose en el criterio tradicional de monitoreo, el cual consiste en vigilar cada una las jornadas de trabajo, supervisando cada uno de los aspectos técnicos y administrativos de una obra, verificando que hayan sido correctamente ejecutados y dando fe, en el terreno mismo, de su aplicación. Con el actual volumen de obras, el criterio antes señalado de inspección técnica sólo puede aplicarse superficialmente y con un grado de inexactitud elevado.

Generalmente, al finalizar un proyecto, el contratista tiene dificultades con respecto a los resultados obtenidos de la ejecución del proyecto, como pueden ser, las cantidades realmente realizadas y el gasto monetario de todos los elementos involucrados en la construcción. Debido a lo anterior, sólo se pueden realizar estimaciones inciertas para una aproximación "tentativa" de beneficio o pérdida para la empresa. Es en este contexto donde es cada vez más difícil obtener un beneficio, y donde realmente es necesario tener el control total de la ejecución de los proyectos constructivos (Shiau y Wang 2003).

Un buen sistema de control y monitoreo debería comunicar cada uno de los aspectos que intervienen en la obra. Por ende, una buena comunicación proveería de información y un estado aproximado de avance en el que se encuentra la obra.

## 1.2. Justificación

Los proyectos de construcción son indispensables para el desarrollo moderno, equilibrado y sustentable de un país; estos proyectos generan una infraestructura física que cada vez es más compleja y costosa de administrar.

Su contribución económica a nuestro país también es significativa, ya que aporta el 6.9% del Producto Interno Bruto. Además, el sector de la construcción genera empleo a aproximadamente 4.5 millones de hombres y mujeres que trabajan directamente en las obras que se realizan en el país cada año, y cerca de 1.8 millones de empleos de forma indirecta (CMIC 2013).

Los proyectos tienen que ser concebidos, diseñados, construidos y operados de una manera eficiente y eficaz ante la escasez de recursos y la fuerte competencia tanto interna como externa. A raíz de esto, se debe planear, prever, evaluar, pronosticar y controlar todos los aspectos del proyecto en calidad y cantidad de trabajo, costo y tiempo (Pérez 2004).

El objetivo del control de obra es el de revisar los procedimientos que se implementaron durante la ejecución y de esta manera emitir los pronósticos de las necesidades futuras de la obra para que esta sea terminada dentro de los parámetros fundamentales de costo, tiempo, calidad, seguridad y sustentabilidad establecidos en la planeación.

Además con un buen control de obra se puede controlar a corto plazo los rendimientos de la mano de obra, controlar los valores de los rendimientos previstos en la planeación de obra, y crear valores de rendimientos para la futura planeación.

Para obtener un buen avance de obra se debe emplear la técnica más apropiada para generar un adecuado seguimiento a la construcción. El elemento clave en este proceso de información es la correcta utilización del sistema de control que se esté empleando en el proyecto. Por consiguiente el correcto manejo de todos los datos va a depender de que se tengan sistemas de control y monitoreo lógicos y realizables, tanto en planeación como en reporte o informe de resultados. También es necesario que sea

eficiente y entendible para todos los involucrados en el proyecto, desde los altos directivos hasta los obreros (Olawale y Sun 2013).

Tanto Zhang *et al.* (2009) como Bohn y Teizer (2009), concuerdan en que en los proyectos de construcción, los administradores de campo normalmente utilizan una cantidad significativa de tiempo en la medición, registro y análisis del trabajo en proceso. Teniendo un control y administración del proyecto bien sostenido es vital para minimizar costos innecesarios. Los datos recogidos en períodos de tiempo aleatorios y de una forma no estandarizada no son tan útiles para la administración de proyectos como los datos recogidos con regularidad. Esta estandarización hace más evidente la identificación de problemas y desviaciones.

Entre los muchos beneficios atribuidos a la innovación de nuevos métodos están, por lo general, un aumento en el crecimiento económico de la empresa y un aumento de su productividad. Además, los beneficios de estos métodos modernos de construcción incluyen: reducciones en los residuos, defectos, tiempo, costos, riesgos para la salud y seguridad (reducción de accidentes), reducción del impacto ambiental, mejoras en las ganancias, previsibilidad y el desempeño de la vida útil de los edificios (Pan *et al.* 2007; Jaselskis *et al.* 2015).

De igual manera, si la industria AIC implementara el Modelado de la Información en la Construcción o BIM de una manera correcta, obtendría numerosos beneficios para ayudar, integrar, eliminar la ineficiencia y redundancia, mejorar la colaboración y en consecuencia la productividad total de todo el proceso de construcción (Campbell 2007). El empleo de BIM como un modelo en tiempo real rico en datos ampliaría dramáticamente su aplicación desde el diseño hasta la construcción y periodo de ocupación del inmueble, en donde sería posible monitorear y administrar toda la información del proyecto (Hajian y Becerik-Gerber 2009).

A diferencia del modelo en 3D tradicional, un modelo BIM también puede integrar información de tiempo y costos llamados modelos 4D y 5D respectivamente.

Además de aportar un alto nivel de inteligencia en el procesado y una fácil colaboración para el diseño y construcción de edificios, el modelo 4D entrelaza esta información con la programación del método de ruta crítica del proyecto, optimizando la cadena de

suministro, los plazos y las operaciones de la obra, colocando todos los datos en un modelo 3D visualmente más fácil de entender.

También tiene la capacidad de facilitar guías sencillas, visualmente intuitivas para los propietarios e interesados en la obtención de un análisis detallado de ejecución constructiva dirigida por una línea de tiempo. Ésta incluye simulaciones animadas en las que se indica el orden en que los trabajos van a ser completados.

El modelo 5D mejora la elaboración de presupuestos y estimaciones, y provee múltiples estimaciones interactivas para hacer comparaciones ágiles. Además, cuando se cambia el diseño, el impacto en el costo puede calcularse en tiempo real, facultando a los constructores a ayudar a los propietarios a mejorar el diseño y la toma de decisiones de ingeniería con un valor agregado.

Con la plataforma de implantación de medios informáticos para el desarrollo de BIM en 5D, se puede optimizar la administración del programa de obra, la administración de costos, de contratos, de los frentes de trabajo, de materiales, administración laboral, verificación de colisiones, entre otros. Gracias al modelo BIM 5D se mejora la gestión y la eficiencia de producción de las empresas constructoras y se reducen los costos de administración y producción.

Es importante para las empresas constructoras entender toda la problemática expuesta con anterioridad, ya que sólo de esta forma se podría tener un mayor control y ser más productivas.



## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Desarrollar un prototipo de software para el mejoramiento del monitoreo del avance de obra basado en un modelo BIM 5D.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar un modelo conceptual para el óptimo monitoreo del avance de una obra con base en un modelo BIM, utilizando sus propiedades geométricas, de tiempo y de costo.
- Programar un conjunto de herramientas de software para implementar el modelo conceptual.
- Validar el funcionamiento del prototipo desarrollado en una obra de edificación en proceso, comparándolo con el método de monitoreo tradicional.

## 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la aproximación teórica que respaldó este trabajo de acuerdo al análisis bibliográfico realizado, relacionado con el tema en cuestión, situando el problema planteado en el capítulo anterior dentro de un conjunto de conocimientos que permite orientar la búsqueda y ofrecer una conceptualización adecuada de los términos a utilizar. Este análisis fue de utilidad como marco de referencia para el planteamiento de la metodología diseñada para la resolución del problema.

En las siguientes páginas se abordan ideas referidas a los aspectos teóricos del mejoramiento de la toma de avances de obra en campo aplicando un modelo BIM orientado en un desarrollo tecnológico. El capítulo está estructurado en 11 subtemas como se muestra en la Imagen 1:

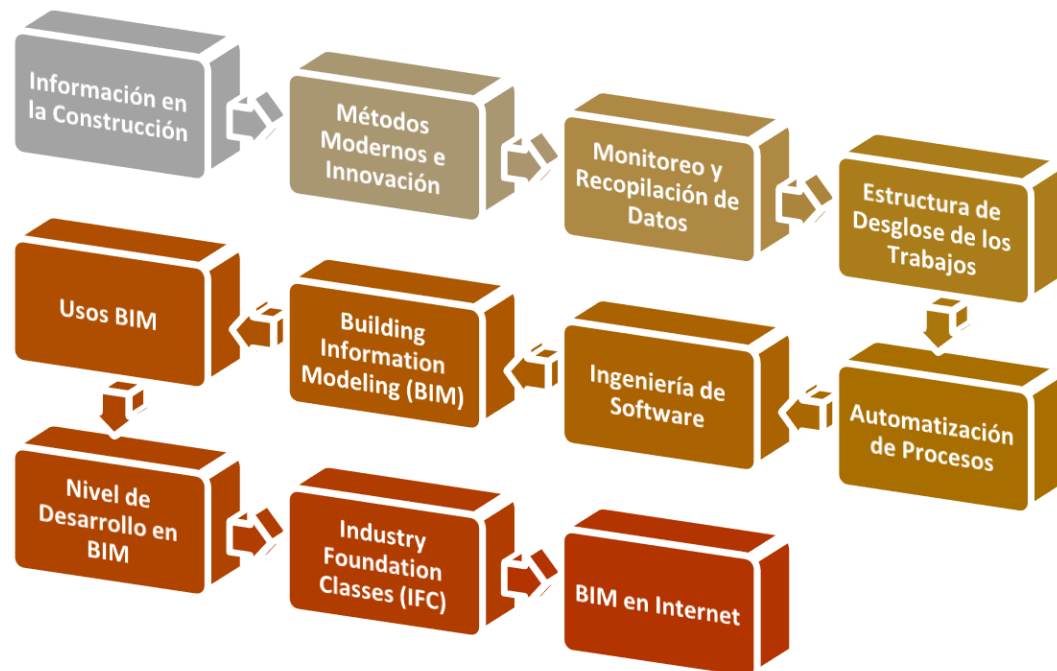


Figura 2. Estructuración del marco teórico.

## 2.1. Información en la Construcción

La información es de vital importancia para las empresas constructoras, tan importante como los recursos materiales y humanos. Además funciona como un eslabón fundamental que une todos los componentes de la organización, repercutiendo en una mejor operación y coordinación, y así asegurar la supervivencia de las empresas constructoras en un ambiente competitivo.

Como mencionan Hajian y Becerik-Gerber (2009), la información del proyecto incluye, pero no está limitada a: el diseño arquitectónico y estructural, contratos, contabilidad y finanzas, control de costos, envíos, taller de planos, solicitud de información, registros de seguridad, registros del sitio de trabajo, programación, control de avance, y registros de mantenimiento. El proceso de generar, recopilar, analizar y utilizar esta información se define como "administración de la información del proyecto".

Según Gómez y de Abajo (1998), la información está compuesta por datos que han sido situados en un contexto significativo y útil y ha sido comunicada a un receptor, quien la utiliza para tomar decisiones. La información evalúa, notifica, reduce la incertidumbre, revela alternativas adicionales o ayuda a eliminar las irrelevantes, e influye en otros individuos, estimulándolos a la acción.

John G. Burch (1997) menciona tres atributos que son indispensables para el fundamento de la calidad de la información los cuales son:

- **Exactitud:** significa que la información esté libre de errores, tendencias y desviaciones, que sea clara, que refleje adecuadamente el sentido de los datos en que se basa y que transmita una imagen al receptor.
- **Oportunidad:** hacer llegar la información a los receptores dentro del rango de tiempo necesario.
- **Relevancia:** la información debe responder de manera específica al receptor sobre el qué, porqué, dónde, cuándo, quién y cómo.

La fase de control de proyectos constructivos es la etapa donde la información de obra toma niveles críticos debido a la periodicidad y el volumen al que se puede llegar, que es directamente proporcional al volumen de la obra a ejecutar (Álvarez 1996).

A menudo, los procesos relacionados con la ejecución de proyectos de construcción son de naturaleza compleja, además de que se crea un potencial significativo de procesos que son cada vez más ágiles de realizar. Sin embargo la finalidad de entrega de los proyectos es que sean de alta calidad y más económicos.

El monitoreo y seguimiento de la ejecución de los proyectos de construcción juega un papel importante para el logro de este objetivo, pero suele ser una tarea difícil y complicada debido al constante cambio del entorno del lugar de trabajo. Aunque el control de obra del proyecto en la mayor parte de la industria de la construcción sigue siendo principalmente una tarea manual mediante la inspección visual y listas de control basados en papel, los participantes del proyecto, tales como propietarios, arquitectos, contratistas y subcontratistas recurren cada vez más al uso de tecnologías para automatizar y actualizar la recolección de datos de información de rendimiento en el sitio (Bohn y Teizer 2009).

## **2.2. Métodos Modernos e Innovación**

Para que la información obtenida en la industria de la construcción pueda ser adquirida de una forma eficiente y eficaz, es necesario contar con métodos cada vez más avanzados y sofisticados que mejoren la obtención de dicha información, de una manera rápida y con la mayor calidad posible.

La innovación se considera como un hecho poco habitual en la industria de la construcción, aunque en la actualidad se produce constantemente en todos los sectores de esta industria. Además, las empresas del sector, ya sean internas o externas, así como los clientes, están interesados en tecnologías y diseños innovadores relativos a los materiales, componentes, sistemas, métodos, equipos, administración, u otras áreas relacionadas. Esta innovación se distingue claramente de la invención; “la invención es un diseño detallado o modelo de un proceso o producto que se distinguen claramente como novedoso en comparación con los modelos existentes. Innovación, por otro lado, es el uso actual de un cambio no trivial y/o el mejoramiento de un proceso, producto o sistema que es novedoso a la institución que desarrolla el cambio. Una innovación no requiere un diseño detallado o

manifestación física, y no tiene que ser novedosa con respecto a los modelos existentes, sino sólo a la organización creadora” (Slaughter 1998).

Aunque la adopción de métodos modernos en la construcción es limitada, tienen el potencial de satisfacer las crecientes demandas de vivienda, comercios, infraestructura, etc. y beneficiar a la industria de muchas otras maneras. Sin embargo, han surgido preocupaciones sobre varios temas, incluyendo el costo de los métodos modernos de construcción, la capacidad de la industria, la calidad del tipo de viviendas, la aceptación pública y las regulaciones de planificación y construcción. Por lo tanto, se debe realizar una búsqueda continua para examinar los beneficios y barreras de los métodos modernos en la construcción, así como para identificar estrategias para superarlas (Rahman 2014; Lu 2015).

La revisión de la literatura indica que las barreras comunes, desventajas y problemáticas de los métodos modernos en los diferentes ámbitos de la construcción, se pueden agrupar en ocho grandes partidas relacionadas con el costo, habilidades y experiencia, la motivación y la cultura, herramientas y normas, el mercado de los métodos modernos de construcción, la industria, la interfaz y flexibilidad, y los proyectos (Rahman 2014; Liberatore *et al.* 2001).

Para el desarrollo efectivo de un nuevo modelo de innovación en la construcción, se debe tomar en cuenta la combinación de los atributos de los inmuebles construidos (escala, complejidad y durabilidad de los inmuebles, así como los contextos organizacionales y sociopolíticos) que influyen en la naturaleza de la innovación y la forma en que es desarrollada, adquirida e implementada (Slaughter 1998).

### **2.3. Monitoreo y Recopilación de Datos**

A pesar de todas las innovaciones y avances en equipos de construcción y técnicas de gestión, la complejidad inherente y la naturaleza dinámica de proyectos de construcción y, junto con el hecho de que la construcción se lleva a cabo en un ambiente generalmente al aire libre, muchas veces es difícil mantener el progreso como fue planeado durante la ejecución real (Lee y Peña-Mora 2006). Estas

situaciones dan lugar a programas de obra mal ejecutados y costos excesivos, que son frecuentes en la industria de la construcción (Fard y Peña-Mora 2007).

La recopilación de datos es la tarea más fundamental en el proceso de monitoreo de un proyecto constructivo. En la industria de la construcción, los proyectos generalmente son muy dinámicos y necesitan de una gran cantidad de información actualizada en el momento indicado, representando una gran esfuerzo por parte de quienes desempeñan el trabajo de monitoreo (Álvarez 1996).

Shiau y Wang (2003) definen este monitoreo, como el registro de trabajo diario y eventos ocurridos en el sitio, el cual es el núcleo de la administración del sitio. Con la información obtenida a través de los acontecimientos diarios, realizada mediante una recopilación y análisis de datos adecuado, se pueden entregar informes sobre el costo, avance y calidad de la construcción. Con este reporte, también se registra una variedad de acontecimientos de todo el sitio, clasificando la información del evento en información de ingeniería, mano de obra, equipo, material, cantidad lograda, ubicación del trabajo, elementos de ensayo, eventos del sitio, llenado de formularios, etc.

En la construcción de edificios, la duración promedio de actividades está especificada típicamente en el rango de días. Sin embargo, la frecuencia promedio para la recolección manual de datos y presentación de informes se realiza de manera semanal, e incluso en algunos casos de forma mensual. La ausencia de información precisa y actualizada según lo construido inhabilita la capacidad de los gerentes para controlar el programa, costos y otros indicadores de desempeño. Esto a su vez reduce su habilidad para detectar o administrar la variabilidad y la incertidumbre inherente a las actividades del proyecto (Navon y Sacks 2007).

Una de las opciones para el pago de las estimaciones, es la realizada de forma semanal y está en función de los trabajos realizados durante este período. Para calcular el importe del pago, el residente de la construcción debe determinar el avance que cada contratista y su personal alcanzaron en cada una de las tareas en las estuvieron trabajando. La toma de los datos del avance la realizan los residentes de la constructora, directamente en campo, generalmente los días jueves por la tarde o viernes por la mañana. Los residentes recorren la obra y van recopilando los datos en

formatos diseñados para este propósito mediante observación directa. Se registra el avance en términos de porcentaje a nivel de partida en una hoja de estimación que contiene las partidas relativas a un tipo de contratista (por ejemplo, plomería, electricidad, albañilería, etc.).

La cédula de registro contiene el código de identificación de la vivienda, el nombre del contratista, el porcentaje acumulado hasta la semana anterior, la estimación de la semana anterior y un espacio en blanco para registrar el porcentaje de estimación semanal. También contiene los montos expresados en dinero de lo que se ha pagado por grupo de partidas, así como el faltante por estimar, también expresado en dinero. Al terminar su recorrido, los residentes envían estos formatos, generalmente a la oficina de la empresa, para que los datos se capturen en algún sistema de procesamiento (Álvarez 1996; Pech 2005).

El proceso explicado anteriormente consume gran cantidad de tiempo para los residentes y presenta varias deficiencias y problemas. Primeramente se presenta dos procesos diferentes de captura datos, el que realiza el residente en los formatos físicos en la obra y el que se realiza en la oficina, para transferir los datos de los formatos al sistema de procesamiento. Esto, además de que consume tiempo, aumenta la probabilidad de cometer errores al leer los datos de los formatos o bien al capturarlos en el sistema.

En segundo lugar, el manejo de los formatos en la obra se vuelve engorroso por la cantidad de hojas de papel necesarias, que luego son desechadas después de su utilización, provocando el desperdicio de recursos. También, como la información del avance se realiza generalmente desde los jueves y el período a pagar abarca hasta el sábado, los residentes acostumbran a incluir en los avances los trabajos que aún no se realizan pero que consideran que se van a realizar hasta el día sábado; sin embargo al ser un período relativamente largo, es frecuente que se equivoquen en los avances estimados.

Finalmente, ni el contratista ni el residente pueden conocer el monto real de los pagos al terminar de registrar los avances, sino hasta que se completa el procesamiento en la oficina, de manera que carecen de información que les pueda ser de utilidad en la

selección de los trabajos a los que les debe prestar mayor atención (Álvarez 1996; Pech 2005).

Además de todo lo anterior, es difícil desarrollar programas de obra y realizar el seguimiento de los avances de la administración de las operaciones de campo a un nivel de detalle requerido. La falta de un método de reorganización tan flexible presenta actualmente un obstáculo fundamental para facilitar el uso de sistemas de información para el control del proyecto más allá del diseño. En general, se necesitan métodos flexibles para la abstracción y la representación de los componentes del edificio para permitir la vinculación efectiva entre los datos de campo y componentes asociados (Hwang y Liu 2010).

Un enfoque para minimizar los errores y cambios frecuentes es el desarrollo de un proceso efectivo de monitoreo del avance en tiempo real (Slaughter 1998). Si las discrepancias entre el progreso planeado y construido son capturados rápidamente, se podrían aplicar medidas de control adecuadas. Por lo tanto, los medios de representación de estas discrepancias es una de las claves para apoyar el proceso de toma de decisiones para las acciones de control (Lee y Peña-Mora 2006). Este proceso de toma de decisiones involucra y afecta a muchos de los diferentes equipos de la industria AIC y a los propietarios, que tienen poco conocimiento acerca de las situación del proyecto (Fard y Peña-Mora 2007).

Existen diversos estudios realizados en cuanto al monitoreo de avances de obra; al respecto, Shiao y Wang (2003), elaboraron un estudio cuyo objetivo principal se enfocó en el desarrollo de un módulo de informes diarios, la estimación y el sistema de precios, el diseño de sistemas de control de modificaciones y un sistema de contabilidad de proyectos, con el fin de recopilar la información diaria de la administración del sitio para la estimación del valor de la ingeniería actual, lo cual solucionaría problemas de entrada inexacta de registros del sitio, trabajos repetitivos, altos errores humanos de mecanografía, sobreestimar o subestimar el valor de ingeniería, etc. También para el registro de los elementos de trabajo y las cantidades resultantes de la modificación del diseño exigido por el cliente o diseñador, así como la cantidad final e importe de cada proyecto, a fin de controlar los costos reales de los proyectos.



El reporte diario del sitio no es sólo una hoja de reporte diario; se debe utilizar junto con otros formularios tales como el registro climático, cronograma de avance, horas de trabajo diarias, registro de utilización de equipos, estructura de desglose de los trabajos, cantidad de formularios, etc., y lo más importante, el cronograma de avance de ingeniería y el diagrama de flujo de trabajo (Shiau y Wang 2003). Sin embargo, un método como el explicado anteriormente, y sin la ayuda de un sistema para la obtención de información de forma automática, implicaría la utilización de un gran cantidad de tiempo para elaborar diariamente los reportes y la realización del monitoreo en obra.

## **2.4. Estructura de Desglose de los Trabajos**

Otro tipo de información de importancia que fue de utilidad para esta tesis, estuvo relacionada con los costos y duración de las actividades del proyecto que se obtuvieron del presupuesto y programa de obra. Esta información va de la mano del monitoreo y toma de avances de obra.

La organización de un presupuesto debe manejarse con una estructura de desglose de los trabajos (EDT) que en los países de habla inglesa se conoce como Work Breakdown Structure (WBS).

La EDT es la descomposición jerárquica del alcance total del trabajo a ser realizado por el equipo del proyecto para cumplir con los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos. Organiza y define el alcance total del proyecto.

Consiste en subdividir los entregables en partes más pequeñas y más manejables hasta que el trabajo y los entregables estén definidos al nivel de paquetes de trabajo. A ese nivel, el costo y la duración de las actividades del trabajo pueden ser estimados y gestionados de manera fiable (Wuttke *et al.* 2014).

Para poder obtener la EDT se necesita del presupuesto de la obra. Este a su vez, se puede realizar en alguno de los programas de presupuestos y precios unitarios más comunes y difundidos. Entre estos programas se puede mencionar: Opus, Neodata y SincoWfi.

## 2.5. Automatización de Procesos

Como hemos visto anteriormente, la administración de la información es una de las áreas que se han beneficiado en gran medida por las tecnologías facilitadoras. Tradicionalmente, el control de proyectos en el sitio requiere un gran esfuerzo para controlar las operaciones en curso y para recoger datos de campo de las operaciones. La mayoría de las actividades de control se llevan a cabo de forma manual, por lo que el control en el sitio tiende a consumir una gran cantidad de tiempo y es propenso a errores. Buscando una solución al problema, la industria AIC ha perseguido durante décadas el control de proyectos automatizado. Como resultado, se han desarrollado varios sistemas de adquisición de datos automatizado en tiempo real. Algunos de ellos han demostrado potencial para la automatización de control del proyecto pero hasta un cierto punto. Dependiendo del propósito previsto, la mayoría de esos sistemas mantienen una función específica de control de proyectos, por ejemplo, monitoreo del progreso, control de calidad y control de seguridad (Hwang y Liu 2010; Pech 2005).

Se ha producido una gran cantidad de información para el control de proyectos en el área de sistemas en tiempo real automatizados. El propósito de dichos sistemas existentes varía y cada uno implementa una variedad de tecnologías diferentes dependiendo de su propósito primario. Sin embargo, el núcleo de la mayoría de los sistemas en tiempo real existentes, es en general una función para la adquisición automática de datos de campo. Vale la pena señalar que, si bien la mayoría de los sistemas de control en tiempo real sirven directamente a una función específica para el control del proyecto, los datos o información recogidos por los sistemas pueden ser utilizados para una variedad de propósitos (Hwang y Liu 2010; Navon y Goldschmidt 2003).

Para poder contar con una administración de información eficiente, es necesaria esta búsqueda de automatización, ya que como menciona Shiau y Wang (2003), siempre hay una necesidad de cambio en cada proyecto ya sea debido a los requisitos funcionales del cliente, estipulaciones de las normas de arquitectura, la necesidad de la interfaz de construcción o puramente debido a los requisitos de diseño. Debido a lo

anterior, es necesario realizar modificaciones en la configuración de planos, alturas, materiales, tamaño y equipamiento, etc.

Con el fin de recopilar datos de campo de forma automática o semiautomática, los sistemas implementan diversas tecnologías de la información y técnicas informáticas; por nombrar algunos: identificación de radiofrecuencia (RFID), sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de banda ultra ancha (UWB), sensores embebidos, escáner láser 3D, Flash LADAR, cámara de vídeo de alta resolución, fotogrametría digital, comunicación inalámbrica Wi-Fi, utilización de Tablets PC, entre otros, los cuales han ofrecido oportunidades para afrontar algunas de las desventajas de las prácticas actuales de recopilación de datos (Hajian y Becerik-Gerber (2009);Hwang 2003; Bohn y Teizer 2009). Una notable limitación de este tipo de tecnologías es que es difícil de implementarlas para rastrear y monitorear procesos y el entorno asociados con el trabajo interior realizado en un área confinada. La condición se agrava aún más cuando hay muchos objetos y obstáculos en la zona (Hwang y Liu 2010).

El avance en los sistemas de adquisición de datos de campo automatizado permite una colección de datos y conocimiento más preciso sobre los procesos y operaciones en el sitio. Dichos activos de información críticos se pueden almacenar de manera colectiva y administrar efectivamente dentro de un sistema de información. Utilizando la representación ontológica de BIM, se pueden vincular datos y conocimientos asociados con los componentes y objetos de edificios. Esto permitirá el almacenamiento eficaz, mantenimiento y reutilización de datos y conocimientos (Hwang y Liu 2010).

Hace algunas décadas, la preocupación de los administradores era cómo generar la información antes descrita, pero ahora también se ha tornado un problema el manejo de la misma una vez generada.

Tan importante como la selección del equipo, el diseño de los programas a utilizar en el sistema, y otras actividades no menos importantes, es el diseño de la infraestructura con que se va a manejar la información generada por el nuevo sistema automatizado.

De ahí la necesidad de incluir como parte de un proyecto de análisis, diseño e implementación de un sistema automatizado, el diseño de un efectivo sistema de almacenamiento de datos.

## **2.6. Ingeniería de Software**

La mayoría de las herramientas y procedimientos antes mencionados, han sido desarrollados siguiendo una disciplina llamada Ingeniería de Software. Los profesionales en el campo de la administración de proyectos tienen un fuerte interés en mejorar su rendimiento utilizando tecnologías de información disponibles para una mejor planeación y control de proyecto.

Un producto de software no se limita solo a programas de computadora, sino a la documentación asociada a este en las distintas etapas que interviene, desde su concepción, análisis, diseño e implementación, hasta las pruebas y mantenimiento.

La ingeniería del software es una disciplina o área de las ciencias de la computación que ofrece métodos y técnicas para desarrollar y mantener software de calidad que resuelve problemas de todo tipo. Está basado en el proceso formal de desarrollo de software en el que las necesidades del usuario se traducen en requerimientos, los cuales son transformados en diseño. Seguidamente, éste se implementa en código (programación) que se prueba, documenta y se certifica para su uso operativo (Pressman 2002).

El reciente aumento de aplicaciones en donde se utiliza la computadora ha sido posible debido a un hardware de bajo costo, por lo cual la demanda de software ha crecido de forma exponencial. Esto implica que son necesarias técnicas y tecnología eficientes de Ingeniería de Software para resolver los múltiples problemas que se derivan de las aplicaciones en donde se desarrollan sistemas software de gran tamaño.

La ingeniería de software dispone de varios modelos, paradigmas y filosofías de desarrollo, que se conocen como modelos o ciclos de vida del desarrollo de software. La finalidad de cada uno de estos modelos es pretender, de una manera u otra, que se proporcione un orden al complicado proceso de desarrollo del software.

Estos modelos incluyen el proceso que se sigue para construir, entregar y hacer evolucionar el software, desde la concepción de una idea hasta la entrega y el retiro del sistema y representa todas las actividades y artefactos (productos intermedios) necesarios para desarrollar una aplicación. Se trata de un punto fundamental del proceso, y es muchas veces la clave del éxito de un producto informático.

Algunos tipos de modelos son:

**Modelo lineal secuencial:** También conocido como modelo de cascada, este modelo, se basa en un enfoque sistemático y secuencial del desarrollo del software que comienza en un nivel de sistemas y progresa con el análisis, diseño, codificación, pruebas, y mantenimiento.

**Modelo de Cascada:** incluye las actividades fundamentales del proceso de desarrollo de software. En este modelo para comenzar con la siguiente actividad se necesita haber terminado o pasado por una de las etapas anteriores. Este modelo también se conoce como ciclo de vida del software. Una de las desventajas del modelo en cascada es la necesidad de terminar las etapas anteriores para comenzar con la siguiente, dando como resultado un tiempo de desarrollo más largo.

**Modelo incremental o iterativo:** Es un proceso de desarrollo de software, creado en respuesta a las debilidades del modelo tradicional de cascada, es decir, este modelo aplica secuencias lineales como el modelo en cascada, pero de una manera iterativa o escalada, según como avance el proceso de desarrollo, y con cada una de estas secuencias lineales se producen incrementos (mejoras) del software.

Se debe tener en cuenta que el flujo del proceso de cualquier incremento puede incorporar el paradigma de construcción de prototipos, ya que como se mencionó anteriormente, este tipo de modelo es iterativo por naturaleza, sin embargo se diferencia en que este busca la entrega de un producto operacional con cada incremento que se le realice al software (Pressman 2002).

**Modelo orientado a objetos:** En este método, la construcción del sistema se realiza mediante la identificación y especificación de un conjunto de objetos relacionados que se comportan y colaboran entre sí de acuerdo a los requerimientos establecidos para el sistema de objetos. En la programación orientada a objetos las entidades centrales

son los datos (objetos). Estos objetos se comunican entre sí mediante el uso de mensajes y el conjunto de objetos que responden a los mismos mensajes se implementan mediante clases, las cuales describen e implementan todos los métodos que capturan el comportamiento de sus instancias.

La implementación está totalmente oculta (encapsulada) dentro de la clase, de modo que puede ser extendida y modificada sin afectar al usuario. Una clase es como un módulo. Sin embargo, también es posible extender y especializar una clase (mecanismo de herencia).

El modelo orientado a objetos tiene dos características principales, las cuales ha favorecido su expansión:

- Permite la reutilización de software en un grado significativo.
- Su simplicidad facilita el desarrollo de herramientas informáticas de ayuda al desarrollo, el cual es fácilmente implementada en una notación orientada a objetos llamado UML.

El proceso de desarrollo de software está conformado por las siguientes etapas:

**Análisis de requerimientos:** Se debe identificar sobre que se está trabajando, es decir, el tema principal que motiva el inicio del estudio y creación del nuevo software o modificación de uno ya existente, identificando a su vez los recursos con los que se cuenta. Es importante entender el contexto del negocio para identificar adecuadamente los requisitos.

Se tiene que tener dominio de la información de un problema, lo cual incluye los datos fuera del software (usuarios finales, otros sistemas o dispositivos externos), los datos que salen del sistema (por la interfaz de usuario, interfaces de red, reportes, gráficas y otros medios) y los almacenamientos de datos que recaban y organizan objetos persistentes de datos.

**Arquitectura y diseño:** Es la tarea de describir detalladamente el software, el comportamiento esperado y su interacción con los usuarios y/u otros sistemas.

Dentro de esta etapa, es fundamental que a través de la colección de requerimientos funcionales y no funcionales descritos anteriormente, el desarrollador del software

comprenda completamente la naturaleza de los programas que deben construirse para desarrollar la aplicación, la función requerida, comportamiento, rendimiento e interconexión. Entre las técnicas utilizadas para la especificación de requisitos se encuentran los casos de uso.

Esta etapa también se debe especificar cómo será la **interface de usuario**. De forma abreviada en inglés, también se le denomina Graphic User Interface (GUI), o User interface (UI), es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.

**Codificación o programación:** En esta etapa se traduce el diseño a código. Es la parte más obvia del trabajo de ingeniería de software y la primera en que se obtienen resultados “tangibles”. No necesariamente es la etapa más larga ni la más compleja aunque una especificación o diseño incompletos/ambiguos pueden exigir que, tareas propias de las etapas anteriores se tengan que realizarse en esta.

**Prueba:** Consiste en comprobar que el software responda y realice correctamente las tareas indicadas en la especificación. Es una buena praxis realizar pruebas a distintos niveles (por ejemplo primero a nivel unitario y después de forma integrada de cada componente) y por equipos diferenciados del de desarrollo (pruebas cruzadas entre los programadores o realizadas por un área de test independiente).

**Mantenimiento:** Fase dedicada a mantener y mejorar el software para corregir errores descubiertos e incorporar nuevos requisitos. Esto puede llevar más tiempo incluso que el desarrollo del software inicial. Alrededor de 2/3 del tiempo de ciclo de vida de un proyecto está dedicado a su mantenimiento. Una pequeña parte de este trabajo consiste eliminar errores (bugs); siendo que la mayor parte reside en extender el sistema para incorporarle nuevas funcionalidades y hacer frente a su evolución (Pressman 2002).

### 2.6.1. Programación Orientada a Objetos

Para objeto de esta investigación, la programación estará orientada a objetos ya que es un paradigma de programación que utiliza la abstracción para crear modelos basados en el entorno del mundo real. Una aplicación orientada a objetos usa una colección de objetos que se comunican mediante mensajes para solicitar servicios. El objetivo de la programación orientada a objetos es tratar de aumentar la flexibilidad y facilidad de mantenimiento de los programas. Dado que los programas creados utilizando un lenguaje orientado a objetos son modulares, pueden ser más fáciles de desarrollar y más simples de entender después del desarrollo.

En la programación orientada a objetos los módulos principales conforman un programa de clases en lugar de tener rutinas. Este enfoque permite crear clases y objetos tomando a los objetos del mundo real como modelo.

Una **clase** es una colección de objetos que tienen propiedades y comportamientos comunes. Es una combinación de campos de datos y métodos. En los lenguajes orientados a objetos una clase es un tipo de datos y los objetos son instancias de ese tipo de datos. En otras palabras, las clases son prototipos a partir de los cuales se crean objetos.

Un **objeto** es una instancia de una clase o unidad abstracta. Un objeto no es más que un conjunto de variables (o datos) y métodos (o funciones) relacionados entre sí. Los objetos en programación se usan para modelar objetos o entidades del mundo real. Un objeto es, por tanto, la representación en un programa de un concepto, y contiene toda la información necesaria para abstraerlo: datos que describen sus atributos y operaciones que pueden realizarse sobre los mismos.

Todos los objetos del mundo real comparten dos características: **propiedades y comportamientos**. Comenzar a pensar de una manera orientada a objetos es identificar estas propiedades y comportamientos. La complejidad de los objetos puede diferir, ya que hay objetos que pueden tener más propiedades y comportamientos más complejos que otros.

Los objetos de una clase tienen una serie de propiedades compartidas. Los campos de datos son las variables contenidas en una clase que se utilizan para representar



estas propiedades. Los valores de los campos pueden ser asignados al hacer la llamada al constructor del objeto, que es el método al que se llama para crear e inicializar un objeto.

Cada clase tiene operaciones asociadas a ella. Las operaciones asociadas con una clase, junto con los atributos de una clase, están encapsuladas dentro de la clase. Estas operaciones son los **métodos**. Los métodos son funciones que representan las operaciones asociadas a una clase en particular. Los campos de datos y los métodos conforman los componentes de la clase.

La **encapsulación** es la capacidad de un objeto para ocultar sus datos y sus métodos al resto del mundo. Debido a esto, el usuario puede ver el objeto como una caja negra que ofrece servicios. Se pueden añadir, eliminar o cambiar campos de datos y métodos pero siempre que los servicios prestados por el objeto sigan siendo los mismos. De esta forma el código que utiliza este objeto puede seguir siendo utilizado sin ser reescrito.

Al grado en que una clase depende de otras clases se le llama **dependencia**. En un buen diseño se deben tratar de minimizar las dependencias. Las clases deben ser unidades autónomas que tengan una baja dependencia de otras clases, es decir, la comprensión y el uso de una clase no debería requerir la comprensión de otra clase. Con baja dependencia, un cambio en un módulo no requerirá cambios en otros módulos.

La **herencia** en la programación orientada a objetos se refiere a que en algunas clases se pueden compartir ciertas características en común, pero también pueden tener otras propiedades que las hacen diferentes. La programación orientada a objetos permite que las clases hereden datos y comportamientos comunes de otras clases.

Para ello, se produce una jerarquía de herencia que consiste en relaciones entre padres e hijos, es decir, la herencia se utiliza para especializar una clase padre y a su vez crear una clase hija que utilice los métodos de la clase padre y sus propios métodos.

Entre los beneficios de la programación orientada a objetos se pueden mencionar:

- **Modularidad:** El código fuente de una clase puede ser escrito y mantenido independientemente del código fuente de otras clases.
- **Encapsulación:** Al interactuar sólo con los métodos de un objeto, los detalles de su implementación interna permanecen ocultos del mundo exterior.
- **Reutilización del código:** Si ya existe una clase, se puede utilizar en un programa sin tener que volverla a crear.
- **Depuración fácil:** Si un objeto en particular resulta ser un problema solo hay que reemplazarlo por un objeto diferente.

### 2.6.2. Metodologías Ágiles

Como toda industria, la de software, también tiene normas y pasos a seguir para ayudar a los desarrolladores en la producción: las metodologías de desarrollo de software.

A través de los años han surgido diferentes metodologías. Algunas hacen más énfasis en el control del proceso, estableciendo rigurosamente las actividades y los artefactos que se deben producir, las herramientas y notaciones a utilizar, las cuales se denominan metodologías tradicionales; y otras denominadas metodologías ágiles se centran más en las personas que en el proceso, dan mayor valor al individuo, al equipo de desarrollo y a su colaboración con el cliente; proponiendo un desarrollo incremental del software con iteraciones muy cortas y la documentación necesaria.

Las metodologías ágiles siguen una combinación del modelo de desarrollo de software evolutivo y el modelo incremental mediante ciclos de desarrollo cortos (cada uno depende de la metodología que se utilice) y entregas continuas de software funcional.

Se pretende utilizar la metodología ágil en este trabajo debido a que se puede obtener un desarrollo incremental del software con iteraciones muy cortas. Este enfoque está mostrando su efectividad en proyectos cuando se exige reducir drásticamente los tiempos de desarrollo pero manteniendo una alta calidad. El desarrollo de software es incremental, cooperativo, sencillo y adaptado.

Una de las cualidades más destacables de la metodología ágil es su sencillez, tanto en su aprendizaje como en su aplicación, reduciéndose así los costos de implantación en un equipo de desarrollo.

En esta metodología la especificación de requisitos de software no es tan importante. No se necesitan todos y cada uno de los requisitos que tiene que implementar el software, porque se van descubriendo estos requisitos progresivamente según avanza el proyecto.

Las necesidades del producto software se van tomando, detallando y ajustando mientras el proyecto avanza. Ya no se basa en la especificación de requisitos en un documento sino que se basa en la interacción con los usuarios, es decir, esta metodología es flexible al cambio.

Además la prueba del software ya no es una etapa final después de haber desarrollado el producto sino que se integra en la todo el proceso del creación del software.

### **2.6.3. Extreme Programming (XP)**

Dentro de las metodologías ágiles, se encuentra el método de Extreme Programming (XP) o Programación Extrema que es capaz de adaptarse a los cambios de requisitos en cualquier punto de la vida del proyecto. Esta es una aproximación mejor y más realista que intentar definir todos los requisitos al comienzo del proyecto e invertir esfuerzos posteriores en controlar los cambios en los requisitos.

La programación extrema es una metodología ágil para el desarrollo de software destinada a ser utilizada por equipos de desarrollo pequeños y medianos (de 2 a 10 miembros) que se enfrenten a proyectos con requerimientos imprecisos o cambiantes. Las relaciones desarrollador-desarrollador y desarrolladores-cliente son fundamentales en esta metodología. La adopción del cliente como un miembro más del equipo de desarrollo es la clave del éxito.

Se puede considerar la programación extrema como la adopción de las mejores metodologías de desarrollo de acuerdo a lo que se pretende llevar a cabo con el proyecto y aplicarlo de manera dinámica durante el ciclo de vida del software.

El ciclo de vida ideal del Extreme Programming constará de 6 fases: exploración, planificación, iteraciones, producción, mantenimiento y muerte del proyecto.

El proyecto iniciará con una fase de exploración donde se establecerán las bases para que el desarrollo sea exitoso. El plan de entrega a seguir se concebirá durante la planificación, con la participación del cliente y los desarrolladores. A continuación tendrá lugar una serie de iteraciones que no concluyen hasta obtener una primera versión del sistema. Seguidamente se pondrá en producción esta versión y comenzará el mantenimiento donde se mantendrá el sistema funcionando y se implementarán nuevas funcionalidades si se requiere. La fase de mantenimiento no se implementará en este trabajo debido a que se utiliza para obtener nuevas versiones del sistema; cada nueva entrega, debe comenzar por una fase de exploración y es ahí cuando se cierra el ciclo.

#### **2.6.4. Modelo 4+1 de Kruchten**

El modelo “4+1” de Kruchten, es un modelo de vistas que se utiliza para describir la arquitectura de un sistema de software intensivo basado en el uso de múltiples puntos de vista.

Kruchten (1995) propone el modelado de arquitecturas utilizando cuatro diferentes vistas y una vista de casos de uso para ilustrar y validar las otras vistas. Cada vista aborda un enfoque específico de la arquitectura para un conjunto particular de actores. Con este modelo se van a obtener los “planos” para desarrollar el software para el monitoreo del avance de una obra con base en un modelo BIM.

Kruchten define las siguientes vistas:



Figura 2. Vistas del modelo 4+1.

**Vista Lógica:** Establece los requisitos funcionales del sistema y de lo que el sistema deberá de hacer, las funciones y servicios que se definirán. Representará los requerimientos funcionales del sistema, usando abstracciones elaboradas desde el dominio del problema. Esta vista es utilizada por el usuario final para asegurarse que todos los requerimientos funcionales han sido considerados en la implementación del sistema.

**Vista de Despliegue o Vista de Desarrollo:** esta vista describe la organización estática de software en los ambientes de desarrollo. Es una importante característica de lógica en casos de vistas, autónomas, persistentes y de distribución, describe la participación en diferentes operaciones, determina si existe persistencia entre un objeto y otro, además determina el estado de los objetos y operaciones de accesibilidad por muchos nodos.

La vista de desarrollo tiene en cuenta los requisitos internos relativos a la facilidad de desarrollo, administración del software, reutilización y elementos comunes, y restricciones impuestas por las herramientas o el lenguaje de programación que se use.

Esta vista es utilizada por los líderes de proyecto y programadores, y tendrá como fin ayudar en la planeación y la evaluación del progreso del proyecto.

**Vista de Procesos:** En esta vista se escribe el diseño de concurrencia y aspectos de sincronización. Especifica las líneas de mando que ejecutan cada operación en cada una de las clases señaladas en la vista lógica. Los diseñadores realizan esta vista en varios niveles de abstracción, además de dividir el software en conjuntos independientes de tareas, es decir, se empaqueta en pequeños programas o librerías del subsistema.

La vista de procesos se describe en varios niveles de abstracción, donde cada nivel se refiere a distintos intereses. El nivel más alto puede verse como un conjunto de redes lógicas de programas comunicantes (llamados “procesos”) ejecutándose en forma independiente, y distribuidos a lo largo de un conjunto de recursos de hardware conectados mediante un bus, una LAN o WAN. Múltiples redes lógicas pueden usarse para apoyar la separación de la operación del sistema en línea, del sistema fuera de línea, así como también para apoyar la coexistencia de versiones de software de simulación o de prueba.

Un proceso es una agrupación de tareas que forman una unidad ejecutable. Los procesos representan el nivel al que la arquitectura de procesos puede ser controlada tácticamente. Además, los procesos pueden replicarse para aumentar la distribución de la carga de procesamiento, o para mejorar la disponibilidad.

**Vista Física:** Tomará en cuenta primeramente los requisitos no funcionales del sistema tales como la disponibilidad, confiabilidad (tolerancia a fallas), performance (throughput), y escalabilidad. Con esta vista se mostrará la representación de cómo están distribuidos los componentes entre los distintos equipos que conformarán la solución incluyendo los servicios. Los elementos definidos en la vista lógica se mapearán a componentes de software o de hardware.

La vista física contendrá los nodos que formarán la topología de hardware sobre la que se ejecutará el sistema. Se preocupa principalmente de la distribución, entrega e instalación de las partes que constituyen el sistema. Los ingenieros en sistemas desarrollan esta vista para determinar la topología del sistema y los requerimientos de comunicación entre los distintos componentes.

**Vista +1 o Vista de Escenarios:** Esta vista estará representada por los casos de uso del software y tendrá la función de unir y relacionar las otras 4 vistas, esto quiere decir que desde un caso de uso podremos observar cómo se van ligando las otras 4 vistas, con lo que se tendrá una trazabilidad de componentes, clases, equipos, paquetes, etc., para realizar cada caso de uso.

Un escenario describirá parcialmente el comportamiento de la aplicación en un momento específico. La utilización de escenarios implicará la identificación de distintas situaciones y describirá la acción a llevar a cabo. Los mismos serán de gran ayuda en el momento de especificar requerimientos (Kruchten 1995).

## **2.7. Building Information Modeling (BIM)**

Con base en la ingeniería de software, un concepto que será de utilidad para el desarrollo tecnológico que se creará, es el de BIM.

El Modelado de Información de Construcción (BIM por sus siglas en inglés) ha traído un nuevo paradigma de administración de proyectos a la industria de la construcción desde la fase de diseño hasta la gestión de instalaciones mediante el fomento de la integración funcional y organizacional para la administración de proyectos (ThebuildingSMARTalliance™ 2009). Dicha integración se ha estimado como un avance significativo donde la industria AIC ha sido fuertemente criticada por su falta de integración y alta fragmentación en el proceso de entrega del proyecto (Howard et al. 1989). A través de muchos casos de implementación, la tecnología ha sido probada y ha demostrado ser un método eficaz y una herramienta para la administración de proyectos de construcción (Eastman *et al.* 2008).

Una tecnología que se ha ido desarrollado gradualmente es el diseño de herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD por sus siglas en inglés). BIM inició con dichas herramientas CAD cuando las computadoras empezaron a ser utilizadas para la representación gráfica y la automatización del proceso de diseño, pero muy pronto se necesitaba algo más que información pura de dibujo técnico (Campbell 2007; Baeza y Salazar 2005).

Mientras BIM se define de muchas maneras, una definición general propuesta por Eastman *et al.* (2008) es: "una tecnología de modelado y conjunto de procesos asociados para producir, comunicar y analizar modelos de edificios".

A su vez, Succar (2009) define BIM como una herramienta completa de administración de información en la simulación de diseño y construcción. En otras palabras, es una forma de almacenar y organizar digitalmente todas las políticas, procesos, tecnologías, diseños y proyectos relacionados con el ciclo de vida de un edificio.

De igual manera Hajian y Becerik-Gerber (2009), definen el término BIM como un repositorio central de datos para almacenar y recuperar diferentes tipos de información sobre los proyectos mediante la creación de un modelo 3D y la adición de datos inteligentes al mismo. A menudo se conoce como la nueva generación de CAD en 3D. Sin embargo, BIM tiene mucho que ofrecer que simples modelos 3D que son utilizados en su mayoría sólo para la visualización del proyecto.

En los modelos BIM los objetos no son representaciones sino entidades definidas según sus características que después se generan y muestran a través de todo tipo de vistas especializadas. Por otra parte, para que el modelado resulte controlable y rápido, estos componentes se definen como objetos paramétricos cuyas características y comportamientos vienen más o menos preestablecidos. Así, el diseñador ya no representa elementos arquitectónicos sino que los diseña según sus especificaciones, siguiendo patrones más o menos flexibles, dependiendo de las prestaciones del software y de sus propias habilidades (Gómez 2013; Baeza y Salazar 2005).

Una vez que se consigue parametrizar un objeto, también se puede parametrizar la relación que tiene este con el resto, relacionando unos parámetros con otros. De esta manera, no sólo se automatiza la transmisión de las influencias que tienen los objetos entre sí, sino que se posibilita su diseño en relación al resto. Así, cada componente se crea en función de lo que lo hace único y de lo que lo hace dependiente del resto, consiguiendo un diseño muy receptivo a futuras modificaciones.

Para poder realizar un modelo BIM, es necesaria la utilización de alguna aplicación o software que cumpla con el propósito deseado.



Una aplicación BIM es aquella que emplea como entidades de trabajo principal objetos paramétricos de cualquier disciplina que son capaces de relacionarse entre ellos y de los que se puede extraer diversos tipos de información, entre los que se incluye representaciones gráficas pero también alfanuméricas.

Actualmente hay un buen número de aplicaciones BIM en el mercado, a pesar de que se trata de un tipo de software costoso de desarrollar y que precisa de mucho servicio post venta. En general, todas llevan muchos años en el mercado, con excepción de aquellas que están desarrollándose de la mano de grandes compañías de CAD genérico, que tienen una historia más corta. Teniendo en cuenta esto, las aplicaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos:

**Aplicaciones BIM nativas:** creadas con la intención de trabajar en esta dirección desde un buen principio. Naturalmente, son mucho más coherentes y potentes que las BIM implementadas, pero tienen el inconveniente de que la migración desde un software CAD genérico hacia ellas resulta más complicada. Todas ellas tienen una estructura de archivos coherente con el concepto de base de datos. Es decir, los proyectos se gestionan de manera integral y se concentran en un solo archivo o carpeta. Como ejemplos de estas aplicaciones tenemos el Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD y Nemetschek Allplan.

**Aplicaciones BIM implementadas:** aquellas aplicaciones de CAD literal que han implementado módulos BIM que se superponen de manera más o menos transparente. Tienen el inconveniente de que su funcionamiento no puede ser tan coherente ni fluido como el de las BIM nativas, puesto que deben adaptarse al motor y estructura de sus huéspedes. Siguen empleando capas para organizar el dibujo, mantienen una estructura de ficheros dispersa y su interface es bastante más compleja. En cambio, tienen la ventaja de permitir una migración hacia los sistemas BIM mucho más flexible y modular. Entre este tipo de aplicaciones encontramos el Autodesk AutoCAD Architecture y el Bentley Architecture.

Desde que las oportunidades de este diseño asistido por computadora y la construcción se prospectaron ambiciosamente a finales de 1980 (Howard *et al.* 1989), ha ocurrido un cambio dramático en las prácticas implementadas para gestionar los

proyectos de AIC. El avance en la tecnología de la información, tales como la informática, los sensores, el seguimiento y la comunicación, permitió la invención de herramientas notables para la administración de proyectos. En particular, los sistemas de control de proyectos automatizados en tiempo real y BIM han traído una evolución significativa en la administración de proyectos de AIC (Hwang y Liu 2010).

La tecnología, como se mencionó, se ha implementado principalmente como una herramienta de diseño, y no ha sido utilizada amplia y activamente para la administración y proceso de control. Cuando su implementación se extiende a la fase de construcción, es necesario un esfuerzo más amplio para mantener actualizados los modelos de los edificios, y esta es una de las razones por lo que se presenta una baja aplicación como herramienta de control (Hajian y Becerik-Gerber 2009, Zhenhua y Zhiliang 2012).

En lo que respecta al diseño, es ampliamente utilizado para el desarrollo y la coordinación del diseño. Referente a esta coordinación del diseño, BIM se utiliza de manera más activa en la detección de colisiones entre los grandes componentes mecánicos, eléctricos y plomería (MEP por sus siglas en inglés), así como entre los componentes arquitectónicos/estructurales y componentes del MEP. Mientras que BIM se implementa principalmente para procesos relacionados con el diseño, se utiliza en la construcción y operación/administración hasta un cierto punto. Dicha aplicación incluye cantidades de arranque, programación (4D), simulación de la construcción, y coordinación de la secuencia de trabajo. En cuanto a ahorro de energía, también se utiliza para la simulación de energía con el objetivo de encontrar un diseño óptimo de un edificio que puede maximizar la eficiencia energética (Hwang y Liu 2010).

Para que BIM pueda ser implementado eficientemente, requiere fuentes de adquisición de datos fiables para la frecuente actualización del modelo basado en las necesidades. Las tecnologías de recolección de datos de campo son potencialmente capaces de desempeñar este papel de alimentación a una base de datos central con la información del proyecto en tiempo real.

De acuerdo con lo anterior, Hajian y Becerik-Gerber (2009) concuerdan en que existe la visión de la forma en que la industria AIC puede mejorar las prácticas de

administración de la información de un proyecto en curso con la ayuda de sistemas de recopilación de datos de campo y de modelado de información de construcción para aumentar los índices de productividad de la industria de la construcción, además de reducir el desperdicio de recursos.

De igual manera, se prevé que la integración exitosa de estos sistemas en tiempo real puede proporcionar a la industria AIC nuevas oportunidades en muchos aspectos de la administración de proyectos (Hajian y Becerik-Gerber 2009; Hwang y Liu 2010). El control de proyectos en el sitio de trabajo en particular pudiera ser mucho más avanzado. Algunos sistemas en tiempo real ya se han integrado individualmente con modelos de información en construcción y han sido exitosos (Hwang y Liu 2010).

Con respecto al tema de automatización, Hwang y Liu (2010) opinan que al estar integrado con modelos de información de construcción, los sistemas de adquisición de datos de campo en tiempo real pueden aumentar el grado de dicha automatización en la actualización de modelos de información de construcción. Además, las actualizaciones pueden realizarse con más frecuencia, regularidad y precisión. Esto eliminará o, al menos, reducirá la carga de actualización de los modelos de información de construcción diarios a lo largo del progreso del trabajo. Actualmente, los sistemas disponibles no son capaces de actualizar los modelos en tiempo real.

Se puede concluir que la integración de sistemas de adquisición de datos de campo y BIM para el proceso de administración de la información del proyecto en tiempo real ofrece excelentes oportunidades para la industria AIC (Hajian y Becerik-Gerber 2009).

Cuando se utiliza BIM se habla de diferentes dimensiones: 3D, 4D, 5D. Estas diferentes dimensiones se presentan a continuación:

### Modelo 3D

Este modelo debe ser desarrollado “orientado al objeto” (object oriented) para garantizar la adecuada parametrización de cada uno de los elementos que se pretende controlar más tarde. Este modelo inicialmente representa la información del diseño arquitectónico y de cada una de las ingenierías involucradas. Un buen modelo 3D es vital para garantizar la buena aplicación del resto de las etapas en BIM.

X & Y	=	2D
X, Y & Z	=	3D
3D + B + P	≈	BIM
BIM + time	≈	4D BIM
BIM + cost	≈	5D BIM

B = behaviour; P = parametric properties

Figura 3. Diferentes dimensiones de BIM.

Este modelo 3D permite obtener una representación geométrica detallada de cada parte del edificio dentro de un medio de información integrada. Esto se traduce en información más fácil de compartir, argumentar, reutilizar y asignar valores consiguiendo de esta forma una propuesta de diseño sea sólida y coherente con las ingenierías.

Algunas de las tareas que se llevan y pueden llevar a cabo durante esta fase son:

- Modelado arquitectónico.
- Modelado de ingeniería estructural.
- Modelado de especialidades (eléctrica, sanitaria, mecánica, aire acondicionado, etc.).
- Análisis de colisiones.
- Cubicaciones.
- Estimación general del costo de proyecto.

### Modelo 4D

Un modelo BIM 4D es un modelo BIM 3D que tiene objetos y conjuntos con una dimensión de tiempo añadido a ellos.

Se basa en el control de logística del proyecto para o durante la ejecución del mismo, logrando que sea más predecible el resultado final, logrando así que la ejecución y el producto final sea de mayor calidad, más seguro y eficiente.

Esta metodología permite comprender y controlar las dinámicas de la ejecución del proyecto a través de la posibilidad de efectuar análisis completos, realizar simulaciones rápidas y eficientes (fases de construcción, zona de trabajo, mayor precisión en su manufactura, optimizar la operatividad, etc.). Se puede comprender cuál será el desempeño con el medio real en el que se edificará y funcionará.

Estos modelos pueden ser animados para representar la secuencia de construcción planeada fijada en el tiempo. El propósito de la simulación de fases de construcción es proveer una herramienta que ayudará al equipo de construcción a visualizar problemas logísticos o ineficiencias, exponiendo detalles como trabajo fuera de secuencia o conflictos de programación entre múltiples empresas, analizar alternativas de escenarios posibles y estrategias a nivel macro en las fases de construcción, para poder lograr la optimización del programa de construcción.

Algunas de las tareas que se pueden llevar a cabo durante esta fase son:

- Simulaciones de las fases de construcción.
- Diseño y simulación de zona de trabajo.
- Diseño del plan de ejecución.
- Diseño y fabricación o prefabricación de piezas, equipos y prototipos.

### **Modelo 5D**

Muchas técnicas de estimación convencional, las cuales se basan en mediciones de planos 2D, tienen un potencial sustancial de ambigüedad, ineficiencia y error. El modelo de proyecto tridimensional quita la ambigüedad e inconsistencias potenciales en estimaciones de cantidades de proyecto.

La quinta dimensión (5D) es el costo, el cual es incorporado dentro del ciclo de vida de la construcción virtual. La estimación 5D es un modelo BIM 3D vinculado a la estimación de costos de construcción a través de cantidad de materiales, los cuales son generados automáticamente desde los datos dentro del modelo.

Esta abarca todo lo relacionado con el control de costos y estimación de gastos del proyecto logrando que la empresa tenga mayor control sobre toda la información contable y financiera del proyecto.

Las dinámicas del proyecto que se controla y gestiona en este tipo de modelos están directamente relacionados a mejorar la rentabilidad de dicho proyecto. No sólo se debe saber cuándo, cómo y dónde se está gastando la inversión sino que se debe planificar de forma detallada cuando, como y donde se gastará.

Por otro lado, en combinación con otros servicios, BIM permite controlar el costo total del ciclo de vida del proyecto y almacenar información exacta durante su uso y mantenimiento.

Algunas de las tareas que se pueden llevar a cabo durante esta fase son:

- Definición de cantidad de materiales vs. Costos según distribuidor.
- Control y organización de gastos siempre actualizados (compras, pedidos, salarios, etc.).
- Estimación de costos operativos en la fase de uso/mantenimiento.

## **2.8. Usos BIM**

Para que se pueda llevar a cabo la implementación de la metodología BIM en los proyectos de las empresas constructoras, se debe realizar una detallada y exhaustiva planificación por parte del equipo del proyecto.

Con el fin de lograr este objetivo, es necesario desarrollar un plan bien documentado de ejecución del proyecto BIM, el cual deberá asegurar que todas las partes involucradas estén conscientes de las oportunidades y responsabilidades que están asociadas a la incorporación de esta metodología de trabajo.

Primeramente, es necesario definir detalladamente el valor potencial de BIM en el proyecto a través de la definición de los objetivos generales de la implementación BIM. Dichos objetivos podrían basarse en los resultados del proyecto tales como: la reducción de la duración horario, lograr una mayor productividad en el campo, el

aumento de la calidad, la reducción de costos de órdenes de cambio, la obtención de los datos operativos importantes para la instalación, entre otros.

Una vez establecidos los objetivos, el plan de ejecución debe definir los usos BIM más apropiados para un proyecto en específico. Dichos usos se han originado debido a una gran variedad de aplicaciones de la metodología BIM. Esta diversidad conocida como “Uso de BIM”, está definida por el BIM Project Execution Planning Guide como “un método para la aplicación del modelado de información de construcción durante el ciclo de vida de una construcción o instalación para lograr uno o más objetivos específicos.” (CIC 2013),

Como menciona Laguna (2015), es necesario que se defina el Uso de BIM que vaya acorde a los objetivos de la empresa, como también seleccionarlo de acuerdo al propósito de la implementación de BIM, ya que sólo algunos de estos serán utilizados en todos los proyectos, mientras que otros podrán ser sugeridos u opcionales de acuerdo al tipo de proyecto.

Los Usos BIM pueden clasificarse primeramente en función del propósito de la implementación BIM durante toda la vida de una construcción. Además del propósito del Uso de BIM, se pueden definir otras características con las cuales se puede lograr que éste sea propiamente identificado y comunicado. Estos propósitos y características podrán ser definidos en diferentes niveles de acuerdo al grado de especificidad que se requiera por las diferentes aplicaciones de los Usos de BIM (CIC 2013), como se muestra en la figura 3.



Figura 4. Los propósitos de los usos de BIM.

La finalidad del Uso de BIM comunica lo que se pretende con su implementación, tal como se puede observar en la siguiente tabla, en la que se muestra el objetivo principal para cada uno de los propósitos sugeridos (Laguna 2015).

Tabla 1. Propósito y objetivo del Uso de BIM.

Propósitos del Uso de BIM	Objetivo del Uso de BIM
<b>Reunir</b> (capturar, cuantificar, monitorear, seguir).	Recolectar u organizar información del edificio.
<b>Generar</b> (Prescribir, ordenar, dimensionar).	Crear o ser autor de información acerca del edificio.
<b>Analizar</b> (coordinar, predecir, validar).	Examinar los elementos del edificio para tener un mejor entendimiento de éste.
<b>Comunicar</b> (visualizar, transformar, dibujar, documentar).	Presentar información acerca del edificio en un método por el cual pueda ser compartida o intercambiada.
<b>Realizar</b> (fabricar, ensamblar, controlar, regular).	Hacer o controlar un elemento físico usando la información del edificio.

La guía “BIM Project Execution Planning Guide”, contempla 25 usos, que no son limitativos de todos los posibles usos de BIM.

El Uso de BIM también tiene ciertas características que sirven para precisarlo aún con mayor claridad y que al ser determinadas, se puede tener un planteamiento más definido. Dentro de estas características del Uso de BIM se encuentran:

**a) Elementos del proyecto:** Es necesario determinar en cuales elementos del proyecto se ejecutará el Uso de BIM. Por ejemplo, basado en un desglose de la estructura del edificio, el equipo puede determinar cuáles partes o elementos son parte del Uso de BIM. Como puede ser que sólo sea necesario desarrollar una visualización programada de la subestructura y superestructura y no de los sistemas del edificio.

**b) Etapa del proyecto:** Después de determinar la disciplina, el equipo de planeación BIM puede determinar la etapa del proyecto durante la cual implementará el Uso de BIM, dando como resultado, múltiples Usos de BIM y disciplinas. Por ejemplo, el



equipo de diseño puede ser responsable de la coordinación del análisis durante la fase de diseño y el equipo de construcción a su vez en la etapa de construcción.

**c) Disciplina:** Se puede decir que la disciplina es sinónimo de “parte responsable” del Uso de BIM y puede también corresponder con los diferentes roles del proyecto. De acuerdo a la clasificación de OmniClass, las disciplinas que se incluyen son: planeación, diseño, investigación, administración de proyecto, construcción, uso de la instalación y soporte. Una vez que la disciplina primaria sea identificada, eso no excluye a otras disciplinas de ser responsables de una parte del Uso de BIM.

**d) Nivel de Desarrollo:** Este será identificado para maximizar el beneficio de cada Uso de BIM, ya que describe el nivel de fragmentación/detalle al cual un elemento del modelo se desarrollará. La AIA publicó el documento E202-2008 en el que especifica los LOD (por sus siglas en inglés) 100, 200, 300, 400 y 500; y por parte de BIMForum se generó el Nivel de Desarrollo 350.

La Universidad de Pensilvania en su documento BIM Project Execution Planning Guide, ha identificado 25 diferentes Usos de BIM a través de entrevistas con expertos de la industria, análisis de casos de estudio y revisión de la literatura y los ha organizado dentro de las cuatro diferentes etapas del desarrollo de un proyecto (planeación, diseño, construcción y operación). Algunos de estos usos están relacionados con las condiciones del lugar como la planeación de la utilización del sitio, con la calendarización del mantenimiento del edificio, el análisis energético y estructural o con la evaluación de sustentabilidad (LEED), entre otros.

De los Usos de BIM identificados en las cuatro etapas se puede observar que la estimación de costos puede ser aplicada en todas éstas, mientras que la planeación de fases en las tres primeras y la coordinación en 3D está considerada sólo en las etapas de diseño y construcción.

Debido a que esta investigación se enfoca en el modelo BIM en la etapa de construcción, este será orientado a uno de los Usos de BIM más comunes en dicha etapa: la cuantificación dentro de la estimación de costos.

### **2.8.1. Estimación de costos: Cuantificación**

BIM puede ser utilizado para obtener cantidades de inicio y estimar el costo del edificio basado en estándares establecidos sobre materiales y mano de obra. Este proceso puede ser usado para comparar los costos de diferentes diseños y hacer los cambios pertinentes en etapas tempranas en el proceso de diseño y así evitar un sobregiro del presupuesto, pero en la etapa de construcción puede ser usado para lograr el control económico del proyecto.

Sin BIM, la estimación de costo es un proceso complejo y laborioso al analizar diferentes elementos del edificio diseñado, además de estar expuesto a errores. BIM da soporte a cantidades de inicio precisas, ya que con suposiciones claras y establecidas, se pueden calcular desde las primeras etapas del proyecto y ser refinadas de acuerdo al aumento del nivel de detalle o de la información disponible (Laguna 2015).

La estimación de costos como un Uso de BIM se describe como “el proceso en el cual BIM puede ser usado para asistir en la generación de cantidades precisas de inicio y el costo estimado a través del ciclo de vida del proyecto. Este proceso permite al equipo del proyecto ver los efectos de los cambios en el costo, durante todas las fases del proyecto” (CIC 2013).

Dentro del valor potencial que este uso puede tener se encuentran:

- a) Cuantificar materiales de manera precisa.
- b) Apoyar en la toma de decisiones al proveer información sobre el costo al dueño del proyecto desde el diseño y a través del ciclo de vida del proyecto, incluyendo el costo de los cambios que se generen durante la construcción de manera rápida.
- c) Reducir el tiempo de estimación de cantidades útiles para el inicio de la obra.

A través de BIM se pueden generar cuantificaciones de inicio, cantidades y medidas directas del modelo, facilitando un proceso donde la información es consistente a través del ciclo de vida del proyecto. La información en el modelo y el tipo de estimación de costo necesario dependerá de la fase en la que se encuentra el

proyecto, desde un modelo esquemático en la fase preliminar hasta una estimación detallada necesaria cuando se encuentra en la etapa de construcción.

## 2.9. Nivel de Desarrollo en BIM

Un modelo BIM es formado por un grupo de elementos cuyo objetivo es representar digitalmente las características físicas y funcionales de los elementos reales de un edificio durante alguna de las etapas de un proyecto. Para que dichos elementos cumplan con su propósito, deberán ser creados con un grado de precisión adecuado, contando con ciertos atributos geométricos y no-geométricos, lo cual refiere el nivel de detalle o desarrollo (LOD por sus siglas en inglés) al que serán elaborados.

El Instituto de Arquitectos de América (AIA por sus siglas en inglés) en su documento E202 (2008), describe al Nivel de Desarrollo como “el grado de integridad al cual es desarrollado un elemento del modelo”. Así mismo, en su documento actualizado E203 (2013) amplía esta descripción mencionando que “el LOD describe el mínimo de datos sobre dimensiones, espacio, cantidad, calidad, entre otros, que se incluyen en el elemento del modelo para dar soporte a los usos autorizados y asociados con el LOD correspondiente”

En los escritos mencionados del AIA se determinaron cinco niveles de detalle, los cuales se consideran progresivos y dentro de las definiciones de cada LOD se describen los requerimientos de contenido y los usos autorizados para cada elemento del modelo. El de mayor número sucede al anterior y conforme vayan avanzando los niveles, se incluirán las características del nivel anterior. La información relacionada a los diferentes LOD presentadas en el documento se encuentra en la siguiente tabla 2:

Tabla 2. Niveles de desarrollo del AIA.

<b>LOD 100 - Conceptual</b>	
Contenido	Volumetría total del edificio indicativa de área, altura, volumen, ubicación y orientación puede ser modelada en tres dimensiones o representada por otros datos.
	Análisis
	El modelo puede ser analizado en base al volumen, área y orientación, al aplicar un criterio generalizado

Usos autorizados		de desempeño asignado a la representatividad de los elementos del modelo.
	Estimación de Costo	El modelo puede ser utilizado para desarrollar un estimado de costo basado en el área, volumen, o técnicas similares de estimación conceptual.
	Programación	El modelo puede ser usado para estimar las fases y duración total del proyecto.
<b>LOD 200 – Geometría Aproximada</b>		
Contenido	Los elementos del modelo son modelados como sistemas generalizados o montajes con aproximaciones en cuanto a cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Se puede adjuntar información no-geométrica a los elementos.	
Usos autorizados	Análisis	El modelo puede ser analizado con base al desempeño o sistemas seleccionados, al aplicar un criterio generalizado de desempeño asignado a la representatividad de los elementos del modelo.
	Estimación de Costo	El modelo puede ser utilizado para desarrollar un estimado de costo basado en los datos aproximados proporcionados y técnicas de estimación conceptual.
	Programación	El modelo puede ser usado para mostrar orden y apariencia de elementos y sistemas mayores en una escala-tiempo.
<b>LOD 300 – Geometría Precisa</b>		
Contenido	Los elementos del modelo son creados como ensambles específicos y exactos en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Se puede adjuntar información no-geométrica a los elementos.	
Usos autorizados	Construcción	Adecuado para la generación de documentos tradicionales de construcción y planos para adquisiciones.
	Análisis	El modelo puede ser analizado con base a la capacidad y cumplimiento de los sistemas seleccionados al aplicar un criterio específico de desempeño asignado a la representatividad de los elementos del modelo.
	Estimación de Costo	El modelo puede ser utilizado para desarrollar un estimado de costo basado en los datos específicos proporcionados y técnicas de estimación conceptual.

	Programación	El modelo puede ser usado para mostrar orden y apariencia de elementos y sistemas detallados, en una escala-tiempo.
<b>LOD 400 – Fabricación</b>		
Contenido	Los elementos del modelo son creados como ensamblajes específicos y exactos en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación con información detallada para su completa fabricación y montaje. Se puede adjuntar información no-geométrica a los elementos.	
Usos autorizados	Construcción	Los elementos del modelo son representaciones virtuales de los elementos propuestos y son adecuados para su construcción.
	Análisis	El modelo puede ser utilizado con base al desempeño de los sistemas aprobados basado en elementos específicos del modelo.
	Estimación de Costo	La estimación está basada en los costos actuales de elementos específicos al momento de la compra.
	Programación	El modelo puede ser usado para mostrar orden y apariencia de elementos y sistemas detallados, en una escala-tiempo, incluyendo métodos y procedimientos de construcción.
<b>LOD 500 – As Built</b>		
Contenido	Los elementos del modelo son creados como ensamblajes específicos y exactos en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación con información detallada para su completa fabricación y montaje. Se puede adjuntar información no-geométrica a los elementos.	
Usos autorizados	Uso General	El modelo puede ser utilizado para mantenimiento, modificaciones y adiciones al proyecto, pero solo extender consistencias con cualquier licencia concebida tanto en los acuerdos como por separado.

## 2.10. Industry Foundation Classes (IFC)

Nunca ha habido un formato ampliamente aceptado de BIM en la industria AIC (Campbell 2007), hasta el lanzamiento de los Industry Foundation Classes (IFC). IFC es un candidato oficial estándar (ISO 2008) para BIM que actualmente está respaldado por casi todas las principales aplicaciones y herramientas en la Arquitectura,

Ingeniería, Construcción y Operaciones de Campo (AECO) (BuildingSMART International Ltd 2011b).

Si bien, como menciona Khemlani (2004), la información técnica sobre el modelo de construcción IFC ha sido documentada en detalle y está disponible para los desarrolladores de software que necesitan trabajar con él. Prácticamente no hay información para el profesional AIC promedio que quiere tener una mejor comprensión del modelo IFC.

De acuerdo con Eastman *et al.* (2008), IFC es un esquema desarrollado para definir un conjunto extensible de representaciones de datos consistentes de información de edificios para el intercambio entre aplicaciones de software de la industria AIC.

Los IFC proporcionan un modelo de datos para modelos BIM 3D, que permite a todos los actores interactuar en un proceso de planificación, construcción y gestión para el intercambio de información en un banco de datos integrado. El modelo no se centra en la elaboración de intercambio de dibujos, como el formato DXF, sino que considera los componentes del edificio como lo que son: objetos (Clemen y Gründig 2006; Tavares 2012).

Algunas de las clases más utilizadas del formato IFC son:

- IfcColumnType
- IfcCovering
- IfcDoorType
- IfcFooting
- IfcFurnitureType
- IfcLampType
- IfcRoof
- IfcSlab
- IfcStair
- IfcWall
- IfcWindowType

Cada una de estas clases o entidades contiene toda la información necesaria para definir el tipo de elemento, en cuanto a sus dimensiones, materiales, coordenadas de ubicación, entre otros.

Los IFC proporcionan una especificación de un modelo de datos que abarca el dominio de información del edificio. Se puede utilizar como un modelo de datos compartido o base de datos integrada por muchos grupos de ocupación. Cualquier participante del

proceso de planificación y construcción puede utilizar el mismo modelo, aumentando la transparencia de los cambios realizados por un actor, y dejando que los demás sepan el estado real de la planificación. En contraste con el intercambio de los planos a través de los archivos de dibujo como DXF o DEG, el intercambio IFC está estrictamente basado en un modelo (Clemen y Gründig 2006; Plume 2007).

La geometría IFC utiliza geometría sólida constructiva con volumetría, es decir, objetos primitivos paramétricos que representan los componentes estructurales de los edificios (Berlo y Laat 2011).

El objetivo final de utilizar el modelo IFC es mejorar la comunicación, productividad, tiempo de entrega, costo y calidad a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. El modelo de la IFC también es de interés desde el punto de vista administrativo (Clemen y Gründig 2006).

Los IFC son diseñados y mantenidos por la "Alianza Internacional para la Interoperabilidad" (IAI) con el fin de convertirse en un estándar que facilite la interoperabilidad entre programas del sector de la construcción. Los miembros del IAI son arquitectos, ingenieros, administradores de instalaciones, instituciones académicas, agencias gubernamentales, asociaciones técnicas y proveedores de software. IFC es un esfuerzo global. La mayoría de los esquemas de la IFC son aceptados por la ISO como una Especificación Disponible Pública y constituyen la norma ISO/PAS 16739 (Khemlani 2004; Clemen y Gründig 2006).

El trabajo de desarrollo de IFC ha estado en marcha desde hace varios años, con lanzamientos regulares de nuevas versiones. La primera versión del IFC, la versión 1.0, fue lanzado en 1997. Actualmente, la última versión publicada en 2013, es el IFC4. Cada versión posterior añade capacidades para representar más entidades y más relaciones con el ciclo de vida de un edificio (Khemlani 2004).

Liebich (2013), puntualiza las mejoras más importantes de la nueva versión IFC4, las cuales son:

- Mejora la capacidad de las especificaciones IFC en sus elementos principales de arquitectura, servicios del edificio y elementos estructurales con nuevas características geométricas, paramétricas y otras.
- Permite numerosos nuevos flujos de trabajo BIM, incluyendo intercambios de modelo 4D y 5D, fabricantes, bibliotecas de productos, interoperabilidad BIM a GIS, simulaciones térmicas mejoradas y evaluaciones de sustentabilidad.
- Vincula todas las definiciones de propiedad de IFC al diccionario de datos buildingSMART.
- Mejora la legibilidad y la facilidad de acceso a la documentación con numerosos conceptos de implementación y ejemplos completamente vinculados
- Contiene esquema ifcXML4, completamente integrados en la especificación IFC, además del esquema EXPRESS.
- Está totalmente integrado con la nueva tecnología mvdXML y permite una fácil definición de servicios de validación de datos para presentaciones de datos IFC4.
- Corrige los problemas técnicos encontrados desde el lanzamiento del IFC2x3.
- Permite la extensión de IFC a la infraestructura y otras partes del entorno construido.

## Arquitectura del IFC

Hay cuatro capas en el modelo IFC. Las capas siguen el concepto de "gravitación" que significa que los elementos de una cierta capa sólo pueden referirse a las entidades de la misma o una capa inferior.

1. **Capa de recursos.** Esta capa contiene los conceptos fundamentales expresados como tipos de entidades tales como la geometría (punto, línea y curva) topología (vértice, borde, cara y cubierta), modelo geométrico (CSG, B-Rep). Los elementos de esta capa pueden ser referenciados por elementos de todas las capas.

2. **Capa central.** Esta capa expone conceptos abstractos que se especializan en la capa de recursos. Hay conceptos abstractos como objeto, grupo, procesos, definición de propiedades, relación o raíz. No hay ninguna instancia de un tipo de entidad



abstracta. Una clase abstracta proporciona una interfaz para los los tipos de entidad derivados (especializados). Las extensiones del núcleo especializan los conceptos abstractos relativos a la kernel a las necesidades del dominio de modelado "de información de edificios".

3. **Capa de interoperabilidad.** Esta capa define los conceptos básicos para la interoperabilidad entre diferentes extensiones de dominio. En esta capa se definen los elementos de construcción compartidos como por ejemplo: viga, puerta, techo, ventana o rampa.

4. **Capa de dominio.** Los tipos de entidad de la capa de dominio extienden los conceptos de la capa de interoperabilidad. Los elementos de un dominio no tienen permitido hacer referencia a elementos de cualquier otro dominio. Al igual que en la vida real todo oficio tiene su propio vocabulario. Abarca un total de 8 dominios de la industria de la construcción: Dominio de Controles de Edificios, Dominio de Plomería de Protección contra Incendios, Dominio de Elementos Estructurales, Dominio de Análisis Estructural, Dominio HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), Dominio Eléctrico, Dominio Arquitectónico, Dominio de Administración de la Construcción (Clemen y Gründig 2006; BuildingSMART International Ltd, 2011b; Tavares 2012).

## 2.11. BIM en Internet

Durante la última década, el desarrollo de aplicaciones basadas en BIM, han atraído cada vez más la atención de los investigadores para facilitar el intercambio de información durante el ciclo de vida de los edificios. Los hallazgos pueden ayudar a los investigadores a mejorar su eficiencia en el trabajo y productividad en el desarrollo de aplicaciones basadas en BIM (Zhenhua y Zhiliang 2012).

Al dar la bienvenida a la edad de la información inmediata de redes, la industria de la construcción debe ser capaz de seguir el ritmo con el fin de recopilar una gran cantidad de información útil en un corto período de tiempo, de modo que pueda ser creada la

competitividad. Por lo tanto, es una tendencia necesaria que la industria de la construcción deba ser informatizada (Shiau y Wang 2003).

La mejora en datos y administración de conocimiento antes mencionada mejorará la administración de muchos aspectos en campo. Algunos de estos aspectos ejemplares incluyen la inspección de calidad, identificación de riesgos laborales y requisitos de seguridad, comunicación y coordinación entre los participantes del proyecto, etc. Usando comunicación inalámbrica, los datos contextuales sobre los procesos y objetos pueden ser cotejados en tiempo real entre el contexto actual y el modelo de información de construcción (Hwang y Liu 2010).

Un excelente entorno móvil es esencial. Como es bien conocido, muchas decisiones relevantes al control se supone que se realizan puntualmente en el sitio. Esto a menudo requiere el acceso inmediato a los datos pertinentes. Por ejemplo, un inspector puede necesitar especificaciones y planos para la inspección de calidad. En una situación como ésta, la informática móvil y la comunicación inalámbrica es esencial para adquirir la información necesaria en tiempo real (Hwang y Liu 2010).

Una herramienta que pudiera ser de utilidad para estas aplicaciones son las Tablets y Tablets PC. Estas herramientas son computadoras portátiles que están diseñadas para su uso en campo y son capaces de adaptarse a distintos tipos de información, tales como planos y especificaciones del proyecto. Pueden conectarse a la base de datos central del proyecto a través de Ethernet o Internet. Estos dispositivos móviles pueden transferir la información adquirida en campo a una base de datos central y también proporcionar a los ingenieros y jefes del proyecto la información que se necesita en el sitio de construcción. Ha habido un gran progreso en el desarrollo de las Tablets y su aplicación en la industria AIC durante los últimos años y se han vuelto populares entre las partes interesadas del proyecto (Hajian y Becerik-Gerber 2009).

Pero para que los modelos propuestos sean viables a través de uso de internet, deben contar con las plataformas adecuadas para su implementación. Tavares (2012), realizó un estudio sobre Web3D, el cual tiene la habilidad de procesar gráficos acelerados 3D en la web, ahora posible gracias a los avances en hardware, ancho de banda y optimizaciones en el contexto del navegador.

Otra herramienta investigada por Berlo y Laat (2011), es el código abierto BIMserver que está destinado a ser una herramienta para apoyar la colaboración innovadora en el sector AIC. Las principales características del código abierto BIMserver son la capacidad de combinar y consulta modelos IFC (Beetz y Berlo 2010). Por esta razón el software BIMserver no necesita la capacidad de componer y calcular geometría compleja de IFC.

A su vez, Berlo y Laat (2011), realizaron una investigación sobre la integración de BIM y GIS (Sistemas de Información Geoespacial), donde los modelos IFC tenían que estar disponibles en línea. Para esto, utilizaron un servidor de modelado central según lo propuesto por Beetz y Berlo (2010). Para abordar este trabajo, decidieron utilizar el código abierto BIMserver durante este proyecto, ya que es el único software de código abierto disponible para este propósito.

Otra investigación importante en el ámbito de la comunicación inalámbrica fue desarrollada por Campbell (2007), en la cual trabajó con la tecnología web llamada WebGL, la cual es una especificación estándar que está siendo desarrollada actualmente para mostrar gráficos en 3D en navegadores Web. El WebGL permite mostrar gráficos en 3D acelerados por hardware (GPU) en páginas Web, sin la necesidad de plug-ins en cualquier plataforma que soporte OpenGL 2.0 u OpenGL ES 2.0. Fusionando dos tecnologías como WebGL y modelo creciente como el IFC puede sin duda ser el próximo gran paso en el software de AIC, como enfatizando la interoperabilidad y modelos abiertos puede ser la combinación para el éxito en la industria del software en la actualidad.

### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se tratarán los aspectos relacionados con las estrategias elegidas y los procedimientos que se realizaron para alcanzar el objetivo principal y los objetivos particulares de este trabajo. Debido a que el principal problema analizado está relacionado con el ineficiente proceso para la toma de avances de obra en proyectos constructivos, se optó por la implementación de un prototipo de desarrollo tecnológico (paquete de herramientas de cómputo o software) orientado al mejoramiento de este proceso para la toma de avances de obra en campo. Este procedimiento se llevó a cabo aplicando un modelo BIM de una obra en proceso de una empresa constructora en la Ciudad de Mérida, Yucatán.

El uso de software para la administración de proyectos como una herramienta de planeación y control, ha ido creciendo a un paso acelerado en la industria de la construcción. Por lo tanto, para maximizar el impacto en la práctica, se debe incluir el desarrollo de software en la integración de nuevos métodos de planeación y control en la administración de los proyectos.

Es así que, con base en la información recabada y problemática expuesta anteriormente, se analizó la posibilidad de desarrollar una herramienta computacional para automatizar el proceso de la toma de avances de obra, como una manera de coadyuvar a incrementar la eficiencia y eficacia de los procesos de planeación y control de los proyectos en las empresas constructoras.

Se planteó la creación de un prototipo para esta herramienta debido a que es una representación limitada de un producto final, el cual permite a las partes interesadas probarlo en situaciones reales o explorar su uso, creando así un proceso de diseño de iteración que genera calidad, tanto del prototipo mismo como el de su implementación.

La temática que más se adecuó para la definición de las etapas necesarias para lograr este prototipo, se encontraron en la ingeniería de software.

Esta ingeniería representó un proceso formal que incorpora una serie de métodos bien definidos para el análisis, diseño, implementación y pruebas del software.

La metodología que se siguió para el alcance de los objetivos de esta investigación está dividida de la siguiente forma:

- Diseño Conceptual del Prototipo
- Programación de la Herramienta de Software
- Software Empleado para el Desarrollo de la Investigación y Preparación de Modelos BIM
- Validación del Funcionamiento del Prototipo

Esta investigación se llevó a cabo mediante un estudio de caso fundamentado en un diseño no experimental del tipo transversal exploratorio debido a que se realizó una exploración inicial sobre la información a recopilar, refiriéndose a un momento único, dejando a un lado el hecho de que las condiciones de las variables puedan cambiar en un futuro (Hernández *et al.* 2010). Tiene un alcance de tipo descriptivo ya que en su desarrollo se especifican propiedades, características y procedimientos para la generación de un modelo BIM que fue necesario para la implementación del prototipo desarrollado.

### **3.1. Diseño Conceptual del Prototipo**

Para alcanzar el primer objetivo planteado y con base en el análisis bibliográfico recabado sobre los diferentes métodos para la toma de avances de obra, se diseñó un modelo conceptual para el óptimo monitoreo de dicho avance de una obra, basándose en un modelo BIM, y utilizando sus propiedades geométricas, de tiempo y de costo.

El diseño conceptual formó una parte fundamental en el proceso de diseño del software, ya que en este se generaron las diferentes opciones posibles y alternativas a tomar en cuenta para el diseño final.

Este diseño conceptual se estableció como un proceso creativo de transformación del problema identificado en una solución práctica. Se procuró que la solución elegida satisfaga todos los requerimientos planteados en la especificación de requerimientos por parte de los usuarios finales.

De igual manera el diseño conceptual se consideró como un análisis de actividades con la finalidad de encontrar soluciones a los problemas identificados por el usuario, expresándose posteriormente con los casos de uso. Se contempló como una evaluación creada a partir de un bosquejo donde se diseñó una solución para el usuario final siguiendo pasos tales como:

*Identificación de usuarios y roles:* fue importante conocer el cargo que desempeña cada uno de los usuarios al que estaría dirigido el software.

*Obtención de datos de los usuarios:* conocer lo que el usuario deseaba que realice el software antes de llevarlo a cabo.

*Evaluación de la información:* documentación de todo lo recopilado en donde se extrajeron las cualidades esenciales por etapas: elaboración, construcción y transición, verificando a los usuarios finales que utilizarían el software si este es funcional o no para lo que se requiere.

*Documentación de los escenarios de uso:* se llevó el control de todo lo realizado mientras se desarrollaba el software, registrando paso a paso y creando un instructivo de este.

*Validación con los usuarios:* se visualizó si el software es del agrado para el usuario final, y si cubre con sus necesidades y expectativas solicitadas.

### **3.2. Programación de la Herramienta de Software**

Para cumplir con el siguiente objetivo se realizó la programación de la herramienta de software que fue utilizada para implementar el modelo conceptual obtenido anteriormente.

Para la programación de este software, se implementó un sistema que estuvo compuesto de módulos o herramientas. Estos módulos fueron desarrollados mediante la programación orientada a objetos y probados por separado, para luego ensamblarse para formar un programa completo.

Al software, producto del diseño mencionado anteriormente y su programación, se le llamó **ProFin**, el cual tiene diferentes funciones dependiendo de lo que se quiera

obtener, como por ejemplo: la importación de un modelo BIM y manipulación de sus elementos, creación del programa de obra y presupuestos, realización de estimaciones de avance de obra para el pago de mano de obra, entre muchas otras funciones.

### **3.2.1. Implementación del Modelo “4+1” de Kruchten**

Como se mencionó en el apartado del marco teórico, el modelo “4+1” de Kruchten, es un modelo de vistas que se utilizó en esta investigación para describir la arquitectura del sistema de software intensivo basándose en el uso de múltiples puntos de vista.

Para este trabajo se utilizó este modelo 4+1 ya que cada una de estas vistas muestra toda la arquitectura del sistema del software documentado, pero cada una de ellas se documentó de forma diferente, mostrando aspectos diferentes del sistema del software, es decir, se obtuvieron vistas que son una representación del modelo, las cuales describieron el sistema completamente desde una particular perspectiva.

**Vista Lógica:** Esta vista apoyó principalmente los requisitos funcionales, es decir, lo que el sistema brindaría en términos de servicios a sus usuarios. El sistema se descompone en una serie de abstracciones clave, tomadas (principalmente) del dominio del problema en la forma de objetos o clases de objetos.

Para la representación de esta vista se utilizaron diagramas de clase en Lenguaje Unificado de Modelado (UML). Este es un tipo de diagrama de estructura estática que describió la estructura del sistema mostrando las clases de dicho sistema, sus atributos, operaciones (o métodos), y las relaciones entre los objetos, es decir, el diagrama de clases mostró un conjunto de clases y sus relaciones lógicas: asociaciones, uso, composición, herencia y similares.

**Vista de Despliegue o Vista de Desarrollo:** básicamente esta vista se utilizó para mostrar cómo está dividido el sistema de software en componentes, y las dependencias entre estos componentes físicos, los cuales incluyeron archivos, bibliotecas compartidas, módulos, ejecutables y paquetes. También estableció la organización y las dependencias entre el conjunto de componentes, y cómo se comunican entre ellos. Los subsistemas se organizaron en una jerarquía de capas,

cada una de las cuales brindó una interfaz estrecha y bien definida hacia las capas superiores.

La vista de desarrollo del sistema se representó con diagramas de componentes y de paquetes de UML, los cuales mostraron cómo un sistema de software es dividido en componentes, además de las dependencias entre estos componentes. La arquitectura de desarrollo completa pudo describirse completamente cuando todos los elementos del software fueron identificados.

**Vista de Procesos:** Esta vista fue necesaria para mostrar los procesos que hay en el sistema y la forma en la que se comunican; es decir, la vista se presentó desde la perspectiva de un integrador de sistemas (para el análisis del rendimiento y escalabilidad del sistema). Esta vista también mostró algunos de los requisitos no funcionales, como la ejecución, disponibilidad, tolerancia a fallas, integridad, seguridad, confiabilidad, entre otros.

Para completar la documentación de esta vista se incluyeron diagramas de actividad de UML usados para mostrar la secuencia de actividades. Con estos diagramas se pudo identificar el flujo de trabajo desde el punto de inicio hasta el punto final, detallando muchas de las rutas de decisiones que existan en el progreso de eventos contenidos en la actividad. Estos también se usaron para detallar situaciones donde el proceso paralelo pudiera ocurrir en la ejecución de algunas actividades.

**Vista Física:** Con esta vista se realizó la implementación en módulos y fragmentación en muchas capas, conformando una colección de categorías de clases y grupos. También se utilizó para describir el mapeo del software en el hardware y tomar en cuenta los requerimientos funcionales del sistema, tales como confiabilidad, respuesta y escalabilidad.

Para completar la documentación de esta vista se incluyeron diagramas de despliegue de UML, los cuales modelaron la arquitectura en tiempo de ejecución de un sistema. Estos mostraron la configuración de los elementos de hardware (nodos) y cómo los elementos y artefactos del software fueron trazados en esos nodos.

**Vista +1 o Vista de Escenarios:** Esta vista sirvió para unir a las otras cuatro vistas por medio de secuencias de interacciones que se llegaron a establecer entre sus



elementos. Tuvo dos propósitos, se utilizó como una guía para descubrir elementos arquitectónicos en el momento del diseño, y para validar e ilustrar el diseño de la arquitectura.

Con esta vista no se creó ningún vínculo persistente que mantenga la relación entre una vista y otra, pues las interacciones que se establecieron entre ellas se realizaron con fines de prueba y validación.

En esta vista se incluyeron diagramas de casos de uso de UML que describieron las relaciones y las dependencias entre un grupo de casos de uso y los actores participantes en el proceso. Tuvo la finalidad de facilitar la comunicación con los futuros usuarios del sistema, y con el cliente, y resultando especialmente útiles para determinar las características necesarias que tuvo el sistema.

### **3.2.1. Software Utilizado para la Programación del Prototipo**

Una vez descrito detalladamente el software desarrollado, el comportamiento esperado y su interacción con los usuarios y/u otros sistemas, así como la especificación de la interfaz de usuario, se prosiguió a programar la herramienta de software que se utilizó para el monitoreo de toma de avances de obra.

El software utilizado para el desarrollo del programa ProFin fue el siguiente:

#### **Microsoft Visual Studio 2015**

Para lograr el objetivo de la programación de la herramienta de software planteado, se utilizó la aplicación de Microsoft Visual Studio .NET 2015, el cual es un entorno para el sistema operativo Windows.

Visual Studio es un conjunto de herramientas y otras tecnologías de desarrollo de software orientado a objetos, basado en componentes para crear aplicaciones eficaces y de alto rendimiento.

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.

La programación del prototipo se desarrolló en el lenguaje de programación Visual Basic .NET.

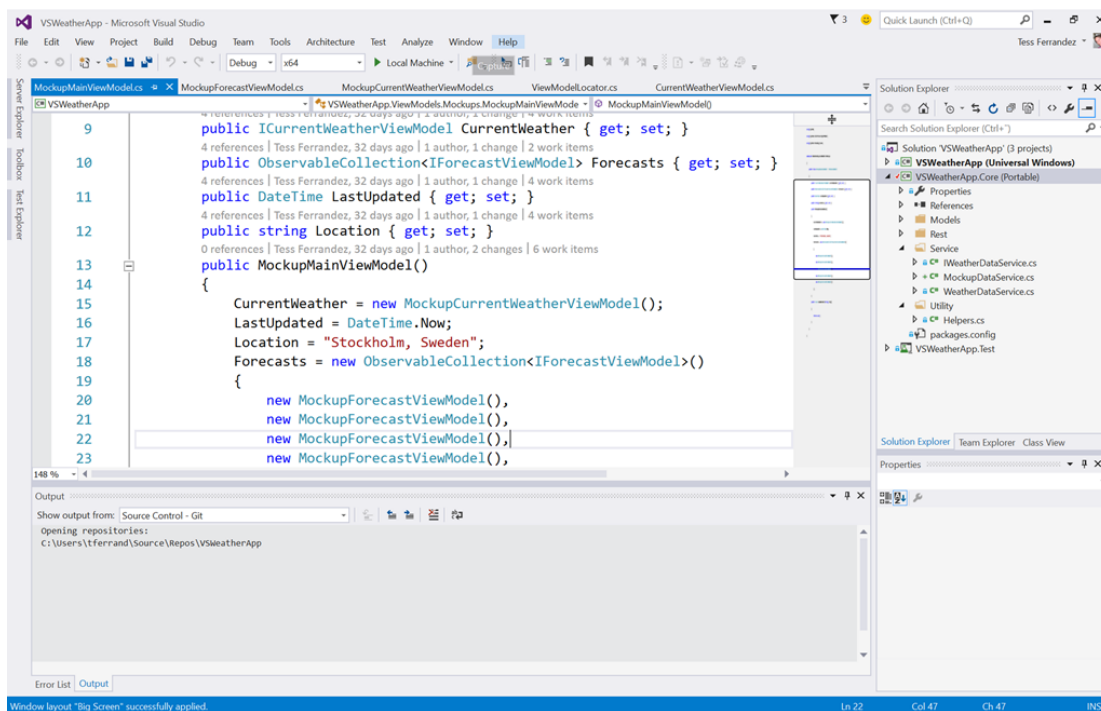


Figura 5. Interfaz de usuario del software Microsoft Visual Studio 2015.

## DevExpress 15.2

DevExpress es una de las más completas suites de componentes de interfaces de usuario (UI por sus siglas en inglés) para el desarrollo en todas las plataformas de .NET como Windows Forms, ASP.NET, MVC, Silverlight y Windows 8 XAML. Entre las ventajas para elegir este software estuvieron:

- Cuenta con controles para todas las plataformas de Microsoft Windows (más de 70 mediante los cuales se pueden diseñar aplicaciones de alta complejidad).
- La creación de los componentes es semiautomática, DevExpress se encarga de realizar todo el código necesario para la visualización y llenado de los componentes según la plataforma utilizada.
- Permite llenar de manera sencilla cada uno de los componentes con información traída de una conexión de base de datos.

- Mejora el rendimiento de las aplicaciones al optimizar el código de llenado de las vistas.
- El tiempo de desarrollo se reduce considerablemente al no tener que teclear todo el código.
- Incluye plantillas predefinidas para varios tipos de aplicaciones.
- Incluye la herramienta Theme Builder, la cual permite editar el estilo de los controles y genera automáticamente la hoja de estilos de la aplicación siguiendo el patrón elegido.
- La documentación que incluye tanto en Visual Studio (descripciones de métodos y parámetros) como externa (documentación de clases y ejemplos) es realmente extensa y útil.
- Es altamente personalizable.

Este software se utilizó para crear la Interfaz Gráfica de Usuario o Graphic User Interface (GUI) la cual es un conjunto de formas y métodos que posibilitan a los usuarios la interacción con un sistema, empleando para esto gráficos e imágenes.

Estas formas gráficas dieron representación a botones, íconos, ventanas, fuentes, etc. los cuales conforman a su vez funciones, acciones e información en el contexto del sistema.

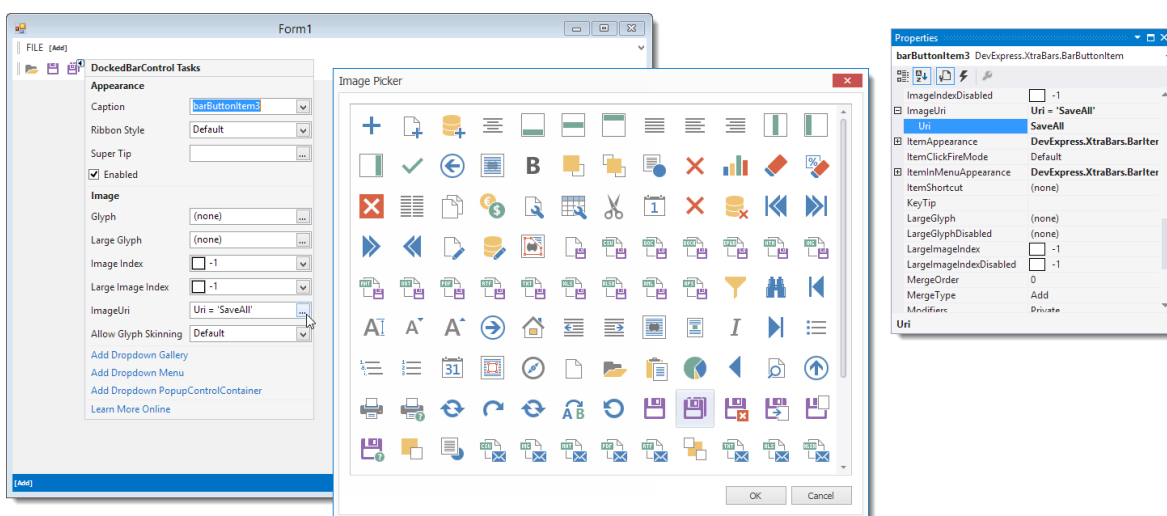


Figura 6. Ejemplo de aplicaciones del software DevExpress 15.2.

## devDept Eyeshot 9.0

Para desarrollar el despliegue de vistas 3D interactivas que utiliza el programa ProFin, se utilizó el software Eyeshot 9.0.

El programa Eyeshot es una de las mejores soluciones para los desarrolladores que buscan añadir ventanas gráficas 3D avanzadas, con muchas características y visualmente atractivas a sus aplicaciones de

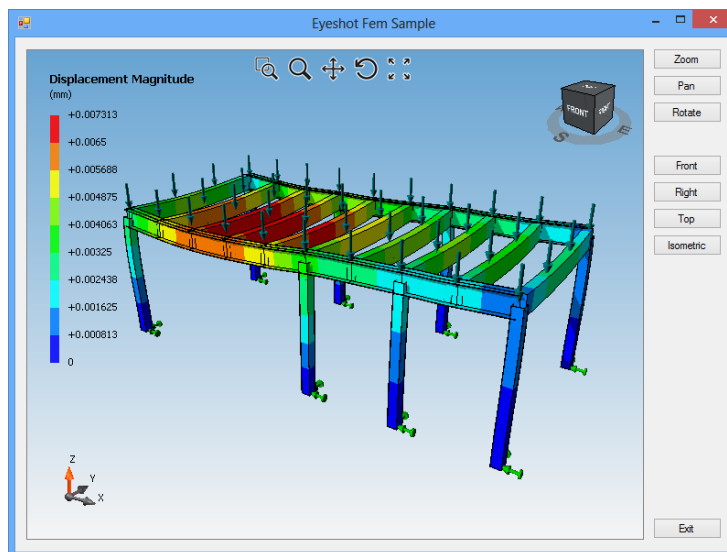


Figura 7. Interfaz del software Eyeshot 9.0.

Windows. Se puede obtener el máximo provecho de la escena 3D mediante los controles interactivos Zoom / Desplazar / Rotar, cinco modos de sombreado diferentes, ocho métodos de selección, capas de soporte e imágenes e impresión profesionales.

Eyeshot incluye una gama completa de tipos de entidad, incluyendo curvas, mallas poliédricas, superficies, sólidos y nubes de puntos. Las herramientas de modelado incluyen la triangulación y construcción de mallas, operaciones booleanas, la curva y las superficies de asiento, etc. Tiene soporte de los principales formatos de archivo CAD estándar permitiendo que los modelos 3D sean fácilmente importados y exportados.

Con este software se pudo obtener la pantalla de visualización de los modelos BIM, necesaria para la manipulación de sus elementos.

## IFC Engine DLL

El IFC Engine DLL es una caja de herramientas STEP que se utilizó para generar geometría 3D para las versiones populares del esquema IFC. El componente es capaz de cargar, editar y crear Archivos Físicos Step (así como la notación XML) y sus

esquemas, a través de la propia base de datos del objeto. Esto incluye todas las versiones de IFC actualmente disponibles.

Las ventajas de utilizar este software fueron:

- Velocidad y escalabilidad
- Multiplataforma: compatibles con Windows, Linux y OSX en bit 32 o 64 bits.
- La geometría Kernel embebida
- Fiabilidad y soporte

Este software se utilizó para poder leer los archivos IFC dentro del programa ProFin.

### **3.3. Software Empleado para el Desarrollo de la Investigación y Preparación de Modelos BIM**

Para continuar con la metodología de este trabajo, el siguiente paso consistió en la verificación del buen funcionamiento del prototipo para lo que fue diseñado.

Para esto, a continuación se describen los softwares utilizados para obtener los diferentes entregables de cada uno de dichos pasos, necesarios para llevar a cabo el monitoreo de avances de obra basado en un modelo BIM 5D. Estos programas fueron:

- Autodesk AutoCAD 2017
- Autodesk Revit 2016
- Software de Presupuestos y Precios Unitarios (SincoWFI)
- iConverter
- ProFin 1.0

#### **Autodesk AutoCAD 2017**

AutoCAD es un software del tipo CAD (Computer Aided Design) o diseño asistido por computadora, creado por la empresa Autodesk. Es utilizado habitualmente para el desarrollo y elaboración de complejas piezas de dibujo técnico y planos arquitectónicos en dos dimensiones (2D) y para creación de modelos tridimensionales (3D).

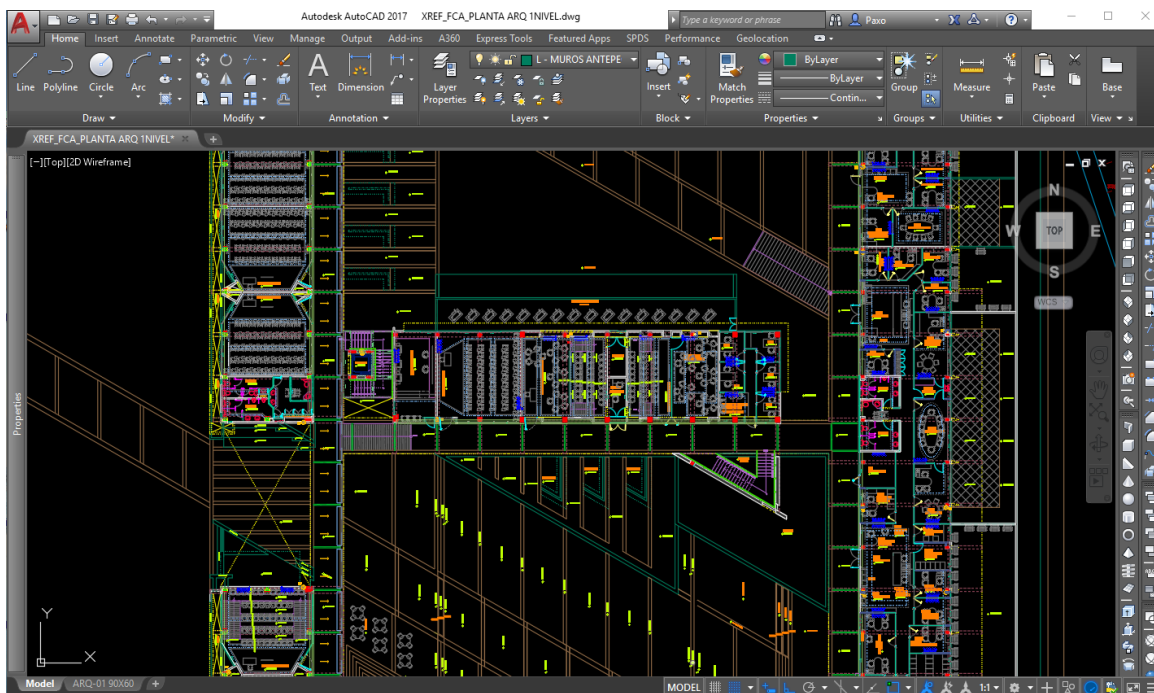


Figura 8. Interfaz de usuario del programa AutoCAD.

Comúnmente los proyectos arquitectónicos realizados en México son realizados en este programa o en programas similares de dibujo arquitectónico. Sin embargo, como se mencionó anteriormente en el marco teórico, lo que se pretende en el futuro, es pasar del diseño arquitectónico con un dibujo vectorial en 2D, a la modelación BIM 3D con elementos paramétricos. Sin embargo puede pasar algo de tiempo hasta que esto suceda.

Un paso que se puede realizar para la implementación de BIM por parte de las empresas constructoras, es seguir utilizando este tipo de programas de dibujo técnico como AutoCAD para la elaboración de planos arquitectónicos, para luego ser importados a un software de modelación paramétrica como Revit por ejemplo. Los planos de AutoCAD se utilizarían como base para modelar los elementos del proyecto.

Para que esto se pueda realizar, es necesario contar con el proyecto ejecutivo de los proyectos, que incluye:

a. Proyecto arquitectónico

- Planos de plantas, fachadas y cortes, acotados y con dibujos complementarios de aquellos detalles que lo ameritan.

- Plano de acabados indicando claves y nomenclatura utilizada.
  - Perspectivas: imágenes de fachadas, espacios interiores y detalles necesarios para el mayor entendimiento de los planos.
- b. Proyecto estructural.
- Planos de plantas y cortes con detalles constructivos, indicando cotas y secciones de los elementos estructurales.
  - Especificación de materiales.
  - Especificaciones del procedimiento constructivo y memorias de cálculos.
- c. Proyecto de instalaciones.
- Planos de instalaciones hidráulicas, en planta e isométrico, así como detalles y materiales utilizados.
  - Planos de instalaciones sanitarias, en planta e isométrico, así como detalles y materiales utilizados.
  - Planos de instalaciones eléctricas, en planta e isométrico, así como detalles y materiales utilizados.
  - Planos de instalaciones especiales.

En esta investigación se utilizaron dos proyectos que se mencionarán más adelante, de los cuales se obtuvieron todos los planos necesarios para la elaboración de los modelos BIM.

### **Autodesk Revit 2016**

Revit fue creado de forma exclusiva para trabajo en modelado BIM. Se trata de un programa con un motor de cambios paramétricos con una base de datos relacional que gestiona y coordina la información necesaria para el modelado del diseño arquitectónico, la construcción, y la ingeniería de un edificio, incluyendo todas las especialidades. Este programa permite crear diseños basados en objetos inteligentes y tridimensionales, los cuales están asociados para coordinarse automáticamente ante cualquier cambio introducido.

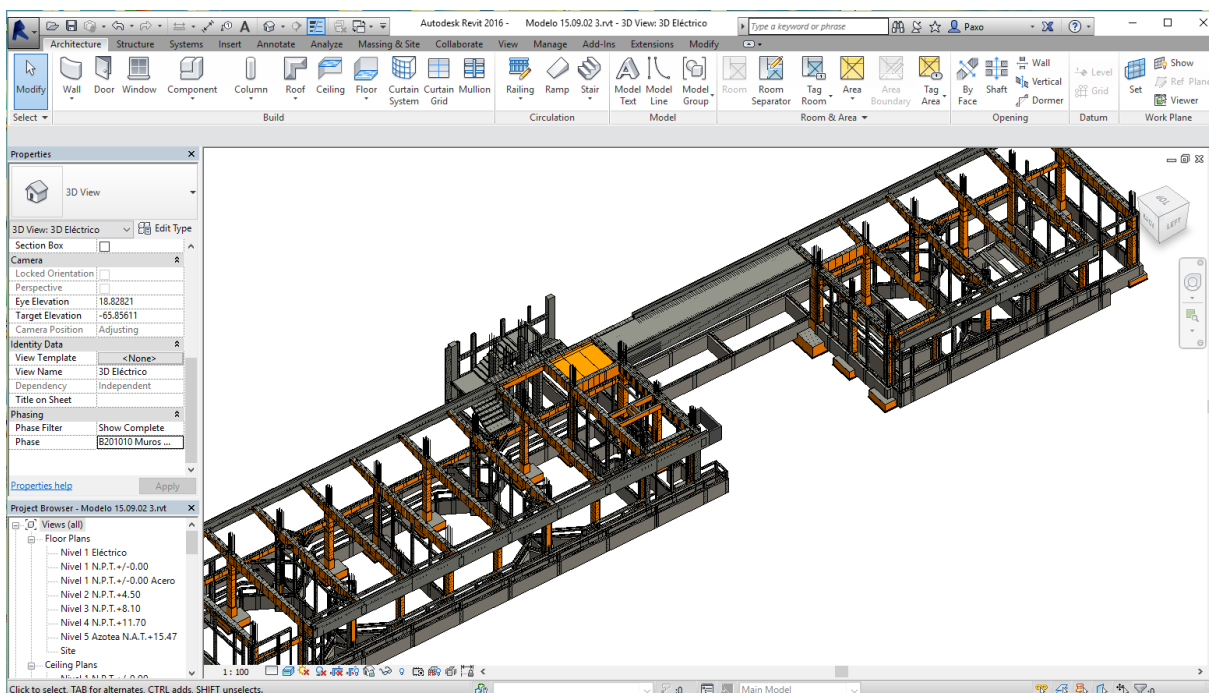


Figura 9. Interfaz de usuario del software Autodesk Revit.

Para la realización de los modelos utilizados en esta investigación, se optó por elegir el programa Autodesk Revit 2016 por los siguientes motivos:

- Autodesk Revit es un software de Modelado de información de construcción, para Microsoft Windows, desarrollado actualmente por Autodesk, que permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico.
- El programa usa un archivo único (IFC) que contiene toda la información del proyecto, incluidas las vistas, lámina y bibliotecas de objetos paramétricos.
- De todas las aplicaciones BIM, es la que está más orientada hacia la tecnología de Modelos de Información, con una estructura interna muy coherente.
- Dispone de una interfaz gráfica de parametrización que permite modelar cualquier elemento con independencia de su uso.
- Cuenta con herramientas que permiten establecer determinadas relaciones asociativas entre objetos, sean del tipo que sean.
- Se tiene experiencia en la utilización de aplicaciones de Autodesk (AutoCAD, 3d's Max, Navisworks, Maya, entre otros).



Para adquirir los conocimientos necesarios sobre la creación del modelo BIM y la gestión de su información, se llevó a cabo una completa asimilación de los programas Revit Architecture, Revit Structure y Revit MEP (instalaciones hidrosanitarias, eléctricas y mecánicas), que fueron necesarios para crear los modelos con todas las partidas necesarias para la implementación del prototipo desarrollado.

En Revit, todos los elementos que se incluyen en el modelo del proyecto son creados a través de familias. La utilización de familias predefinidas y nuevas permite dar una estandarización y elementos a la medida al modelado del edificio.

En este programa, una familia es un grupo de elementos con un conjunto de características comunes (los cuales son llamados parámetros), y una representación gráfica relacionada.

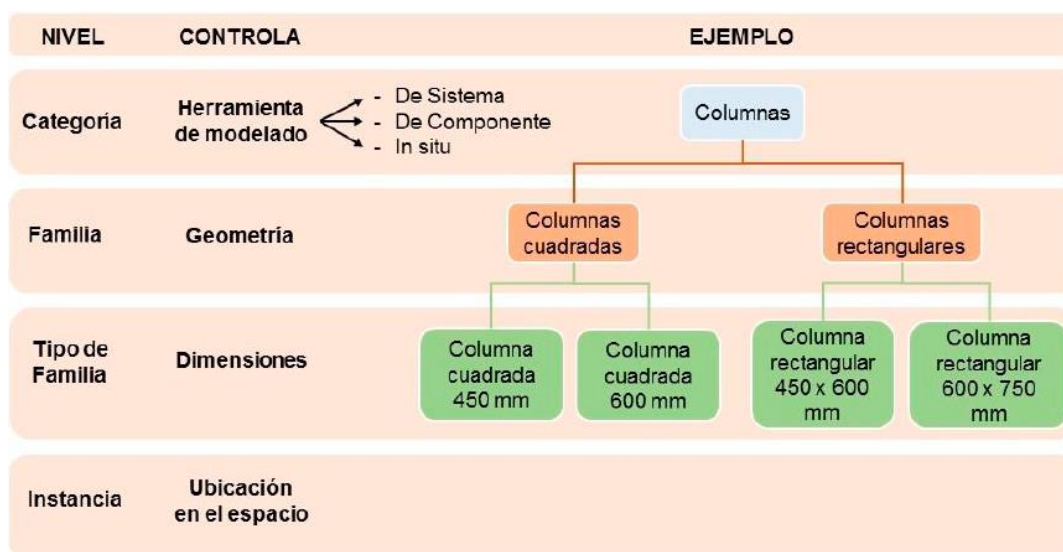


Figura 10. Ejemplo de una familia en Revit dividida por niveles.

Para establecer un procedimiento para la realización de los modelos utilizados en esta investigación, se utilizó como referencia la tesis presentada por la I.C. Maricela Laguna Hernández, que lleva por título, “Determinación de los criterios para generar modelos BIM aplicables en la construcción de los proyectos de edificación en el Estado de Yucatán”.

De acuerdo con Laguna (2015), para la configuración del modelado se hace una revisión desde la elección de la familia a elegir que tenga características similares al

elemento a modelar, partiendo del tipo de medida que sería de ayuda para la cuantificación. En caso de ser una familia de elemento o una familia similar seleccionada, se continúa con una configuración del modelo BIM en cuanto a la información de entrada que se requiere del elemento para que pueda ser cuantificado.

Tabla 3. Lista de familias permitidas en Revit.

+	Air Terminals	+	Flex Ducts	+	Roads
+	Cable Tray Fittings	+	Flex Pipes	+	Roofs
+	Cable Trays	+	Floors	.....	Security Devices
+	Casework	+	Furniture	+	Shaft Openings
+	Ceilings	+	Furniture Systems	+	Site
+	Columns	+	Generic Models	+	Specialty Equipment
.....	Communication Devices	+	HVAC Zones	.....	Sprinklers
+	Conduit Fittings	.....	Lighting Devices	+	Stairs
+	Conduits	+	Lighting Fixtures	+	Structural Area Reinforcement
+	Curtain Panels	+	Mass	.....	Structural Beam Systems
+	Curtain Systems	+	Mechanical Equipment	+	Structural Columns
+	Curtain Wall Mullions	.....	Nurse Call Devices	+	Structural Connections
.....	Data Devices	+	Parking	+	Structural Fabric Areas
+	Detail Items	+	Parts	+	Structural Fabric Reinforcement
+	Doors	.....	Pipe Accessories	+	Structural Foundations
.....	Duct Accessories	+	Pipe Fittings	+	Structural Framing
+	Duct Fittings	.....	Pipe Insulations	+	Structural Path Reinforcement
.....	Duct Insulations	.....	Pipe Placeholders	+	Structural Rebar
.....	Duct Linings	+	Pipes	+	Structural Stiffeners
.....	Duct Placeholders	+	Planting	+	Structural Trusses
+	Ducts	+	Plumbing Fixtures	.....	Telephone Devices
+	Electrical Equipment	+	Railings	+	Topography
+	Electrical Fixtures	+	Ramps	+	Walls
+	Entourage	+	Roads	+	Windows
.....	Fire Alarm Devices	+	Roofs	+	Wires

Un primer paso para el desarrollo de los modelos BIM, fue la obtención de los proyectos ejecutivos de edificación que cumplieran con los objetivos y con las características necesarias, para posteriormente continuar con el análisis de la información obtenida de dichos planos proporcionados, con la finalidad de determinar los elementos que serían modelados.

El siguiente paso de acuerdo a Laguna (2015), consistió en la organización de los conceptos de obra del presupuesto en base al CSI UniFormat™ 2010 (CSI), el cual es un método para ordenar información de la construcción basado en elementos funcionales o partes de una instalación caracterizadas por sus funciones, sin importar los materiales o métodos que se usen para construirse.

UniFormat es una publicación de la organización canadiense CSI, promotora de estándares y especificaciones de construcción.

Esta organización permitió que los objetos o elementos del modelo sean ubicados antes de que sus propiedades sean definidas. Las categorías del CSI se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Categorías del CSI UniFormat™ 2010.

<b>Nivel 1 Grupo Mayor de Elementos</b>	<b>Nivel 2 Grupo de Elementos</b>	<b>Nivel 3 Elementos Individuales</b>
A SUBESTRUCTURA	A10 Cimentaciones	A1010 Cimentaciones estándar A1020 Cimentaciones especiales A1030 Losa de Cimentación
	A20 Construcción de Sótano	A2010 Excavación de sótano A2020 Paredes de sótano
B CUERPO	B10 Superestructura	B1010 Construcción de pisos B1020 Construcción de techos
	B20 Cerramiento exterior	B2010 Paredes exteriores B2020 Ventanas exteriores B2030 Puertas exteriores
	B30 Techumbre	B3010 Cubiertas de techo B3020 Apertura de techo
C INTERIORES	C10 Construcción interior	C1010 Particiones C1020 Puertas interiores C1030 Ajustes
	C20 Escaleras	C2010 Construcción escalera C2020 Acabado escalera
	C30 Acabado interior	C3010 Acabado de muro C3020 Acabado de piso C3030 Acabado de techo
D SERVICIOS	D10 Bandas	D1010 Elevadores D1020 Escaladoras y pasarela D1030 Otros sistemas de bandas
	D20 Plomería	D2010 Accesorios de plomería D2020 Distribución de agua D2030 Drenaje D2040 Drenaje pluvial D2090 Otros sistemas de plomería
	D30 HVAC	D3010 Suministro de energía D3020 Sistema generador de calor D3030 Sistema generador de frío D3040 Sistema de distribución D3050 Unidades terminales de paquete D3060 Instrumentación y control D3070 Sistema de prueba y balanceo D3090 Otros sistemas HVAC y equipo
	D40 Protección al fuego	D4010 Rociadores D4020 Tuberías a presión D4030 Protección al fuego especialidades D4090 Otros sistemas de protección al fuego

	D50 Eléctrico	D5010 Servicio eléctrico y distribución D5020 Iluminación y alumbrado D5030 Comunicaciones y seguridad D5090 Otros sistemas eléctricos
E MOBILIARIO Y EQUIPO	E10 Equipo	E1010 Equipo comercial E1020 Equipo institucional E1030 Equipo vehicular E1090 Otro equipamiento
	E20 Mobiliario	E2010 Mobiliario fijo E2020 Mobiliario móvil
F CONSTR. ESPECIAL Y DEMOLICIÓN	F10 Construcción especial	F1010 Estructuras especiales F1020 Construcción integrada F1030 Sistemas de construcción especial F1040 Instalaciones especiales F1050 Instrumentación y controles especiales
	F20 Demolición de edificios selectiva	F2010 Demolición de elementos del edificio F2020 Reducción de componentes peligrosos
G SITIO DE OBRA DEL EDIFICIO	G10 Preparación del sitio	G1010 Limpieza del sitio G1020 Reubicaciones y demolición en sitio G1030 Movimiento de tierras G1040 Tratamiento de residuos peligrosos
	G20 Mejoras del sitio	G2010 Caminos G2020 Estacionamientos G2030 Pavimentación de área para peatones G2040 Desarrollo del sitio G2050 Jardinería
	G30 Servicios civil/mec. del sitio	G3010 Sistemas de suministro y distribución G3020 Sistemas de drenaje G3030 Sistemas de tormentas G3040 Distribución de calefacción G3050 Distribución de refrigeración G3060 Distribución de combustible G3090 Otros servicios civil/mecánicos
	G40 Servicios eléctricos del sitio	G4010 Distribución eléctrica G4020 Iluminación del sitio G4030 Seguridad y comunicaciones del sitio G4090 Otros servicios eléctricos
	G50 Otros - construcción en sitio	G5010 Servicio de túnel G5090 Otros sistemas y equipamiento del sitio

De igual manera esta clasificación se utilizó para determinar la fase de creación de los elementos modelados. En Revit, estas fases permitieron dividir el proyecto en diferentes etapas (aunque no necesariamente siguiendo una dimensión de tiempo) y las opciones de visualización ayudaron a que la modelación se realice correctamente. Por ejemplo se pudo seleccionar una visualización que solo permitiera mostrar exclusivamente la fase actual, desactivando las otras fases que pudieran perjudicar el modelado de estos elementos.

Con el análisis de la información del proyecto, se identificaron los elementos del modelo BIM y a su vez se determinaron las familias más adecuadas para su realización, las cuales cumplieron con las características geométricas y de comportamiento para la extracción de datos requeridos para la cuantificación y administración de la construcción del edificio.

Otras recomendaciones que se siguieron fueron tomadas del trabajo del Ing. Marco Antonio Medina Pacheco, “La administración de los materiales en proyectos de edificación mediante modelos BIM” (Medina 2015). En este trabajo se sugiere:

1. El nivel de detalle con el que se debe elaborar el modelo BIM. Por ejemplo, para los propósitos de esta investigación se consideró necesario modelar los armados de acero de los elementos estructurales principales (zapatas, columnas y trabes), con el fin de poder cuantificar de manera precisa la cantidad de acero.
2. La secuencia con la que se realizan los elementos constructivos del proyecto. Por ejemplo, en el contexto local los acabados en los muros generalmente se manejan como un concepto de trabajo separado del concepto de muro de block, ya que estos dos elementos se llevan a cabo en diferentes momentos del proceso constructivo y su costo también se estima como dos diferentes conceptos; esto implicó que los muros y acabados en muros se tuvieron que modelar individualmente.
3. Los métodos de construcción que se hayan decidido utilizar en el proyecto. Por ejemplo, para las losas de vigueta y bovedilla fue necesario modelar de manera individual, la sección de las viguetas y bovedillas, y otra sección de la capa de

compresión que integran este tipo de losa, para que la cuantificación sea lo más precisa posible.

4. La manera como se administran los elementos del proyecto. Por ejemplo, los castillos se modelaron como un elemento integrado para cuya estimación de la cuantificación se incluyó el acero, la cimbra y el concreto en un solo elemento; pero para las columnas, se modelaron los materiales como tres elementos diferentes del proyecto, acero, concreto y cimbra, y de la misma manera, se estimó la cuantificación por separado de cada uno de ellos (Medina 2015).

Una vez elaborados los modelos BIM, se procedió a convertir o exportar dichos modelos a un formato IFC. El programa Revit permite importaciones y exportaciones IFC con certificación completa basadas en las normativas sobre intercambio de datos IFC de buildingSMART®. Para exportar, Revit admite las siguientes normativas: IFC4, IFC2x3 e IFC2x2. En este caso se utilizará la versión de la normativa IFC2x3, ya que el IFC4 aún no se ha regularizado.

Una de las ventajas de obtener un archivo IFC es que este puede ser creado desde cualquier versión de Revit, o desde cualquier otro tipo de programa de modelación paramétrica que presente la opción de exportación del modelo a un archivo IFC.

El entregable para esta etapa fueron los modelos BIM de los proyectos seleccionados en un formato IFC.

Esta investigación tiene como alcance la realización del modelo BIM enfocado hacia su utilización por medio del prototipo desarrollado, durante la construcción del proyecto elegido, la cuantificación de los elementos del proyecto y el monitoreo de la toma de avances de obra.

### **Software de Presupuestos y Precios Unitarios**

- **OPUS:** permite elaborar presupuestos de obra con y sin análisis de precios unitarios. Hace uso de recursos como mano de obra, materiales, herramientas, maquinaria, matrices, auxiliares, fletes y subcontratos. La interfaz de los menús de la última versión evolucionó el sistema gráfico de "Ribbon" o listón de Microsoft. Además facilita mucho el intercambio de datos con hojas de cálculo

y documentos externos. Se pueden localizar fácilmente todos los elementos de la matriz de precios unitarios. Los informes se puede imprimir en formato PDF, Excel o de Word. Sin embargo, el programa presenta algunas desventajas ya que se ha vuelto muy inestable, y en ocasiones tarda mucho en procesar el cálculo. Por otra parte, ya no usa las bases de datos de Borland (debido a que la compañía ya no existe), y usa las bases de datos de Microsoft, que son más lentas, inestables e inseguras.

- **NEODATA:** nace en 1990 como un software para precios unitarios y desde 1998 se establece como líder en ese sector. La ventajas que aporta al constructor son la integración total de sistemas a un bajo costo de inversión, ya que el usuario puede presupuestar, controlar sus obras por Internet, requerir insumos, comprarlos, almacenarlos, pagar a proveedores contabilizando en automático, estimar, facturar al cliente, cobrar contabilizando cada paso; en el caso concreto de la vivienda, controlar la tramitología, hacer contratos, cobrar al cliente, pagar comisiones y contabilizar. Por otro lado, Neodata tiene la mala fama de que no es un programa en sí mismo, sino sólo un conjunto de simples hojas de cálculo que se encuentran vinculadas a una base de datos. Esto facilita mucho el proceso de programación para los programadores pero conlleva riesgos: las hojas de cálculo son susceptibles de ser cambiadas o modificadas por los usuarios inexpertos o por virus, de modo que llegara un momento en que podría producir resultados falsos y no será fácil encontrar el origen del error. La interfase de usuario no ayuda mucho al usuario, resulta difícil encontrar los elementos de la matriz de precios unitarios, así como muchos comandos útiles.
- **SincoWfi:** es una herramienta computacional para ingeniería de costos que implementa la mayoría de las funciones de su predecesor (Sinco 3.2 MS-DOS) en cuanto a la elaboración de concursos, presupuestos detallados en base a precios unitarios, programas de obra y estimaciones. Fue desarrollada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, y se programó en un lenguaje visual. Entre algunas de las características que posee el programa se pueden mencionar: interfase 100% compatible con sistema operativo Windows, importación total desde Sinco 3.2 MS-DOS (versión

anterior), cálculo de factor de salario real, módulo de precios unitarios, gráfica estadística de composición de análisis, números generadores, cálculo de factor de sobre costo, análisis detallado del financiamiento, módulo de programación de obra de manera gráfica, explosión de obra, distintos formatos de cálculo de precios unitarios, de presupuestos y de factor de salario real, reportes impresos en cualquier impresora compatible con Windows, edición de precios unitarios, insumos, etc. de manera simultánea, reportes electrónicos con formato de Excel, PDF, HTML, etc., estimaciones, entre otros.

Específicamente para objeto de esta investigación, se utilizó el programa SincowFI para obtener el presupuesto del proyecto seleccionado, modificarlo y adecuarlo de acuerdo a lo requerido. El entregable en esta etapa fue un archivo en el formato de SincowFI, con toda la información del proyecto con respecto al catálogo de conceptos de la obra y sus costos asignados.

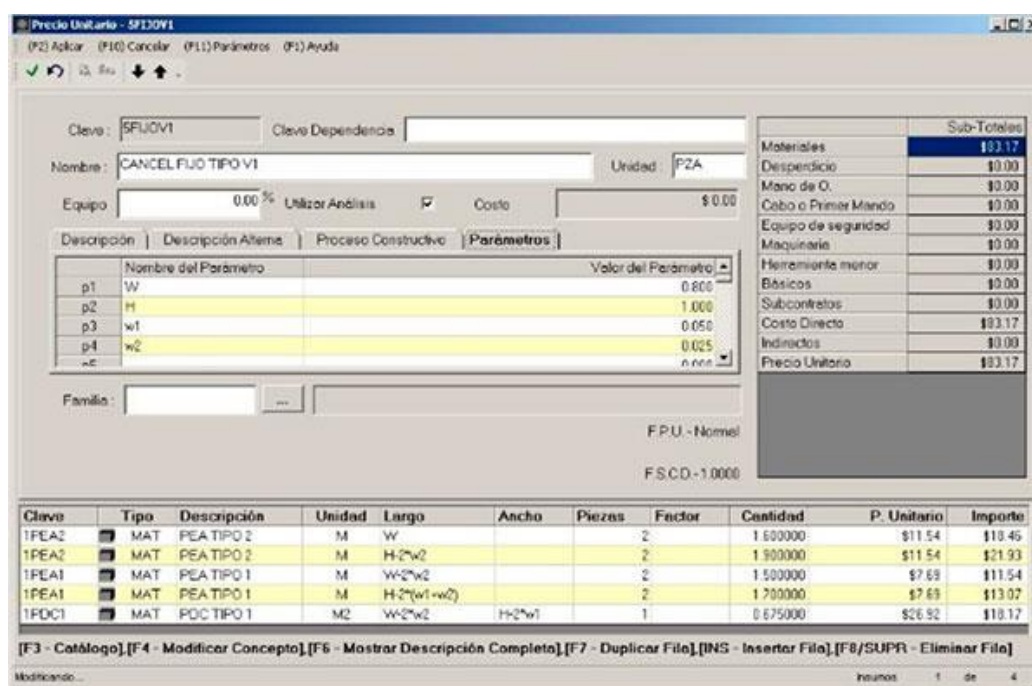


Figura 11. Interfaz de usuario del software SincowFI.

## iConverter

El presupuesto de obra es de utilidad para conocer el costo total más aproximado de todo lo que conlleva la construcción de una edificación. Como se mencionó



anteriormente, existen diversos programas para la realización de estos presupuestos como por ejemplo OPUS, NeoData, SincoWfi, Excel, etc.

Para poder utilizar el presupuesto de los proyectos dentro del programa ProFin, se desarrolló una herramienta de software a la cual se le llamó iConverter, que tiene como objetivo convertir dicho presupuesto de la obra (desde cualquier programa de presupuestos), a una base de datos con un formato llamado .COSTEX.

Se diseñó la interfaz de usuario para esta importación del presupuesto de obra a nivel de explosión por concepto desde la paquetería de costos, como se muestra en la siguiente imagen:

The screenshot displays the iConverter software interface. On the left, a tree view shows the project structure under 'Presupuesto', including categories like 'PRELIMINARES', 'CIMENTACION', 'MUROS, CADENAS Y CASTILLOS', 'CARPINTERIA Y CANCELERIA', 'ESTRUCTURAS', 'CUBIERTAS', and 'ACABADOS'. The 'Concepto de Presupuesto' panel shows details for 'SCIM-005', including a description of a reinforced concrete slab, unit 'ML', cost '\$126.17', quantity '116.900000', and total import '14,749.27'. The main window shows an 'Explosión' (Explosion) table with columns for 'Código', 'Tipo', 'Descripción', 'Unidad', 'Denominaciones', 'Cantidad', 'Costo', 'Importe', 'Es Producción', 'Asignado', and 'Por Asignar'. The table lists various materials and labor items with their respective quantities and costs. A total of '\$126.17' is shown at the bottom right of the table.

Código	Tipo	Descripción	Unidad	Denominaciones	Cantidad	Costo	Importe	Es Producción	Asignado	Por Asignar
1D00680	MAT	VARILLA FY=4200 KG/CM2 DE 5/16" A 1"	TON	7	0.004463	\$6,520.00	\$29.10	<input type="checkbox"/>	0.000000	0.521666
1D00600	MAT	ALAMBRE RECOCIDO #18	KG		0.298100	\$8.18	\$2.44	<input type="checkbox"/>	0.000000	34.847890
1D00610	MAT	CLAVOS 2 1/2"	KG		0.032000	\$7.27	\$0.23	<input type="checkbox"/>	0.000000	3.740800
1F01000	MAT	MADERA D/PINO DE 3a	PT		0.107200	\$5.00	\$0.54	<input type="checkbox"/>	0.000000	12.531680
1X01100	MAT	DIESEL	LT		0.040000	\$4.50	\$0.18	<input type="checkbox"/>	0.000000	4.676000
1A00070	MAT	CEMENTO GRIS TIPO I (SACO 50KG)	SACO 50 KG		0.302400	\$81.82	\$24.74	<input type="checkbox"/>	0.000000	35.350560
1B00080	MAT	POLVO DE PIEDRA	M3		0.031920	\$345.45	\$11.03	<input type="checkbox"/>	0.000000	3.731448
1B00090	MAT	GRAVA	M3		0.041184	\$345.45	\$14.23	<input type="checkbox"/>	0.000000	4.814410
1A00060	MAT	AGUA	M3		0.009600	\$72.73	\$0.70	<input type="checkbox"/>	0.000000	1.122240
2A005	MDO	PEON	JOR		0.075400	\$220.00	\$16.59	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	8.814260
2A007	MDO	OFICIAL DE ALBAÑIL	JOR		0.075400	\$350.00	\$26.39	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	8.814260

Figura 12. Interfaz de usuario del programa iConverter.

Se puede observar la estructura por partidas y conceptos del proyecto, en donde se especifica el código de cada uno, su descripción, unidad, costo, cantidad e importe. De igual manera se presenta la explosión de materiales y mano de obra de cada concepto de obra.

El entregable de esta etapa fue una base de datos con un formato .COSTEX, que presentó toda la información del presupuesto del proyecto seleccionado (obtenido del archivo del programa SincoWFI de la obra), y que pudo ser importado a la aplicación ProFin.

## **ProFin 1.0**

El software desarrollado ProFin utilizado en esta investigación, es una herramienta para computadoras de escritorio y dispositivos portátiles (tablets) con soporte para Windows, el cual, como se mencionó anteriormente, se programó utilizando Visual Studio 2015.

Esta herramienta está diseñada para utilizar durante la planeación detallada y control de una obra de construcción la cual permite:

1. La importación de un modelo BIM en formato IFC (estándar de intercambio Industry Foundation Classes) con un nivel de detalle (LOD) entre 200 y 400 dependiendo del elemento modelado.
2. La importación de un presupuesto de obra a nivel de explosión por concepto desde la paquetería de costos (OPUS, NeoData, SincoWfi, Excel, etc.), a través de un software convertidor.
3. Importación del entregable del modelo BIM (IFC) a la base de datos del programa.
4. La asociación detallada de conceptos de obra con trabajo por ejecutar.
5. La asociación detallada de conceptos de obra con el modelo BIM.
6. La elaboración de un programa detallado de trabajo por ejecutar (PDM) a partir del presupuesto.
7. La estimación de avances de obra utilizando el modelo 3D en un ambiente dinámico, interactivo y amigable para el usuario.
8. Despliegue de reportes producto de las estimaciones para pago de destajos y/o subcontratos de mano de obra.

ProFin es un prototipo conformado por un software que puede ser utilizado tanto en una computadora de escritorio, como en un dispositivo móvil. Este último fue el utilizado para realizar la toma de avances de obra, estimaciones, reportes, etc. en la obra seleccionada.

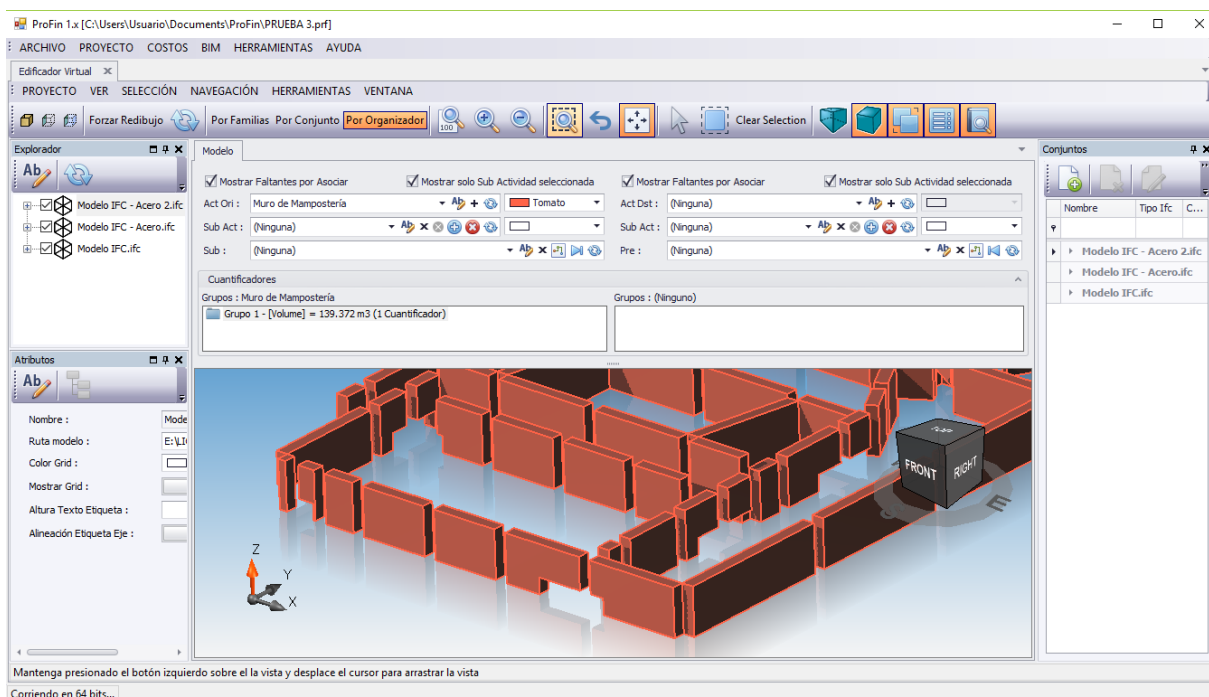


Figura 13. Interfaz de usuario del software ProFin.

### 3.4. Validación del Funcionamiento del Prototipo

El último objetivo de esta investigación fue con respecto a la validación del funcionamiento del prototipo para lo que fue desarrollado, en una obra de edificación en proceso de construcción, comparando el método y la herramienta propuesta con el proceso de monitoreo tradicional.

Para realizar el monitoreo de avance en obra, se utilizó un Dispositivo Móvil (Tablet) con soporte para Windows. Este dispositivo se utilizó para correr el estimador BIM del prototipo desarrollado el cual permitió:

1. El despliegue de elementos del modelo BIM filtrado por: trabajo faltante por ejecutar a la fecha, trabajo ejecutado, etc.
2. Opciones para completar la información de medidas de los elementos constructivos con un caso de excepción (por ejemplo, elementos con dimensiones estimadas en el modelo BIM que necesitan de las medidas reales tomadas en obra para la obtención de su volumen).
3. El registro del porcentaje de avance de los elementos del modelo BIM.

4. La elaboración de reportes de avance de la obra, general y por contratista (estimaciones).

Se optó por la utilización de una Tablet ya que son computadoras portátiles que están diseñadas para su uso en campo y son capaces de adaptarse a distintos tipos de información, tales como planos y especificaciones del proyecto. Además pueden conectarse a la base de datos central del proyecto a través de Ethernet o Internet para la transferencia de información. Estos dispositivos móviles pueden transferir dicha información adquirida en campo a una base de datos central y también proporcionar a los ingenieros y jefes del proyecto la información que se necesita en el sitio de construcción.

Para esta investigación se adquirió una Tablet para instalar el prototipo desarrollado y realizar el monitoreo de avances de obra del proyecto seleccionado. Las especificaciones de la Tablet fueron las siguientes:

Tabla 5. Especificaciones de la Tablet utilizada en esta investigación.

<b>Marca</b>	Dell
<b>Modelo</b>	Venue 11 Pro
<b>Procesador</b>	Procesador Intel® Core™ i5-4300Y (3MB, 1.6 GHz, doble núcleo) de cuarta generación
<b>Sistema operativo</b>	Windows 10 Pro (64 bits)
<b>Pantalla</b>	Pantalla IPS de 10,8" con resolución Full HD (1920 x 1080) y funcionalidad táctil capacitiva de 10 puntos
<b>Memoria</b>	8 GB SDRAM DDR3 a -1 MHz
<b>Disco duro</b>	Unidad de estado sólido Mobility de 256 GB
<b>Tarjeta de vídeo</b>	Tarjeta gráfica Intel® GT2
<b>Conexión inalámbrica</b>	Dell Wireless 1537 de doble banda 2 x 2 802.11n Wi-Fi + Bluetooth 4.0
<b>Batería principal</b>	Batería de Ion de Litio (intercambiable) de 2-Celdas 36Watt horas, hasta 8 horas de uso
<b>Cámara web</b>	Cámara delantera de 2 megapíxeles y trasera de 8 megapíxeles
<b>Peso</b>	0.79 kg
<b>Puertos y conectores</b>	Puerto USB 3.0 de tamaño completo, entrada combinada para auriculares y micrófono, ranura mini HDMI



Figura 14. Modelo de Tablet Dell Venue Pro 11.

Para realizar la validación del prototipo y la comparación con el método tradicional, se propusieron diferentes pruebas utilizando diferentes indicadores. Estos indicadores fueron características específicas, observables y medibles que pudieron ser usados para mostrar los cambios y progresos del programa hacia el logro de un resultado específico.

Estos indicadores fueron definidos en términos precisos, no ambiguos, que describieron clara y exactamente lo que se está midiendo. Para la evaluación se utilizaron indicadores tanto cuantitativos como cualitativos para ambos procesos de monitoreo.

De igual manera se realizó el diseño y aplicación de entrevistas al residente de obra encargado del control de la obra elegida para la validación del funcionamiento del prototipo. Mediante estas entrevistas se complementó la información recabada acerca de la implementación del software como un apoyo para la toma de avances de obra, adicionando la opinión del experto en cuestiones de control y administración de una construcción.

La herramienta utilizada para la obtención de información fue una serie de preguntas estructuradas aplicadas mediante entrevistas personales, las cuales estuvieron basadas en preguntas abiertas, ya que de esta manera se podrían obtener más información de las respuestas por parte del entrevistado (Naoum, 2007).

Se pretendió evaluar principalmente la validación del prototipo desarrollado con el dispositivo móvil ya que es el que generaría mayores salidas de información, y el que se utilizó para el monitoreo de la toma de avances de obra.

### **3.4.1. Indicadores Cuantitativos**

Los indicadores cuantitativos se definen como medidas de cantidad. Midió el cambio de una variable con respecto a otra o respecto a una meta, y permitieron valorar el desempeño. Además proporcionaron un medio sencillo y fiable para medir logros, reflejar los cambios vinculados con las acciones del programa, monitorear y evaluar sus resultados.

Los indicadores cuantitativos que se evaluaron en esta investigación estuvieron relacionados con: la precisión, el tiempo de obtención de resultados y la densidad de información.

**Precisión.-** este indicador fue de utilidad para identificar con qué frecuencia los usuarios finales se encuentran con resultados con una precisión inadecuada.

La información obtenida idealmente durante el monitoreo de avance de obra debe estar libre de errores, debe ser clara y reflejar adecuadamente el sentido de los datos en que se basa, además de que debe de transmitir una imagen entendible al receptor.

Este indicador estuvo basado en el análisis de la diferencia encontrada en la precisión entre ambos métodos de monitoreo que se presentaron durante la toma de avance de obra. Esta diferencia se da generalmente por errores en la toma de avances como por ejemplo: errores durante el asentamiento de datos, problemas para la interpretación de registros, errores durante la captura digital de datos, errores durante la transferencia de datos, entre otros.

Para conocer sobre cuáles son los errores más frecuentes que afectan la precisión encontrados en la toma de avances con el método tradicional, se realizaron entrevistas con el residente de obra para conocer las dificultades con las que se ha encontrado durante la construcción de la obra. Por otra lado, se realizó el monitoreo de avances de obra utilizando el prototipo desarrollado, para encontrar problemas similares o nuevas dificultades, para finalmente comparar los resultados obtenidos en ambos métodos.

Con este indicador se pudo conocer la capacidad de los métodos de control de avance de obra de permitir a los usuarios conseguir objetivos específicos con exactitud, precisión e integridad en un contexto de uso especificado.

**Tiempo de obtención de resultados.**- es muy importante el hacer llegar la información a los receptores dentro del rango de tiempo necesario.

Es así como la disponibilidad de datos a tiempo para poder tomar una acción correctiva, y la obtención de esos datos de tal manera que produzcan la menor interrupción de los esfuerzos productivos de la empresa, son factores clave para poder ejercer el control.

La información necesaria para evaluar este indicador se obtuvo del tiempo que le lleva a las metodologías del monitoreo de avance de obra obtener los resultados finales de dicho monitoreo. Se evaluó el tiempo para algunos conceptos de obra (procurando evaluar conceptos de diferentes partidas), desde que inicia la actividad de monitoreo en la obra elegida hasta que se comunicaron los resultados obtenidos a la administración.

Se realizaron entrevistas con el residente de obra para complementar información sobre el tiempo que le lleva realizar el monitoreo de manera tradicional. De igual manera se evaluó el tiempo para la realización del monitoreo con el prototipo desarrollado de los conceptos seleccionados, para luego comparar ambos métodos de monitoreo.

Con este indicador se pudo conocer la capacidad de los métodos de permitir a los usuarios utilizar cantidades apropiadas de recursos, en este caso el tiempo, en relación con la efectividad alcanzada en un contexto de uso especificado.

**Densidad de información obtenida.**- la densidad es el volumen de información presente en un informe o mensaje. La calidad de la información depende de la densidad que se tenga sobre el objeto o sobre el problema. Esto es, de la calidad y cantidad de información y de su capacidad para lograr percepciones adecuadas.

Para este indicador, se evaluó la densidad de información obtenida con el prototipo desarrollado, específicamente de los volúmenes de cada concepto de obra, para compararlos con los volúmenes generados en la planeación tradicional del proyecto (generadoras).

Con este indicador se pudo conocer la exactitud de volúmenes de cada concepto de obra utilizando ambos métodos. De igual manera, se complementó la información con base a entrevistas realizadas al residente de obra.

### **3.4.2. Indicadores Cualitativos**

Los indicadores cualitativos están basados en opiniones, percepciones o juicio de parte de la gente sobre algo. Se refiere a la comprensión de los puntos de vista, actitudes y perspectivas de lo investigado. Estos rasgos si bien no siempre son susceptibles de medir mediante técnicas estadísticas, brindan información que puede resultar valiosa para la comprensión del objeto de evaluación.

Para la medición de las variables subjetivas son necesarios instrumentos lógicos, para lo cual se requiere definir operacionalmente el concepto teórico. Estos instrumentos también son llamados constructo, los cuales se clasifican en: cuestionarios, escalas e inventarios.

Los indicadores cualitativos que se utilizaron en este trabajo fueron: la facilidad de operación o usabilidad, y el equipo y herramientas utilizadas.

**Facilidad de operación (usabilidad).**- es una medida del esfuerzo requerido para operar un sistema, preparar sus datos de entrada e interpretar los resultados que produce.

La usabilidad es la facilidad o nivel de uso (el grado en el que el diseño de un objeto facilita o dificulta su manejo), con que las personas pueden utilizar una herramienta



particular o cualquier otro objeto fabricado por humanos con el fin de alcanzar un objetivo concreto.

Los beneficios de la usabilidad implican una reducción y optimización general de los costos de producción, así como un aumento en la productividad. La usabilidad permite mayor rapidez en la realización de tareas y reduce las pérdidas de tiempo.

Este indicador se utilizó para evaluar la percepción que tienen los usuarios en cuanto a la facilidad de operación de ambos métodos de monitoreo. Para esto, se realizaron entrevistas al residente de obra encargado de realizar dichos monitoreos, para conocer la percepción que tiene al realizar el monitoreo con ambos métodos, y así conocer la capacidad de los procesos para ser comprendidos, aprendidos, usados y ser atractivos para el usuario, cuando se utiliza en condiciones especificadas.

**Equipo y herramientas utilizadas.-** para este indicador se realizaron entrevistas al residente de obra encargado de realizar los monitoreos para conocer su opinión sobre el equipo y las herramientas utilizadas en ambos métodos, con el fin de identificar sus ventajas y desventajas. Se evaluó la facilidad de uso de dichos equipos y herramientas y el uso y cantidad de recursos que necesitan para su operación.

## 4. RESULTADOS

Este capítulo comprende los resultados obtenidos al aplicar la metodología planteada anteriormente, los cuales se presentan en cuatro subcapítulos, que demuestran lo obtenido con el desarrollo de la investigación, y que cubren los objetivos plasmados al inicio de esta tesis.

El primer punto hace referencia a lo obtenido con respecto al diseño conceptual del prototipo, es decir, lo que se esperó que el prototipo realice de acuerdo a los requerimientos funcionales y no funcionales por parte de los usuarios finales.

En el segundo subcapítulo se muestra el resultado de la programación y de toda la documentación obtenida en esta etapa del proceso, que permiten entender el funcionamiento de cada una de las partes del prototipo analizadas para el objetivo de esta investigación.

El tercer punto corresponde a la preparación de los modelos BIM, en donde se determinaron las familias más adecuadas para la realización de dichos modelos, así como la determinación de parámetros para incluir información adicional para la gestión de los mismos. De igual manera se presentan los resultados relacionados a la determinación del Nivel de Desarrollo de cada uno de los elementos de los modelos. También se presentan las consideraciones tomadas para la creación de los modelos BIM, así como la secuencia de modelado utilizada en su generación.

El último punto corresponde a los resultados de la validación cuantitativa y cualitativa del prototipo realizada en cuanto a su funcionamiento y desempeño para el monitoreo de avances de obra en un proyecto en construcción, comparándola con el monitoreo de avances con el método tradicional.

### 4.1. Resultados del Diseño Conceptual del Prototipo

Inicialmente, se desarrolló el diseño conceptual del prototipo, el cual fue necesario para alcanzar el primer objetivo particular de esta investigación: “Diseñar un modelo

conceptual para el óptimo monitoreo del avance de una obra con base en un modelo BIM utilizando sus propiedades geométricas, de tiempo y de costo”.

Este diseño conceptual se desarrolló de acuerdo al análisis bibliográfico recabado sobre el monitoreo de avances de obra; lo que se requiere para este monitoreo, las necesidades de los usuarios, las metodologías existentes para el monitoreo, las diferentes tecnologías utilizadas, entre otros.

La realización de este diseño conceptual fue fundamental para el proceso de diseño del software, ya que permitió generar todas las opciones pertinentes que se tomaron en cuenta para el desarrollo final del prototipo.

La finalidad de esta etapa fue la realización de un proceso creativo de transformación del problema identificado en una solución práctica, la cual cumplió con todos los requerimientos planteados en la especificación de requerimientos por parte de los usuarios finales.

Para esta etapa se utilizó una metodología iterativa que significa que los pasos de este diseño no tenían que estar desarrollados al 100% para pasar al siguiente paso; es decir, que se pudo regresar a cualquier etapa del desarrollo del diseño conceptual y modificar, complementar o mejorar algún aspecto que requiriera el diseño final.

Se procuró que el diseño conceptual describiera el sistema en un lenguaje que el cliente o usuario final pueda comprender, en lugar de términos técnicos o lenguaje de computación difícil de entender. Es así como dicho diseño conceptual estuvo conformado de las siguientes características:

- No se utilizaron expresiones técnicas.
- Describió claramente las funciones del sistema.
- Es independiente de la implementación.
- Estuvo vinculado con los documentos de los requerimientos.
- Se escribió en un lenguaje que el usuario final pueda entender.

El resultado final de este apartado, fue la obtención de un modelo integral que estuvo conformado con información sobre:

1. La importación de un modelo BIM en formato IFC (estándar de intercambio Industry Foundation Classes) a la base de datos del programa.
2. La importación de un presupuesto de obra a nivel de explosión por concepto desde la paquetería de costos (OPUS, NeoData, SincoWfi, Excel, etc.), a través de un software convertidor.
3. La asociación detallada de conceptos de obra con el modelo BIM (conjunto de ítems).
4. La asociación detallada de conceptos de obra con trabajo por ejecutar (grupos de cuantificadores).
5. La elaboración de un programa detallado de trabajo por ejecutar (PDM) a partir del presupuesto.
6. La estimación de avances de obra utilizando el modelo 3D en un ambiente dinámico, interactivo y amigable para el usuario.
7. El despliegue de reportes producto de las estimaciones para pago de destajos y/o subcontratos de mano de obra.

#### **4.2. Resultados de la Programación de la Herramienta de Software**

Con el diseño conceptual ya desarrollado, se realizó la programación de la herramienta de software para la planeación detallada de una obra de construcción, que forman parte del segundo objetivo de esta investigación: “Programar un conjunto de herramientas de software para la implementación del modelo conceptual”.

Como se mencionó anteriormente, se implementó la ingeniería de software, que, como otras ingenierías, hace uso de metodologías que involucran herramientas, métodos, procedimientos y técnicas para realizar un proyecto.

Para realizar la programación de la herramienta de software, se utilizaron los programas descritos anteriormente: Microsoft Visual Studio 2015, DevExpress 15.2, devDept Eyeshot 9.0 e IFC Engine DLL.

La documentación obtenida producto de esta programación, se organizó de acuerdo al Modelo “4+1” de Kruchten, definiendo la arquitectura del sistema software por medio

de las diferentes vistas del modelo. Cada una de ellas se documentó de forma diferente y mostró aspectos diferentes del sistema del software.

#### 4.2.1. Vista Lógica

En esta vista se representó la funcionalidad que el sistema proporciona a los usuarios finales, es decir, representa lo que el sistema debe hacer, y las funciones y servicios que ofrece. Para completar la documentación de esta vista se incluyeron diagramas de clases, de comunicación o de secuencia de UML.

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés, Unified Modeling Language), es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema. El UML no es programación, sino que solo se diagrama la realidad de una utilización en un requerimiento.

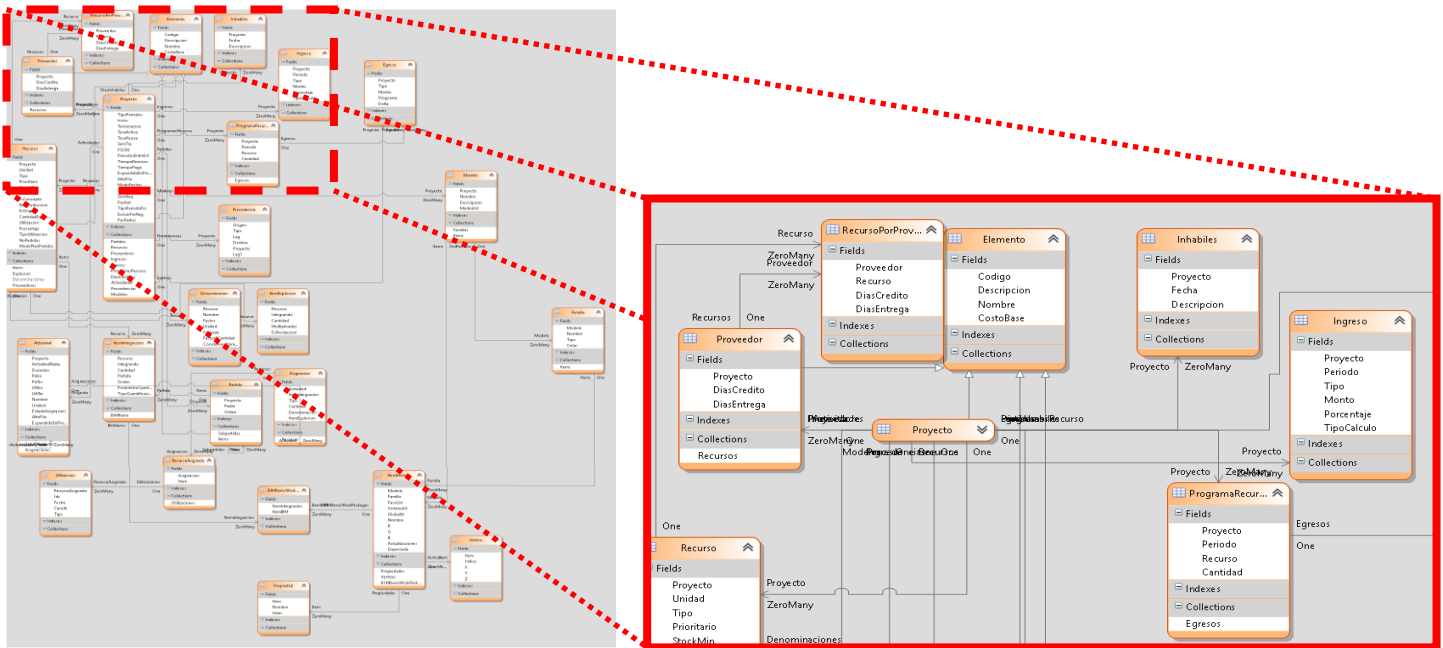


Figura 15. Ejemplo del diagrama de clases UML del prototipo.

El prototipo desarrollado permitió convertir el archivo del modelo en formato IFC a un formato de base de datos relacional para que pueda ser integrado con la EDT de la obra, y de esta forma, obtener información de ambos archivos que fue de utilidad posteriormente. La base de datos relacional presenta una estructura conformada por un diagrama de clases en UML como se muestra en la siguiente figura:

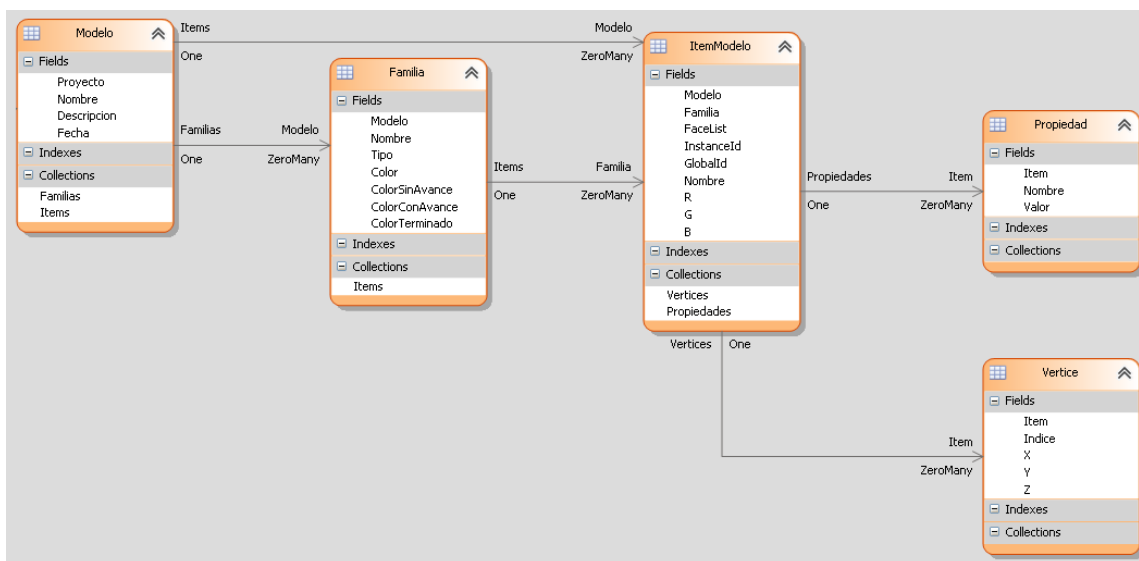


Figura 16. Estructura de la base de datos relacional del formato IFC convertido.

La información contenida en un archivo IFC para el propósito de este trabajo se resume en cinco entidades: Modelo, Familia, ItemModelo, Propiedad y Vértice.

El modelo agrupó a un conjunto de ítems, que conformaron los componentes geométricos del modelo. Cada ítem del modelo descompone su información en un conjunto ordenado de vértices para poderse representar geoméricamente. El ítem del modelo contiene la información básica de identificación y orden de los vértices. También está relacionado con una Familia que es propia de la especificación de IFC. De igual manera se contó con un conjunto de propiedades asociadas al modelo para poder obtener áreas, volúmenes y longitudes.

La idea de este formato consistió en asociarlo con otro conjunto de entidades que modelen la Estructura de Desglose de los Trabajos (catálogo de conceptos). Propiamente un conjunto de ítems del modelo se asoció a un concepto específico de trabajo de la EDT.

#### 4.2.2. Vista +1 o Vista de Escenarios

La vista de escenarios estuvo conformada con instancias de casos de uso que unificaron todas las vistas. Así, desde los casos de uso se pudo realizar una trazabilidad a todos los componentes del sistema de software, observando por

ejemplo, que equipos, clases, componentes o procesos, son los responsables de que el sistema cubra una cierta funcionalidad.

Los casos de uso que se describieron para explicar el funcionamiento del prototipo con respecto a la toma de avances de obra, se detallan en el APÉNDICE 1. Cabe recalcar que solo se realizaron casos de uso con respecto al monitoreo de la toma de avances de obra. Sin embargo, el software desarrollado permite muchas otras funciones que no se tomaron en cuenta en este trabajo.

### **4.3. Resultados del Software Empleado para el Desarrollo de la Investigación y Preparación de Modelos BIM**

El primer paso para el método de monitoreo propuesto, fue la elaboración del modelo BIM de la obra, con el nivel de detalle requerido para la correcta asociación de los elementos constructivos con el programa de obra y el presupuesto dentro del prototipo desarrollado.

Para elegir los proyectos más convenientes para el propósito de esta investigación, se contemplaron las siguientes características:

- Que sean proyectos que se encuentren entre la etapa de diseño y construcción.
- Proyectos ubicados en la región.
- Que sean proyectos de edificación.
- Que cuente con toda la información relacionada con el proyecto ejecutivo.
- Que contenga algunos elementos complejos para evaluar el funcionamiento del prototipo ante estos elementos.
- Al menos uno de los proyectos sea de tamaño considerable, para evaluar el desempeño del prototipo ante archivos pesados.

Para comprobar el correcto funcionamiento de esta herramienta de software, antes de realizar el monitoreo de avances de obra en un proyecto real, se elaboró un modelo BIM de un proyecto residencial ya construido, específicamente de una residencia del complejo habitacional Campocielo. Este modelo se realizó de una forma a como fue construida la obra (as build) ya que esto permitió cuantificar e identificar todos los

elementos constructivos de dicho proyecto, para poder integrarlos con el programa y el presupuesto.



Figura 17. Plantas arquitectónicas del complejo habitacional Campocielo.

Para realizar este modelo fue necesario contar con el proyecto ejecutivo debido a que era necesario conocer todos los detalles constructivos. En el proyecto ejecutivo se presentaron todos los planos arquitectónicos, cortes, fachadas, planos estructurales con detalles, instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas y especiales, acabados, etc., además del programa y el presupuesto de la obra.

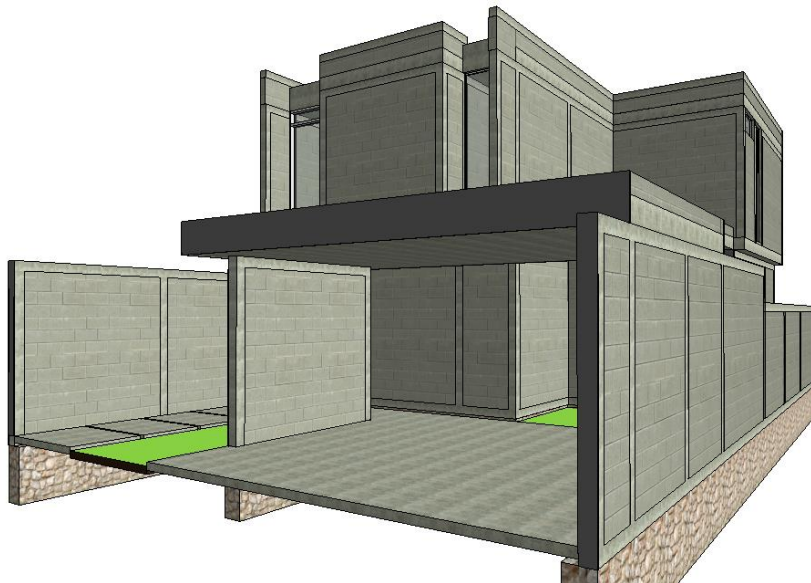


Figura 18. Modelo BIM para comprobar el funcionamiento del software.



Como se mencionó anteriormente, dicho modelo se utilizó para comprobar el funcionamiento de las herramientas del software, en su momento en desarrollo. Pero la validación final del prototipo se implementó en una obra en proceso de construcción.

Para seleccionar la obra utilizada para este proceso de validación del prototipo, se realizó una entrevista con el Arq. José Antonio González Vadillo, responsable del Departamento de Coordinación de Proyectos y Construcciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, el cual fue el encargado de proporcionar todos los documentos del proyecto requeridos para la realización del modelo BIM.

La obra seleccionada correspondió a la construcción de la primera etapa de la Facultad de Contaduría y Administración ubicada en el Campus de Ciencias Sociales Económico - Administrativas y Humanidades, localizada en el km 1 de la carretera Mérida - Tizimín en el noreste de la ciudad de Mérida Yucatán. Este campus alberga además a la Facultad de Ciencias Antropológicas, las Facultades de Psicología, Economía, Derecho y Educación.



Figura 19. Fachada sur de la Facultad de Contaduría y Administración.

Se eligió este proyecto debido a que contiene elementos complejos y partidas completas que permitieron la evaluación del prototipo ante estos elementos. Además el proyecto es de tamaño considerable ya que consta de un edificio de 4 niveles, de 3,400 m<sup>2</sup> de construcción aproximadamente, el cual está conformado de la siguiente manera:

- Planta Baja
  - 5 aulas
  - 2 salas audiovisuales
  - Baño para hombres, mujeres y minusválidos
- Primer Nivel
  - 7 aulas
  - Baño para hombres, mujeres y minusválidos
- Segundo Nivel
  - 9 aulas
  - Baño para hombres, mujeres y minusválidos
- Tercer Nivel
  - 8 aulas
  - Terraza
  - Baño para hombres, mujeres y minusválidos

El edificio se encuentra cimentado sobre zapatas aisladas y muros de mampostería. La parte estructural está formada por columnas y vigas de concreto reforzado coladas en sitio, losas de concreto reforzado y losas de vigueta y bovedilla en cubierta. Las cuatro plantas del edificio se encuentran lindadas con muros de block confinados con castillos y cadenas y cancelería de aluminio.

En cada uno de sus niveles, el edificio cuenta con un módulo sanitario dividido para hombres y mujeres, así como un espacio único para minusválidos; todos éstos provistos de instalaciones hidrosanitarias. También cada nivel cuenta con instalaciones eléctricas y de aire acondicionado (en algunas aulas) que proveerán de servicio a cada espacio de acuerdo a sus fines.

El modelado de los elementos del proyecto se realizó, como se mencionó anteriormente, siguiendo las recomendaciones del trabajo de Laguna (2015).

La secuencia de modelado utilizada en esta investigación se planteó con base a tres conceptos: la información que se deseaba obtener del modelo, el proceso constructivo de la obra y el tipo de contrato bajo el cual se desarrolló la edificación (el cual fue precios unitarios); con este planteamiento se logró que el modelo BIM fuera de utilidad

en los procedimientos de administración de la construcción que se llevan con este tipo de contrato.

A cada una de las partidas se le agregó la clave correspondiente de la clasificación CSI UniFormat™ 2010 explicado anteriormente en la metodología, con el fin de obtener una referencia para la clasificación de los elementos dentro del modelo BIM durante el desarrollo de la investigación.

Como paso siguiente, se realizó un análisis del contenido de las partidas del proyecto seleccionado con el fin de conocer la forma en la que fueron considerados sus diferentes conceptos de obra, e identificar qué familias del modelo BIM fueron las más apropiadas para la modelación de cada uno de los elementos, los cuales pueden ser elementos constructivos, de instalaciones o productos de construcción.

De acuerdo a las Guías UBim (BuildingSMART 2014), un elemento constructivo es un objeto independiente dentro del edificio que está compuesto por diversos productos de construcción (materiales); un elemento de instalación es un material o un producto independiente respecto a una instalación, y un producto de construcción es una materia prima utilizada para construir, que forma parte permanente del edificio. Como resultado de este análisis, se pudo:

- a) Identificar los elementos constructivos que se pueden modelar, como muros de cimentación, plantillas, zapatas, etc.
- b) Reconocer los elementos del edificio que no se especifican como parte de los conceptos del presupuesto pero que son necesarios de modelar para obtener cantidades de obra, particularmente el caso de elementos de concreto y acero en trabes y columnas.
- c) Identificar los productos de construcción (materiales) que fueron de utilidad en la visualización de elementos constructivos o de instalación, como por ejemplo la cimbra.
- d) Descartar los conceptos que no forman parte del alcance de esta investigación y/o que no se encuentran especificados en los planos.

Para este punto, el catálogo de conceptos del proyecto proporcionado fue de utilidad para modelar cada elemento de acuerdo a sus unidades correspondientes y

especificaciones de cada elemento, esto con el fin de poder obtener los volúmenes de cada uno de los elementos del proyecto.

Una vez identificados los elementos, se determinaron para cada uno de éstos, las familias del programa Revit más adecuadas para su modelado y cuyas características cubrieran los requisitos de la administración de la información. Un ejemplo del resultado de este procedimiento es el siguiente:

Clave Unifomat	Descripción del Concepto	Unidad	Cant.	Nivel	Familia Revit
B101010 - Estructura N1	Cadena CD6 de 15x20 cm de concreto F'c=150 kg/cm <sup>2</sup> , reforzada con 5 varillas de 3/8" y estribos de 1/4" @ 25 cm. Incluye cimbra común, descimbrado, habilitado de acero, colado, material, mano de obra, herramienta y equipo.	ml	26.00	N1	Structural Framing

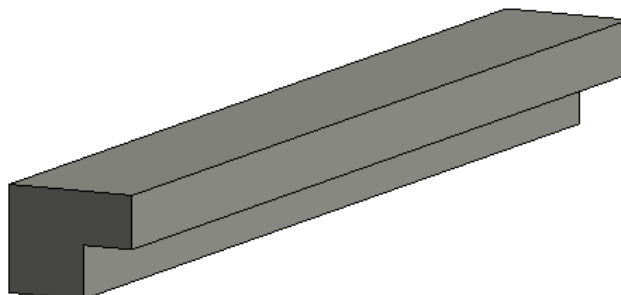


Figura 20. Ejemplo de modelado de elementos del proyecto.

De igual manera se especificó el nivel de desarrollo de cada una de las familias utilizadas en el modelado, mismas que se pueden encontrar en el APÉNDICE 2.

Debido a que el presupuesto se encontraba dividido por niveles y con el objetivo de poder filtrar elementos al momento de realizar las cuantificaciones, se determinaron nuevos parámetros a incluir dentro de las familias.

Estos parámetros incluyeron en los elementos modelados información adicional que fueron de utilidad para el uso de BIM establecido, lo cuales se describen a continuación:

- NIVEL: Facilitó la identificación de elementos de acuerdo al nivel del edificio en el que se encontraban y respecto al que se solicitaba su cuantificación.
- CLAVE UNIFORMAT: Se utilizó para marcar elementos de acuerdo al catálogo de conceptos del proyecto. Este parámetro se escogió para que afectara solo a la instancia y así poder colocar diferentes valores a cualquier tipo de familia que se repita en otro nivel, así en cada nivel pudo contener una Clave UniFormat diferente.
- ELEMENTO: En el caso del acero, se requirió identificar a que elemento correspondía el varillado que se estaba modelando y así poder hacer una diferenciación entre varillas del mismo diámetro pero en diferentes elementos.

El resultado final de esta etapa fue la obtención de un modelo BIM con 5,124 familias (exceptuando todos los elementos de acero) y 29,340 ítems o elementos, identificados de acuerdo a su nivel, familia, y clave uniformat. Las familias correspondientes al acero del modelo estuvieron conformadas por 10,270 y 60,992 elementos. Finalmente se obtuvo un archivo en formato de Revit de 141,628 KB.

#### **4.4. Resultados de la Validación del Prototipo**

De acuerdo con Sabol L. (2008), la estimación de costos se inicia a través de la cuantificación, siendo esta última un proceso intensivo para llevar la cuenta de los elementos del proyecto de edificación. A partir de las cantidades obtenidas, se utilizan varios métodos para obtener el costo estimado del proyecto, desde hojas de cálculo hasta programas especializados en el tema. Este proceso está propenso al error humano y a la inexactitud, además de que consume entre el 50% y el 80% del tiempo del estimador de costos en un proyecto.

Como se ha mencionado anteriormente, una propuesta para solucionar este problema fue el desarrollo de un prototipo de software para el mejoramiento del monitoreo del avance de obra basado en un modelo BIM 5D.

El método de monitoreo tradicional utilizado en la construcción seleccionada consistía en un procedimiento tradicional que inicia desde la oficina central, en donde se realizan las generadoras de cada uno de los elementos de la obra, especificando generalmente

su clave, concepto, ubicación (frente, eje y tramo), número de piezas, dimensiones (largo, ancho, alto), unidad, subtotal y las referencias de cada uno de los elementos.

Esta información obtenida se asigna a los formatos de estimación dependiendo de cuáles son los elementos que debieron presentar un avance o término en un período establecido. Para la realización de estos reportes utilizaron el programa Excel.

Tabla 6. Formato utilizado para las estimaciones en la Facultad de Contaduría y Administración.

NUMEROS GENERADORES													
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.								ESTIMACION			
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .								FECHA:			
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016		FECHA DE TERMINO:	miércoles, 12 de octubre de 2016		DURACION:	240 D.N		PERIODO	AL			
CLAVE	CONCEPTO			FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS
A07	ENTREPISO N1 EDIFICIO C			N1									
SE40010	CIMBRA APARENTE EN TRABES Y CERRAMIENTOS,			T1-1N-C	M	25-27	1.00	11.55	0.35		M2	4.04	FONDO
	CON CIMBRAPLAY DE 16mm., INCLUYE						2.00	11.55	0.45		M2	10.40	LATERAL
	HABILITADO, CIMBRADO Y DESCIMBRADO. (N1)						1.00		0.35	0.65	M2	0.23	TAPA TRASERA
							1.00		0.35	0.30	M2	0.11	TAPA DELANTERA
				T2-1N-C	L	25-27	1.00	11.55	0.35		M2	4.04	FONDO
							2.00	8.60	0.45		M2	7.74	LATERAL
							2.00	2.95	0.28		M2	1.65	LATERAL MENSULA
							1.00		0.35	0.65	M2	0.23	TAPA
							1.00		0.35	0.30	M2	0.11	TAPA
				T2A-1N-C	K	25-27	1.00	11.55	0.35		M2	4.04	FONDO
							2.00	11.55	0.45		M2	10.40	LATERAL
							1.00	11.55	0.10		M2	1.16	FONDO ASIEN TO
							1.00		0.35	0.65	M2	0.23	TAPAS
							1.00		0.35	0.45	M2	0.16	TAPAS
				T2-1N-C	J	25-27	1.00	11.55	0.35		M2	4.04	FONDO
							2.00	8.60	0.45		M2	7.74	LATERAL
							2.00	2.95	0.28		M2	1.65	LATERAL MENSULA
							1.00		0.35	0.65	M2	0.23	TAPA
							1.00		0.35	0.30	M2	0.11	TAPA
<b>TOTAL GENERADO</b>											<b>58.2800</b>		

El método tradicional para realizar el monitoreo de avances de obra consiste en identificar el elemento constructivo o actividad (ingresado en el reporte de estimación) en los planos del proyecto ejecutivo, para poder ubicarlos dentro de la obra. Una vez localizada la ubicación del elemento durante el recorrido en la construcción, se asigna el porcentaje de avance en los formatos impresos.

Estos registros de avance son los que se utilizan para el pago de los trabajos de obra en un período específico.

Con respecto al método de monitoreo de avances de obra utilizando el prototipo desarrollado, se presentan los casos de uso de cada etapa de este proceso, los cuales se pueden consultar en el APÉNDICE 1.

Como último punto de esta investigación, se presentan los resultados obtenidos de la validación cuantitativa y cualitativa realizando una comparación entre ambos métodos: monitoreo de avance de obra con el prototipo y monitoreo tradicional.

#### 4.4.1. Indicadores Cuantitativos

Los indicadores cuantitativos que se evaluaron en esta investigación estuvieron relacionados con: la precisión, el tiempo de obtención de resultados y la densidad de información.

**Precisión.**- este indicador fue de utilidad para identificar la diferencia encontrada en la precisión en la toma de avances de obra realizando ambos métodos de monitoreo. De igual manera esta información estuvo complementada con las respuestas de las entrevistas realizadas al residente de obra encargado de realizar las estimaciones.

Tabla 7. Resultados obtenidos para la precisión.

Método	Información Obtenida
<b>Precisión del Método de Monitoreo Tradicional</b>	<p>La falta de precisión en este método de monitoreo se debió a la identificación de múltiples errores para obtener la información pertinente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Errores para la realización de las generadoras: ya que la información obtenida en una generadora realizada de forma tradicional, generalmente no es precisa, siendo más evidente en elementos que son complejos de generar.</li> <li>• Errores durante el asentamiento de datos: debido a que, como este registro es manual, se presentaron errores por ejemplo al asignar un porcentaje de avance a un elemento diferente al solicitado en el reporte. Esto se ve agravado debido a que para la ubicación de los elementos dentro de la obra, se utilizan los planos, los cuales, debido a su tamaño y material (papel bond), entorpecen este procedimiento de monitoreo.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas para la interpretación de registros: se presentaron cuando se realizaba el monitoreo de una manera rápida, desordenada y sin el cuidado pertinente, escribiendo en el reporte (papel) con una letra ilegible.</li> <li>• Errores durante la captura digital de datos: se presentaron al no entender el registro a mano realizado en los formatos, o errores “de dedo” durante la captura digital. Además este proceso era una duplicación del trabajo que se pudiera evitar con otros procedimientos.</li> </ul> <p>Estos fueron algunos de los principales errores detectados por parte del residente de obra del proyecto en cuanto a la precisión de la información obtenida.</p>
<p><b>Precisión del Método de Monitoreo con ProFin</b></p>	<p>Con respecto al método de monitoreo con el prototipo, no se encontraron errores en cuanto a la precisión, ya que los elementos modelados son exactos en cuanto a sus dimensiones.</p> <p>En ambos métodos existen algunos elementos constructivos que se tuvieron que rectificar físicamente en la obra. El cimiento de mampostería es un ejemplo de estos elementos con dimensiones estimadas en el modelo BIM que necesitan de las medidas reales tomadas en obra para la obtención de su volumen. Como se puede observar en los casos de uso en el APÉNDICE 1, ProFin ofrece una opción para completar esta información de medidas de los elementos constructivos con un caso de excepción.</p> <p>Una vez que se realizó el monitoreo de avance de obra, se pudieron generar los reportes de estimación de pagos de forma automática, evitando con esto errores que pudieran presentarse durante una transferencia de datos como en el procedimiento tradicional.</p> <p>Los únicos errores que se encontraron en este método, fueron detectados en elementos que desde el principio no estuvieron modelados correctamente, pero esto fue debido a errores e imprecisiones encontrados en los planos del proyecto ejecutivo proporcionados al principio. Otros errores también se presentaron en cambios que se realizaron en el proyecto por parte de los</p>



arquitectos durante la construcción del proyecto y que ya habían sido modelados como se especificaba en los planos.

Estos errores se pudieran evitar fácilmente desde la fase de diseño y modelado BIM.

La información obtenida con este método estuvo libre de errores de precisión, fue clara y entendible, y se generó información específica para lo que se requería.

En el APÉNDICE 3, se puede observar la comparación de la precisión entre las cantidades generadas como resultado de la toma de avances de obra en ambos métodos de monitoreo para algunos conceptos seleccionados. Las cantidades generadas en el modelo BIM de los conceptos elegidos, algunas veces son menores y otras mayores, pero esto debido a diversos factores explicados en ese apartado.

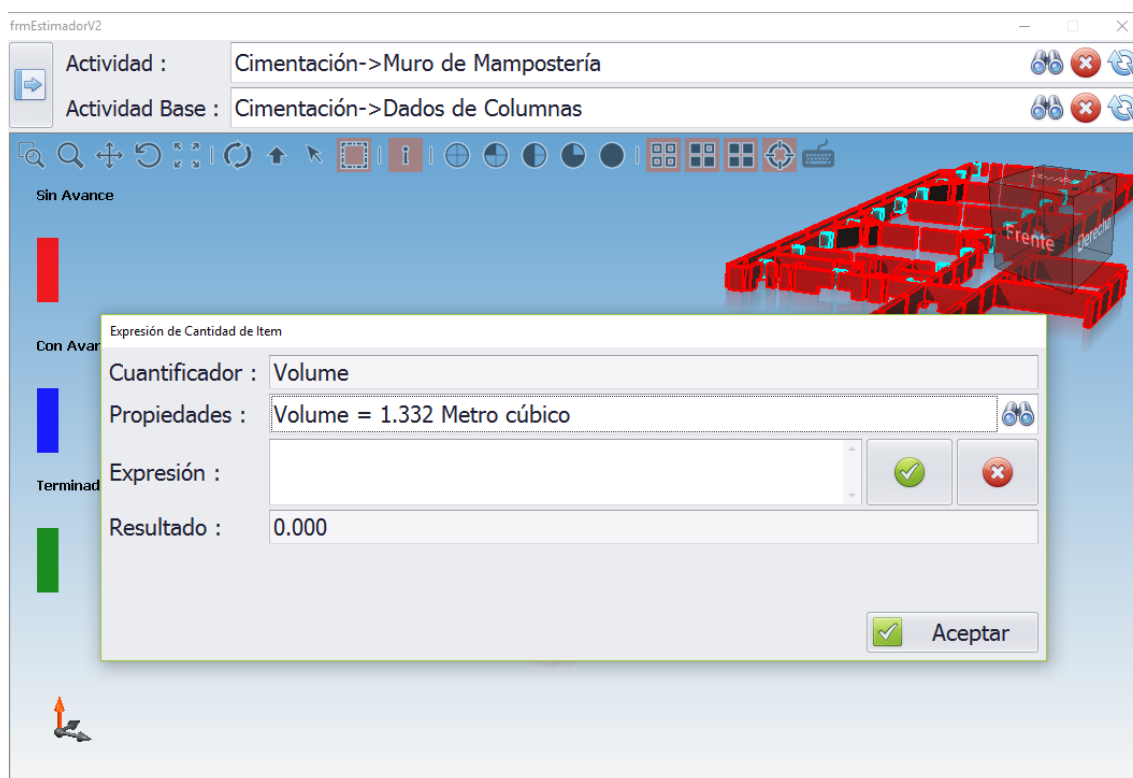


Figura 21. Ejemplo de la información precisa obtenida de un elemento del modelo BIM en el prototipo desarrollado.

**Tiempo de obtención de resultados.**- La información necesaria para evaluar este indicador se obtuvo del tiempo que le llevó a las metodologías del monitoreo de avance de obra obtener los resultados finales del monitoreo de los conceptos seleccionados. La información estuvo complementada con las respuestas obtenidas de las entrevistas realizadas al residente de obra.

Tabla 8. Resultados obtenidos para el tiempo de obtención de resultados.

<b>Método</b>	<b>Información Obtenida</b>
<p><b>Tiempo de obtención de resultados con el Método de Monitoreo Tradicional</b></p>	<p>De acuerdo a la información obtenida por medio de las entrevistas con el residente de obra, se pudo llegar a la conclusión de que con este método se pierde mucho tiempo en todas las etapas del proceso.</p> <p>Primeramente para realizar los reportes de las estimaciones, fueron necesarios los números generadores de los elementos a estimar, los cuales muchas veces se tenían que revisar y rectificar, ya que, como mencionó el residente, frecuentemente se presentan cambios en el diseño del proyecto una vez iniciada la obra. Incluso algunas veces no se contaba con estos números generadores y se tuvieron que generar durante la etapa de construcción de la obra.</p> <p>Posteriormente se tiene que revisar en estimaciones previas que elementos son los que se han pagado, para no duplicarlos. Un problema en esta etapa, es la desorganización que se presentaba con respecto a este punto, ya que esto conllevaba tiempo en la búsqueda de reportes, debido a que muchas veces estos documentos, ya sean físicos o digitales, no se encontraban en donde se deberían ubicar, además de que no se contaba con un buen sistema de organización de la información.</p> <p>Idealmente para este método, durante la toma de avances del elemento monitoreado, se debería de corroborar físicamente las dimensiones de dicho elemento en la obra, pero era tanto el tiempo que le conlleva al residente en realizar dichas mediciones, que optaron por omitirlas y confiar en lo registrado en las generadoras.</p>

	<p>Una vez realizada la toma de avances de obra, se procedía a capturar digitalmente lo obtenido en los reportes de estimaciones. Como se mencionó anteriormente, esto conllevaba a cometer errores en la captura, pero lo más perjudicial, era la pérdida de tiempo en la duplicación de este proceso.</p> <p>Este método es muy poco conveniente si se quiere optimizar el tiempo para la toma de avances de obra, además de que la información no llegaba a los receptores en el tiempo en el que se necesitaba.</p>
<p><b>Tiempo de obtención de resultados con el Método de Monitoreo con ProFin</b></p>	<p>La toma de avances utilizando el software desarrollado, presentó numerosas ventajas en cuanto a la optimización del tiempo.</p> <p>Primeramente, y en comparación con el método tradicional, los números generadores de los elementos a estimar, se obtuvieron automáticamente del modelo BIM desarrollado. Idealmente, esta modelación se debería realizar en la etapa de diseño del proyecto y antes de iniciar el proceso de construcción. Quizá en esta etapa de la realización del modelo conlleve mayor cantidad de tiempo, pero se ve recompensado en gran medida por el tiempo que se recupera al no tener que realizar generadoras de cada uno los conceptos.</p> <p>Otros pasos adicionales que se realizaron con este método, en comparación con el método tradicional, es la creación de conjuntos, actividades y grupos de cuantificadores, que son necesarios para obtener la información de un elemento dado (explicados en los casos de uso en el APÉNDICE 1). Sin embargo el software ProFin permitió realizar estos procedimientos de una manera rápida, precisa y fácilmente comprensible para el usuario, incluso se cuenta con un asistente para la creación automática de conjuntos de ítems.</p> <p>Durante la toma de avances del elemento con el software ProFin, al igual que con el método tradicional, no se corroboraron físicamente las dimensiones de los elementos durante el recorrido en la obra. Sin embargo, con este método, se pudo tener la seguridad de que los elementos monitoreados cuentan con las dimensiones especificadas en los planos, siempre y cuando se haya</p>

	<p>tenido una buena supervisión de obra y los elementos hayan sido construidos de acuerdo a sus especificaciones técnicas.</p> <p>En el proceso de toma de avances, se perdió menos tiempo utilizando el dispositivo móvil, en comparación con el método tradicional que utiliza planos y tablas con reportes. Esta diferencia en los tiempos de ejecución de los monitoreos de los conceptos seleccionados se observa en el APÉNDICE 3.</p> <p>Finalmente la generación de reportes para la estimación de pagos se generó automáticamente y no fue necesario recapturar la información como en el método tradicional.</p> <p>En conclusión, la utilización del software ProFin para propósitos de ahorro en el tiempo resultó ser muy favorable en comparación con el método de monitoreo tradicional. Como resultado se obtuvo la información pertinente en el tiempo establecido y la disponibilidad de estos datos a tiempo para poder tomar alguna acción correctiva necesaria.</p>
--	--

**Densidad de información obtenida.**- este indicador se utilizó para conocer la densidad de información obtenida de cada concepto de obra de ambos métodos.

Tabla 9. Resultados obtenidos para la densidad de información obtenida.

<b>Método</b>	<b>Información Obtenida</b>
<p><b>Densidad de información obtenida con el Método de Monitoreo Tradicional</b></p>	<p>Con el método de monitoreo tradicional, la mayor cantidad de información se presentaba en la obtención de los números generadores de cada uno de los elementos del proyecto. Esta cantidad de información era más evidente en las generadoras de algunos elementos como por ejemplo la cimbra (ver tabla 10), en donde se tenían que generar cada una de las caras de contacto del elemento que se pretende colar con concreto.</p> <p>De igual manera, en los proyectos de construcción comúnmente se presentan elementos complejos en cuanto a su forma que son difíciles de generar para obtener su área, volumen, o la unidad que se requiera. En estos casos con el</p>

	<p>método tradicional, se intenta obtener una cantidad aproximada utilizando diversos métodos pero finalmente ésta no es exacta. Esto repercute en la cantidad de material necesario para la construcción de dicho elemento, así como en el tiempo de ejecución y la mano de obra, incrementando muchas veces el costo del proyecto, del cual ya se tiene un presupuesto específico.</p> <p>Para demostrar este último punto, se tomó como ejemplo la construcción de una las trabes principales del proyecto (ver tabla 10, resaltada en amarillo), la cual tiene una forma irregular, pero que en la generación de su cantidad se tomó como una sección rectangular. Las medidas generadas para esta trabe fueron 11.55 m de largo, 0.35 m de ancho y 0.65 m de alto, dando un total de 2.63 m<sup>3</sup> de concreto.</p> <p>En el APÉNDICE 4, se puede observar la gran cantidad de información obtenida de una manera tradicional por las generadoras, en este caso de los conceptos seleccionados para la comparación de los métodos.</p>
<p><b>Densidad de información obtenida con el Método de Monitoreo con ProFin</b></p>	<p>Con el software ProFin, toda la información se presentó de manera automática desde la generación del modelo BIM. Toda esta información estuvo disponible para que pueda ser utilizada en cualquier etapa del proceso constructivo. Si no se contara con esta información no habría manera de planificar ni coordinar actividades con este método.</p> <p>Algunos elementos que se fabricaron exclusivamente para el proyecto necesitaban de mucha información y no eran permitidos errores en longitudes y tolerancias. Un modelo virtual como el utilizado en ProFin, evitó errores en mediciones especiales o tolerancias no previstas.</p> <p>Se pudo prever de todos los elementos necesarios para la construcción, incluso los fabricados especialmente para el proyecto. Esto reduce la improvisación y problemas en la fabricación de elementos complejos.</p> <p>Con respecto a la trabe utilizada como ejemplo para la comparación del método utilizando ProFin con el tradicional, se puede observar que existió una diferencia en cuanto a su volumen generado. Con el programa ProFin se</p>

obtuvo un volumen de 2.768 m<sup>3</sup> de concreto (ver figura 22), en comparación con los 2.63 m<sup>3</sup> generados con el método tradicional. Aunque no se observa mucha diferencia, se tiene la seguridad de que el volumen generado con el modelo BIM es una cantidad exacta.

Tabla 10. Ejemplo una estimación realizada para el proyecto de la Facultad de Contaduría y Administración.

NUMEROS GENERADORES											ESTIMACION
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.								ESTIMACION	
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .								FECHA:	
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016		FECHA DE TERMINO	miércoles, 12 de octubre de 2016		DURACION:	240 D.N		PERIODO	AL	
CLAVE	CONCEPTO	FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS
A07	ENTREPISO N1 EDIFICIO C	N1									
5E40024	CONCRETO PREMEZCLADO FC= 250 KG/CM2	T1-1N-C	M	25-27	1.00	11.55	0.35	0.65	M3	2.63	
	BOMBEADO EN TRABES Y CERRAMIENTOS, T.M.A.	T2-1N-C	L	25-27	1.00	8.90	0.35	0.65	M3	2.02	
	3/4". INCLUYE COLOCACION, VIBRADO Y CURADO.			25-27	1.00	2.97	0.35	0.48	M3	0.50	
	(N1)	T2A-1N-C	K	25-27	1.00	11.55	0.35	0.65	M3	2.63	
				25-27	1.00	11.55	0.10	0.20	M3	0.23	
		T2-1N-C	L	25-27	1.00	8.90	0.35	0.65	M3	2.02	
				25-27	1.00	2.97	0.35	0.48	M3	0.50	
									<b>TOTAL GENERADO</b>	<b>10.5300</b>	<b>M3</b>

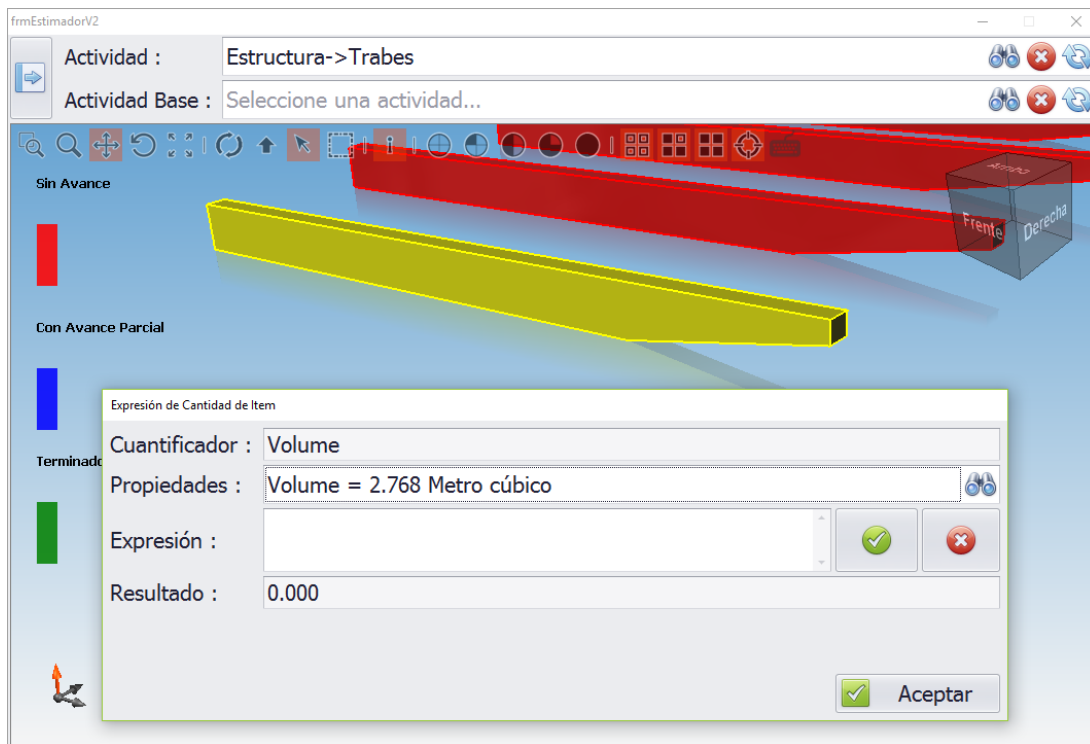


Figura 22. Ejemplo de la obtención de volúmenes exactos de un objeto específico.

#### 4.4.2. Indicadores Cualitativos

Los indicadores cualitativos que se utilizaron en este trabajo fueron: la facilidad de operación o usabilidad, y el equipo y herramientas utilizadas.

**Facilidad de operación (usabilidad).**- Este indicador fue utilizado para evaluar la percepción que tienen los usuarios en cuanto a la facilidad de operación en ambos métodos de monitoreo. La información estuvo complementada con entrevistas realizadas al residente de obra.

Tabla 11. Resultados obtenidos para la facilidad de operación.

Método	Información Obtenida
<b>Facilidad de operación del Método de Monitoreo Tradicional</b>	<p>En las entrevistas realizados al residente de obra, se llegó a la conclusión de que el proceso para llevar a cabo el monitoreo de avance de obra tradicional es relativamente sencillo en proyectos pequeños, como por ejemplo en proyectos residenciales. El problema se presenta cuando se realiza este monitoreo en grandes proyectos, como escuelas, centros comerciales, hoteles, etc.</p> <p>En estos proyectos el esfuerzo requerido para realizar el monitoreo, preparar los datos de entrada, y obtener e interpretar los resultados que se producen, es una tarea exhaustiva.</p>
<b>Facilidad de operación del Método de Monitoreo con ProFin</b>	<p>Desde el diseño conceptual del prototipo, se estableció que el programa ProFin podría realizar una gran cantidad de funciones para la gestión y control de una obra de construcción. Es así como una primera impresión al programa ProFin, mostró que es un software con muchas opciones y difícil de utilizar, de acuerdo a las respuestas del residente de obra.</p> <p>Sin embargo, como todo software nuevo, con ayuda de cursos, tutoriales y la práctica, cualquier persona podría ser capaz de poder utilizar el software sin</p>

	<p>ningún problema, ya que los procesos para obtener información y manipularla son dinámicos, interactivos, intuitivos y amigables con el usuario.</p> <p>Además la interfaz de usuario permite comprender rápidamente el manejo y uso del software en cuestión.</p> <p>Las características básicas que presenta la interfaz del software ProFin son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de comprensión, aprendizaje y uso.</li> <li>• Representación fija y permanente de un determinado contexto de acción</li> <li>• El objeto de interés es de fácil identificación.</li> <li>• Cuenta con un diseño ergonómico mediante el establecimiento de menús, barras de acciones e iconos de fácil acceso.</li> <li>• Las interacciones se basan en acciones físicas sobre elementos de código visual (iconos, botones, imágenes, mensajes de texto, barras de desplazamiento y navegación) y en selecciones de tipo menú.</li> <li>• Las operaciones son rápidas, incrementales y reversibles, con efectos inmediatos.</li> </ul> <p>Se puede concluir que a pesar de que el programa ProFin cuenta con numerosos procedimientos, los beneficios de la usabilidad implicaron una reducción y optimización general de los costos de producción, así como un aumento en la productividad. La usabilidad del programa permitió una mayor rapidez en la realización de tareas y redujo las pérdidas de tiempo, en comparación con el método tradicional.</p>
--	---

**Equipo y herramientas utilizadas.-** Con este indicador se evaluó la facilidad de uso de dichos equipos y herramientas y el uso y cantidad de recursos necesarios para su operación. De igual manera se obtuvo información de las entrevistas realizadas al residente de obra.



Tabla 12. Resultados obtenidos para el equipo y herramientas utilizadas.

<b>Método</b>	<b>Información Obtenida</b>
<p><b>Equipo y herramientas utilizadas en el Método de Monitoreo Tradicional</b></p>	<p>Para realizar el método de monitoreo tradicional primeramente se utilizaron computadoras para generar toda la información necesaria para las estimaciones. Una vez que se realizaron todos los formatos a utilizar, se procedió a imprimirlos en hojas generalmente tamaño carta. Aunque el tamaño de los formatos es conveniente, se puede llegar a tener una gran cantidad de hojas impresas, dependiendo del número de elementos a estimar, dificultando el procedimiento.</p> <p>Para el monitoreo se utilizaron además los planos del proyecto para ubicar los elementos a estimar dentro de la obra. La utilización de estos planos llegaba a ser estorbo ya que generalmente se imprimen en un tamaño de 60 x 90 cm y su manipulación es problemática, añadiéndole de que el material es muy delicado y se maltrata con facilidad.</p> <p>Este fue el principal problema en cuanto a la utilización de herramientas y equipos con este método tradicional según el residente de obra, ya que además, se utiliza más de un plano en un mismo recorrido, dificultando aún más su manipulación.</p>
<p><b>Equipo y herramientas utilizadas en el Método de Monitoreo con ProFin</b></p>	<p>Para el monitoreo con el software ProFin, se inició primeramente con una computadora central en donde se realizó toda la gestión de la información del proyecto y del modelo BIM.</p> <p>Con este método no fue necesario imprimir reportes y planos ya que toda la información se encontraba dentro del software.</p> <p>Para facilitar el proceso de monitoreo con este método, se utilizó una computadora portátil o Tablet, con el programa ProFin instalado previamente, en donde, de una manera dinámica e interactiva, se pudo realizar el avance de obra de los elementos seleccionados.</p>

El uso de la Tablet con una pantalla táctil fue una solución mucho más eficiente y eficaz que utilizar hojas y planos para la toma de avances. Con este dispositivo se pudo obtener:

1. El despliegue de elementos del modelo BIM.
2. Opciones para completar la información de medidas de los elementos constructivos con un caso de excepción.
3. El registro del avance por elementos del modelo BIM.
4. La elaboración de reportes de avance de la obra.

El único inconveniente en este punto, es que para realizar el monitoreo con el programa ProFin, se debe adquirir un dispositivo móvil o Tablet que tenga soporte para Windows y que pueda soportar modelos pesados si los proyectos son grandes.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la información recabada y problemática expuesta, se realizó el diseño conceptual y programó una herramienta computacional para automatizar el proceso del monitoreo de la toma de avances de obra, coadyuvando a incrementar la eficiencia y eficacia de los procesos de planeación y control de los proyectos en las empresas constructoras.

Con el diseño conceptual esencialmente se pudo obtener una solución al problema identificado. Dicho diseño fue planteado a partir de las especificaciones, requisitos y necesidades de los usuarios.

El proyecto elegido para realizar el modelo BIM 5D utilizado para la implementación del prototipo diseñado, cumplió con los propósitos de la validación de acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación, en la cual se pretendía probar el software desarrollado con un modelo que presente las siguientes características:

- Que sea relativamente complejo en cuanto al número y características físicas de sus elementos.
- Que sea un proyecto completo, en donde se pudiera evaluar el desempeño del prototipo en partidas y elementos diferentes.
- Que el proyecto sea de un tamaño considerablemente grande para poder evaluar el desempeño del programa ante archivos pesados y de gran tamaño.

Respecto a la información obtenida con el método de monitoreo de avances de obra utilizando el programa ProFin, se obtuvieron datos libre de errores de precisión, ya que la modelación de elementos con la metodología BIM es exacta. Además, dicha información fue clara, entendible, y pudo generarse específicamente para lo que se requería.

Para demostrar el punto anterior, durante la construcción de la obra seleccionada, se realizó la comparación de los dos métodos de monitoreo en 22 conceptos de obra de diferentes partidas, repartidos en 5 estimaciones no consecutivas a lo largo del tiempo (APÉNDICE 3).

De 20 de los 22 conceptos analizados, (no tomando en cuenta los que no fueron modelados), se obtuvo la siguiente información:

- 6 de los conceptos presentó mayores cantidades generadas en el método tradicional (30%).
- 10 de los conceptos generados con el modelo BIM presentó mayores cantidades (50%).
- 4 conceptos no presentaron diferencia en cuanto a sus cantidades (20%)
- En cuanto al costo de los conceptos generados de forma tradicional, se obtuvieron \$1,369,425.20 pesos.
- El costo de los conceptos generados con BIM fue de \$1,297,023.87 pesos, el cual es ligeramente menor en comparación con el método tradicional.
- De los 20 conceptos analizados se presentó una diferencia de \$72,401.33.

Con esto se puede demostrar la importancia de un proceso de cuantificación eficiente, para obtener cantidades lo más precisas posible. El método tradicional está propenso al error humano y a la inexactitud, además de que consume entre el 50% y el 80% del tiempo del estimador de costos en un proyecto.

Con respecto a la utilización del software ProFin para propósitos de ahorro en el tiempo, éste resultó ser muy favorable en comparación con el método de monitoreo tradicional. Con el monitoreo con ProFin se pudo obtener la información pertinente en el tiempo establecido y la disponibilidad de los datos a tiempo para poder tomar alguna acción correctiva necesaria.

Los beneficios en cuanto al ahorro de tiempo con el monitoreo con ProFin, fueron muy evidentes por lo que no fue necesario evaluar y comparar el tiempo de los monitoreos de ambos métodos en cada uno de los conceptos analizados.

Se evaluó y comparó el tiempo de los procesos de monitoreo de 6 conceptos, de los cuales en todos fue menor el tiempo del monitoreo de avances utilizando ProFin. Este resultado fue muy notorio ya que en el método tradicional, primeramente con ayuda de los planos, era necesario ubicar dentro de la construcción los elementos que se estimarían de acuerdo al programa de obra; posteriormente se asignaba manualmente el avance de obra en los formatos impresos y finalmente se realizaba la recapturación

digital de la información en las computadoras. Como se mencionó en el capítulo de resultados, este proceso es propenso a muchos errores e imprecisiones.

El proceso del monitoreo con ProFin resultó ser más rápido debido a que solamente era necesario seleccionar en el prototipo el concepto a estimar, ubicarlo dentro de la obra (con ayuda del dispositivo móvil) y asignar su porcentaje de avance. Con este proceso se evitaron errores durante el asentamiento de datos, problemas para la interpretación de registros y errores durante una recapturación digital de los datos.

Sin embargo, aunque este proceso resultó ser mucho más rápido y eficiente en comparación con el método tradicional, es importante tomar en cuenta que para la obtención de toda la información necesaria para el monitoreo con ProFin, es necesario invertir una cantidad considerable de horas, dependiendo del tamaño del proyecto, en la elaboración del modelo BIM y su preparación en el prototipo, lo que no sucede en un método tradicional.

El modelo BIM del proyecto seleccionado fue realizado por dos personas, en aproximadamente 600 horas de modelado en conjunto, en donde se elaboraron la mayoría de los elementos del catálogo de conceptos de la obra, y dando como resultado un modelo con 5,124 familias (exceptuando todos los elementos de acero) y 29,340 ítems o elementos. Las familias correspondientes al acero estuvieron conformadas por 10,270 y 60,992 elementos.

De igual forma se debe tomar en cuenta que el tiempo para la realización del modelo BIM en comparación a un proceso tradicional, no implicó el diseño del proyecto sino que se modeló a partir de los planos del proyecto ejecutivo proporcionados.

El contar con el diseño y el proyecto ejecutivo ya definido (generalmente en archivos CAD), muchas veces es una ventaja en ahorro de tiempo, sin embargo, como en el caso del proyecto seleccionado, los planos proporcionados contenían muchos errores de dibujo, imprecisiones e incongruencias, que hicieron más lenta la realización del modelo, aumentando el número de horas de modelado.

Idealmente, como se ha mencionado anteriormente, la metodología BIM implica un proceso en el que interviene todo el ciclo de vida del proyecto, desde el diseño hasta la construcción y mantenimiento de un edificio. Así, la elaboración de planos con esta

metodología, se obtiene del modelo BIM, los cuales generalmente no presentan errores, ni imprecisiones, o son mínimos.

Una vez elaborado el modelo BIM se prosiguió a preparar y administrar la información del modelo dentro del programa ProFin. Las actividades que se realizaron fueron referentes a la gestión del modelo BIM, gestión de conjuntos de ítems, gestión de actividades de la EDT, asignación de cuantificadores a las actividades, entre otros. Una vez más, este proceso se debe tomar en cuenta al elegir el método propuesto en este trabajo, ya que a diferencia de un método tradicional, la preparación de la información puede llevar un número considerable de horas de trabajo en el programa ProFin, dependiendo del tamaño del modelo y su número de elementos.

La preparación de la información del modelo en el prototipo ProFin del proyecto seleccionado para esta investigación, estuvo conformado por aproximadamente 100 horas de trabajo, exclusivamente para la actividad de monitoreo de avances, ya que si se realiza el programa de obra y presupuesto dentro del prototipo, este conlleva mayor cantidad de tiempo.

Los beneficios de la usabilidad del prototipo implicarían una reducción y optimización general de los costos de producción de una empresa constructora, así como un aumento en la productividad. La usabilidad del programa permite una mayor rapidez en la realización de tareas y reduciría pérdidas de tiempo, en comparación con el método tradicional.

Sin embargo, para la implementación de la metodología BIM y utilización del prototipo desarrollado en esta investigación, es importante recalcarle a las empresas constructoras, que esto implicaría un cambio de paradigma en la forma de administrar y controlar sus proyectos, además de que es necesario una inversión en tiempo y costo para su implementación.

Primeramente se necesita del equipo y herramientas necesarios para la implementación de BIM y uso de ProFin. Es necesario adquirir como mínimo una computadora central en la que se pueda modelar y administrar proyectos grandes y complejos. Debe contar con un procesador rápido, memoria suficiente que soporte el software utilizado y de preferencia una tarjeta gráfica aceptable.

Para la realización del monitoreo de avance de las actividades en campo, es necesario un dispositivo móvil o Tablet que cuente con soporte para Windows y presente las características suficientes para poder visualizar los modelos BIM. En el capítulo de la metodología se presentó las características de la Tablet adquirida para esta investigación.

Posteriormente son necesarios los softwares para la implementación de BIM, como por ejemplo Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, el propio ProFin, entre otros, de los cuales se adquieren las licencias para su utilización.

En cuanto a la mano de obra se puede contratar a un modelador BIM, cuyo sueldo oscila alrededor de \$14,000 mil pesos mensuales. Con este sueldo, una hora de modelado costaría aproximadamente \$80 pesos.

Incluso pueden haber otros puestos que incrementen la implementación como: coordinador BIM, administrador BIM, entre otros. De igual manera se puede optar por la capacitación técnica de todo el personal de la empresa sobre la metodología BIM.

Para ejemplificar los costos de la implementación de BIM en una empresa constructora, a continuación se presenta una tabla con la inversión en cada punto mencionado anteriormente tomando como referencia el proyecto seleccionado en esta investigación:

Tabla 13. Ejemplo de inversión para la implementación de BIM.

<b>Concepto</b>	<b>Costo de Implementación</b>
Workstation (computadora central)	\$22,000
Tablet	\$10,000
Licencias anuales (solamente Revit y ProFin)	\$70,000
Modelo BIM (600 horas x \$80)	\$48,000
Preparación del modelo en ProFin (100 horas x \$80)	\$8,000
<b>Total</b>	<b>\$158,000</b>

Como se puede observar, el costo total de la implementación de BIM en el proyecto seleccionado para este trabajo es de aproximadamente \$158,000 pesos. Quizá por

estos costos, muchas empresas no se deciden por invertir en esta tecnología, pero los beneficios de hacerlo pueden superar por mucho lo invertido. En este caso si se hubiera implementado BIM desde el principio se podría tener la seguridad de que la empresa tendría mayores utilidades.

Se puede concluir que la implementación de BIM y de un buen sistema de control y monitoreo por parte de las empresas constructoras, en el futuro no será una opción, sino algo imprescindible, en donde su verdadero potencial pronto resultará evidente y no será necesario hablar de su costo de implementación, sino en el costo de oportunidad por no adaptarlo.

## **Recomendaciones**

- Idealmente con la metodología BIM y el programa ProFin, se tendría que evaluar el tiempo de todo el proceso desde el diseño hasta la construcción del edificio, por lo que se recomienda evaluar el prototipo desarrollado en un proyecto que parta desde el diseño arquitectónico.
- Es necesario evaluar el prototipo en otros proyectos para tener un margen de comparación con respecto a los resultados obtenidos.
- Se debe de probar el prototipo en proyectos de otro tipo como los de infraestructura: carreteras, puentes, etc. para conocer cuál sería su comportamiento.
- Que pueda ser utilizado por más usuarios para conocer diferentes puntos de vista y poder modificar, complementar o mejorar algún aspecto que se requiriera.
- Evaluar el prototipo en proyectos en donde las instalaciones no estén generadas solamente por salidas, como fue el caso del proyecto seleccionado en este trabajo.



## 6. REFERENCIAS

- Álvarez R. S. (1996). Sistema de recolección de datos de obra basado en computadoras de pluma óptica. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, México.
- American Institute of Architects (AIA) (2008). Document E202-2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit. Disponible en: <http://www.aia.org/contractdocs/training/bim/aias078742> Recuperado el 19 de enero del 2017.
- American Institute of Architects (AIA) (2013) Document E203-2013 Building Information Modeling and Digital Data Exhibit. Disponible en: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab099084.pdf> Recuperado el 20 de enero del 2017.
- Arcudia A. C., Pech P. J., Álvarez R. S. (2005). La empresa constructora y sus operaciones bajo un enfoque de sistemas. Ingeniería 9-1 (2005) 25-36. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Baeza P. J., Salazar L. G. (2005). Integración de proyectos utilizando el modelo integrado de información para la construcción. Ingeniería 9-3 (2005) 67-75. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Beetz J., Berlo L. (2010). Towards an open building information model server. Report on the progress of an open IFC framework. DDSS 2010.
- Berlo L., Laat R. (2011). Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension. "Advances in 3D Geo-Information Sciences", 211-225.
- Bohn J., Teizer J. (2009). Benefits and barriers of monitoring construction activities using hi-resolution automated cameras. "Construction Research Congress 2009", ASCE, 21-30.
- BuildingSMART International Ltd. (2011). Industry Foundation Classes, Release 2x4 (IFC4) Release Candidate 3. Disponible en: <http://www.buildingsmarttech.org/ifc/IFC2x4/rc3/html/index.htm> Recuperado el 24 de agosto de 2012.
- Burch J. G. (1997). Diseño de sistemas de información: teoría y práctica. Limusa, México.
- Campbell D. A. (2007). Building Information Modeling: The Web3D application for AEC. En Proceedings of the twelfth international conference on 3D web technology (Web3D 2007), ACM, New York, NY, USA, 173-176.
- Clemen C., Gründig L. (2006). The Industry Foundation Classes (IFC) – Ready for Indoor Cadastre? "XXIII FIG Congress", Alemania, 1–9.
- CMIC (2013). Los Retos de la Infraestructura en México 2013-2018. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, México.
- Computer Integrated Construction Research Program (CIC). (2013) The Uses of BIM – Classifying and Selecting BIM Uses - Version 0.9. The Pennsylvania State University, University Park, PA, EEUU. Disponible en: <http://bim.psu.edu> Recuperado el 18 de enero de 2017.

- Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley, EE.UU.
- Fard M., Peña-Mora F. (2007). Application of visualization techniques for construction progress monitoring. "Computing in Civil Engineering 2007", ASCE, 216-223.
- Gómez F. I. (2013). Interacción de procesos BIM sobre una vivienda del movimiento moderno. La Ville Savoye. Escola Universitaria de Arquitectura Técnica, España.
- Gómez G. A., de Abajo M. N. (1998). Los sistemas de información en la empresa. Universidad de Oviedo, España.
- González F. J. (2010). Administración efectiva de proyectos de construcción en el contexto de las PyMES. Academia de Ingeniería A.C., México.
- Hajian, H., Becerik-Gerber B. (2009). A research outlook for real-time project information management by integrating advanced field data acquisition systems and building information modeling. "Computing in Civil Engineering", ASCE, 83-94.
- Hernández S. R., Fernández C. C., Baptista L. P. (2010) Metodología de la investigación. 5ta. Edición, Mc Graw Hill, Perú.
- Howard H., Levitt R., Paulson B., Pohl J., Tatum C. (1989). Computer integration: Reducing fragmentation in AEC industry. "Journal of Computing in Civil Engineering", ASCE, 3(1), 18-32.
- Hwang S., Liu L. (2010). BIM for integration of automated real-time project control systems. "Construction Research Congress 2010", 509-517.
- Hwang S., Trupp T., Liu, L. (2003). Needs and trends of IT-based construction field data collection. "Towards a Vision for Information Technology in Civil Engineering", ASCE, 1-9.
- ISO, 2008. ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform). Disponible en: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=38056](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38056) Recuperado el 5 de marzo de 2015.
- Jaselskis E., Sankar A., Yousif A., Clark B., Chinta V. (2015). Using telepresence for real-time monitoring of construction operations. "Journal of Management in Engineering", ASCE, 31, Special Issue.
- Khemlani L. (2004). The IFC Building Model: A Look Under the Hood, "National Institute of Building Science", Vol. 28, Washington, EE.UU.
- Krutchen P. (1995). Architectural blueprints – The "4+1" vies model of software architecture. Institute of Electrical and Electronics Engineers Software, 12 (6), EE.UU.
- Laguna H. M. (2015). Determinación de los criterios para generar modelos BIM aplicables en la construcción de los proyectos de edificación en el estado de Yucatán. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, México.
- Lee S., Peña-Mora F. (2006). Visualization of construction progress Monitoring. "Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering". Junio 14-16, 2006, Montréal, Canadá.

- Liberatore M., Pollack-Johnson B., Smith C. A. (2001). Project management in construction: software use and research directions. "Journal of Construction Engineering and Management", ASCE, 127(2), 101–107.
- Liebich T. (2009). IFC 2x Edition 3 Model Implementation Guide v1.7. "buildingSMART International Modeling Support Group", Disponible en: <http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/accompanying-documents/guidelines/IFC2x%20Model%20Implementation%20Guide%20V2-0b.pdf>  
Recuperado el 28 de febrero de 2015.
- Liebich T. (2013). IFC4 – The new buildingSMART Standard. "buildingSMART International Modeling Support Group", Disponible en: [http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc4-release/buildingSMART\\_IFC4\\_WhatisNew.pdf](http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc4-release/buildingSMART_IFC4_WhatisNew.pdf)  
Recuperado el 3 de marzo de 2015.
- Lu Y., Li Y., Skibniewski M., Wu Z., Wang R., Le Y. (2015). Information and communication technology applications in architecture, engineering, and construction organizations: a 15-year review. "Journal of Management in Engineering", ASCE, 31, Special Issue.
- Medina P. M. (2015). La administración de los materiales en proyectos de edificación mediante modelos BIM. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, México.
- Navon R., Goldschmidt E. (2003). Can Labor Inputs be Measured and Controlled Automatically? "Journal of Construction Engineering and Management", ASCE, 129(4), 437–445.
- Navon R., Sacks R. (2007). Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). "Automation in Construction", 16(4), 474–484.
- Olawale Y., Sun M. (2013). PCIM: project control and inhibiting-factors management model. "Journal of Management in Engineering", ASCE, 29(1), 60–70.
- Pan W., Gibb A. G. F., Dainty, A. R. J. (2007). Perspectives of U.K. house builders on the use of offsite modern methods of construction. "Construction Management and Economics", ASCE, 25(2), 183–194.
- Pech P. J. (2005). Herramienta de cómputo para apoyo al proceso de pago a subcontratistas en la construcción de vivienda masiva. Ingeniería 9-3 (2005) 57-65. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Pérez C. J. (2004). Planeación y control de obra del Instituto de Religión Tampico: propuesta de análisis y evaluación de planeación estratégica y riesgo. Tesis de Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de las Américas Puebla, México.
- Pérez L. B. (2006). Proceso de testing funcional independiente. Tesis de Maestría en Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Plume J., Mitchell J. (2007). Collaborative design using a shared IFC building model - Learning from experience. "Automation in Construction", 16(2007), 28–36.
- Pressman R. S. (2002). Ingeniería del software: un enfoque práctico. McGraw-Hill, Madrid.
- Rahman M. (2014). Barriers of implementing modern methods of construction. "Journal of Management in Engineering", ASCE, 30(1), 69–77.
- Russell A. D. (1993). Computerized daily site reporting. "Journal of Construction Engineering and Management", ASCE, 119(2), 385–402.

- Sabol L. (2008) Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling. Disponible en: [http://dcstrategies.net/files/2\\_sabol\\_cost\\_estimating.pdf](http://dcstrategies.net/files/2_sabol_cost_estimating.pdf) Recuperado el 13 de enero de 2015.
- Shiau C., Wang W. (2003). Daily report module for construction management information system. En Proceedings of the 20th ISARC, Eindhoven, Holland, 603-609.
- Slaughter E. (1998). Models of construction innovation. "Journal of Construction Engineering and Management", ASCE, 124(3), 226–231.
- Succar B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. "Automation in Construction", 18(3), 357–375.
- Suermann P. C., Issa R., Olbina S. (2009). Use of building information models in simulations. En Proceedings of the IEEE 2009 Winter Simulation Conference, 0–7. Disponible en: <http://www.informs-sim.org/wsc09papers/257.pdf> Recuperado el 26 enero de 2015.
- Tavares F. N. (2012). A WebGL application based on BIM IFC. Tesis de doctorado, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.
- ThebuildingSMARTalliance™. (2009). About the National BIM Standard®. "The National Building Science", Disponible en: <http://www.nibs.org/?page=bsa> Recuperado el 25 de enero de 2015.
- Wuttke T., Snikders P., Zandhuis A. (2014). El compañero de bolsillo de la guía del PMBOK®. Van Haren Publishing, España.
- Zhang X., Bakis N., Lukins T. C., Ibrahim Y. M., Wu S., Kagioglou M., Aouad G., Kaka A. P., Trucco E. (2009). Automating progress measurement of construction projects. "Automation in Construction" 18(3), 294–301.
- Zhenhua W., Zhiliang M. (2012). Utilizing freeware tools to develop a 3D graphics interactive module for non-authoring BIM-based applications. "14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering", Moscú, Rusia.

## APÉNDICE 1. CASOS DE USO

A continuación se presenta los casos de uso correspondientes al procedimiento de cada una de las etapas para la toma de avances de obra utilizando el prototipo desarrollado.

### Caso de Uso #1 - Gestión de Modelos BIM

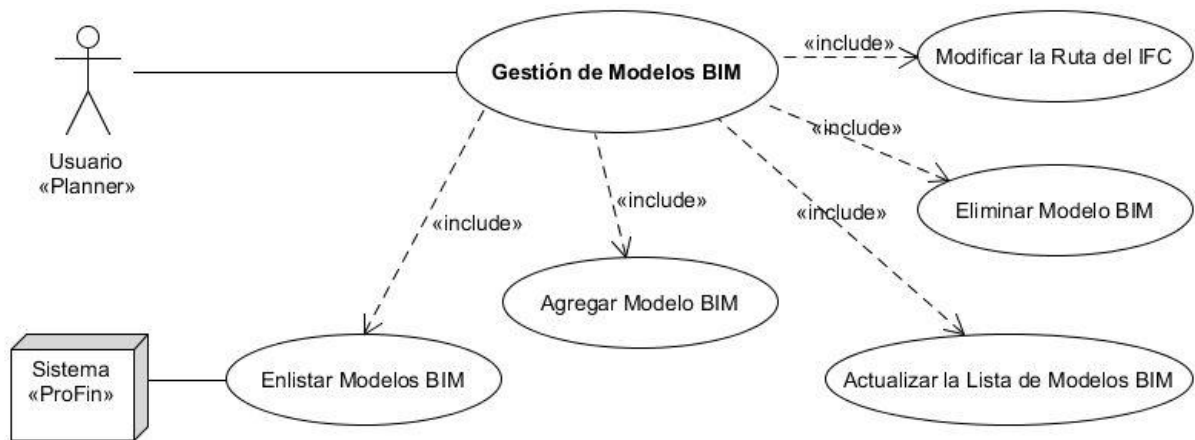


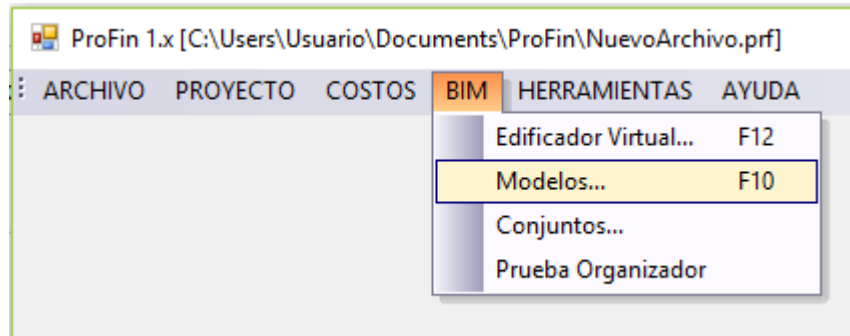
Figura 23. Diagrama de caso de uso – Gestión de Modelos BIM.

En esta etapa, la herramienta ProFin hace uso del formato IFC del modelo BIM elaborado previamente para importarlo dentro del programa y convertirlo en un archivo con un formato llamado **.PRF** que permite relacionarlo con el presupuesto y el programa dentro de la misma herramienta. La herramienta ProFin contiene todas las opciones necesarias para elegir el archivo IFC que se quiera importar.

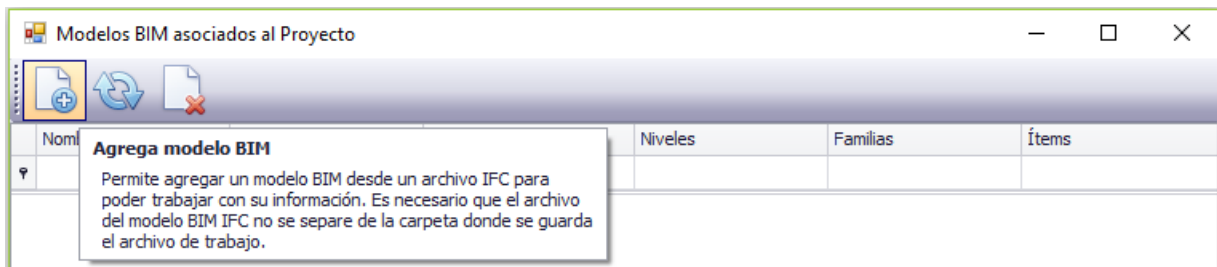
Nombre	Descripción	Ruta Archivo	Niveles	Familias	Ítems
Modelo IFC.ifc		E:\LICITACION UADY-FCA012015\REVIT\Modelo IFC.ifc	8	5124	29340
Modelo IFC - Acero.ifc		E:\LICITACION UADY-FCA012015\REVIT\Modelo IFC - Acero.ifc	0	10270	60992

Figura 24. Interfaz de usuario de la gestión de modelos BIM.

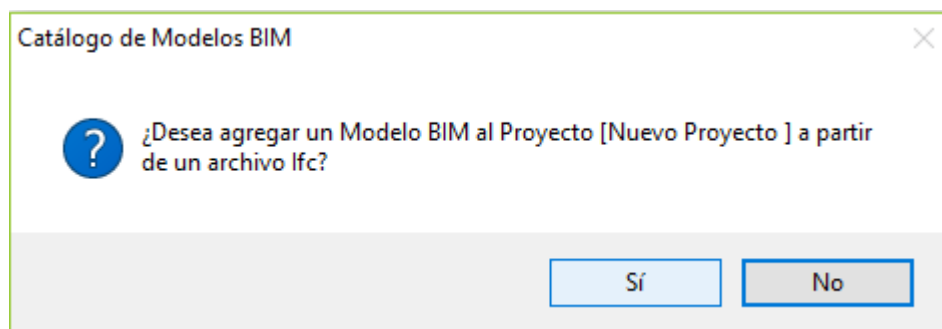
**Agregar Modelo BIM:** La ventana de los modelos BIM asociados al Proyecto, permitió importar los modelos IFC para trabajar con su información dentro del programa. La ruta para cargar los modelos IFC es: Clic en la pestaña *BIM* ► *Modelos* (o F10):



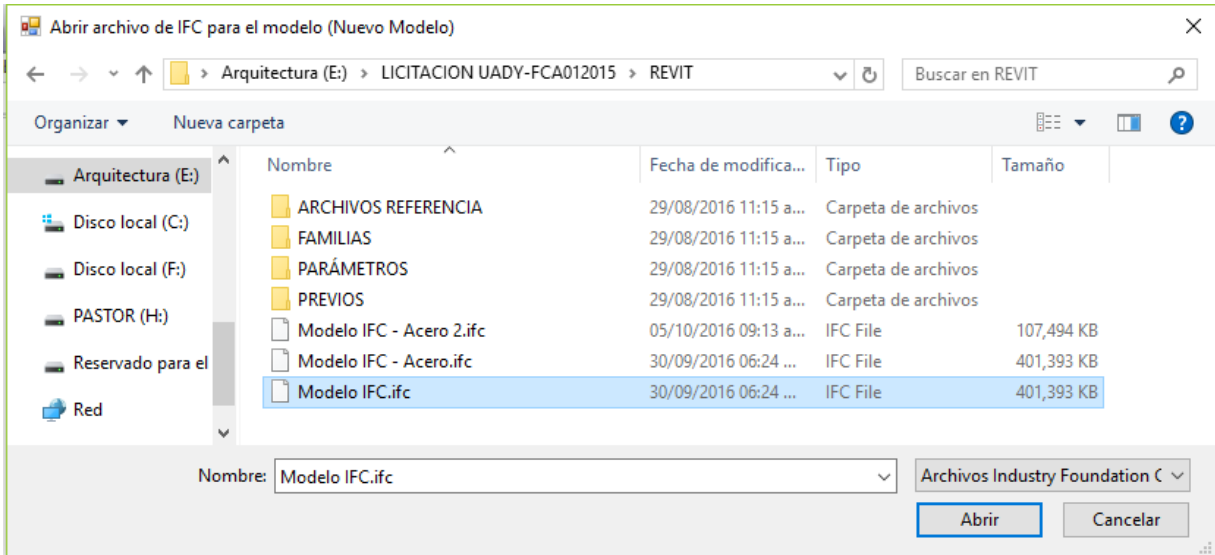
Clic en el ícono *Agregar modelo BIM*:



Se abre una ventana de confirmación de catálogo de modelos BIM con la pregunta, ¿Desea agregar un Modelo BIM al Proyecto (nombre del proyecto) a partir de un archivo IFC? Seleccionar *Sí*.



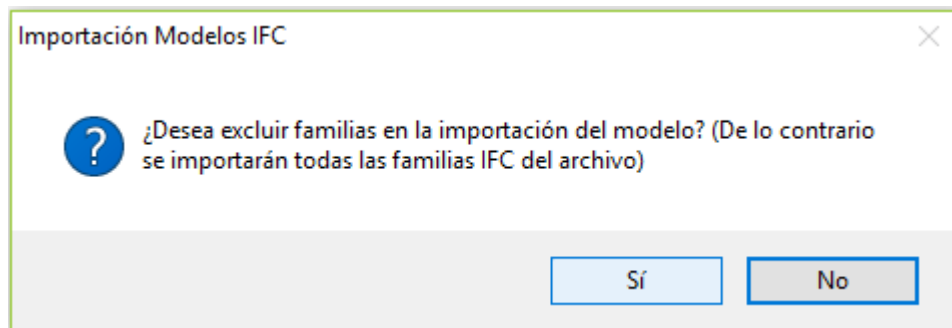
Se despliega una ventana del explorador de Windows para seleccionar la ubicación del archivo IFC dentro del disco duro de la computadora. Después de navegar por las carpetas y ubicar el archivo elegido, seleccionar *Abrir*.



Se despliega una ventana de Importación de Modelos IFC con la pregunta, ¿Desea excluir familias en la importación del modelo? (De lo contrario se importarán todas las familias IFC del archivo). En este paso es importante conocer el proyecto y como fue realizado el modelo, ya que quizá para los propósitos de lo que se requiera, pueda ser necesario excluir algunas familias que no quisiéramos importar.

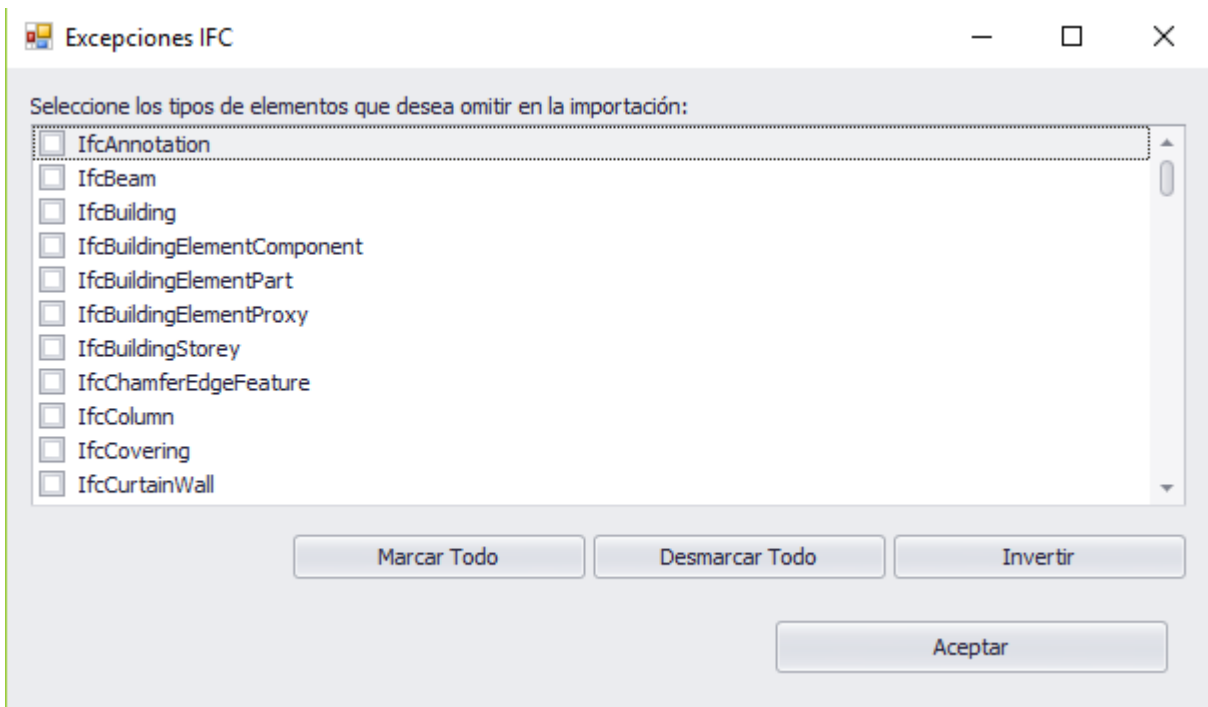
Si se desea agregar todas las familias del modelo, seleccionar *No*.

Si se desean excluir una o más familias para la importación, seleccionar *Sí*.

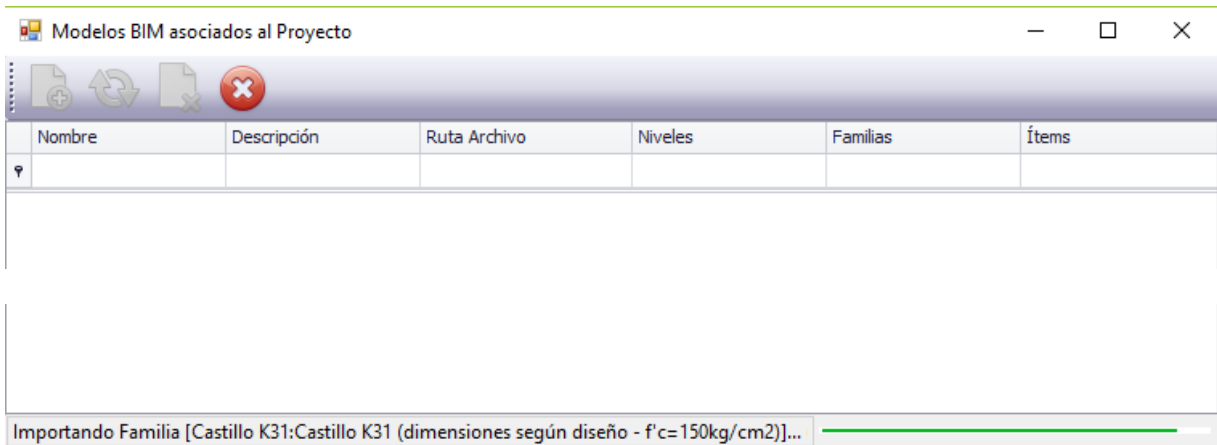


Se despliega una nueva ventana de Excepciones IFC que enlista todas las familias conocidas para este formato. La lista está compuesta por un “check box” seguido del nombre de la familia. Se puede seleccionar individualmente cada familia que se desee excluir haciendo clic en su cuadro de selección, o en la parte inferior se presentan 3 opciones para esta selección: *Marcar Todo*, *Desmarcar Todo* e *Invertir*.

Una vez que se eligieron la o las familias a excluir durante la importación, seleccionar *Aceptar*.

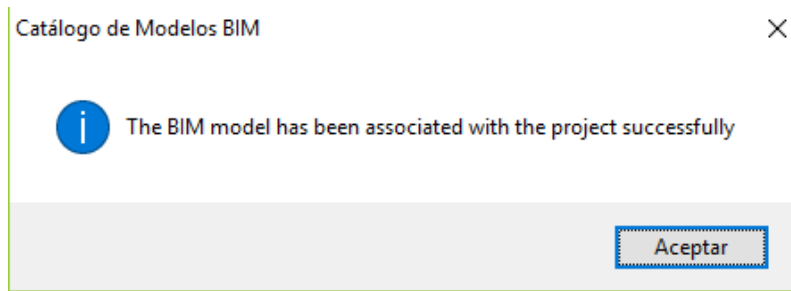


El programa comenzará a exportar las familias seleccionadas, mostrando en la parte inferior de la ventana la familia que está siendo importada y una barra de progreso.

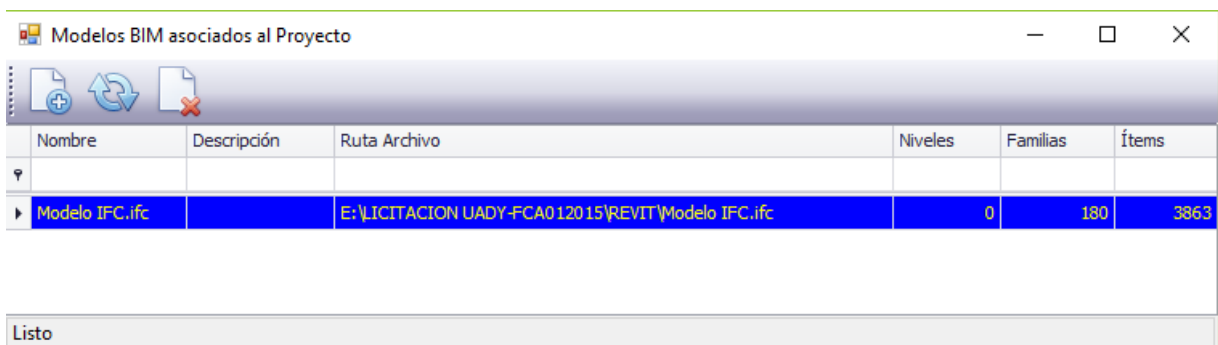


El tiempo que se debe esperar para la finalización de la importación del modelo, dependerá del tamaño del archivo y número de familias del proyecto. Una vez finalizada la importación, si no se presentó ningún problema, se despliega una ventana que menciona que el modelo BIM ha sido asociado con el proyecto exitosamente. Seleccionar *Aceptar*.

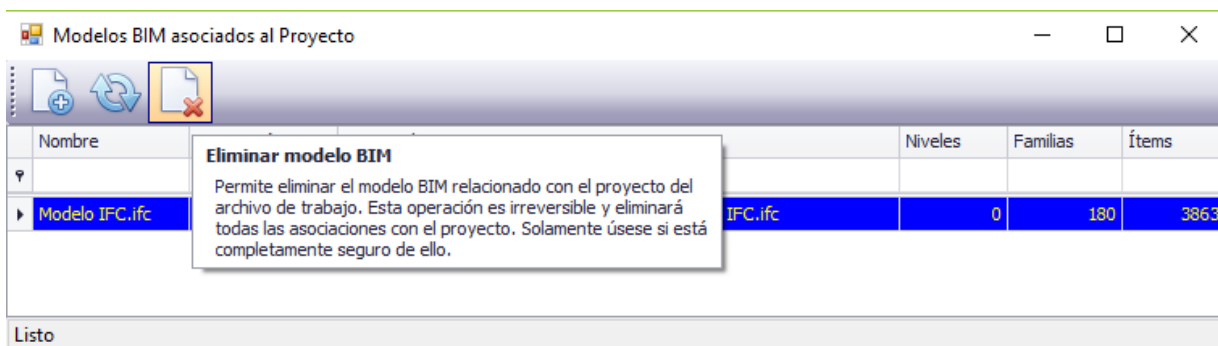




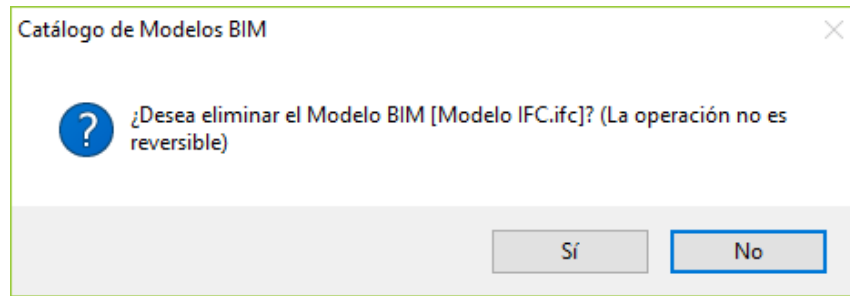
Finalmente el modelo IFC aparecerá en lista de modelos BIM asociados al Proyecto, especificando el nombre del archivo IFC, una descripción editable (que se asigna en esta misma ventana), la ruta de ubicación del archivo, los niveles del proyecto, número de familias y cantidad de ítems o elementos.



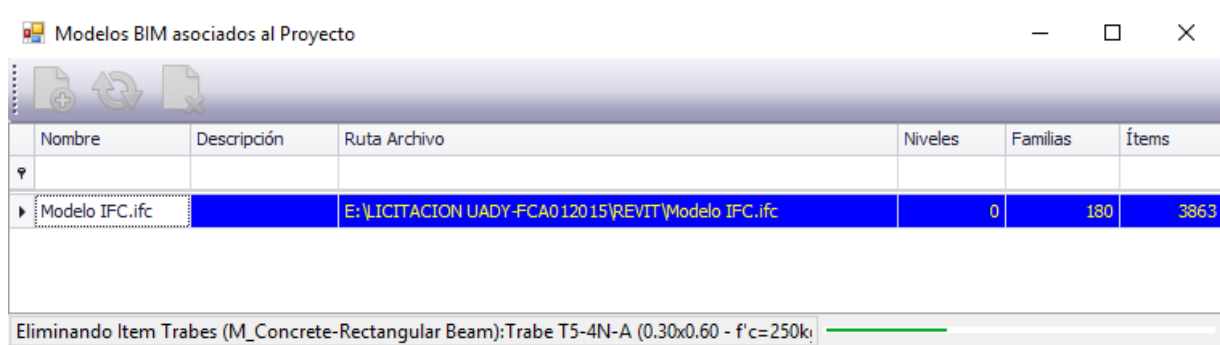
**Eliminar Modelo BIM:** Para eliminar un modelo BIM ya importado se sigue la ruta: Clic en la pestaña *BIM* ➤ *Modelos* (o F10) ➤ Seleccionar el modelo IFC a eliminar (selección azul) ➤ Clic en el ícono *Eliminar modelo BIM*.



Se despliega una ventana de confirmación de Catálogo de Modelos BIM con la pregunta, ¿Desea eliminar el Modelo BIM (nombre del modelo)?, mencionando que la opción no es reversible. Si se está de acuerdo seleccionar *Sí*.

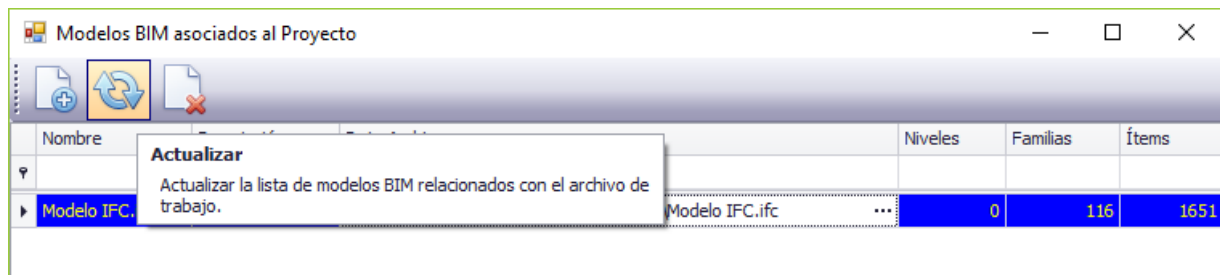


El programa comenzará a eliminar todas las familias del archivo IFC seleccionado, mostrando en la parte inferior de la ventana las familias del modelo que están siendo eliminadas y una barra de progreso.




**Actualizar la Lista de Modelos BIM:** Para actualizar la lista de los modelos BIM ya importados, se sigue la ruta: Clic en la pestaña *BIM* ► *Modelos* (o F10) ► Clic en el ícono *Actualizar*.

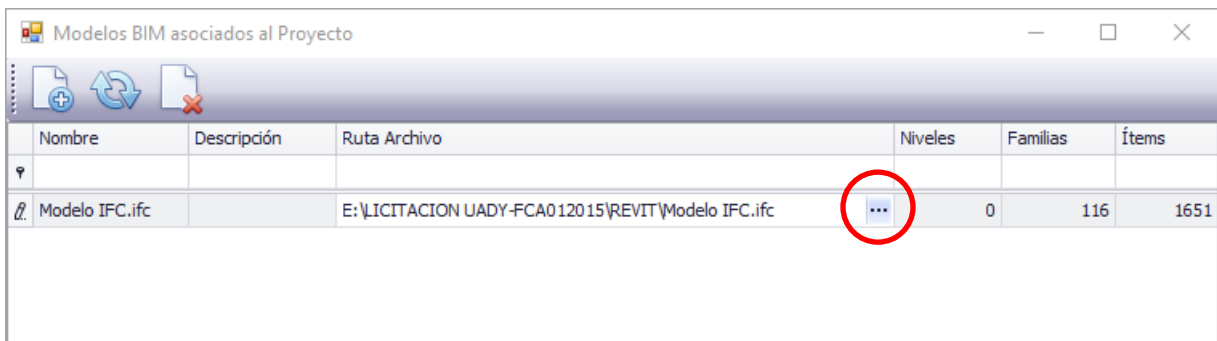
Es recomendable actualizar la lista de modelos cuando se realicen muchos cambios de importación o eliminación de modelos.



**Modificar la ruta del IFC:** Es importante mencionar que no se debe cambiar de lugar la ubicación del archivo IFC ya exportado, ni cambiar el nombre de la carpeta donde se encuentra el archivo, ya que se perdería la ruta y no se podría obtener su

información. Si por algún motivo es necesario cambiar de lugar el archivo o nombre de su carpeta contenedora, se debe ingresar de nuevo a esta ventana para reubicar el archivo.

Para modificar la ruta del IFC de los modelos BIM ya importados, se sigue la ruta: Clic en la pestaña *BIM* ► *Modelos* (o F10) ► Seleccionar el modelo IFC a modificar (selección azul) ► En la columna *Ruta Archivo*, dar clic en el ícono  ubicado del lado derecho de la ruta.



Nombre	Descripción	Ruta Archivo	Niveles	Familias	Ítems
Modelo IFC.ifc		E:\LICITACION UADY-FCA012015\REVIT\Modelo IFC.ifc	0	116	1651

Se despliega una ventana del explorador de Windows para seleccionar la nueva ubicación del archivo IFC dentro del disco duro de la computadora. Después de navegar por las carpetas y ubicar el archivo elegido, seleccionar *Abrir*.

**Enlistar Modelos BIM:** Para mostrar la lista de los modelos BIM ya importados, se sigue la ruta: Clic en la pestaña *BIM* ► *Modelos* (o F10). El sistema despliega la lista de todos los archivos IFC ya importados al proyecto.



Nombre	Descripción	Ruta Archivo	Niveles	Familias	Ítems
Modelo IFC.ifc		E:\LICITACION UADY-FCA012015\REVIT\Modelo IFC.ifc	8	5124	29340
Modelo IFC - Acero.ifc		E:\LICITACION UADY-FCA012015\REVIT\Modelo IFC - Acero.ifc	0	10270	60992

## Caso de Uso #2 – Gestión de Conjuntos de Ítems

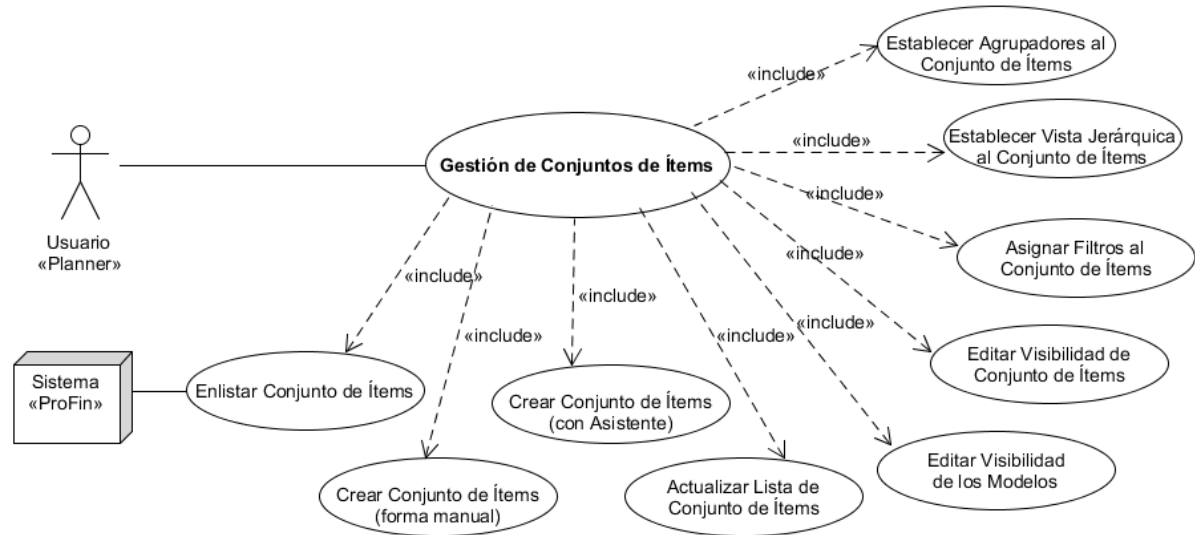


Figura 25. Diagrama de caso de uso – Gestión de Conjuntos de Ítems.

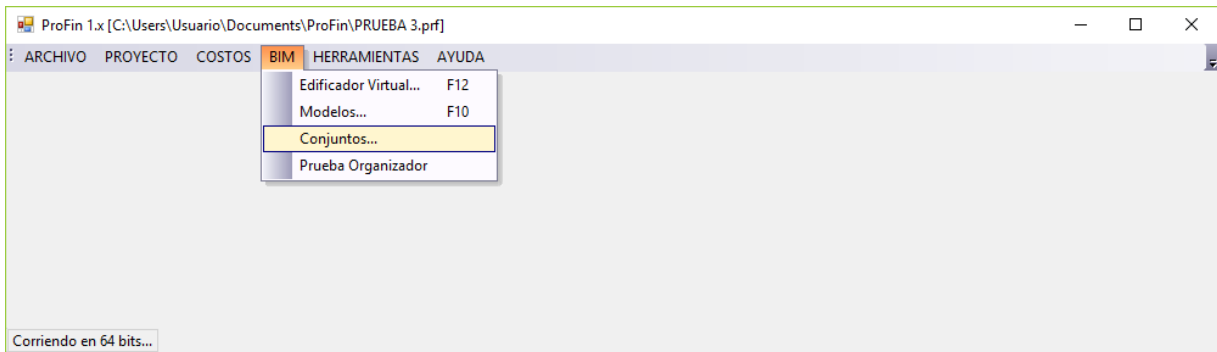
En el software ProFin, un conjunto de ítems es una colección de elementos del modelo BIM que forman parte del proyecto. En este punto se recalca la importancia de realizar los modelos BIM siguiendo una organización que pueda ayudar a la conformación de dichos conjuntos, dependiendo de lo que se necesite.

En el caso particular de este trabajo, se incluyeron parámetros adicionales, como se mencionará más adelante, que ayudaron a organizar las familias del modelo y sus respectivos ítems, ya que de esta forma se facilitó la creación de los conjuntos. Estos parámetros fueron el Nivel (para la ubicación del elemento), la Clave UniFormat (para organizar familias de acuerdo al catálogo de conceptos) y el Elemento (para identificar el nombre del ítem).

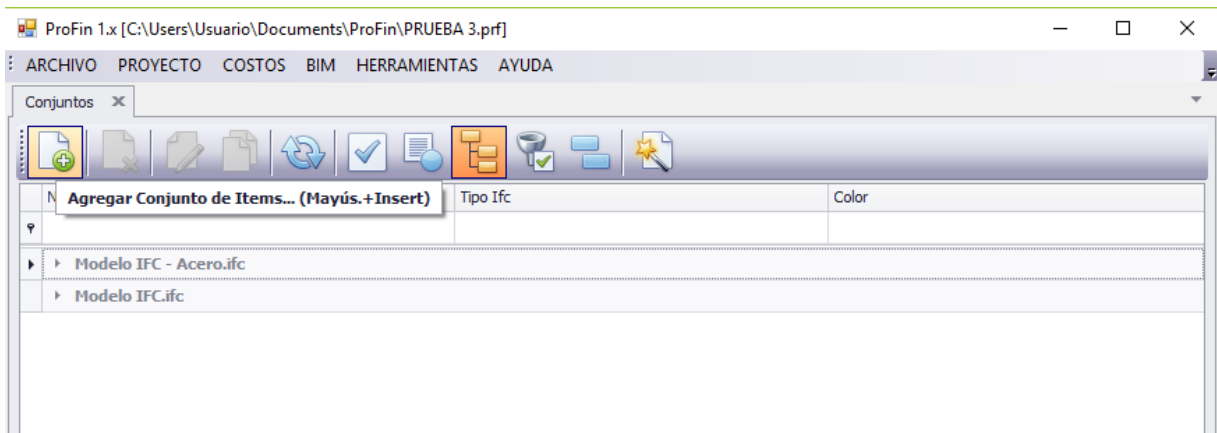
La creación de los conjuntos se puede realizar de dos formas diferentes, una manual y otra utilizando un asistente.

**Crear Conjunto de Ítems (forma manual):** Para la creación de conjuntos de forma manual, se van creando dichos conjuntos individualmente. Esta es una opción que se puede utilizar para proyectos pequeños, o cuando se necesite la información de un conjunto específico.

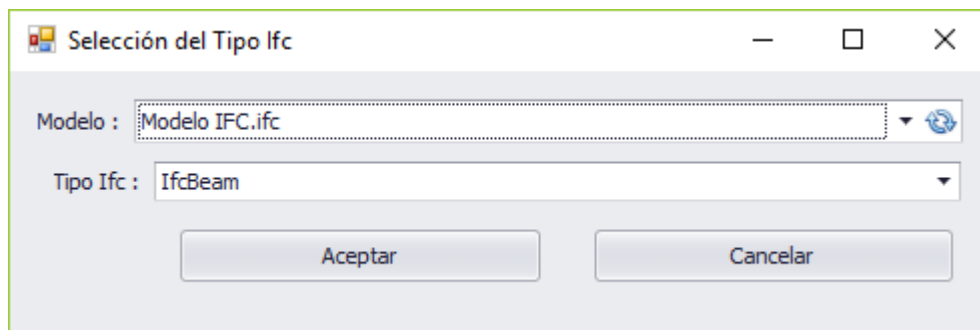
Para la creación de conjuntos de ítems de forma manual se sigue la ruta: Clic en la pestaña *BIM* ► *Conjuntos*.



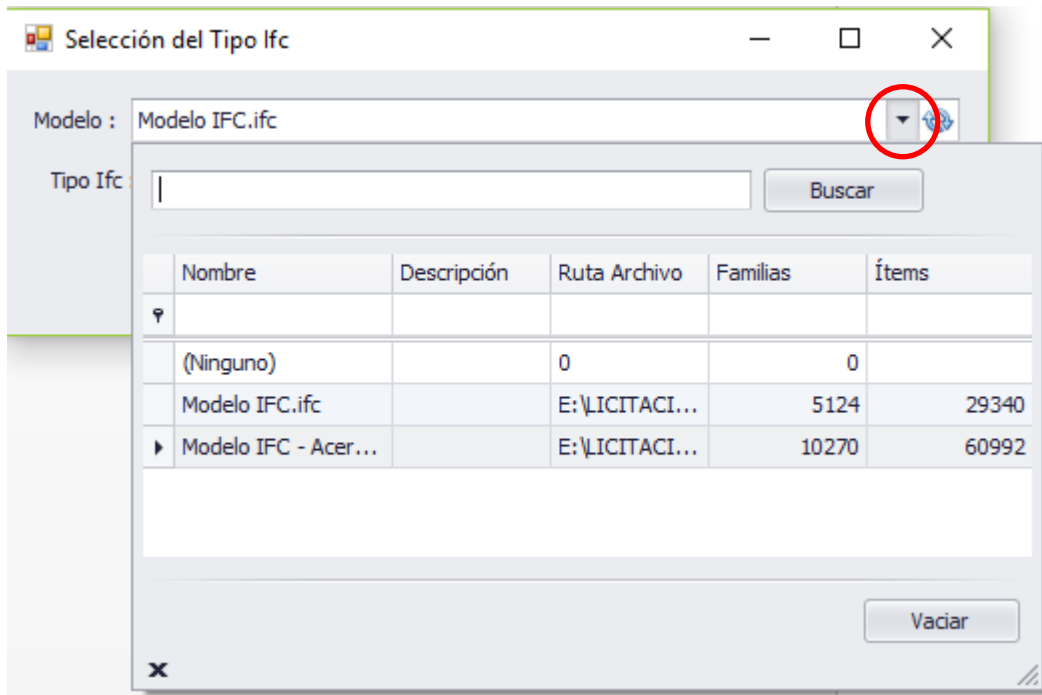
Se despliega una ventana de *Conjuntos*. Hacer clic en el ícono *Agregar Conjunto de Ítems*.



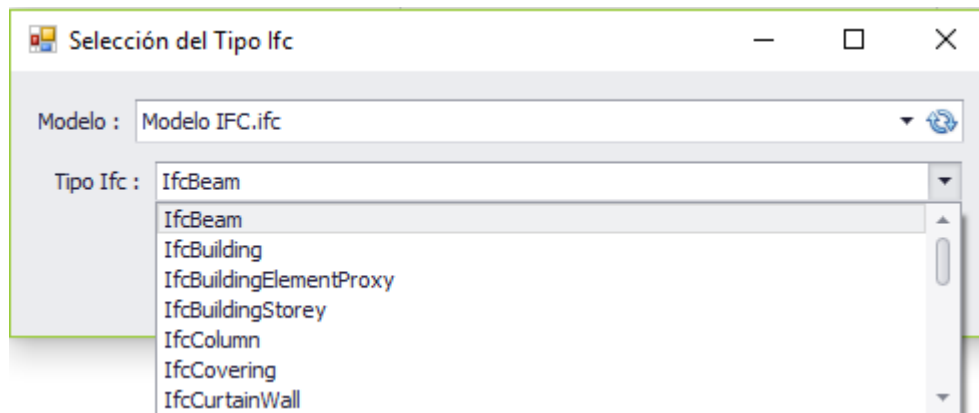
Se despliega una segunda ventana en donde se elige el modelo IFC de donde se van a obtener los ítems para el conjunto.



Para mostrar la lista de modelos, se presiona en la flecha hacia abajo para mostrar dicha lista.



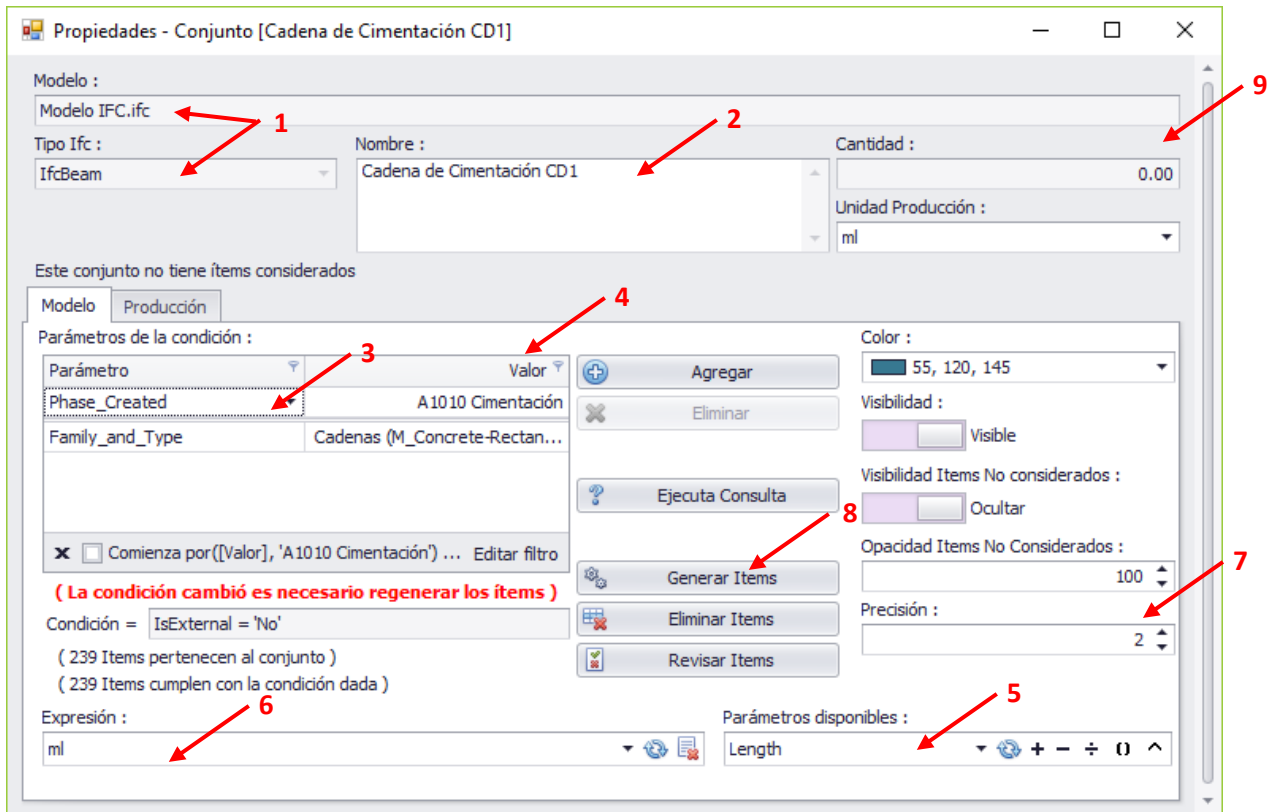
De igual manera se selecciona el tipo de familia a la cual pertenecen los ítems que queremos agrupar. Para mostrar la lista de familias se presiona la flecha de la lista desplegable.



Una vez selecciono el modelo IFC y la familia, dar clic en *Aceptar*.

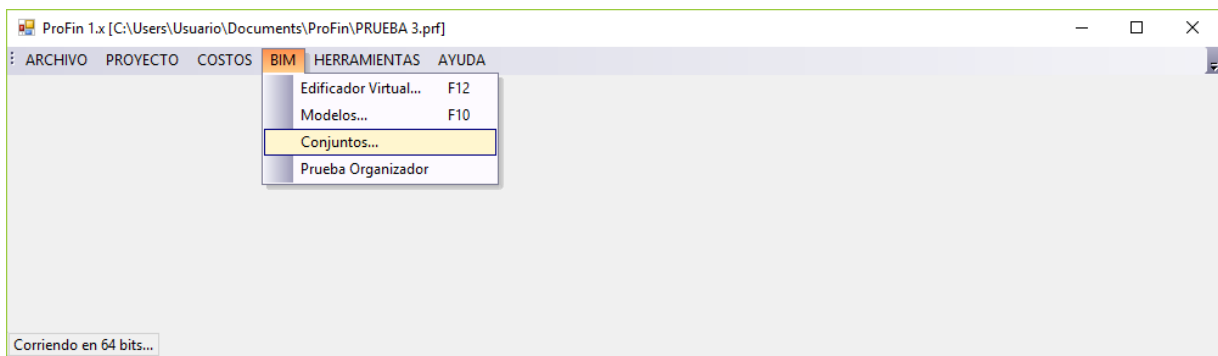
Se despliega una ventana de las *Propiedades del Conjunto*. Para facilitar la explicación de este procedimiento para la creación de un conjunto, a continuación se explica un ejemplo para la obtención de un conjunto de ítems correspondientes a las cadenas de cimentación:

1. En la ventana se muestra el nombre del modelo IFC y la familia de donde se van a obtener los ítems. Previamente se seleccionaron en el paso anterior y no se pueden modificar desde esta ventana.
2. Especificar el nombre del conjunto. Por default el programa va numerando los conjuntos con el nombre, Conjunto1, Conjunto2, etc.
3. En la parte de parámetros de la condición, seleccionaremos de la lista desplegable el tipo de parámetro IFC que necesitamos para la creación del conjunto. En este ejemplo, como hay que identificar las cadenas de cimentación, se seleccionó la fase creada de los elementos (Phase\_Created) y el tipo y familia al cual pertenecen (Family\_and\_Type). Se debe dar clic en Agregar para elegir todos los parámetros IFC que se deseen.
4. Seleccionar el valor de los parámetros escogidos. Estos valores fueron los asignados durante la modelación. El valor para la fase creada es la clave Unifomat de la cimentación, A1010 – Cimentación. Para la familia de la cadena se selecciona Cadenas (M\_Concrete-Rectangular Beam): Cadena CD1.
5. Seleccionar el parámetro de cuantificación para el conjunto. En este caso lo que nos interesa es la longitud de los elementos (Length).
6. Se asigna la expresión que va a definir la cantidad, en este caso metros lineales (ml).
7. Se asigna la precisión que queremos de la cantidad total (número de dígitos).
8. Seleccionar la opción *Generar Ítems*, para que el sistema, de acuerdo a los parámetros y valores asignados encuentre los ítems con estas propiedades en el modelo BIM y los agrupe en un conjunto.
9. La cantidad total, de acuerdo al parámetro de la unidad elegida y a su precisión, aparecerá automáticamente.



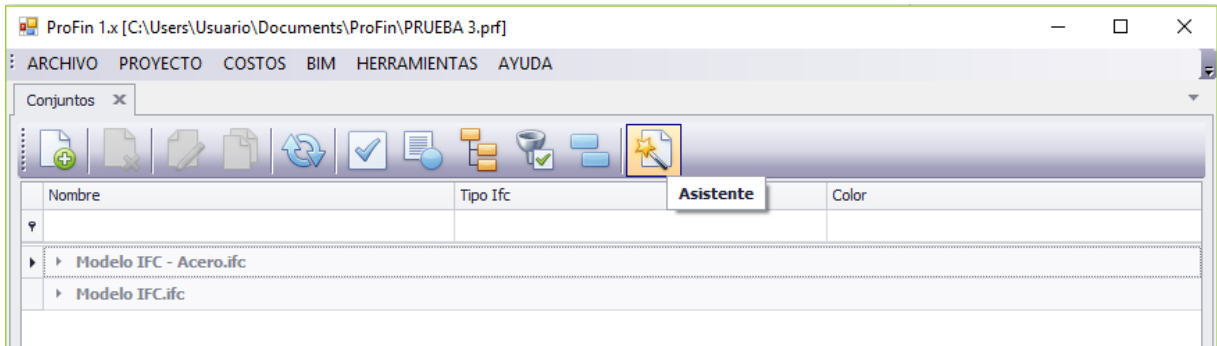
**Crear Conjunto de Ítems (con Asistente):** Esta es una opción de mucha ayuda para generar los conjuntos de ítems de todo un modelo BIM de manera automática.

La ruta para acceder a este asistente es: Clic en la pestaña *BIM* ➤ *Conjuntos*.



Se despliega una ventana de Conjuntos. Hacer clic en el ícono *Asistente*.

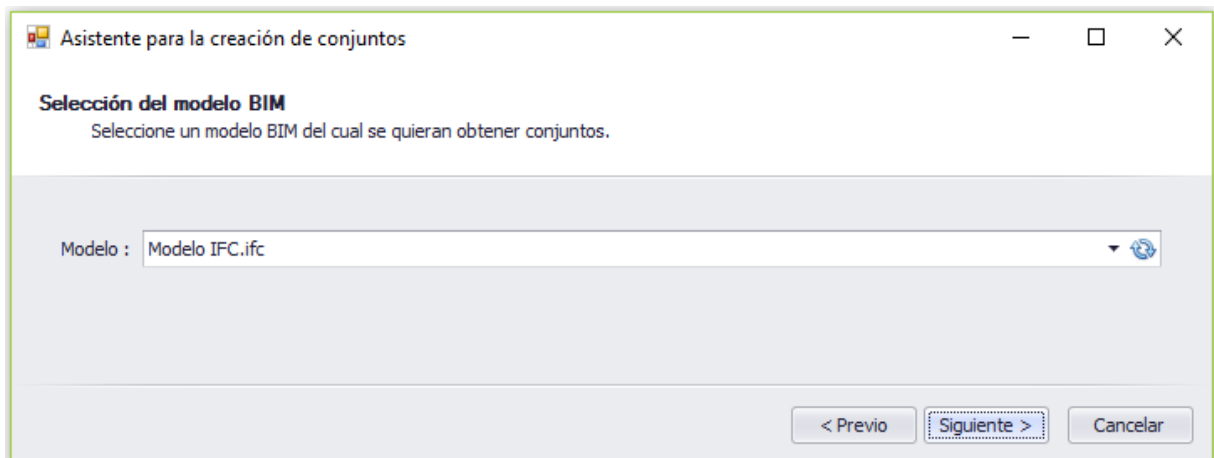




Se desplegará una ventana de bienvenida al asistente para la creación de conjuntos, explicando que permite simplificar el proceso de creación de conjuntos de ítems para el modelo BIM dado a partir de las familias y parámetros IFC. Dar clic en *Siguiente*.

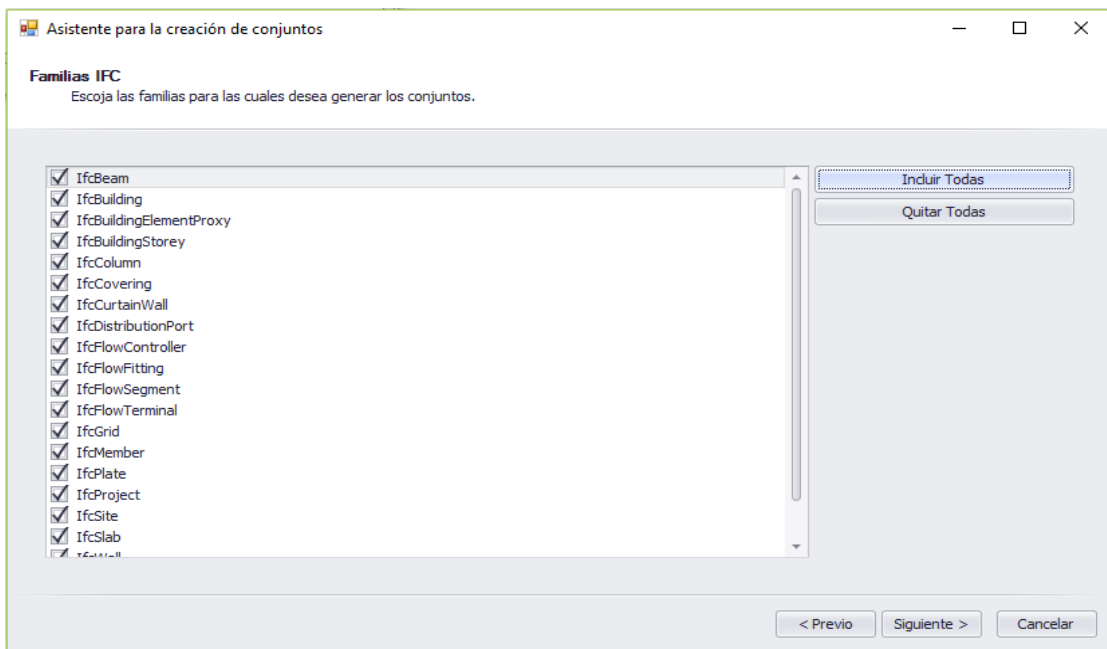


En la ventana siguiente, se selecciona el modelo IFC del cual se deseen generar los conjuntos. Seleccionar la flecha desplegable para mostrar la lista de modelos cargados al proyecto. Una vez selecciona el modelo, dar clic en *Siguiente*.

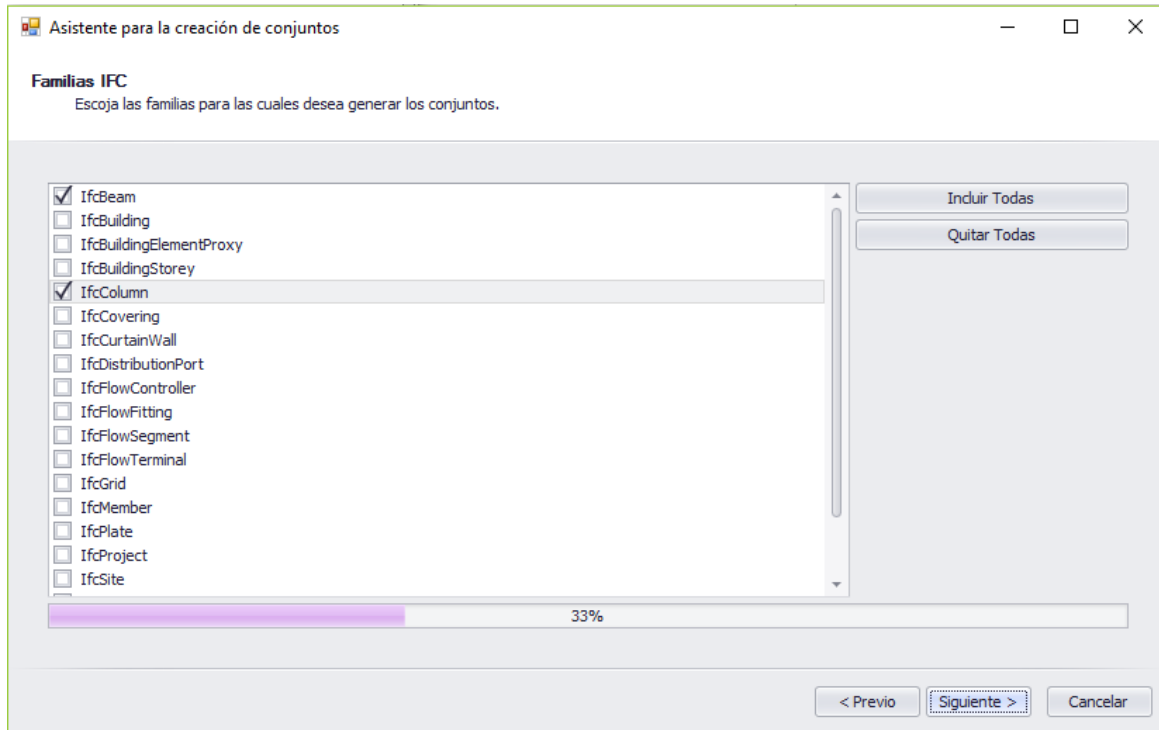


Se despliega una nueva ventana en donde se enlistan todas las familias con las que cuentan los modelos IFC. Seleccionar todas las familias que se tomarán en cuenta para la generación de los conjuntos, dando clic en el “check box” de cada una de estas familias. Para ayudar con esta selección hay dos opciones del lado derecho para *Incluir Todas* o *Quitar Todas*.

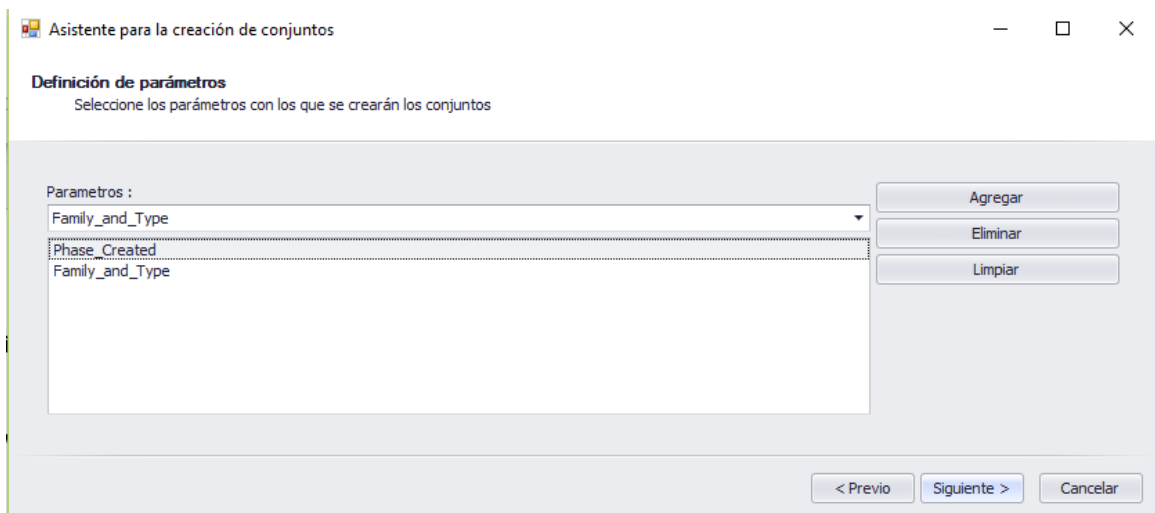
En este punto es recomendable seleccionar todas las familias para que todos los ítems del modelo estén dentro de los conjuntos, y no se omitan algunos por error. Sin embargo, para propósitos de esta tesis, se excluyeron de la lista todas las familias concernientes a la modelación del acero como el IFC Reinforcement Bar, ya que la cantidad de información de estas familias es muy extensa y el proceso de creación de los conjuntos sería muy tardado. El acero del modelo BIM fue cargado en un archivo diferente. Una vez seleccionadas todas las familias, elegir *Siguiente*.



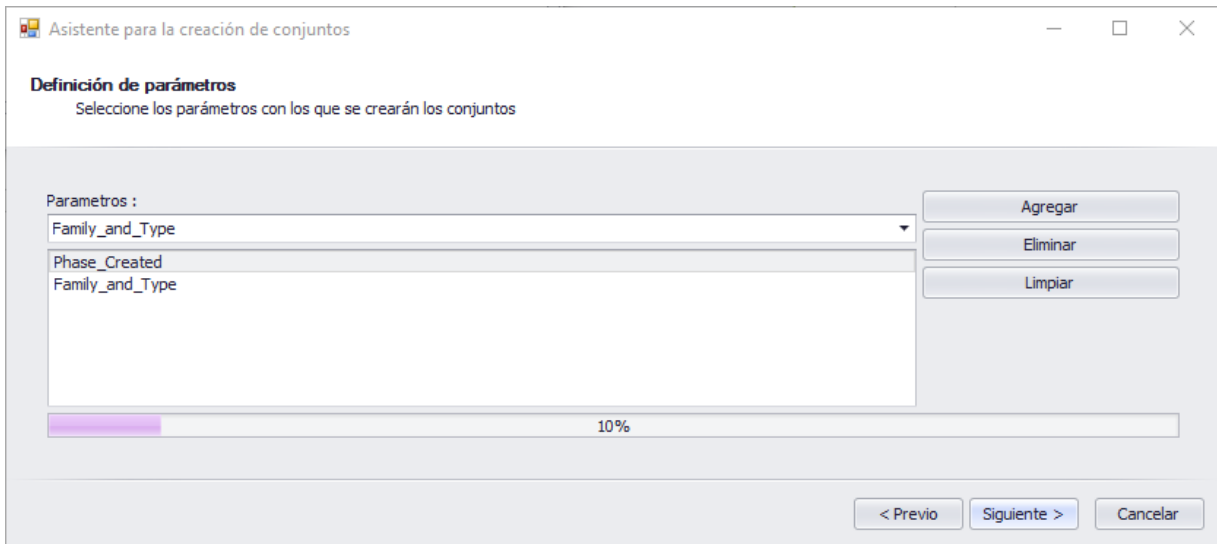
El software empezará a preparar los ítems de las familias seleccionadas mostrando una barra de avance en la parte inferior de la ventana. El tiempo de finalización de este procedimiento dependerá del tamaño del archivo del modelo IFC y del número de familias seleccionadas.



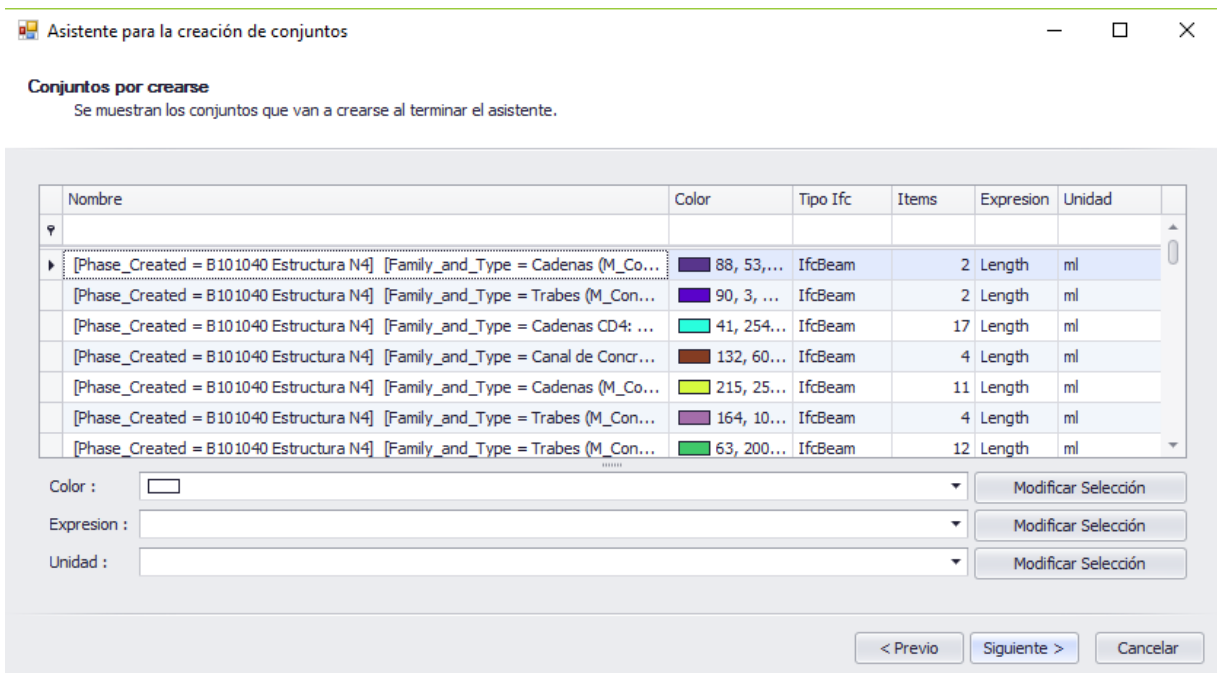
Al finalizar, aparecerá una ventana para la asignación de los parámetros de los conjuntos. Dar clic en la flecha de la lista desplegable para elegir el primer parámetro que definirá los conjuntos. Una vez seleccionado, elegir *Agregar*. En este punto se pueden crear todos los parámetros necesarios para la conformación de los conjuntos, sin embargo, es importante recalcar, que al ir agregando más parámetros el tiempo de este proceso aumenta exponencialmente ya que el sistema tiene que formar conjuntos con cada uno de los parámetros seleccionados. Para finalizar elegir *Siguiente*.



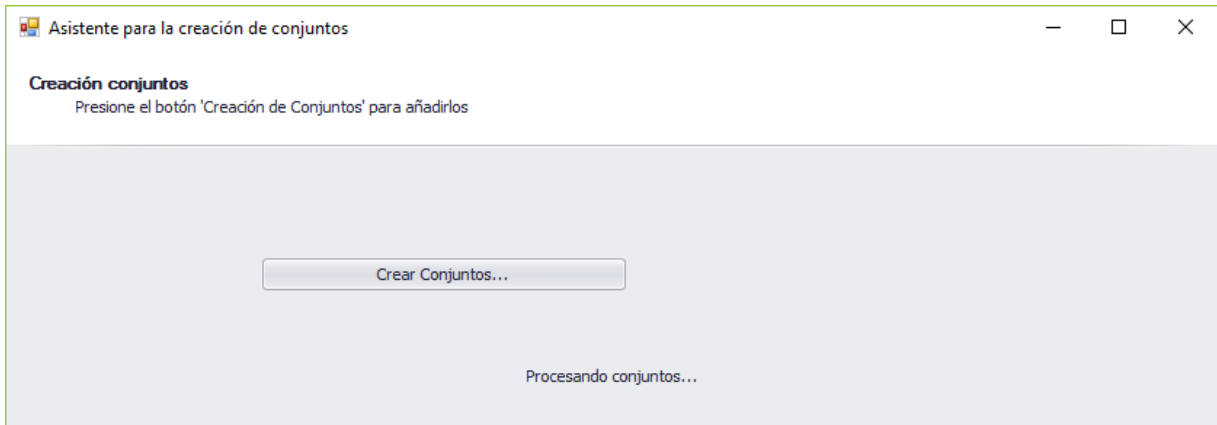
El sistema empezará a buscar los conjuntos mostrando el avance en una barra ubicada en la parte inferior de la ventana. El tiempo que le lleva a este proceso dependerá del número de familias elegidas para la conformación de los conjuntos y del número de parámetros.



Al finalizar se despliega una ventana con la lista de todos los conjuntos que se van a crear, especificados por su nombre, un color asignado aleatoriamente, el tipo IFC de la familia, el número de ítems iguales por conjunto, su expresión y unidad. En la parte inferior se puede modificar el color, expresión y unidad de los conjuntos.



En la siguiente ventana, seleccionar *Crear Conjuntos* para finalizar con este proceso



El sistema empezará el proceso de creación de los conjuntos mostrando una barra de avance en la parte inferior de la ventana.



Una vez finalizado el proceso se regresa a la ventana principal de Conjuntos en donde se observará el nombre del modelo IFC y la lista de todos sus conjuntos creados para ese archivo.

### Caso de Uso #3 – Gestión de Actividades de la EDT

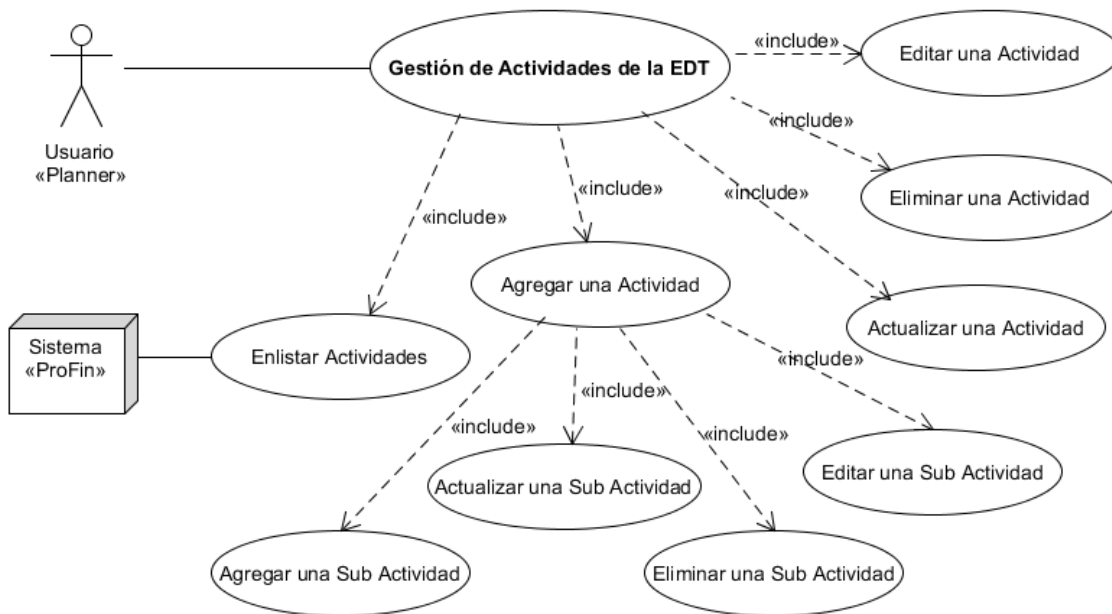
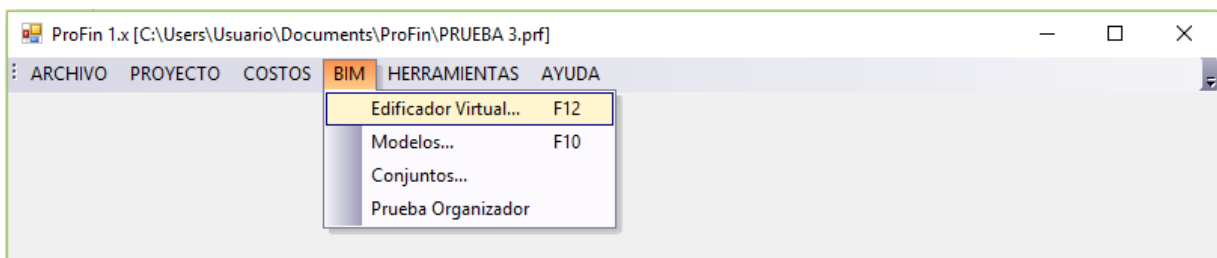


Figura 26. Diagrama de caso de uso – Gestión de Actividades de la EDT.

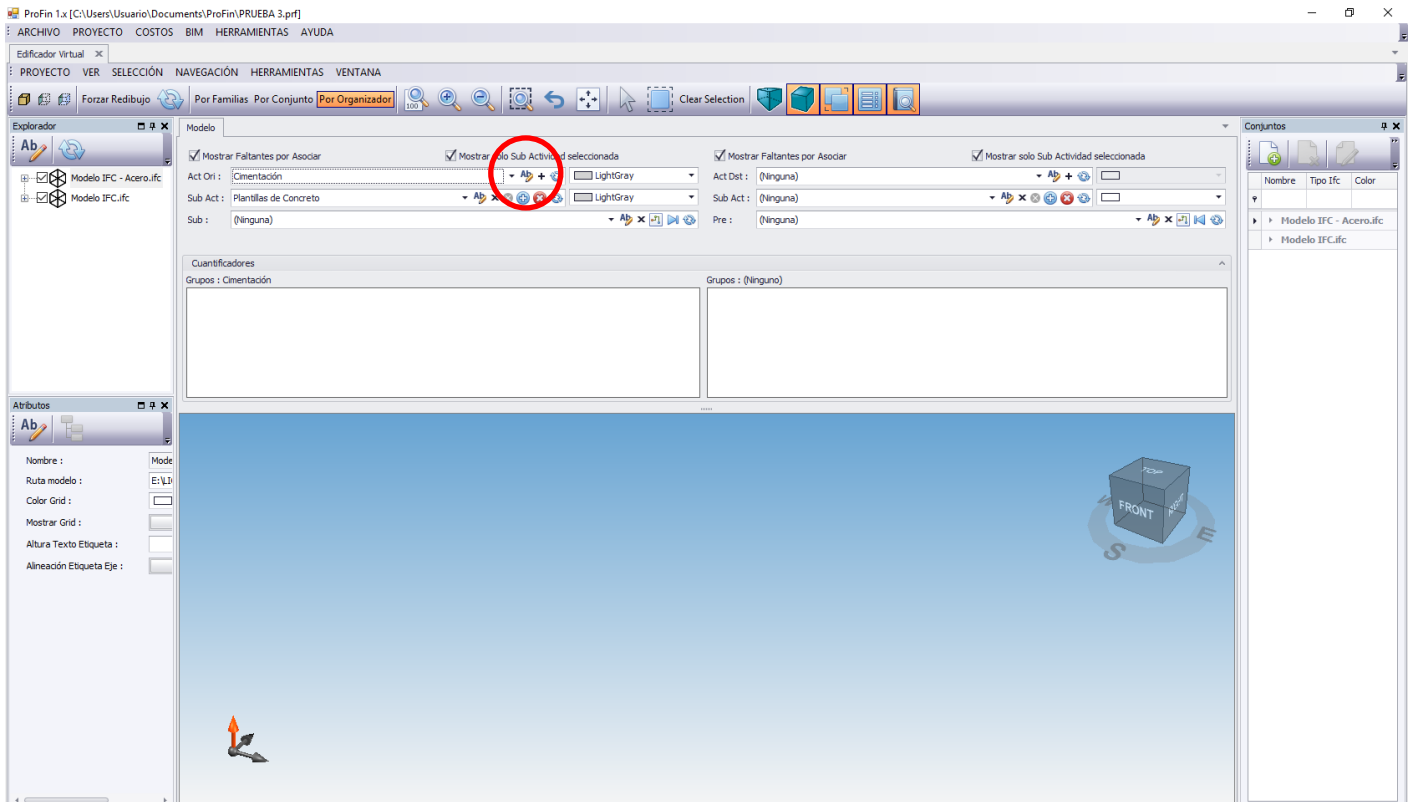
Las actividades forman parte de la estructura de desglose de los trabajos de un proyecto. Esta EDT es una descomposición jerárquica, orientada al producto entregable del trabajo que será ejecutado por el equipo del proyecto, para lograr los objetivos del proyecto y crear los productos entregables requeridos. Dentro de ProFin estas actividades son utilizadas para desarrollar el programa de obra, las cuales tienen agregados grupos de cuantificadores de los elementos BIM (conjuntos).

Una de las formas para agregar una actividad en el software ProFin es desde el Edificador Virtual, en donde además se puede apreciar el modelo BIM en 3D y los conjuntos creados previamente.

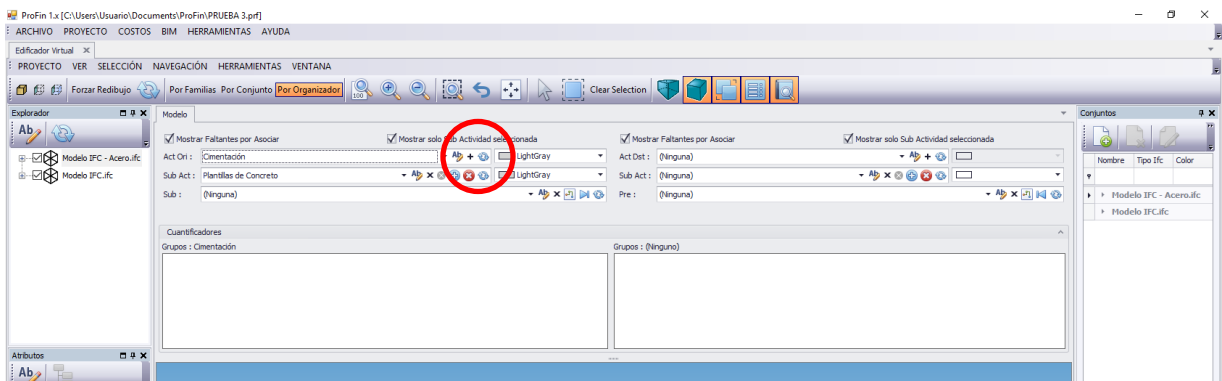
La ruta para acceder al edificador virtual es: Clic en la pestaña *BIM* ► *Edificador Virtual* (o F12).



**Agregar una Actividad:** Para agregar una nueva actividad se selecciona el ícono *Agregar Nueva Actividad*, y se especifica su nombre.



**Agregar una Sub Actividad:** Primeramente se despliega la lista de Actividad Original para seleccionar la actividad padre que contendrá a la nueva sub actividad. Luego se selecciona el ícono *Agregar Nueva Sub Actividad*, la que aparecerá debajo de la original, en donde se puede especificar su nombre.



## Caso de Uso #4 – Asignación de Cuantificadores a las Actividades

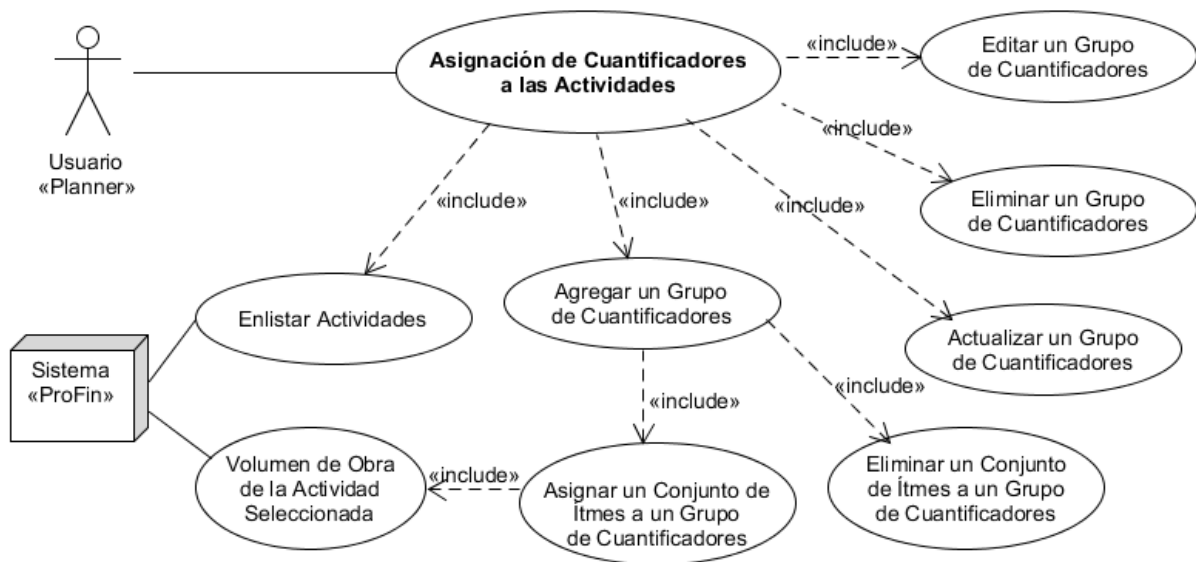
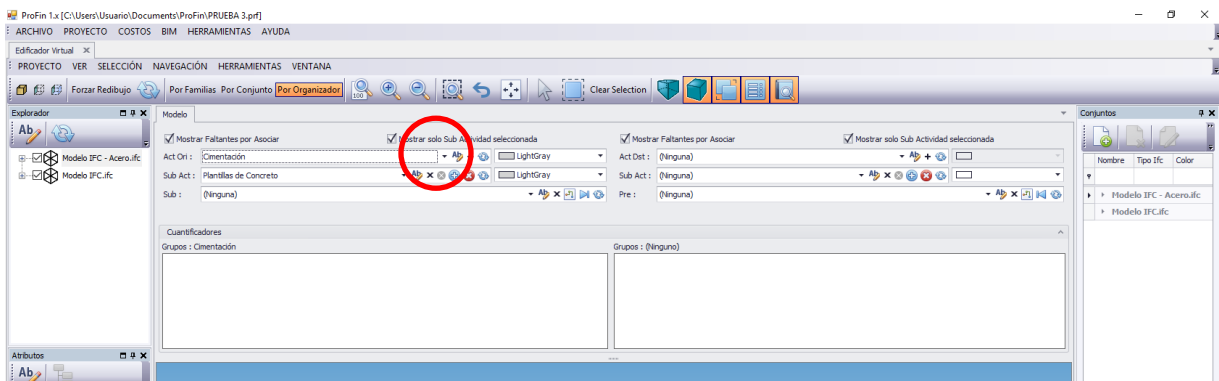


Figura 27. Diagrama de caso de uso – Asignación de Cuantificadores a las Actividades.

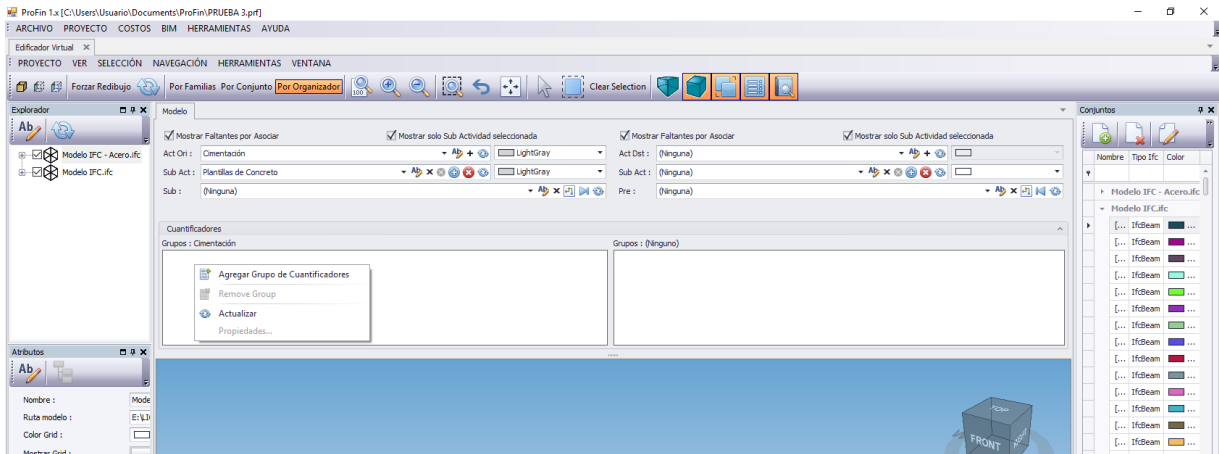
En ProFin, los cuantificadores son grupos creados dentro de las actividades a los que se les asigna uno o más conjuntos de ítems, y como su nombre lo indica, cuantifican el valor total con la unidad de medición asignada para una actividad específica. Estos cuantificadores se pueden crear desde el Edificador Virtual del software.

**Agregar un Grupo de Cuantificadores:** El primer paso es seleccionar la actividad a la cual se le va a crear el grupo de cuantificadores. Se elige la actividad desde la lista desplegable de Actividades Originales.

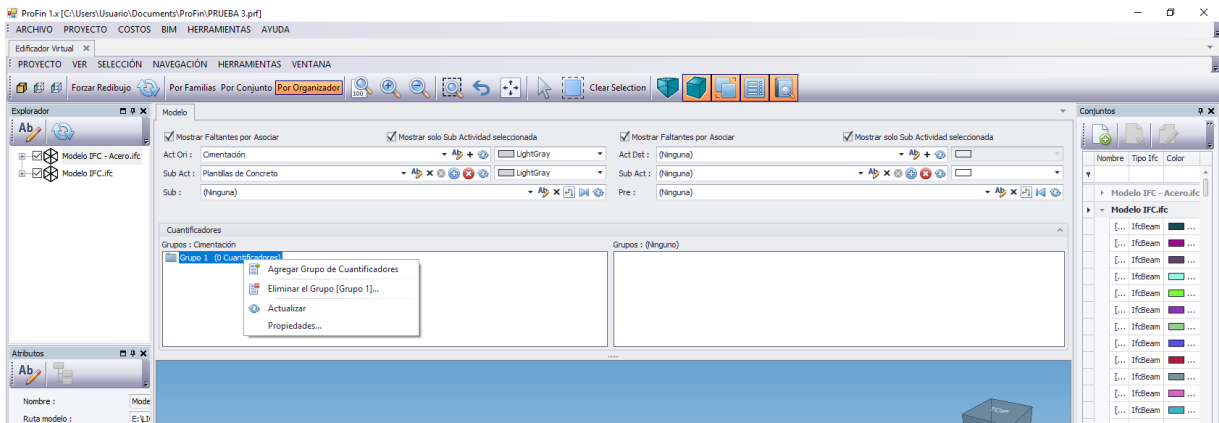




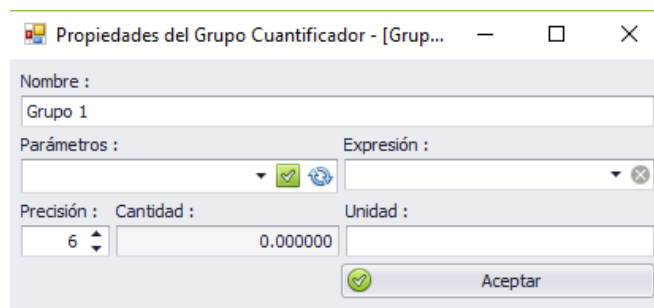
Una vez elegida la actividad, dentro la ventana Cuantificadores, presionar clic derecho del mouse y seleccionar *Agregar Grupo de Cuantificadores*.



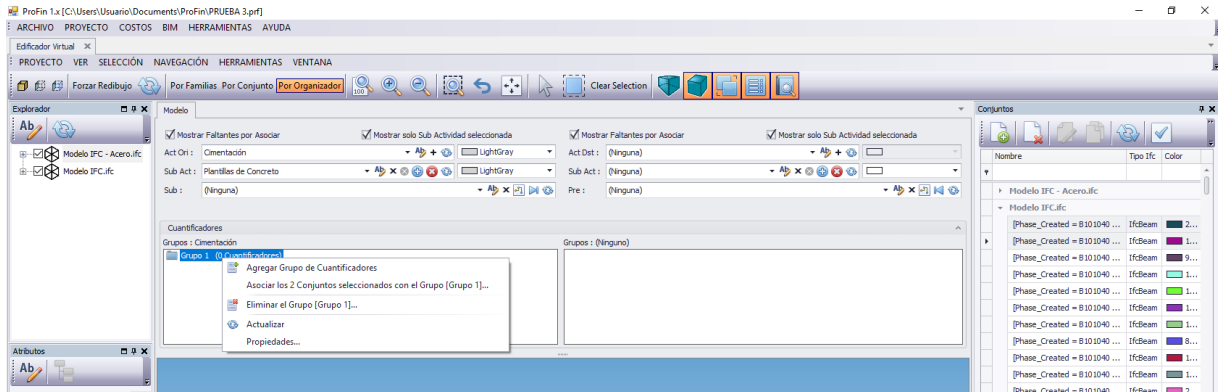
Un grupo de cuantificadores se creará dentro de la actividad seleccionada. A continuación se editan las propiedades del grupo, que se acceden con clic derecho sobre la carpeta del grupo y seleccionar *Propiedades*.



Dentro de las propiedades se especifica el nombre del grupo, los parámetros de medición, la precisión y unidad.



Seguidamente se le asignan los conjuntos de ítems a este grupo de cuantificadores. Para lograr esto, dentro de la ventana de Conjuntos, seleccionar uno o más conjuntos que formarán parte del grupo. Al finalizar con la selección, presionar clic derecho sobre la carpeta del grupo de cuantificadores y seleccionar la opción Asociar los (X) Conjuntos seleccionados con el Grupo (X).



Al finalizar con este proceso, a un lado del nombre del grupo de cuantificadores de una actividad aparece automáticamente el valor total de acuerdo a los parámetros solicitados. Con este procedimiento, la actividad ya está preparada para su despliegue en el estimador virtual de ProFin y su subsecuente estimación de obra.

## Caso de Uso #5 - Gestión de Avances de Trabajos

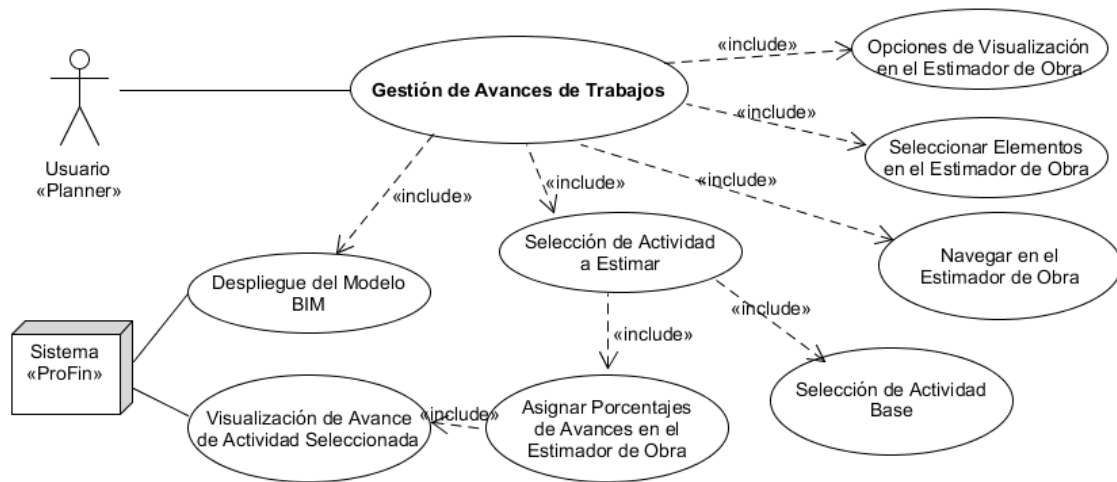
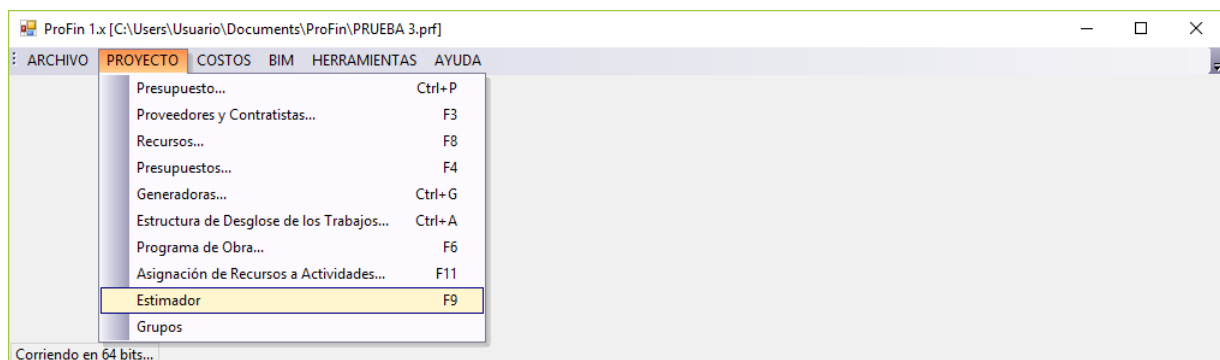


Figura 28. Diagrama de caso de uso – Gestión de Avances de Trabajos.

El estimador de avances del programa ProFin es la herramienta dentro de este software que tiene la finalidad de desplegar todas las actividades que se le han asignado al proyecto (las cuales contienen un grupo de cuantificadores con sus respectivos conjuntos de ítems), para poder realizar su estimación en un período determinado.

Este estimador está conformado por: pantalla de visualización del modelo BIM, una lista desplegable de actividades y actividades base del proyecto, opciones de manipulación del modelo BIM, opciones de selección de elementos del modelo, íconos para el porcentaje de avance de los elementos, opciones de visualización de los elementos, opciones para búsqueda y manipulación de información, opciones para la generación de reportes.

Ruta para acceder al estimador es: Clic en la pestaña *PROYECTO* ► *Estimador* (F9).



Lo más conveniente es utilizar esta herramienta en un dispositivo portátil como una Tablet para facilitar la manipulación del modelo BIM y selección de los elementos a estimar durante el recorrido en obra.

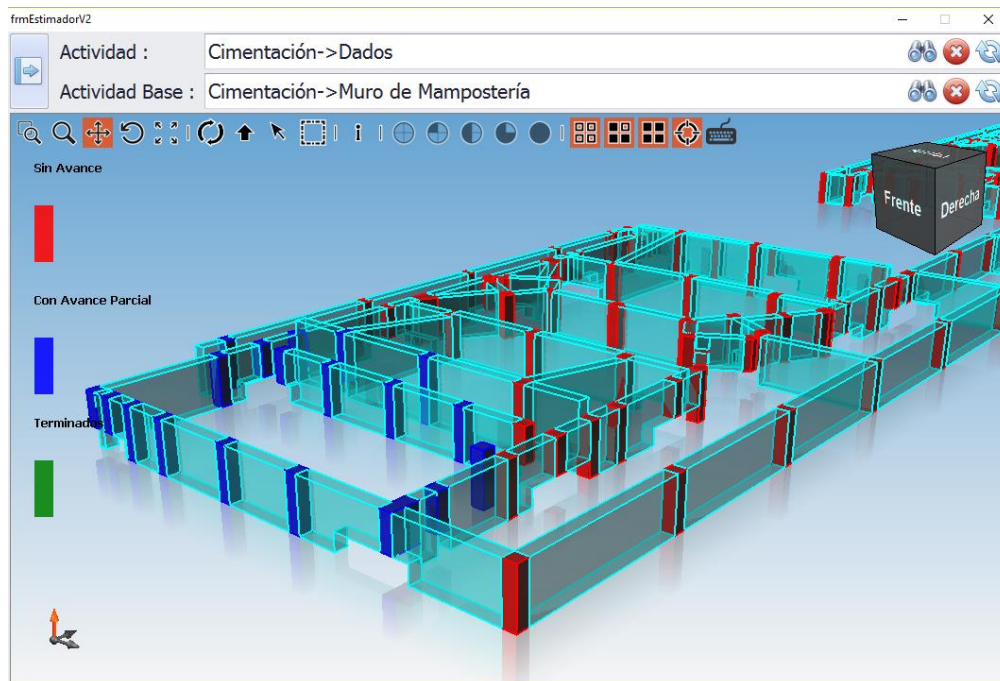
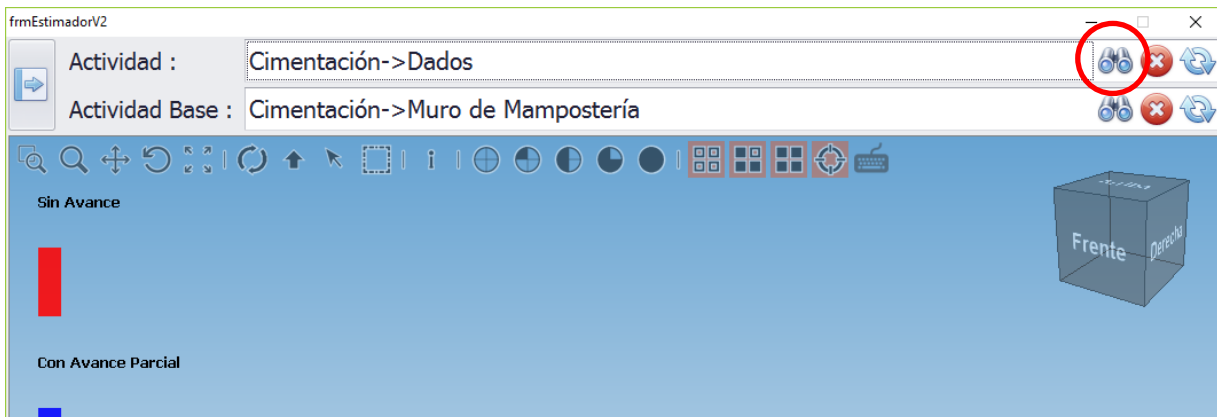


Figura 29. Interfaz de usuario del estimador de ProFin.

**Selección de la Actividad a Estimar:** El primer paso en el proceso de avances de obra utilizando el estimador de ProFin, es la selección de la actividad a estimar. Una vez dentro del estimador, elegir el ícono de selección de la actividad .

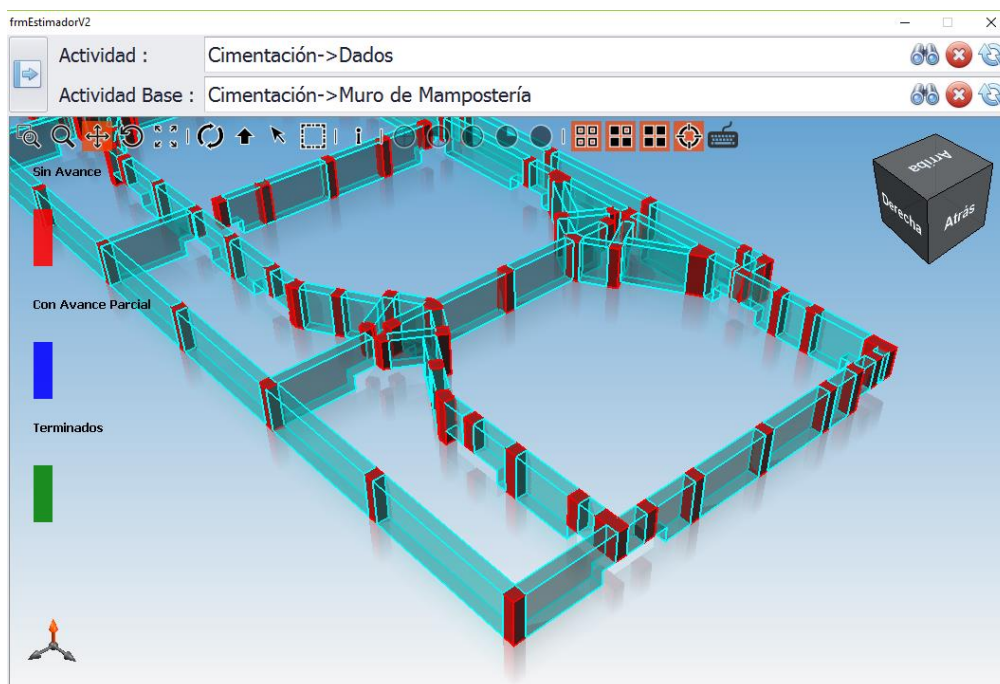


Se despliega una ventana con la lista de todas las actividades creadas previamente para el proyecto. Elegir la actividad de la que se desea realizar la estimación. Al elegir

la actividad, esta ventana se cerrará automáticamente, y el modelo 3D de los elementos de la actividad aparecerán en la pantalla.

Actividad	Grupos	BIM Ítems Asociados
- Cimentación	0	0
Plantillas de Concreto	1	0
Cimbra para Cimentación	0	0
Zapatas	1	0
Dados de Columnas	1	0
Muro de Mampostería	1	0
Dados	1	0
Contratabes	1	0

**Selección de la Actividad Base:** En el estimador, una actividad base se utiliza como referencia para ubicar alguna familia que se quiera estimar. Esta actividad base es de mucha ayuda cuando se tienen elementos dispersos y no se sabe en donde están localizados dentro de la obra. Para seleccionar la actividad de referencia se realiza el mismo procedimiento anterior, sólo que esta vez eligiendo el ícono de selección de la actividad base. La actividad base se mostrará en un color diferente a las actividades a estimar y con un cierto grado de transparencia para que no entorpezca con el monitoreo de la toma de avances de la actividad elegida. En la imagen siguiente se puede observar un ejemplo en donde, para ubicar mejor los datos de la cimentación, se la asignó como actividad base el cimiento de mampostería.



**Opciones de Manipulación del Modelo:** En todo programa que utiliza elementos 3D existen opciones de manipulación de dichos modelos. Las opciones que el estimador utiliza son:



Desplazamiento (Pan): permite mover la vista en las cuatro direcciones de la pantalla, arriba, abajo, izquierda y derecha, sin cambiar de ampliación.



Rotar (Rotate): permite girar el punto de vista del espectador para poder visualizar el modelo desde diferentes ángulos.



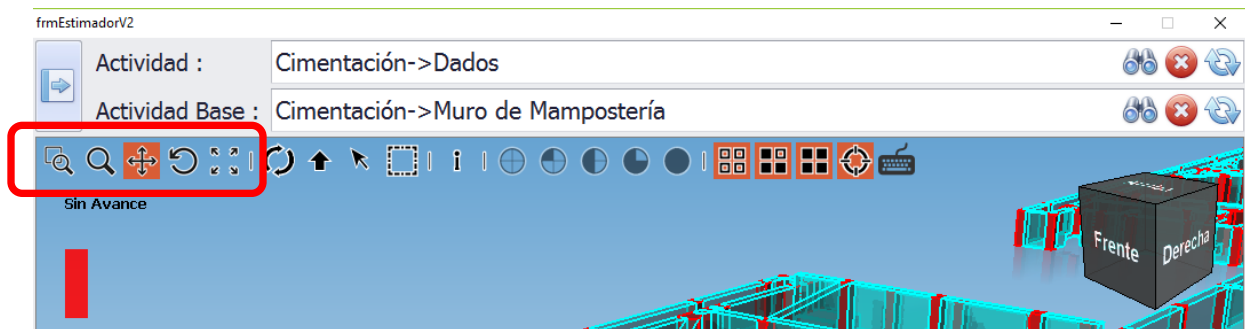
Zoom: permita acercar o alejar el modelo.



Zoom Window: permite especificar el área que se desea ampliar mediante la indicación de las esquinas de un rectángulo.



Zoom Fit: opción que cambia la visualización de forma que se muestre todo el modelo en la ventana gráfica actual.



**Opciones de Selección de Elementos:** En el estimador hay dos opciones para la selección de los elementos a estimar: individual y grupal.



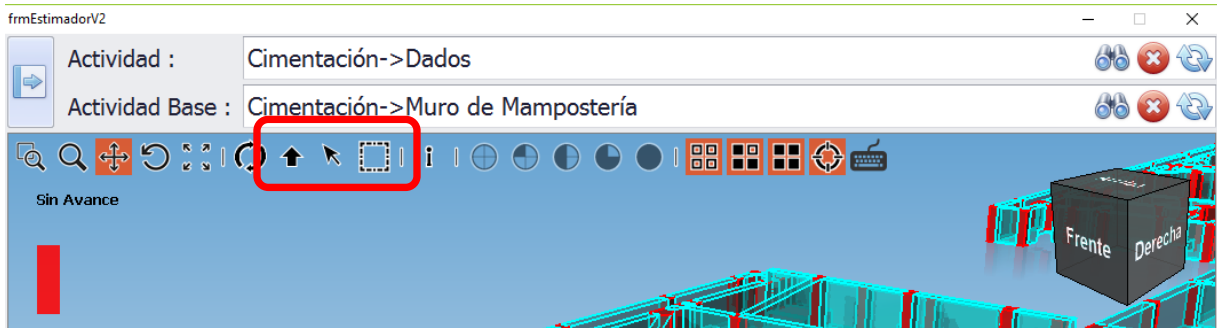
Selección individual: permite seleccionar un elemento de la actividad para que pueda ser estimado. Al seleccionar un nuevo elemento, se pierde la selección anterior.



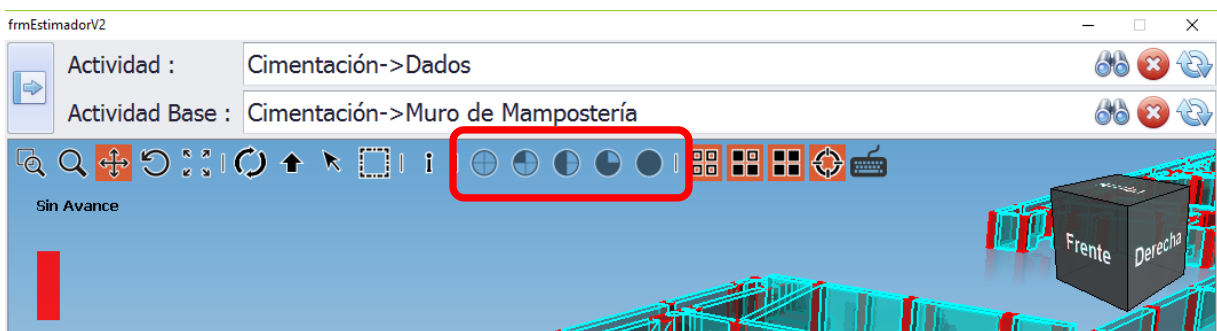
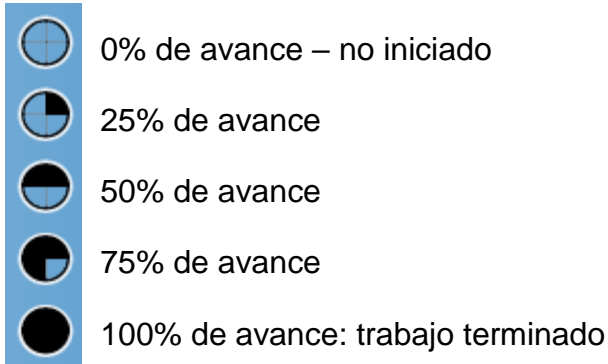
Selección grupal: permite especificar el área de selección mediante la indicación de las esquinas de un rectángulo.



Selección continua: ya sea con una selección individual o grupal, cuando esta opción está activa, no se pierde la selección de elementos si se eligen en varios clics. Esta opción emula la tecla Control de un teclado convencional.



**Asignación de Porcentajes de Avances:** Para realizar las estimaciones durante el recorrido en obra, y una vez elegida la actividad y los elementos a estimar, se le asigna el porcentaje de avance del elemento o elementos seleccionados. Estos porcentajes se asignan dando clic en alguno de los íconos de avance establecidos:



**Opciones de Visualización del Estimador:** para facilita la manipulación de los elementos del modelo, el estimador permite 3 diferentes opciones de visualización de del modelo:

Trabajos no iniciados: muestra u oculta los elementos a los que no se les ha asignado un avance.




Trabajos con avance parcial: muestra u oculta los elementos a los que se les ha asignado un avance entre el 25 y 75%



Trabajos terminados: muestra u oculta los elementos con un 100% de avance.

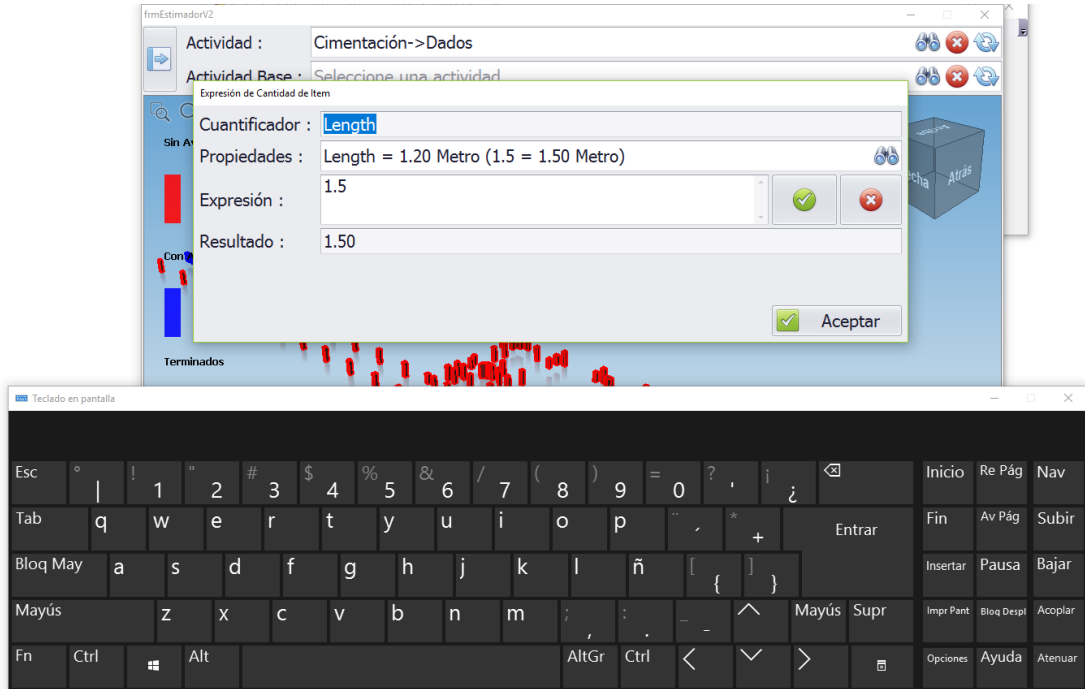


**Asignación de Información Adicional al Elemento:** Existen algunos elementos constructivos que se tienen que rectificar durante el monitoreo de avances de obra. El cimiento de mampostería es un ejemplo de estos elementos con dimensiones estimadas en el modelo BIM que necesitan de las medidas reales tomadas en obra para la obtención de su volumen. Para esto, el estimador ofrece una opción para completar esta información de medidas de los elementos constructivos con un caso de excepción.

Primero se selecciona el elemento a rectificar y luego se le da clic en el ícono de información  Se desplegará una ventana indicando el cuantificar del elemento (que se asignó desde la creación del conjunto), las propiedades de estimación, la expresión, y el resultado. También se despliega un teclado virtual para introducir la nueva expresión.

El procedimiento es el siguiente: elegir primero las propiedades de cuantificación del elemento (se puede dejar el que tiene preestablecido o cambiarlo), escribir la nueva expresión del elemento rectificado (en esta opción se pueden escribir fórmulas simples), hacer clic en el ícono verde del lado derecho, y el nuevo resultado aparecerá en la parte inferior. En las propiedades también aparece el nuevo resultado en paréntesis sin perder la medida original anterior.





## APÉNDICE 2. NIVEL DE DESARROLLO BIM

Categoría Unifomat Utilizada para LOD		LOD Propuesto	Significado BIMForum
<b>A</b>	<b>Subestructura</b>	<b>n/a</b>	
A10	Cimentaciones	n/a	
A1010	Cimentación estándar	300	Los elementos son modelados acorde al diseño y especificación de tamaño y forma de la cimentación. El modelado del elemento incluye: tamaño general y geometría del elemento, superficies con pendiente o depresiones del piso, dimensiones externas de los miembros, información no gráfica requerida asociada con el modelado de los elementos. Incluye: resistencia del concreto y del acero de refuerzo.
<b>B</b>	<b>Cuerpo</b>	<b>n/a</b>	
B10	Superestructura	n/a	
B1010	Construcción piso (nivel)	n/a	
B1010.10	Estructura del piso (nivel) de concreto	300	Tamaño y ubicación específica de los miembros de la estructura principal modelados por una rejilla estructural definida con la orientación correcta. Concreto definido por especificación (resistencia, arrastre de aire, tamaño del agregado, etc.) Información no gráfica requerida: resistencia del refuerzo y su espaciamiento, detalles típicos, intrusiones para elementos como MEP, acabado, anclas embebidas.
B1010.20	Losas, decks, capa de acabados de losa (concreto) de piso	300	Tamaño y ubicación específica de los miembros de la estructura principal modelados por una rejilla estructural definida con la orientación correcta. Información no gráfica requerida: resistencia del concreto, resistencia del refuerzo, arrastre de aire, tamaño del agregado, detalles típicos.
B20	Cerramiento vertical exterior	n/a	
B2010	Muros exteriores	300	Montaje del modelo compuesto por tipo con espesor general que cuenta para recubrimiento, estructura, insulación, espacio de aire y un soporte y acabado específico para el sistema de muro. Las intrusiones son modeladas con las dimensiones nominales para aperturas mayores de muro como ventanas, puertas y elementos mecánicos grandes. Información no gráfica requerida asociada con el modelado del elemento incluye: tipo de muro y materiales.(Hacer referencia a LOD350 y LOD400 para el modelado de elementos individuales que sean anfitriones de objetos como ventanas y puertas).
B2010.10	Revestimiento muros exteriores	350	Recubrimiento exterior de muro modelado como un elemento separado. Todas las aberturas se modelan con dimensiones aproximadas.
B2020	Ventanas exteriores	200	Ventanas aproximadas en términos de ubicación, tamaño, cantidad y tipo. Las unidades son modeladas como un componente simple, monolítico; o representado con un

			simple marco y cristal. Se proporciona el tamaño nominal de la unidad.
B2020.30	Muro exterior de ventana	200	Objetos de muro genérico representan los principales tipos de montajes de muro de ventana propuestos.
B2050	Puertas exteriores	200	Las unidades son modeladas como un componente simple, monolítico; o representado con un simple marco y panel. Se proporciona el tamaño nominal de la unidad.
B30	Cerramiento horizontal exterior	n/a	
B3010	Techumbre	200	Montaje genérico que contiene un espacio asignado (capa) para una losa/deck estructural y/o un sistema de soporte.
<b>C</b>	<b>Interiores</b>	<b>n/a</b>	
C10	Construcción interior	n/a	
C1010	Particiones interiores (muros divisorios)	n/a	
C1010.10	Particiones interiores fijas	300	Montaje del modelo compuesto por tipo con espesor general que cuenta para un soporte y acabado específico para el sistema de muro. Los elementos muro son modelados para trazados, ubicaciones, alturas y perfiles de alzado específicos. Las intrusiones son modeladas con las dimensiones nominales para aperturas mayores de muro como ventanas, puertas y elementos mecánicos grandes. Información no gráfica requerida asociada con el modelado del elemento incluye: tipo de muro y material.
C1020	Ventanas interiores	200	Ventanas aproximadas en términos de ubicación, tamaño, cantidad y tipo. Las unidades son modeladas como un componente simple, monolítico; o representado con un simple marco y cristal. Se proporciona el tamaño nominal de la unidad.
C1030	Puertas interiores	200	Las unidades son modeladas como un componente simple, monolítico; o representado con un simple marco y panel. Se proporciona el tamaño nominal de la unidad.
C1070	Construcción de techo interior (plafón)	200	Montaje genérico que indica el alcance general y el espesor/profundidad aproximado del sistema de techo suspendido
C1090	Interior especialidades	n/a	
C1090.10	Rieles y pasamanos interiores	200	Elemento genérico modelado que representa la altura total aproximada.
C20	Acabados interiores	n/a	
C2010	Acabado de muro	200	Materiales genéricos por tipo, espesor y alcance de cobertura.
C2010.10	Acabado de muro con loseta/azulejo	200	Materiales genéricos por tipo, espesor y alcance de cobertura.
C2010.70	Pintura y recubrimiento de muro	200	Materiales genéricos por tipo, espesor y alcance de cobertura.
C2050	Acabado de plafón	200	Materiales genéricos por tipo, espesor y alcance de cobertura.

<b>D</b>	<b>Servicios</b>	<b>n/a</b>	
D20	Plomería	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2010	Distribución de agua potable	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2010.10	Tanque de almacenamiento agua potable	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2010.20	Equipamiento para agua potable	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2010.40	Tuberías de agua potable	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2010.60	Muebles de baño	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados de los muebles.
D2020	Drenaje sanitario	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2020.10	Equipamiento para drenaje sanitario (tanques)	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D2020.30	Tuberías de drenaje sanitario	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2030	Sistemas de plomería para soporte del edificio	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2030.10	Equipamiento para drenaje pluvial (tanques)	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2030.20	Tuberías drenaje agua pluvial	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D2030.30	Drenes agua pluvial (coladeras)	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D30	HVAC	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D3030	Sistema de enfriamiento	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D3030.10	Central de enfriamiento	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D40	Protección al fuego	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D4030	Especialidades de protección al fuego	100	Trazado de elementos esquemáticos o en forma de diagrama.
D4030.30	Extintores de fuego	100	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D50	Eléctrico	n/a	
D5020	Distribución y servicios eléctricos	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D5020.10	Entradas de servicio eléctrico (tableros)	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D5020.30	Distribución eléctrica (ductos)	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.

D5040	Iluminación	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D5040.10	Controles de iluminación (apagadores)	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D5040.50	Lámparas	200	Trazado esquemático con tamaños, formas y ubicación aproximados del equipo.
D60	Comunicaciones	200	De acuerdo a las definiciones fundamentales del LOD.
D6010	Voz	200	De acuerdo a las definiciones fundamentales del LOD.
D6020	Datos	200	De acuerdo a las definiciones fundamentales del LOD.
<b>G</b>	<b>Sitio de obra del edificio</b>	<b>n/a</b>	
G10	Preparación del sitio	100	Proveer de una superficie topográfica simple.
G1010	Limpieza del sitio	100	Proveer de una superficie topográfica simple.
G20	Mejoras del sitio	100	Modelar elementos de modo esquemático o con diagrama.
G2060	Desarrollo del sitio (obra exterior)	100	De acuerdo a las definiciones fundamentales del LOD.

### APÉNDICE 3. COMPARACIÓN DE MONITOREOS

Para la comparación de ambos métodos de monitoreo, a continuación se presenta algunas estimaciones de conceptos seleccionados para su análisis. En cada una de ellas se especifica el número de la estimación, el período de realización, el concepto, unidad (especificando la cantidad generada, el costo y el tiempo de la toma de avances), la información generada con el método tradicional y con el estimador del programa ProFin, y finalmente la diferencia entre estos métodos. De igual manera se detallan los comentarios correspondientes a las diferencias encontradas.

Las generadoras utilizadas para obtener la información de las cantidades y montos de los conceptos seleccionados se presentan en el APÉNDICE 4.

<b>Estimación: <u>1</u></b>				
<b>Período: <u>16/Febrero/2016 al 25/Febrero/2016</u></b>				
<b>Concepto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Estimado Tradicional</b>	<b>Estimado ProFin</b>	<b>Diferencia</b>
<b>Excavación en roca con maquinaria, material tipo "c", hasta 2.00 m de profundidad. Incluye rezague y afine de fondo.</b>	Cant.	448.80 m <sup>3</sup>	448.80 m <sup>3</sup>	0.00
	Costo	\$163,439.50	\$163,439.50	0.00
	Tiempo	-	-	-
<b>Observaciones:</b> En este caso no se presenta ninguna diferencia ya que, para ambos métodos de monitoreo, los volúmenes de este concepto fueron corroborados físicamente en la obra. Como se mencionó anteriormente, para algunos conceptos, principalmente en cimentación, se requiere de la corroboración física en obra de las medidas que pudieran tener variación al momento de realizarlas.				

Sin embargo, donde sí se presentaron diferencias, fue en cuanto a la cantidad del volumen de excavación generada en el catálogo de conceptos utilizado para la estimación del costo de la obra, en comparación con lo generado en el modelo BIM.



Las medidas obtenidas en el modelo BIM son mucho más precisas y exactas en comparación con las obtenidas en una generadora realizada de forma tradicional

(forma manual), ya que se evitan errores que ya han sido mencionados con anterioridad.

Inclusive, con la metodología BIM, es posible modelar la morfología física del terreno con ayuda de las curvas de nivel del estudio topográfico. De esta manera se pueden identificar áreas irregulares como montículos y hondonadas que pudieran perjudicar o beneficiar al proyecto. Tal fue el caso en este proyecto, en donde se presentaba un montículo en un área de 15 x 32 m, obteniéndose 322 m<sup>3</sup> de excavación extra, con un aumento de aproximadamente \$115,000.00 pesos que no estaban contemplados en el presupuesto.

En cuanto al tiempo para la realización de los monitoreos, en ambos casos fue relativamente similar, ya que en cada uno fue necesaria la corroboración física de las medidas en obra. Sin embargo, en donde se presentan mayores ventajas en cuanto al tiempo, fue al utilizar el estimador del programa ProFin para la generación previa de la información, mencionada anteriormente, así como también en el ahorro de tiempo en una recapturación de datos.

<b>Sondeo en roca con barreno de 1 1/2" y 2.00 m de profundidad, para anclaje de grapas.</b>	Cant.	41 pzas	-	-
	Costo	\$14,108.51	-	-
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** Este concepto no aparecía en el catálogo de conceptos inicial del proyecto por lo que no se construyeron los elementos en el modelo BIM.



Este es uno de los problemas que se presentan en las construcciones, ya que desde el principio (durante la fase de planeación), no se toman en cuenta algunos conceptos, ya sea por una

omisión intencional, o un error en la planeación. Posteriormente estos conceptos son requeridos en el proyecto, incrementando el costo del mismo.

Este concepto, al ser su unidad de medición en pieza, fácilmente pudo haber sido modelado con una familia en particular (como por ejemplo con la familia Columna), y su monitoreo en obra hubiera sido más rápido con el programa ProFin.

<b>Plantilla de concreto f'c=100 kg/cm<sup>2</sup> de 6 cm de espesor sobre base firme.</b>	Cant.	126.94 m <sup>2</sup>	126.94 m <sup>2</sup>	0.00
	Costo	\$13,797.11	\$13,797.11	0.00
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** Para este concepto tampoco se presentó alguna diferencia entre los dos métodos en cuanto a la cantidad generada y costo, ya que los elementos, al tener medidas específicas y regulares, no presentaron un margen de error en donde pudiera haber alguna diferencia. Por ejemplo para una plantilla de concreto de 2.20 x 2.20 m, tanto para una generadora tradicional como para el modelo BIM, se obtuvieron 4.84 m<sup>2</sup>.





En donde se presentó diferencia es en el tiempo para la toma de avances de obra, debido a que en el monitoreo tradicional, fue necesario revisar primero los planos para la ubicación de las plantillas de concreto, para luego ir registrando los elementos ya construidos en los formatos impresos, y posteriormente realizar la recapturación digital de la información.

Con el método utilizando ProFin, solamente se seleccionó en el estimador del programa el concepto a estimar, en este caso, la plantilla de concreto, y se recorrió la obra asignando el avance de los elementos construidos.

<b>Cimbra para cimentación (zapatas) con madera común. Inc. cimbrado y descimbrado.</b>	Cant.	131.12 m <sup>2</sup>	131.60 m <sup>2</sup>	+ 0.48
	Costo	\$26,372.17	\$26,468.71	+ \$96.54
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** En este concepto se presentó muy poca diferencia en cuanto a la cantidad generada (menos de 1 metro cuadrado), que como en el concepto anterior son medidas específicas y regulares que no presentan un margen de error en donde pudiera haber alguna diferencia mayor. En cuanto al costo habría un pequeño aumento de \$96.54 pesos si el proyecto se hubiera estimado con el modelo BIM.



La pequeña diferencia que se presentó fue debido a la forma de generar las cantidades necesarias del concepto. En el método tradicional, las generadoras para la cimbra solo contempla las caras de contacto de los elementos que se van a colar con concreto, pero no se toma en cuenta el ancho de la madera para la unión de estas caras.

Con la modelación BIM, es posible conocer las dimensiones exactas de cada una de las partes de la cimbra, ya que estas medidas incluyen el ancho de la madera y las uniones son exactas. De esta forma ya se contaría con toda la información de las piezas necesarias para la cimbra

de todos los elementos de concreto, además las piezas se podrían preparar antes de que inicie la obra, incluso en un lugar fuera de la construcción, como por ejemplo en un taller de carpintería.

De igual manera con la metodología BIM, es posible modelar todas las vigas, barras, polines, listones, cuñas, puntales, largueros, etc. que le dan soporte a la cimbra de contacto. De esta forma se puede conocer todo el material necesario para una cimbra en específico.

<b>Acero de refuerzo de 1/2" en cimentación (zapatas) fy=4200 kg/cm<sup>2</sup>. Inc. habilitado, armado y colocación.</b>	Cant.	968.5 Kg	982.93 Kg	+ 14.43 Kg
	Costo	\$21,394.17	\$21,712.92	+ \$318.75
	Tiempo	-'	-	-

**Observaciones:** En este concepto la cantidad generada fue también muy similar en ambos métodos. Solamente se presentó una diferencia de 14.43 kg, y un aumento en el costo de \$318.75 pesos si el proyecto se hubiera estimado con el modelo BIM.



De nuevo, donde se presentan mayores ventajas del método utilizando ProFin

frente a un método tradicional, es en la generación previa de la información. Con el método tradicional, para la obtención de las generadoras que se utilizaron en este proyecto, se siguió el procedimiento explicado a continuación con una zapata de 1.40 x 1.40 como ejemplo:

- Primero a la longitud de la zapata se le resta 5 cm de recubrimiento por lado, dando como resultado una varilla de 1.30 m.
- Se le aumenta 20 cm por lado para el doblado de los laterales, dando una longitud de 1.70 m por varilla. Los centímetros del doblado dependen del tamaño de la zapata y se especifican en los planos estructurales.

- Para conocer el número de varillas por lecho por sentido, se toma la longitud de la varilla menos el recubrimiento de 5 cm (1.30 m total) y se divide entre la distancia especificada en los planos estructurales (12.5 cm). Esta da como resultado 10.4 m piezas.
- Se le agrega 1 pieza para completar el extremo de la zapata dando como resultado 11.4. Finalmente se redondea a 11 varillas por lecho por sentido.

$$\text{Zapata } 1.40 \times 1.40 = 1.40 - 2(.05) = 1.30 + 2(.20) = 1.70 \text{ m}$$

$$\text{Pzas} = 1.30 / 0.125 + 1 = 10.4 + 1 = 11.4 = 11 \text{ pzas}$$

Todo este procedimiento se debe realizar por cada zapata diferente que se presente en el proyecto. Esto consume una gran cantidad de tiempo en tener que generar la longitud de cada una de las varillas de todos los elementos de acero (ver generadora en la página 171).

Con la metodología BIM, es posible modelar individualmente de manera rápida cada una de las varillas de acuerdo a las especificaciones de los planos estructurales. Las medidas son más exactas ya que en el modelo se considera el ángulo del doblaje dependiendo del diámetro de la varilla.

Al igual que en el concepto de la cimbra para las zapatas, el tiempo para este concepto solamente se tomó para el registro de los datos. En el monitoreo tradicional consistió en registrar el avance en los formatos impresos, para luego recapturar la información en la computadora. El monitoreo con ProFin consistió sólo en seleccionar el concepto a estimar y seleccionar todos los elementos para asignarles el 100% de avance.

<b>Acero de refuerzo de 5/8" en cimentación (zapatas) fy=4200 kg/cm<sup>2</sup>. Inc. habilitado, armado y colocación.</b>	Cant.	3,881.16 Kg	3,720.86 Kg	-160.30 Kg
	Costo	\$85,734.82	\$82,193.80	- \$3,541.02
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** De igual manera que en el concepto anterior, para el acero de refuerzo de 5/8", se presentó una diferencia un poco mayor, pero debido a que las cantidades son mayores. En este caso, con el método tradicional, se cuantificaron 3,881.16 kg. Con el modelo BIM se

cuantificaron 3,720.86 kg. Como el modelo BIM es más exacto, si no se utilizaría este diámetro de varillas en ningún otro concepto, se tendría una excedente de material de 160.3 kg y una pérdida de \$3,541.02 pesos.

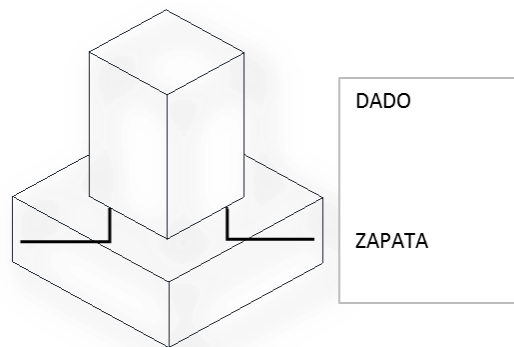


**Acero de refuerzo de 1" en cimentación (zapatas)  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>. Inc. habilitado, armado y colocación.**

Cant.	1,605.11 Kg.	-	-
Costo	\$35,922.36	-	-
Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** Este concepto no se construyó en el modelo BIM porque no estaba especificado en los planos estructurales. Forman parte del acero de refuerzo entre la zapata y el dado de concreto.

Si este concepto no se tomó en cuenta en la estimación del costo total de la obra, son 1,605.11 kg de material que haría falta (varilla de 1"), con un costo extra de casi 36 mil pesos.



**Concreto premezclado  $f'c=250$  kg/cm<sup>2</sup> en cimentación (zapatas). Incluye colocación, vibrado y curado.**

Cant.	63.78 m <sup>3</sup>	60.71 m <sup>3</sup>	- 3.07
Costo	\$128,289.01	\$122,113.92	- \$6,175.09
Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** Para este concepto, las cantidades entre ambos métodos también fue algo similar. La diferencia se dio entre las generadoras del método tradicional, ya que, por algún motivo, se la aumento 3 cm de alto a todas a las zapatas, descartando lo que indicaban los planos estructurales.

Sin embargo son 3.07 m<sup>3</sup> de diferencia que hubo que corroborar para conocer si se tomaron en cuenta los planos estructurales, o lo indicado en las generadoras.



**Estimación: 3**

**Período: 9/Marzo/2016 al 28/Marzo/2016**

Concepto	Unidad	Estimado Tradicional	Estimado ProFin	Diferencia
<b>Cimentación de mampostería con piedra de hilada asentada con mortero cem-cal-polvo en proporción 1:5:20, de 30 cm de espesor, entrañado a 2 caras; hasta 1.50 m de altura.</b>	Cant.	129.45 m <sup>3</sup>	129.45 m <sup>3</sup>	0.00
	Costo	\$120,467.46	\$120,467.46	0.00
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** En el cimiento de mampostería no se presentó diferencia en la cantidad del concepto estimada, ya que para el monitoreo en ambos métodos, se tuvieron que corroborar físicamente las alturas a cada cierta distancia. Sin embargo, como en otros conceptos explicados anteriormente, las ventajas de la metodología BIM, se presenta en la generación previa de la información.



Las generadoras con el método tradicional consistieron en tomar la distancia del tramo entre un eje y otro, y restarle el número de dados que se encontraban a lo largo de ese tramo. Este proceso consume mucho tiempo al tener primero que ubicar los elementos a estimar con ayuda de los planos, luego ir tomando mediciones en obra para corroborar la altura de los elementos, registrar las nuevas alturas de cada uno los tramos, y por último recapturar la información en las computadoras.

El modelado BIM permite obtener elementos individuales, por ejemplo en este caso se pudo obtener secciones del cimiento entre un dado y otro. Con este método el estimador del programa ProFin permitió encontrar fácilmente los elementos a estimar dentro de la obra. Se realizó la corroboración de alturas en la construcción y se reasignaron de una forma más fácil dentro del estimador. El tiempo para la estimación de avances con este proceso fue más rápido en comparación con el método tradicional.

<b>Cadena CD1 de 15x15 cm de concreto F'c=150 kg/cm<sup>2</sup>, reforzada con 4 varillas de 3/8" y estribos de 1/4" @ 25 cm. Incluye cimbra común, descimbrado, habilitado de</b>	Cant.	403.55 ml	439.45 ml	+ 35.9 ml
	Costo	\$64,241.12	\$69,956.05	+ \$5,714.93
	Tiempo	-	-	-

<b>acero, colado, material, mano de obra, herramienta y equipo.</b>				
---	--	--	--	--

**Observaciones:** para el concepto de la cadena de cimentación, se presentó un ligero aumento en la cantidad generada con el modelo BIM de 35.9 ml, incrementando el costo en \$5,714.93, si la estimación se hubiera realizado con el modelo.



Para elementos horizontales como las cadenas de concreto, la modelación BIM permite crear elementos individuales cuyas longitudes dependen de los

objetivos del modelo y de lo que se quiera obtener. Por ejemplo, en este caso, se modelaron individualmente las cadenas entre un elemento vertical y otro (castillos, columnas, etc.). De esta forma se tuvo mayor control del avance para este concepto.

<b>Cimbra aparente en trabes y cerramientos, con cimbraplay de 16mm; incluye habilitado, cimbrado y descimbrado (N1).</b>	Cant.	149.77 m <sup>2</sup>	158.31 m <sup>2</sup>	+ 8.54 m <sup>2</sup>
	Costo	\$36,979.71	\$39,088.32	+ \$2,108.61
	Tiempo	42 min	13 min	- 29 min

**Observaciones:** en este concepto, la estimación de la cimbra estuvo conformada para sólo para cierto tipo de trabes. Como se mencionó anteriormente, algunas trabes son de forma irregular por lo que para la realización de las generadoras de manera tradicional, se requiere de mucho tiempo, además de que no son exactas.



Con la metodología BIM se pudo modelar la cimbra exactamente con la forma de las trabes, con una precisión exacta. Es así como se obtuvieron 8.42 m<sup>2</sup> de más en la estimación, con un aumento del costo de \$2,108.61 pesos que pudo haber sido tomado en cuenta para el costo total de la obra.

Otras de las ventajas de la modelación BIM que no se había mencionado, es que, por ejemplo en la cimbra, es posible modular el tamaño de las piezas de acuerdo a la presentación del material. En el caso de la cimbra, se utilizó un panel de cimbraplay de 1.22 x 2.44 m. De esta forma se pudieron modelar las piezas de la cimbra con una modulación de un máximo de 2.44 m con el fin de aprovechar la mayor cantidad de material, evitando un exceso en el desperdicio.

<b>Concreto F'c=250 kg/cm<sup>2</sup> en trabes, cerramiento, jardinera y otros elementos de concreto que así lo requieran, t.m.a. 3/4" elaborado en obra con maquina revoladora, acarreo, colocado y vibrado (N1).</b>	Cant.	10.05 m <sup>3</sup>	10.17 m <sup>3</sup>	+ 0.12 m <sup>3</sup>
	Costo	\$20,456.57	\$20,700.83	+ \$244.26
	Tiempo	26 min	5 min	- 21 min

**Observaciones:** las trabes estimadas en este concepto fueron elementos con una sección rectangular y una forma regular, por lo que las cantidades generadas entre ambos métodos fueron muy similares. Tan sólo hubo una diferencia de 0.12 m<sup>3</sup>, y \$244.26 pesos.

De nuevo, la mayor diferencia se da en el tiempo para la toma de avances de obra, ya que con el monitoreo tradicional se deben revisar los planos estructurales para



ubicar los elementos a estimar, para luego registrar el avance en los formatos impresos, y por



último recapturarlos digitalmente. Con el método con ProFin, solamente se seleccionó el concepto a estimar y se registró el avance.

Con respecto al concreto, en la metodología BIM es posible modelar los elementos por etapas y obtener el volumen de cada una de ellas. Por ejemplo, algunas de las trabes principales del proyecto, se colaron por etapas, para permitir que las viguetas de la losa puedan estar embebidas dentro de las trabes. Al ser modelados los elementos de esta forma, se puede tener el control del volumen de concreto necesario para cada etapa, además de que sería útil para una simulación de construcción 4D. Al igual que las trabes, lo mismo sucede con otros elementos de concreto como las columnas, que tienen que ser construidos por etapas.

<b>Acero de refuerzo del no.2 en trabes y cerramientos <math>F_y=2400</math> kg/cm<sup>2</sup>. Incluye habilitado, armado y colocado (N1).</b>	Cant.	155.36 kg	167.33 kg	+ 11.97 kg
	Costo	\$3,366.65	\$3,626.04	+ \$259.39
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** el acero del número 2 (1/4”), fue utilizado para los estribos de las trabes estimadas en este concepto. En las generadoras realizadas de forma tradicional, se toma primero el perímetro de la sección de la trabe menos el recubrimiento de 3 cm por lado, más el gancho en ambos extremos de 10 cm. Luego se calcula el número de estribos de



acuerdo a la especificación técnica de cada una de las trabes estimadas. Este procedimiento consume una gran cantidad de tiempo y es propenso a errores que se han mencionado con anterioridad, además de que no se toma en cuenta los cambios en la sección de una misma trabe.

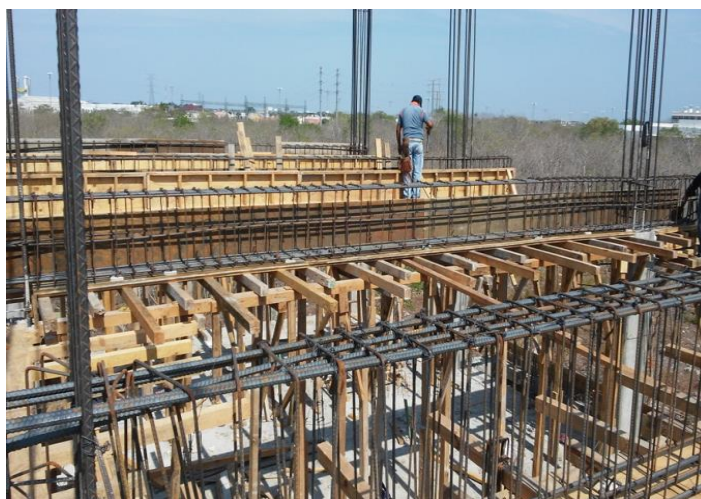
La modelación de elementos estructurales en un programa de modelación paramétrico como Revit, permite especificar de una forma mucho más rápida y precisa, la distancia del recubrimiento, si presenta o no ganchos en los extremos y su tamaño, y la separación de los

estribos. Además dichos estribos se pueden ajustar automáticamente a la forma de la trabe si esta presenta una sección irregular; o como en el caso de este proyecto, estribos con diferente separación a lo largo de la trabe.

El tiempo para este elemento no se tomó en cuenta ya que forma parte de un elemento en donde intervienen otros conceptos.

<b>Acero de refuerzo del no.3 en trabes y cerramientos <math>F_y=2400</math> kg/cm<sup>2</sup>. Incluye habilitado, armado y colocado (N1).</b>	Cant.	108.23 kg	118.65 kg	+ 10.42 kg
	Costo	\$2,323.70	\$2,547.42	+ \$223.72
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** la obtención de la generadora de manera tradicional del acero número 3 (3/8"), fue relativamente sencillo, ya que solamente se presentaban dos varillas en el tipo de trabe estimada. La generadora solo consistió en identificar las longitudes de cada una de las trabes y multiplicarlas solamente por 2 ya que no presentaban ganchos.



De nuevo, con un modelo BIM, no es necesario realizar estas operaciones porque la información ya está disponible desde la modelación de los elementos.

<b>Acero de refuerzo del no.4 en trabes y cerramientos <math>F_y=2400</math> kg/cm<sup>2</sup>. Incluye habilitado, armado y colocado (N1).</b>	Cant.	730.86 kg	784.65 kg	+ 53.79 kg
	Costo	\$15,691.56	\$16,846.44	+ \$1,154.88
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** el acero de refuerzo número 4 (1/2") se utilizó en 3 trabes diferentes para esta estimación. Al ser mayor el número de trabes estimadas en este concepto, se puede observar un incremento mayor el cantidad generada con el modelo BIM, obteniéndose 53.79 kg extra, los cuales corresponden a un aumento de \$1,154.88 pesos.



**Castillo K1 de 15x15 cm de concreto F'c=150 kg/cm<sup>2</sup>, reforzada con 4 varillas de 3/8" y estribos de 1/4" @ 15 cm. Incluye cimbra común, descimbrado, habilitado de acero, colado, material, mano de obra, herramienta y equipo.**

Cant.	246.77 ml	274.31 ml	+ 27.54 ml
Costo	\$41,869.47	\$46,542.18	+ \$4,672.71
Tiempo	1 h 31 min	33 min	- 58 min

**Observaciones:** los elementos verticales de concreto armado del proyecto, exceptuando las columnas, se tomaron en cuenta como un elemento individual en los cuales se incluyó la cimbra, el acero y el concreto. Sin embargo, dependiendo del alcance del proyecto, con la metodología BIM es posible modelar cada uno de estos elementos individualmente.

Para el caso de este concepto correspondiente al castillo K1 en primer nivel, y de todos los elementos verticales de este nivel, se presentó un cambio importante en el proyecto por parte del arquitecto encargado de la obra, en donde se decidió bajar el nivel de la losa del primer nivel 50 cm, una vez iniciada la obra. Estos cambios en un método tradicional implican muchos problemas para la mayoría de los administradores de una construcción, ya que, en el caso de las generadoras, se deben ajustar uno por uno, todos los elementos que se ven afectados por dichos cambios. Además se deben realizar las modificaciones en todos los planos en donde

intervienen esos cambios. Esto conlleva una gran cantidad de tiempo, perjudicando el programa de obra y los tiempos de ejecución.

Con un modelo BIM, primeramente se evitan estos cambios una vez iniciada la obra, ya que los arquitectos e ingenieros pueden detectar, con ayuda del modelo, todos los problemas que se pudieran presentar antes de iniciada la construcción. Sin embargo, si se llegara a presentar algún cambio, ya sea por parte del cliente o por algún otro motivo, el modelado paramétrico permite realizar dichas modificaciones de una forma rápida y precisa, actualizando todos los planos automáticamente.

La generadora obtenida por parte del residente de obra, no contempla el cambio de nivel realizado en el proyecto. De igual manera, el modelo BIM tampoco se modificó para poder comparar las cantidades generadas, en donde se puede apreciar un incremento de 27.54 ml en el modelo BIM, y un aumento de \$4,672.71 pesos.

**Estimación: 5**

**Período: 29/Abril/2016 al 11/Mayo/2016**

Concepto	Unidad	Estimado Tradicional	Estimado ProFin	Diferencia
<b>Losa de vigueta 12-5 y bovedilla 15x25x56, concreto premezclado <math>f_c=250</math> kg/cm<sup>2</sup> de 5 cm de espesor, armado con malla-lac 6-6-10-10 y varilla del no. 3 de 1.00 m de longitud. Incluye subir vigueta y bovedilla, apuntalamiento, refuerzo de temperatura, colado, material y mano de obra (N2).</b>	Cant.	390 m <sup>2</sup>	398.05 m <sup>2</sup>	+ 8.05 m <sup>2</sup>
	Costo	\$212,468.10	\$216,853.66	+ \$4,385.56
	Tiempo	36 min	15 min	- 21 min

**Observaciones:** las cantidades generadas en ambos métodos fueron algo similares. Sin embargo, como en otros conceptos, las ventajas de la metodología BIM se presenta en la generación previa de información.



Dependiendo del alcance del proyecto y del presupuesto, con la metodología BIM se pueden modelar cada uno de los elementos que conforman la losa: número de bovedillas, longitud y número de viguetas, metros cuadrados de malla electrosoldada, longitud y número de varillas de refuerzo, volumen de concreto (incluso el que se introduce en la unión entre dos bovedillas). De igual manera como en el caso de las columnas y trabes, es posible modelar todos los elementos que intervienen en la cimbra: cimbra de contacto, largueros, puntales, etc.

<b>Losa de concreto de 20 cm reforzado con varilla de 3/8" @ 20 cm en ambos sentidos y ambos lechos, concreto premezclado f'c=250 kg/cm<sup>2</sup>. Incluye cimbra aparente, habilitado de acero, colado, descimbrado, materiales, herramienta y equipo (N2).</b>	Cant.	48.23 m <sup>2</sup>	34.95 m <sup>2</sup>	- 13.28 m <sup>2</sup>
	Costo	\$49,010.84	\$35,515.84	- \$5,714.93
	Tiempo	-	-	-

**Observaciones:** en este concepto se presentó una diferencia importante entre los dos métodos, debido a como fueron generadas las cantidades. En el método tradicional, a la losa de concreto no se le excluyó el volumen que ocupan las traveses, incrementando con esto los m<sup>2</sup>, es decir, se duplicó el volumen de concreto donde se intersecta la losa con las traveses.



Con la metodología BIM, estos problemas se pueden evitar, ya que se puede realizar un estudio de detección de interferencias que indica si un elemento está traslapado o intersecta con otro. Esta detección de interferencias es muy útil cuando diferentes personas trabajan en un mismo modelo. De esta forma es posible identificar problemas entre las diferentes disciplinas (arquitectónico, estructurales, instalaciones, etc.), antes de iniciar con la construcción del edificio.

Con el modelo BIM se estimaron 13.28 m<sup>2</sup> menos, en comparación con el método tradicional, y una diferencia en el costo de \$5,714.93 pesos.

**Estimación:** 9

**Período:** 05/Junio/2016 al 20/Junio/2016

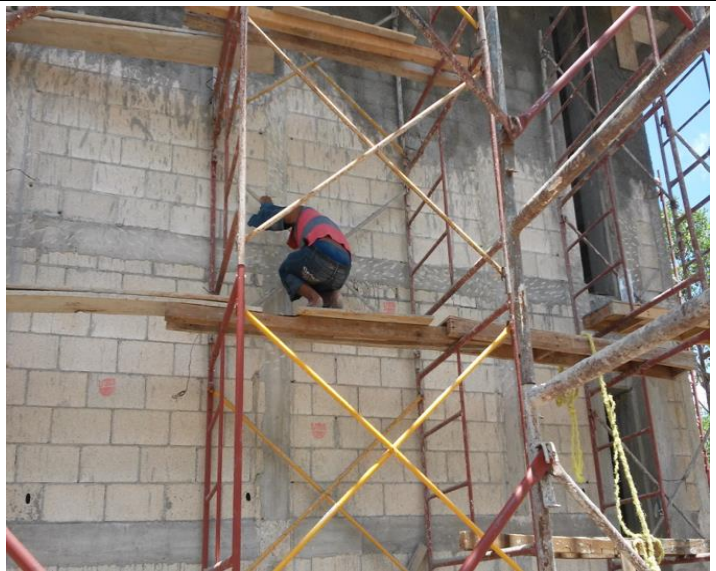
Concepto	Unidad	Estimado Tradicional	Estimado ProFin	Diferencia
<b>Muro de block hueco de cemento de 15x20x40 cm tipo intermedio Mitza, Procon o similar, acabado común,</b>	Cant.	964.13 m <sup>2</sup>	792.51 m <sup>2</sup>	- 171.62 m <sup>2</sup>
	Costo	\$164,171.21	\$134,948.60	- \$29,222.61
	Tiempo	-	28 min	-

<b>asentado con mortero cem-cal-polvo en prop. 1:2:6 (N1).</b>				
<p><b>Observaciones:</b> en este concepto hay una gran diferencia entre las cantidades generadas en ambos métodos. Dicha diferencia se debió a que en el método tradicional no se realizó una generadora para obtener las cantidades aproximadas de este concepto. La cantidad de 964.13 m<sup>2</sup> con un costo de \$164,171.21 pesos, se obtuvo de lo establecido en el contrato en donde se especificaba el costo total de la obra. Dicha cantidad pudo haber sido solamente una primera estimación, además de que no se tomaron en cuenta los cambios que fueron realizados durante la construcción de la obra.</p> <p>Con el modelo BIM se obtuvieron 171.62 m<sup>2</sup> menos de muro de block en el primer nivel y una diferencia en el costo de casi 30 mil pesos.</p> <p>El modelo BIM permite crear muros que se comportan paramétricamente con otros elementos, es decir si a un muro con una cantidad determinada de metros cuadrados se le agrega una puerta, ventana o un vano, el espacio que ocupan estos elementos se reducen en la cantidad final del elemento. De esta forma es mucho más rápido y preciso cuantificar cada elemento de un muro de manera individual.</p>				
<b>Aplanado de muro de block a 3 capas a base de rich (proporción cg:p 1:3), emparche (proporción cg:c:p 1:3:20) y acabado estuco (proporción cg:c:pc 1:18:9) a plomo y regla. Incluye material y mano de obra (N1).</b>	Cant. Costo Tiempo	1,683.25 m <sup>2</sup> \$167,988.35 -	1,305.16 m <sup>2</sup> \$130,254.97 31 min	- 378.09 m <sup>2</sup> - \$37,733.38 -



**Observaciones:** al igual que en el concepto de muro de block, para los aplanados de los muros tampoco se realizó las generadora para conocer la cantidad aproximada de este concepto.

En el modelo BIM hay una menor diferencia de 378.09 m<sup>2</sup> de este concepto, en el cual se obtuvo una disminución de \$37,733.38 pesos.



**Estimación:** 14

**Período:** 26/Agosto/2016 al 08/Septiembre/2016

Concepto	Unidad	Estimado Tradicional	Estimado ProFin	Diferencia
<b>Fino de concreto hecho en obra con una resistencia normal f'c=100 kg/cm<sup>2</sup> de 4 cm de espesor en entrepiso para alcanzar nivel de P.T. (N2).</b>	Cant.	382.81 m <sup>2</sup>	365.25 m <sup>2</sup>	- 17.56 m <sup>2</sup>
	Costo	\$30,816.21	\$29,402.63	- \$1,413.58
	Tiempo	32 min	6 min	- 26 min



**Observaciones:** en este concepto se presentó una pequeña diferencia de 17.56 m<sup>2</sup> entre los dos métodos. Con la metodología BIM es posible modelar secciones del piso para un mayor control del avance de la actividad. De igual manera se puede modelar el desnivel cuando es requerido, obteniéndose el volumen real de material a utilizar. Otra de las ventajas de BIM en la creación de pisos, es que se pueden modelar sin importar la forma que tengan, pudiendo ser tan irregulares como lo especifiquen los planos, permitiendo curvas, inclinaciones, entre otros. Realizar este último punto en una generadora tradicional, resulta complicado y generalmente no es precisa.



**Forjado de meseta de baño a base de concreto  $f'c=150$  kg/cm<sup>2</sup> de 8 cm de espesor promedio, armada con varillas no.3 a cada 15 cm en ambos sentidos. Incluye cimbrado, habilitado de acero, colado, 2 huecos para colocación de ovalines, materiales y mano de obra. Medidas y detalles según plano de despiece de mesetas (N2).**

Cant.  
Costo  
Tiempo

1 pza.  
\$547.47  
16 min

1 pza.  
\$547.47  
3 min

-  
-  
- 13 min

**Observaciones:** para algunos elementos complejos del proyecto, se optó por generarlos como piezas. En una generadora tradicional es muy fácil contabilizar el número de piezas de un concepto, pero el problema es en la realización de la tarjeta de precios unitarios del elemento, ya que al ser complejos se



dificulta obtener los materiales exactos para su construcción. Con la metodología BIM es posible modelar estos elementos complejos y obtener sus dimensiones, volumen, o cualquier otra unidad, de una manera precisa.

## APÉNDICE 4. GENERADORAS DEL PROYECTO

NUMEROS GENERADORES														
<b>OBRA:</b>		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.									<b>ESTIMACION</b>		01	
<b>UBICACIÓN:</b>		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .									<b>FECHA:</b>		26 de febrero de 2016	
<b>FECHA DE INICIO</b>	martes, 16 de febrero de 2016			<b>FECHA DE TERMINO:</b>	miércoles, 12 de octubre de 2016			<b>DURACION N:</b>	240 D.N		<b>PERIODO</b>	16/02/2016	<b>AL</b>	25/02/2016
CLAVE	CONCEPTO			FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS	
A01	PRELIMINARES			CM										
5AA10256	EXCAVACION EN ROCA CON MAQUINARIA,			CROQ 1	Q	16	1.00	1.80	1.80	0.91	M3	2.95	ZAPATA Z1-A	
	MATERIAL TIPO "C", HASTA 2.00 M. DE PROFUNDIDAD. INCLUYE RESAGUE Y AFINE DE FONDO.					17	1.00	1.80	1.80	0.89	M3	2.88	ZAPATA Z1-A	
						18	1.00	1.80	1.80	0.88	M3	2.85	ZAPATA Z1-A	
						19	1.00	1.80	1.80	0.90	M3	2.92	ZAPATA Z1-A	
						20	1.00	2.20	2.20	0.92	M3	4.45	ZAPATA Z2-A	
						21	1.00	2.20	2.20	1.08	M3	5.23	ZAPATA Z2-A	
					P	21	1.00	2.20	2.20	0.73	M3	3.53	ZAPATA Z2-A	
					O	16	1.00	2.20	2.20	0.80	M3	3.87	ZAPATA Z2-A	
						17	1.00	2.20	2.20	0.70	M3	3.39	ZAPATA Z2-A	
						18	1.00	2.20	2.20	0.80	M3	3.87	ZAPATA Z2-A	
						19	1.00	2.20	2.20	0.85	M3	4.11	ZAPATA Z2-A	
						20	1.00	2.40	2.40	0.85	M3	4.90	ZAPATA Z3-A	
						21	1.00	3.10	3.10	0.91	M3	8.75	ZAPATA Z4-A	
				CROQ 2	Q-M	25-33	1.00	32.00	15.00	0.72	M3	345.60	MONTECULO	
			M-M			25-27	1.00	9.00	5.00	1.10	M3	49.50	CUBO DE ESCALERA	
<b>TOTAL GENERADO</b>											<b>448.8000</b>	<b>M3</b>		

NUMEROS GENERADORES															
<b>OBRA:</b>		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.									<b>ESTIMACION</b>		01		
<b>UBICACIÓN:</b>		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .									<b>FECHA:</b>		26 de febrero de 2016		
<b>FECHA DE INICIO</b>	martes, 16 de febrero de 2016			<b>FECHA DE TERMINO:</b>	miércoles, 12 de octubre de 2016			<b>DURACION N:</b>	240 D.N		<b>PERIODO</b>	16/02/2016	<b>AL</b>	25/02/2016	
CLAVE	CONCEPTO			FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS		
A01	PRELIMINARES			CM											
5AA10262	SONDEO EN ROCA CON BARRENO DE 1 1/2" Y 2.00 M. DE PROFUNDIDAD, PARA ANLAJE DE GRAPAS.			CROQ 3	O	16-21	7.00				PZA	7.00	EDIFICIO A		
						P	21	1.00					PZA	1.00	EDIFICIO A
						Q	16-21	6.00					PZA	6.00	EDIFICIO A
						O	25-34	14.00					PZA	14.00	EDIFICIO B
						P	25	1.00					PZA	1.00	EDIFICIO B
						Q	25-34	12.00					PZA	12.00	EDIFICIO B
<b>TOTAL GENERADO</b>											<b>41.0000</b>	<b>PZA</b>			

NUMEROS GENERADORES														
<b>OBRA:</b>		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.									<b>ESTIMACION</b>		01	
<b>UBICACIÓN:</b>		CALLE 22 #251-C x 15 y 17 FRACCIONAMIENTO VISTA ALEGRE CP. 97130									<b>FECHA:</b>		26 de febrero de 2016	
<b>FECHA DE INICIO</b>	martes, 16 de febrero de 2016			<b>FECHA DE TERMINO:</b>	miércoles, 12 de octubre de 2016			<b>DURACION N:</b>	240 D.N		<b>PERIODO</b>	16/02/2016	<b>AL</b>	25/02/2016
CLAVE	CONCEPTO			FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS	
A02	CIMENTACION			CM										
5B20012	PLANTILLA DE CONCRETO F'C=100 KG/CM2. DE 2 CM. DE ESPESOR SOBRE BASE FIRME.			CROQ 4	Q	16-19	4.00	1.60	1.60		M2	10.24	ZAPATA Z1-A	
						Q-O	16-21	7.00	2.00	2.00		M2	28.00	ZAPATA Z2-A
						O	20	1.00	2.20	2.20		M2	4.84	ZAPATA Z3-A
						O	21	1.00	2.90	2.90		M2	8.41	ZAPATA Z4-A
						Q	26-34	9.00	1.60	1.60		M2	23.04	ZAPATA Z1-B
						Q-O	25-34	11.00	2.00	2.00		M2	44.00	ZAPATA Z2-B
						O	25	1.00	2.90	2.90		M2	8.41	ZAPATA Z3-B
	<b>TOTAL GENERADO</b>											<b>126.9400</b>	<b>M2</b>	

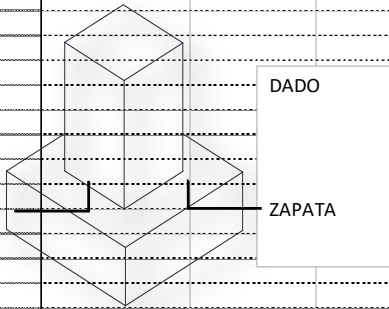
NUMEROS GENERADORES														
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.									ESTIMACION		01	
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .									FECHA:		26 de febrero de 2016	
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016			FECHA DE TERMINO:	miércoles, 12 de octubre de 2016			DURACION:	240 D.N		PERIODO	16/02/2016	AL	25/02/2016
CLAVE	CONCEPTO			FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS	
A02	CIMENTACION			CM										
5B20016	CIMBRA PARA CIMENTACION CON MADERA COMUN. INC. CIMBRADO Y DESCIMBRADO.			CROQ 5	Q-O	16-19	16.00	1.40		0.40	M2	8.96	ZAPATA Z1-A	
					O-Q	16-21	28.00	1.80		0.60	M2	30.24	ZAPATA Z2-A	
					O	20	4.00	2.00		0.60	M2	4.80	ZAPATA Z3-A	
					O	21	4.00	2.70		0.90	M2	9.72	ZAPATA Z4-A	
					O-Q	26-34	36.00	1.40		0.40	M2	20.16	ZAPATA Z1-B	
							44.00	1.80		0.60	M2	47.52	ZAPATA Z2-B	
							4.00	2.70		0.90	M2	9.72	ZAPATA Z3-B	
<b>TOTAL GENERADO</b>											<b>131.1200</b>	<b>M2</b>		

NUMEROS GENERADORES																
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.									ESTIMACION		01			
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .									FECHA:		26 de febrero de 2016			
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016			FECHA DE TERMINO:	miércoles, 12 de octubre de 2016			DURACION:	240 D.N		PERIODO	16/02/2016	AL	25/02/2016		
CLAVE	CONCEPTO			FRENTE	EJE	TRAMO	No. PZAS	LON. PZA	LONG. TOTAL	2 (1/4")	3 (3/8")	4 (1/2")	5 (5/8")	6 (3/4")	8 (1")	UNIDAD
A02	CIMENTACION			CM						0.249	0.557	0.996	1.566	2.252	3.975	
5B20019	ACERO DE REFUERZO DE 1/2" EN CIMENTACION FY=4200 KG/CM2. INC. HABILITADO, ARMADO Y COLOCACION. (VER CROQ.6)			Z1-A	Q	16	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-A		17	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-A		18	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-A		19	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		26	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		27	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		28	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		29	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		30	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		31	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		32	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		33	44	1.70	74.80			74.50				KG
				Z1-B		34	44	1.70	74.80			74.50				KG
<b>PZAS POR ZAPATA UN LECHO, UN SENTIDO</b>																
Z1A=Z1B= 1.40-2(.05)=1.30+2(.20)=1.70ML				PZAS=1.30/12.5+1=10.4+1=11												
Z2A=Z2B= 1.80-2(.05)=1.70+2(.30)=2.30ML				PZAS=1.70/12.5+1=13.6+1=14												
Z3A= 2.00-2(.05)=1.90+2(.30)=2.50ML				PZAS=1.90/12.5+1=15.2+1=16												
Z4A=Z3B=2.70-2(.05)=2.60+2(.45)=3.50ML				PZAS=2.60/10=26												
<b>TOTAL</b>										<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>968.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>KG</b>

NUMEROS GENERADORES																	
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.										ESTIMACION		01			
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .										FECHA:		26 de febrero de 2016			
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016			FECHA DE TERMINO:	miércoles, 12 de octubre de 2016			DURACION:	240 D.N		PERIODO	16/02/2016	AL	25/02/2016			
CLAVE	CONCEPTO	FRENTE	EJE	TRAMO	DIAM.	No. PZAS	LON. PZA	LONG. TOTAL	2 (1/4")	3 (3/8")	4 (1/2")	5 (5/8")	6 (3/4")	8 (1")	UNIDAD		
A02	CIMENTACION	CM							0.249	0.557	0.996	1.566	2.252	3.975			
5B20020	ACERO DE REFUERZO DE 5/8" EN CIMENTACION	Z2-A	Q	20	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
	FY=4200 KG/CM2. INC. HABILITADO, ARMADO Y COLOCACION. (VER CROQ.7)	Z2-A		21	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-A	O	16	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-A		17	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-A		18	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-A		19	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-A	P	21	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B	Q	25	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B	P	25	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B	O	26	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		27	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		28	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		29	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		30	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		31	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		32	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		33	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z2-B		34	5	56	2.30	128.80				201.70			KG		
		Z3-A	O	20	5	64	2.50	160.00				250.56			KG		
		<b>PZAS POR ZAPATA UN LECHO, UN SENTIDO</b>															
	Z1A=Z1B= 1.40-2(.05)=1.30+2(.20)=1.70MML	PZAS=1.30/12.5+1=10.4+1=11															
	Z2A=Z2B= 1.80-2(.05)=1.70+2(.30)=2.30MML	PZAS=1.70/12.5+1=13.6+1=14															
	Z3A= 2.00-2(.05)=1.90+2(.30)=2.50MML	PZAS=1.90/12.5+1=15.2+1=16															
	Z4A=Z3B=2.70-2(.05)=2.60+2(.45)=3.50MML	PZAS=2.60/10=26															
<b>TOTAL</b>									<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>3881.16</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>KG</b>		

NUMEROS GENERADORES														
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.							ESTIMACION			01		
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .							FECHA:			26 de febrero de 2016		
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016		FECHA DE TERMINO:	miércoles, 12 de octubre de 2016		DURACION:	240 D.N		PERIODO	16/02/2016	AL	25/02/2016		

CLAVE	CONCEPTO	FRENTE	EJE	TRAMO	No. PZAS	LON. PZA	LONG. TOTAL	2 (1/4")	3 (3/8")	4 (1/2")	5 (5/8")	6 (3/4")	8 (1")	UNIDAD
								0.249	0.557	0.996	1.566	2.252	3.975	
5B20022	ACERO DE REFUERZO DE 1" EN CIMENTACIÓN	C2A	Q	16	12	0.75	9.00						35.78	KG
	FY=4200 KG/CM2. INC. HABILITADO, ARMADO Y COLOCACIÓN. (VER CROQ. 8)	C1A		17	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1A		18	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1A		19	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1A		20	8	1.15	9.20						36.57	KG
		C4A		21	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C3B		25	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C1B		26	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		27	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		28	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		29	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		30	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		31	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		32	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C1B		33	8	0.75	6.00						23.85	KG
		C4B		34	16	0.75	12.00						47.70	KG
		C4A	P	21	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C3B		25	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2A	O	16	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C3A		17	10	1.15	11.50						45.71	KG
		C3A		18	10	1.15	11.50						45.71	KG
		C3A		19	10	1.15	11.50						45.71	KG
		C3A		20	10	1.15	11.50						45.71	KG
		C5A		21	20	1.45	29.00						115.28	KG
		C5B		25	24	1.45	34.80						138.33	KG
		C2B		26	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		27	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		28	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		29	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		30	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		31	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		32	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C2B		33	12	1.15	13.80						54.86	KG
		C4B		34	16	1.15	18.40						73.14	KG
<b>TOTAL</b>								<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1605.11</b>	<b>KG</b>



NUMEROS GENERADORES														
OBRA:		CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA DE LA FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION.							ESTIMACION			01		
UBICACIÓN:		KMO 1 CARRETERA MERIDA - TIZIMIN, CHOLUL CP. 97305, MERIDA YUCATAN .							FECHA:			26 de febrero de 2016		
FECHA DE INICIO	martes, 16 de febrero de 2016		FECHA DE TERMINO:	miércoles, 12 de octubre de 2016		DURACION:	240 D.N		PERIODO	16/02/2016	AL	25/02/2016		
CLAVE	CONCEPTO	FRENTE	EJE	TRAMO	No. DE PZAS	LARGO	ANCHO	ALTO	UNIDAD	SUBTOTAL	REFERENCIAS			
A02	CIMENTACION	CM												
5B20050	CONCRETO PREMEZCLADO F' C=250 KG/CM2. EN CIMENTACION. INCLUYE COLOCACION, VIBRADO Y CURADO.	CROQ.9	Q	16-19	4.00	1.40	1.40	0.43	M3	3.37	ZAPATA Z1-A			
			O-Q	16-21	7.00	1.80	1.80	0.63	M3	14.29	ZAPATA Z2-A			
			O	20	1.00	2.00	2.00	0.63	M3	2.52	ZAPATA Z3-A			
			O	21	1.00	2.70	2.70	0.93	M3	6.78	ZAPATA Z4-A			
			Q	26-34	9.00	1.40	1.40	0.43	M3	7.59	ZAPATA Z1-B			
			O-Q	25-34	11.00	1.80	1.80	0.63	M3	22.45	ZAPATA Z2-B			
			O	25	1.00	2.70	2.70	0.93	M3	6.78	ZAPATA Z3-B			
<b>TOTAL GENERADO</b>										<b>63.7800</b>	<b>M3</b>			