



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Acercamiento a la Tecnología BIM. Softwares
ArchiCAD®-Tekla® aplicado a proyectos de ingeniería en CCrea,
Villa Clara.

Autor: Lester Comas García

Tutor: Dr. Armando Juan Velázquez Rangel

Cotutor: Ricardo Murga Piñeiro

Santa Clara, Junio, 2019
Copyright©UCLV



FC
Facultad de
Construcciones

Academic Departament of Civil Engineering

DIPLOMA THESIS

Title: Approach to BIM technology. Softwares ArchiCAD®-Tekla® applied to engineering projects in CCrea, Villa Clara.

Author: Lester Comas García

Thesis: Dr. Armando Juan Velázquez Rangel

Thesis Co-Director: Ricardo Murga Piñeiro

Santa Clara, June, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres y hermano por enseñarme que el éxito
está en el trabajo duro y ser mi guía para lograrlo.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores, hoy soy lo que aprendí de ustedes y de todos me llevo mucho, en especial a mi tutor Armando Juan Velázquez Rangel por su ayuda y confianza en el desarrollo de esta investigación.

Al colectivo de CCrea en especial al Ing. Ricardo Murga Piñeiro por su constante dedicación y tiempo puesto a mi disposición.

A mis compañeros de aulas, esas maravillosas personas que conocí hace 5 años y hoy somos una gran familia, quienes me apoyaron en momentos difíciles y con quienes viví las mejores experiencias.

A mis abuelos, hermano y demás familiares por su constante preocupación, a Darisley y Tania quienes me han dado más que apoyo y alegrías en todo este tiempo.

A todos los que han contribuido de una manera u otra a mi formación como profesional, en especial a mis padres, a todos ellos, mis más grandes y sinceros agradecimientos.

RESUMEN

El trabajo es el resultado de la investigación y desarrollo de la tecnología Building Information Modeling (BIM) que supone una auténtica revolución, que en muy poco tiempo ha logrado suplantar los antiguos métodos de trabajo, imitando el proceso real de construcción con una perspectiva que abarca más allá de la tercera dimensión de trabajo (3D). La realidad de la construcción para el futuro predecible muestra la clara necesidad de su uso, evidenciando mayor control en la gestión, planificación y ahorros de tiempo y dinero, a la vez que incrementa los índices de colaboración e intercambio de información, claves fundamentales en el éxito de un proyecto.

A partir de la experiencia en la dimensión 3D del Grupo Empresarial de Diseño y Construcción CCrea, se propone un flujo de trabajo utilizando las herramientas BIM, ArchiCAD® y Tekla Structures®. La demostración de esta metodología en la elaboración de un proyecto real de la empresa, demuestra cuán beneficioso es el uso del BIM al reducir el tiempo de creación del proyecto, eliminar los errores de diseño y generar ahorros significativos de recursos. Esta investigación, además, abarca la gestión (4D) y el control de costos (5D) de la obra, dimensiones que no han sido desarrolladas en la empresa, que la convierten en un centro más productivo y vanguardista, e integral en la oferta de sus servicios.

Palabras Claves: Building Information Modeling, BIM, proyecto, vanguardista.

ABSTRACT

This work is the result of the research and development of the Building Information Modeling (BIM) technology that represents a real revolution, which in a very short time has managed to supplant the old methods of work, imitating the real construction process with a perspective that covers beyond the 3-dimensional. The reality of construction for the predictable future shows the clear need for its use, evidencing greater control in the management, planning and savings of time and money, while increasing the rates of collaboration and exchange of information, fundamental issues in the success of a project.

Based on the 3D experience of the CCrea Design and Construction Business Group, a workflow is proposed using BIM tools, ArchiCAD® and Tekla Structures®. The demonstration of this methodology on a real project of the company, shows how beneficial is the use of BIM by reducing the time of creation of the project, eliminates design errors and generates significant savings of resources. This research also includes the management (4D) and cost control (5D) of the work, aspects of which the company lacks and which makes it as more productive and avant-garde center, as integral in the offering of its services.

Keywords: Building Information Modeling, BIM, project, avant-garde.

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: ACTUALIDAD SOBRE EL USO DEL BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)	18
1.1 Antecedentes:	18
1.1.1 Generalidades del sector constructivo actual:	20
1.1.2 Análisis del proceso productivo	21
1.1.3 Diagnóstico del sector construcción:	21
1.1.4 Insuficiencias del Modelo CAD, soluciones en el Modelo BIM.	25
1.2 BIM (Building Information Modeling)	26
1.2.1 Definición	26
1.2.2 Características del entorno:	28
1.2.3 Interacción Lean Construcción-BIM	29
1.3 Uso	32

1.3.1 A nivel Internacional	32
1.3.2 En Cuba	36
1.4 Softwares:	40
1.5 OpenBim, Building Smart e Interoperabilidad:	42
1.6 Ciclo de vida del Modelo BIM	44
1.7 BIM en la dirección integrada de proyectos:	45
1.8 Alcance y Proyección:.....	46
1.8.1 Siete dimensiones BIM	46
1.8.3 Proyección del BIM	49
1.9 Ventajas y Limitaciones	50
1.9.1 Ventajas:	50
1.9.2 Limitaciones.	53
Conclusiones Parciales del Capítulo I:	53
CAPÍTULO II: PROPUESTA DE FLUJO DE TRABAJO PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL EN LA EMPRESA CCREA	55
Introducción:	55
2.1 Previsiones y aseguramiento:	56
2.1.1 Servidor BIM	56
2.1.2 Concepto de archivo único:	57

2.1.3 Elección del Formato:	58
2.2 Flujo de trabajo típico utilizando ArchiCAD como software base:	59
2.3 Propuesta de flujo de trabajo para la elaboración del modelo estructural:...	60
2.3.1 Pasos a seguir en la metodología de trabajo:	67
Conclusiones Parciales del Capítulo II:	76
CAPÍTULO III APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA EN UN PROYECTO REAL DE LA EMPRESA CCREA. VALIDACIÓN POR ESPECIALISTAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
Introducción:	78
3.1 Características del proyecto:	78
3.2 Aplicación de la metodología:	79
3.2.1 Simplificación del modelo arquitectónico a modelo estructural en ArchiCAD	79
3.2.2 Importación el modelo estructural en ETABS.	83
3.2.3 Importar el modelo diseñado y analizado, en Tekla Structures®:	85
3.2.4 Importación y gestión del modelo final en ArchiCAD:.....	92
3.2.5 Organización, control y costo de obra:	95
3.3 Criterio de especialistas y análisis de resultados.	98
Conclusiones parciales del capítulo III:	103

CONCLUSIONES GENERALES:	104
RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFÍAS	106
ANEXOS	109
Anexo 1: Encuesta a los profesionales del sector de la construcción:	109
Anexo 2: Diagrama de flujo de trabajo BIM, empresa CCrea.	113

INTRODUCCIÓN

Evidentemente el sector de la construcción actual demanda pasos de avance en todos los sentidos, si bien es conocido que el cambio de una tecnología a otra implica un cambio en la manera de pensar, no debe sorprender el que exista tanta contención a él.

El sector constructivo a nivel global hace unos años atravesó un estancamiento en su formas y métodos de trabajo, considerados por muchos como una crisis, fundamentado en aspectos tan importantes en la construcción como el tiempo y el costo de los proyectos, solamente en la Unión Europea, las deficiencias de la etapa de proyecto rondaban el 42% de las obras anuales, inferior a las deficiencias en ejecución que constituían un 50% del total, en Cuba la situación actual no es muy diferente, según documentos revisados pertenecientes a la Inspección Estatal de Precios y Tarifas del MICONS específicamente IEC No.5.4.116 en enero del 2017 para el Estado de las Viviendas, fueron evaluados de mal: el funcionamiento, control y atrasos en documentación; y deficiente: la etapa de ejecución de las mismas con 7 desviaciones de 9 totales, lo que representa un 77% de deficiencias en esta etapa.(MICONS, 2016/2017)

Es claro que en la actualidad se atraviesa un proceso de crisis que desemboca en pérdidas anuales para el país, en momentos donde no es una opción tenerlas. Así entonces como la crisis trae cambios, la aparición de una nueva tecnología de trabajo revolucionaria, la tecnología Building Information Modeling (BIM), ha traído lo que puede significar un gran avance en el sector constructivo.

La metodología BIM es un sistema tan abarcador que, a la vez que sustituye el modelo anterior (CAD), lo eleva a niveles sorprendentes de sustentabilidad y eficiencia, recientemente descubierto por algunos países, en vías de implementación en otros y con un carácter obligatorio en muchos, viene a solucionar problemas que parecen crónicos en un sector tan complejo como lo es la

construcción. Someterse al cambio o quedar rezagados, es hoy la principal pregunta de empresas de proyectos del país, pero que debería ser también el gran tópico del mundo académico de la construcción, las universidades cubanas, Alma Máter de los profesionales, que deberían ser las primeras involucradas en este tema, apoyada sin lugar a dudas por los ministerios correspondientes.

El Grupo Empresarial de Diseño y Construcción: **Crea, Construye, Rehabilita y Estudia la Arquitectura (CCrea)**, realiza importantes acciones para implantar BIM en su empresa, como estrategia para ganar en calidad documental, coherencia y eficiencia; fomentando el trabajo en equipo y acortamiento de plazos en ejecución como metas, para pasar de constructora convencional a basada en entorno virtual.

La Empresa CCREA, se integra a estas acciones adaptándolas a su entorno específico a través de un plan de implantación, empleando el flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures® con el objetivo de evaluar la factibilidad de la implementación de las tecnologías, en la optimización de sus procesos de gestión y reducir los riesgos asociados al desarrollo de los proyectos; de manera que se puedan explorar conceptos y formas del diseño desde el inicio, como herramienta para optimizar, documentar y apoyar decisiones en la ejecución de obras.

Este flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures®, se utiliza de manera ineficiente durante la etapa de modelación y diseño estructural, producto de numerosas incoherencias en el modelo que aumentan los tiempos en etapas tempranas del proyecto.

Esta problemática contextualiza la presente investigación, que se plantea como problema científico:

¿Cómo evitar las incongruencias que se producen en la aplicación del flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures® en el CCREA Villa Clara, durante la etapa de modelación y diseño estructural?

Objeto:

El BIM, su uso y aplicación para la elaboración de proyectos de construcción.

Campo:

El flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures®

Objetivo general:

Elaborar una metodología que facilite el uso del flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures®, de manera eficiente durante la etapa de modelación y diseño estructural.

Objetivos Específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica de la temática de investigación, el BIM y los softwares ArchiCAD® y Tekla Structures® que permita elaborar el marco teórico a partir del criterio de especialistas en la temática, consultados en la bibliografía nacional e internacional.
2. Diagnosticar la situación actual del BIM, y del software ArchiCAD® y Tekla Structures® en la empresa CCrea.
3. Proponer una metodología que facilite el uso del flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures®, de manera eficiente durante la etapa de modelación y diseño estructural
4. Valorar la metodología propuesta por criterio de especialistas.
5. Validar la metodología propuesta mediante su aplicación a un caso real en la elaboración de un proyecto en CCrea.

Hipótesis:

Si se elabora una metodología funcional para el flujo de trabajo ArchiCAD® -Tekla Structures®, se podrán evitar las incongruencias que se producen durante la etapa de modelación y diseño estructural.

Novedad científica

La novedad de la presente investigación es la propuesta de una metodología de trabajo con los softwares ArchiCAD®-Tekla Structures® que evite las incongruencias que se producen durante la etapa de modelación y diseño, que pueda ser generalizada a otras empresas interesadas.

Aporte Práctico: La metodología propuesta.

Métodos de Investigación Científica:**Métodos Teóricos**

Histórico- Lógico: Se basa en la caracterización de la tecnología BIM, estudiando sus antecedentes, ventajas, herramientas y posibilidades para su implementación, así como en los softwares ArchiCAD® -Tekla Structures®.

Analítico- Sintético: Se desarrolla a partir del análisis de la temática de investigación, específicamente la tecnología BIM, para sintetizar lo concerniente a los softwares ArchiCAD® -Tekla Structures®

Inductivo- Deductivo: A partir de la inducción en el proceso de investigación, se deducen las conclusiones y recomendaciones que se plantean en la presente investigación.

Métodos Empíricos

Revisión de Documentos: Se revisan documentos, como los manuales y guías de usuario de los softwares ArchiCAD® -Tekla Structures® y otros relacionados con la temática de investigación.

Encuesta: Con el objetivo de diagnosticar la situación del BIM y los softwares ArchiCAD® -Tekla Structures® en las empresas del territorio.

Criterio de especialistas: Para valorar la propuesta de la metodología elaborada.

Métodos Matemáticos:

Análisis Porcentual: Método basado en la estimación de valores que posteriormente afirmen la obtención de la solución.

Población y Muestra:

Población: Empresa del territorio que utilizan BIM.

Muestras: Empresa CCrea.

Estructuras de los capítulos

CAPÍTULO 1. ACTUALIDAD SOBRE EL USO DEL BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

En este capítulo se presenta una fundamentación teórica sobre el tema de BIM, que incluye la evolución histórica, el concepto de BIM, empresas y países que más lo usan, importancia, ventajas, desventajas y su situación específica para Cuba, además los softwares ArchiCAD® y Tekla Structures® y sus potencialidades como programa destinado al análisis espacial y dimensionamiento de estructuras de hormigón armado y metálica. Su posible utilización en el tema de planificación de obra e integración a un proyecto de edificaciones.

CAPÍTULO 2. PROPUESTA DE FLUJO DE TRABAJO PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL EN LA EMPRESA CCREA

En este capítulo se realiza el diagnóstico de la aplicación de los softwares ArchiCAD® -Tekla Structures® en la empresa CCrea, a partir del análisis de los resultados de los instrumentos aplicados. Se realiza la propuesta de flujo de trabajo para los softwares ArchiCAD® -Tekla Structures® y se valora la misma por criterio de especialistas.

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA EN UN PROYECTO REAL DE LA EMPRESA CCREA. VALIDACIÓN POR ESPECIALISTAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se aplica el flujo de trabajo obtenido a un caso real de proyectos de la Empresa CCrea validando así la propuesta realizada. Se presentan además las conclusiones, recomendaciones, la bibliografía utilizada y un grupo de anexos que facilitan la comprensión del Trabajo de Diploma.

CAPÍTULO I: ACTUALIDAD SOBRE EL USO DEL BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

1.1 Antecedentes:

Con base en el desarrollo tecnológico que ha auspiciado el nacimiento de la informática en Norteamérica, primero utilizado en proyectos de aviación y luego incorporado a diseños de construcción, surge la herramienta BIM, considerado el cúmulo de investigación y desarrollo de grandes empresas tecnológicas que, dada la diversidad de criterios en el tema, todos parecen coincidir que tiene su inicio a partir de los primeros formatos de gráficos electrónicos que fueron desarrollados en los EE.UU., proveniente de trabajos universitarios en la segunda mitad de la década de 1950

Sobre los años 1962 y 1963, se presenta el software SketchPad, un programa muy primitivo pero que incorporaba herramientas de los programas CAD de hoy desarrollado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) de Boston, como resultado de la tesis doctoral de Ivan E. Sutherland

Durante la década de 1960, una parte significativa del mundo de la investigación concentra sus esfuerzos en el desarrollo de técnicas de modelado tridimensional que serán el primer software que represente formas elementales de polígonos que también se podían combinar y en 1973 porque ya iniciaba la gestión de figuras en 3D sólidas: tres investigaciones distintas en Cambridge, Stanford y Rochester emiten la primera generación de software de modelado sólido (Diazgranados, 2018)

En 1975, surge el concepto “Building Description System” muy similar al de BIM (Building Information modeling) por parte del profesor Charles Eastman en su libro “The Use of Computer Instead of Drawings in Building Design” (C. Eastman. AIA Journal, March 1975, EE. UU)

Charles Eastman ya tenía en mente un modelo paramétrico, es decir un sistema de construcción descriptivo, que se obtiene al agregar elementos gráficos en 3D capaces de contener información geométrica, pero también relacionado con materiales, lo cual era muy adelantado para su época(Diazgranados, 2018)

El sector de la construcción quedó un poco rezagado en cuanto a la industria automovilística, naval, y aeroespacial incorporándose al sistema CAD en los años 80 siendo todavía muy conservadores y no aceptándolos como una herramienta de comprobación. Más tarde en los objetos gráficos se hace posible asociar parámetros y reglas (inicialmente geométrica) puede ofrecer ventajas significativas para la gestión del proyecto en su conjunto, mientras que en 2D tradicional y CAD 3D todos los aspectos de la geometría deben ser editados por el usuario, así como la verificación de la coherencia geométrica general después de su modificación, en el caso de objetos paramétricos, esto sucede automáticamente. Estos objetos se definen como "inteligente" por su capacidad de actualización automática, también en respuesta a los cambios realizados por el diseñador a otros objetos, pero conectados entre sí, lo que resulta en una propagación automática de los cambios y una actualización continua del modelo virtual completo. Por lo tanto, el paso a objetos que contienen no sólo parámetros geométricos, sino también información específica de las entidades reales que representan es conceptualmente simple. De esta manera, es posible agregar a los objetos características físicas de costo, resistencia mecánica, etc., con relaciones automáticas entre las modificaciones del objeto y la actualización de la información. Por lo tanto, se abre el camino a una nueva tecnología, en este caso BIM y es a partir de mediados de los 80 y principios de los 90 que en este escenario nacen y se desarrollan algunas empresas de software conocidas como Autodesk (Estados Unidos), Bentley (Estados Unidos), Graphisoft (húngaro), Nemetschek (Alemania) y otros, que llevan a cabo sus productos, cada uno con características específicas, pero todos orientados esencialmente a la representación gráfica del proyecto. Algunos de los programas más importantes en la industria BIM en el mundo son Autodesk Revit®, All Plan®, ArchiCAD®, Tekla Structures® Google SketchUp®.(Diazgranados, 2018).

En el año 1994, Autodesk, estudia la posibilidad de realizar un programa que permita el desarrollo de diferentes aplicaciones de manera integrada; en el año 1995, Autodesk continúa con esta iniciativa, y junto con doce empresas de Estado Unidos, forma un consorcio de empresas llamado Industry Alliance for Interoperability (IAI).(Dousdebés, 2017). En el año 2005 la IAI fue renombrado a Building Smart, ya en 2007 se requiere en EEUU por parte de la General Service Administration (GSA) la entrega del programa espacial como mínimo para la aprobación del Concepto Final para proyectos importantes y que exijan financiación y luego en 2011 en UK queda aprobado la utilización de BIM en todos los proyectos públicos y proyectando alcanzar un nivel 2 de BIM para el 2016. En la actualidad son muchos los países en los que es obligatorio la entrega de arquitectura, estructura e instalaciones en BIM.

1.1.1 Generalidades del sector constructivo actual:

Como parte del atraso en el sector constructivo y las nuevas líneas de perfeccionamiento en el mismo, se hace necesario preguntar si existe hoy otras vías, otras maneras de hacer, que doten al sector constructivo de mejores formas de producción y mejores resultados en el camino y por tanto un mejor producto. De esta manera aparece la metodología de trabajo BIM, símbolo de progreso e innovación, dos pilares que caracterizan el avance de las construcciones a lo largo de su surgimiento y permiten medir el grado de desarrollo de una sociedad, desarrollo que se ha convertido en retrasos, ineficacias constructivas y pérdidas monetarias que han hecho del sector uno de los más retrasados del país.

Este sector sin embargo representa el 9% del PIB mundial y utiliza para su producción el 7% de la mano de obra de la población activa mundial (Horta 2013, p.38 Impacto de BIM en el Proceso Constructivo español) y dado a que las características del producto final y a las del propio proceso productivo tales como la diversidad de formas y por tanto costos del producto, la dispersión y fraccionamiento (obligando a la industria a trasladarse a cada lugar de construcción), un elevado

costo de producción (incertidumbre debido a posibles cambios y gran diversidad de procesos constructivos alternativos para cada producto)(Pitarch, 2015) diferencian al sector de otros e impiden el desarrollo de métodos a fines.

1.1.2 Análisis del proceso productivo

La situación diaria en el proceso productivo cubano, no garantiza la integridad ni la coherencia de la documentación que circula entre los profesionales de distintas ramas. La deficiente y tardía actualización de la información es el escenario de casos en que la información que llega a la obra en el momento de la construcción ya ha sido modificada en la oficina de proyecto.

El hecho de que no exista un canal de comunicación global entre todos los profesionales que intervienen en la redacción de un proyecto y no bidireccional entre el autor y los colaboradores del proyecto, dificulta la coherencia de las soluciones que definen el producto resultante (el factor conocimiento no se aprovecha al máximo). El factor industria, es decir, la empresa consultora en el modelo que seguimos en otro país no entra en juego en el proceso productivo hasta que la documentación esté terminada y se han concedido los permisos. Vemos por tanto como reiterativamente parece una falta de información global, porque la información se fragmenta para cada una de las empresas subcontratadas en ámbito. Al final esta fragmentación se traduce en un aumento de los costes y plazo iniciales(Pitarch, 2015)

1.1.3 Diagnóstico del sector construcción:

- El sector ya no es una fuente de innovación.
- El sector construcción tiene una muy baja tasa de productividad asemejándose a una industria casi artesanal
- Poca tecnología y fuerte localismo geográfico, siendo por tanto muy dependientes del entorno.

- Lo proyectos que gestionan no son coincidentes en el tiempo debido a la limitada capacidad operativa y financiera, o recurre a la subcontratación, pero sin apenas control sobre la subcontrata. Gran importancia de la subcontratación en el sector.
- En general las empresas son tan pequeñas y están tan atomizadas que no pueden hacerse cargo por sí solas de todo el proceso de una obra.
- Éstas pequeñas empresas siguen una política empresarial basadas en proyectos a corto plazo, por lo que no invierten en posicionamiento de marca I+D o en mejorar el proceso constructivo.
- Las empresas aceptan las condiciones de plazo y presupuesto impuesta con muy poco margen de maniobra con la intención de negociar una vez la obra esté en marcha.
- La empresa constructora adjudicataria, puede querer otra solución que se adapten mejor a su forma de trabajo, ya que no ha participado en la redacción del proyecto con la consecuente pérdida de tiempo posterior.
- La aceptación de las condiciones iniciales y poco tiempo para conocer el proyecto adjudicado, hace que surjan numerosos imprevistos y malentendidos que implican un aumento el costo y el tiempo.
- Cada agente interviniente aporta márgenes económicas para futuros imprevisto, pero no lo hacen todo conjuntamente para poder juntarse mejor a los plazos y costes previstos inicialmente. El sistema habitual de contratación dificulta aún más esa posible colaboración entre los agentes.
- El suelo y el edificio final son los activos de inversión y su precio varía en función del mercado, pero no el proceso constructivo, hecho que no incentiva la mejora del proceso productivo.
- La información de la documentación del proyecto no siempre se transmite de forma completa entre los agentes involucrados, o a veces resulta insuficiente para algunas partes del proceso que tiene que ir a redibujar soluciones pudiendo malinterpretar la voluntad inicial del autor. Además, esta

información se suele transmitir en papel o en formato PDF, pero en definitiva en 2D dificultándose su entendimiento y comprensión.

- Todo cambio o solución alternativa debe añadirse a la documentación del proyecto y/o programa de cálculo, reduciendo así la productividad. Aunque existen posibilidades como son los TICS su implementación es al día de hoy casi nula y no se aprovechan toda la ventaja que ofrecen
- Todo ello se traduce en un cumplimiento del presupuesto inicial, así como un conflicto durante la fase de ejecución entre los principales agentes participantes. (Pitarch, 2015)

Las principales causas de una mala coordinación de proyectos derivan en la falta de comunicación entre los participantes, seguido del tiempo destinado para el desarrollo de los proyectos en la etapa de diseño.

Se destaca que estos problemas fueron calificados de acuerdo a su importancia con nota de 1 a 7, siendo 7 las que más afectan a la coordinación, cuyo registro se aprecia en gráfico 1.1 y 1.2 :(Indo, 2014)

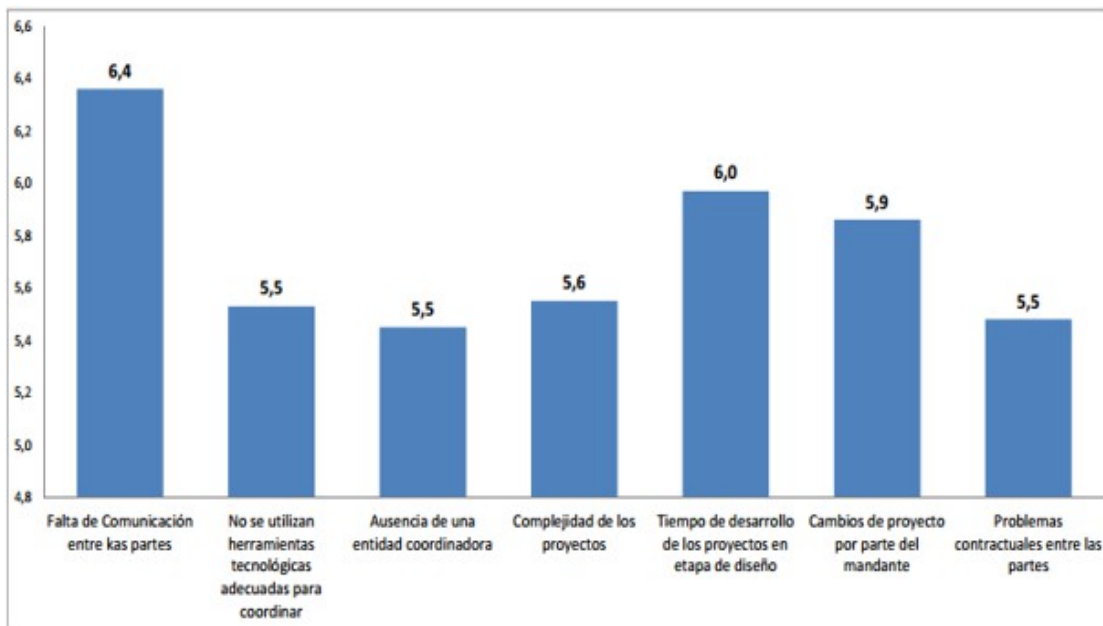


Gráfico 1.1 Principales causas de una mala coordinación de proyectos. Fuente: Documento Red Interamericana de Centros de Innovación en la Construcción (Inconet)-Building Information Modeling-BIM versión 1.5, pág. 6

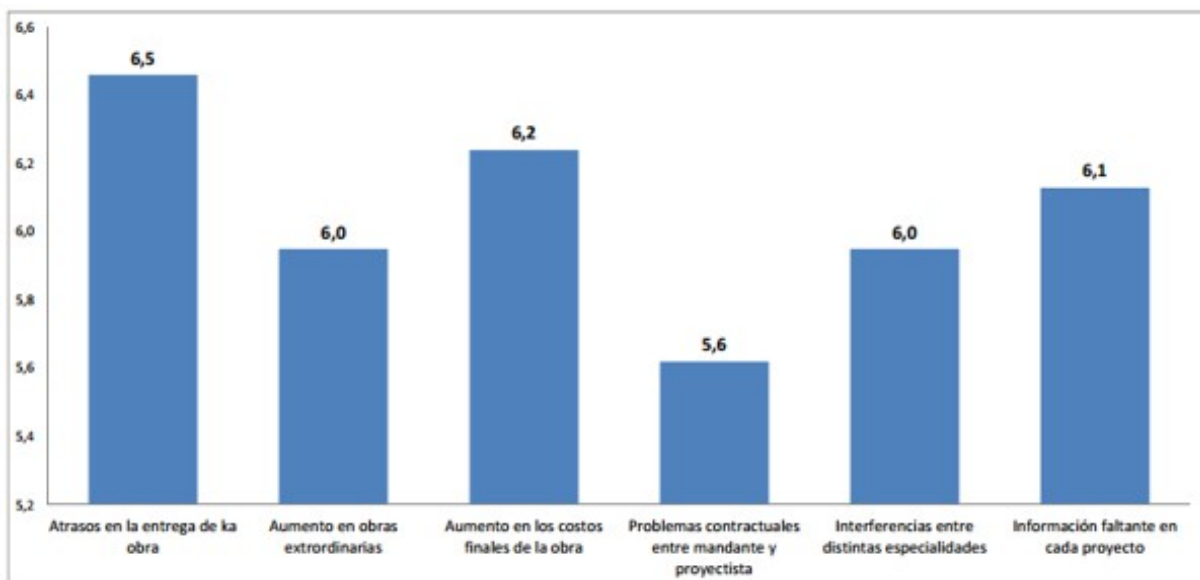


Gráfico 1.2 Principales problemas detectados en obra. Fuente: Documento Red Interamericana de Centros de Innovación en la Construcción (Inconet)-Building Information Modeling-BIM versión 1.5, pág. 6

Se impone así, una manera de hacer diferente, para dotar al sector de productividad y eficiencia, metodologías que acorten los plazos, prevean errores, se anticipen a posibles fallos, integren todas las ramas en un medio ambiente común y en su justa medida echen a andar el motor de la construcción en el país.

1.1.4 Insuficiencias del Modelo CAD, soluciones en el Modelo BIM.

Si bien conocemos que la finalidad de las herramientas CAD fue y sigue siendo, reemplazar el proceso de dibujo en papel y lápiz, por un sistema electrónico de dibujos creados en 2D basado en líneas; el constante desarrollo de las tecnologías informáticas, nos propone una migración a un nuevo sistema de trabajo. A pesar de haberse sustituido el papel por la pantalla, el diseño tradicional sigue dependiente de representaciones independientes, es decir, si al modificar alguna línea en una vista en planta, se tendrá que modificar tanto los cortes, elevaciones, detalles, etc., ya que estas representaciones no están unidas entre sí. Paradójicamente, a pesar de que una edificación/estructura es una entidad unitaria y global, debe estudiarse a partir de un conjunto de distintas representaciones que sólo tienen en común aquello que el arquitecto haya podido establecer. Esta tecnología basada en representaciones independientes (CAD), aparte de consumir enormes cantidades de tiempo, favorece la propagación de errores en el diseño. El modelado BIM ofrece herramientas con elementos semejantes a la realidad, tales como columnas, placas, vigas, puertas, ventanas, etc., en los que descansa su mayor potencial, que es la información que contiene cada uno de ellos. Asimismo, basa su aplicación en un modelo central, donde los cambios hechos en los cortes, elevaciones o plantas, repercuten en el modelo único, es decir, si genero un cambio en la vista en planta, este se mostrará ya modificado en las demás vistas, evitando duplicar esfuerzos. (Vela, 2015)

Actualmente, las herramientas de CAD se han implantado de forma generalizada en todos los despachos y escuelas de arquitectura. No obstante, el nivel

tecnológico del uso de estas aplicaciones ha sido, en general, bastante bajo. Las razones son múltiples y van desde la falta de formación hasta los perjuicios que todavía ahora muchos profesionales del sector tienen hacia estas herramientas. Sea como sea, el 90% del software de CAD que se emplea para tareas de delineación, se llevan a término con procedimientos que se asemejan mucho a los de las antiguas técnicas manuales.(Picó, 2008)

El beneficio de ver el edificio mediante una interacción completa con materiales, uso de lo que se está construyendo y su aplicación en tiempo real está muy lejos de justificar si se tiene que permanecer aún con archivos de aplicaciones en 2D.(Scaysbrook, 2018)

Hasta este punto se ha referido a la situación del sector constructivo actual y las desventajas del antiguo sistema CAD con respecto al BIM, pero es necesario definirlo.

1.2 BIM (Building Information Modeling)

1.2.1 Definición

The Nacional Institute of Building Sciences define un modelo BIM como “una representación digital de la características físicas y funcionales de una edificación que sirve como una fuente compartida de información que genera una base confiable para la toma de decisiones durante el ciclo de vida de la edificación desde el principio en adelante.” (Vandezande et al., 2011).

El profesor Eastman sugiere: (“... definimos BIM como una tecnología de modelación asociada a un grupo de procesos para producir, comunicar y analizar modelos de edificios.” (Eastman et al., 2008)

Para Eloi Coloma Pico en Introducción a la tecnología BIM se define como:” El conjunto de metodología de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases

de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar. Esta información puede ser de tipo formal, pero también puede referirse a aspectos como los materiales empleados y sus calidades físicas, los usos de cada espacio, la eficiencia energética de los cerramientos, etc.”

Para la compañía Autodesk, desarrolladora del programa Revit Architecture:

“El modelado de información para la edificación (BIM- Building Information Modeling) es un método innovador para facilitar la comunicación entre los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Con BIM, arquitectos e ingenieros generan e intercambian información de manera eficiente, crean representaciones digitales de todas las fases del proceso de construcción y simulan el rendimiento en la vida real, lo que perfecciona el flujo de trabajo, aumenta la productividad y mejora la calidad...”.

BIM a criterio del autor:

- Es el proceso donde se introduce información a cada una de las partes del modelo (Parametrización).
- Vincula a todas las especialidades en un trabajo colaborativo.
- Permite el trabajo con diferentes softwares en un ambiente común
- Brinda información en tiempo real de la obra y en cualquier ubicación.
- Permite la toma de decisiones en etapas tempranas del proyecto.
- Agiliza el proceso de diseño y construcción, eliminando posibles errores con tiempos récords de ventaja.

BIM puede a menudo ser confundido con un modelo meramente virtual en 3D que no contiene información y en realidad es un proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida (diseño, construcción, explotación y demolición) sin la información, estaríamos hablando simplemente de una herramienta de visualización 3D. Además erróneamente se puede pensar en él

como un software para llevar a cabo la metodología(Pitarch, 2015), pero como se señaló anteriormente se trata de un proceso, en el que intervienen varios programas.

1.2.2 Características del entorno:

El modelado de información de una construcción simula el proceso proyecto de construcción en un entorno virtual 3D. Esta simulación tiene como base un ordenador y como motor un paquete de software capaz de interpretar la base de datos que contiene la información del modelo virtual del objeto de la construcción. Disponer de un modelo virtual del objeto de la construcción en un entorno BIM implica que es posible ensayar el proceso constructivo, experimentar su comportamiento frente a cualquier tipo de acción externa o interna, optimizar su diseño o rendimiento ante escenarios en los que se incorporan distintas hipótesis situacionales, etc. Es decir, nos acerca al funcionamiento de la industria manufacturera en la que el prototipo es testeado, tanto su propia naturaleza como los procesos que tendrán lugar para su fabricación, hasta encontrar la solución óptima que retorne el máximo rendimiento. Por primera vez, la industria de la construcción dispone de los medios para dar su salto cualitativo hacia una industria que genere valor y conocimiento, abandone su componente artesanal y se introduzca en el siglo XXI y en la era digital y de las tecnologías de la información y la comunicación, tanto en la fase de diseño como en la de construcción-explotación.(Faubel, 2015)

Las características de BIM que hacen posible la adición, gestión y compartición de la información del objeto de la construcción y la simulación de tantos procesos, escenarios e hipótesis como se requiera, son: (Giner, 2014)

- Toda la información está guardada en un repositorio común (bases de datos interrelacionadas) que conforman el modelo tridimensional y que, cuando se comparte, contiene implícita toda la información del mismo.

- La información es bidireccional. Es decir, cuando se comparte y genera nueva información o modifica la existente, esta se actualiza en tiempo real y se mantiene íntegra y coherente en el modelo.
- La información es multidisciplinar, en tanto es bidireccional y se puede usar y compartir para cubrir todos los aspectos de diseño, tecnología, economía, programación, ejecución y mantenimiento del objeto del proyecto.
- La información es parametrizada, por tanto, editable y agregable, como fundamento de la bidireccionalidad:
 - Cada objeto tiene entidad como elemento constructivo del proyecto y se comporta como tal.
 - Cada objeto tiene agregadas sus relaciones con respecto a otros elementos constructivos del proyecto.
 - Cada objeto tiene la información de su situación en el proyecto.
 - El modelo virtual que obtenemos en el ordenador es lo que vamos a obtener en la realidad cuando se ejecute.
 - BIM implica la visualización del objeto del proyecto y los procesos de construcción y mantenimiento frente a la representación esquemática que se obtiene de la idea de edificio con cualquier otro sistema de representación

1.2.3 Interacción Lean Construcción-BIM

Lean Construcción:

El sistema “Lean Construction” busca implementar una filosofía donde la ejecución de proyectos de construcción se asemeje más a un sistema de producción, enfocando sus esfuerzos en generar valor para el cliente, eliminando desperdicios en los procesos y optimizando los flujos de trabajo en la actividad de la construcción “es decir una construcción sin pérdidas” . (Ojeda, 2016) Estos sistemas no son

dependientes uno de otro, es decir, cabe la posibilidad de implementar cualquiera de los dos sin la presencia incondicional del otro. Sin embargo, autores reconocidos en la teoría “Lean Construction”, sostienen que el máximo potencial para desarrollar los proyectos de construcción solo puede ser alcanzados si se adoptan ambos sistemas en conjunto en la ejecución de proyectos (Sacks & Koskela, 2010). Por un lado, la filosofía Lean aporta en la creación de valor para el cliente, eliminando todo lo que no aporte al producto, optimizando el uso de recursos, y en la búsqueda constante de mejores procesos de transformación; mientras que BIM se enfoca en aumentar la colaboración entre los actores, bajo la utilización de herramientas de información las cuales gestionan, describen y establecen características del proyecto, formando un entorno de trabajo más favorable para la mejor toma de decisiones, teniendo como fin la más cercana aproximación a la completa definición del proyecto, convirtiéndolo en un proyecto confiable. (Vela, 2015)

En un estudio publicado en el artículo denominado “The interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction” (Sacks, 2010), basados en una matriz de interacción - relación principios del Lean Construction – funcionalidades del BIM se reconocen 56 interacciones, resaltando:

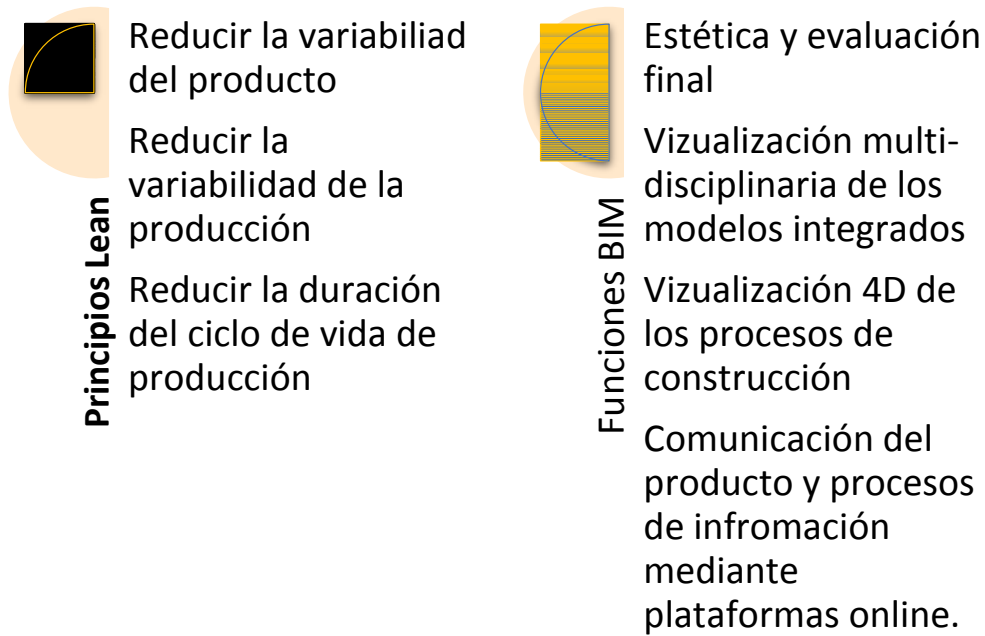


Figura. 1.3 Principios Lean Construction vs Funciones BIM *Fuente* (“*The interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*” matriz que relaciona Lean con BIM(Sacks, 2010). Figura, elaboración propia.

Por tanto:

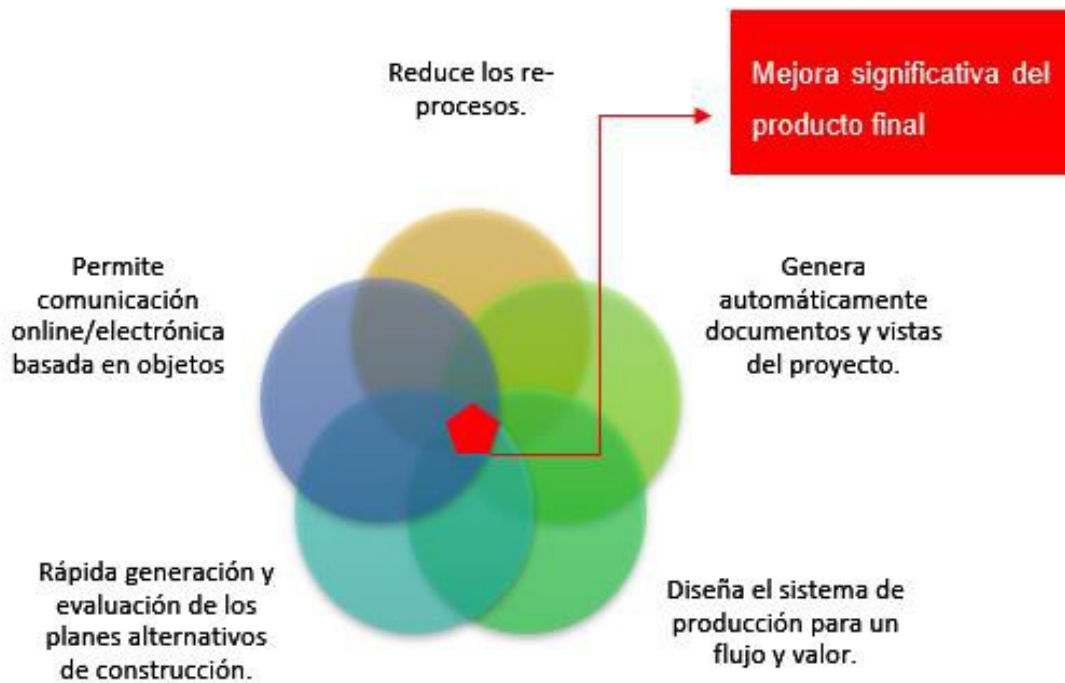


Figura. 1.4 Fuente (Chacón and Cuervo 2017). Figura, elaboración propia

Entonces, podemos concluir que el Lean Construction se dirige a cambiar nuestra forma de pensar, mientras que BIM nos permite cambiar nuestra forma de hacer las cosas.

1.3 Uso

1.3.1 A nivel Internacional

A nivel mundial los principales exponentes de la metodología BIM son: Estados Unidos, Finlandia, Canadá, Australia, China y Singapur.



Figura. 1.5 Uso de BIM en el mundo. Fuente <http://www.cadbim3d.com/2015/06/el-bim-sigue-avanzando-en-el-mundo.html>

1.3.1.1 En América

- **Estados Unidos:** En 2003 la General Service Administration (GSA) lanzó una iniciativa para el uso del BIM 3D y 4D junto con the Public Building Service Office of Chief Architect. Este programa tenía por objetivo promover las tecnologías sobre modelado digital, optimización y simulación para mejorar la calidad y eficiencia sobre la construcción durante todo el ciclo de vida. Desde el año 2007 la GSA pide modelos BIM como requerimiento mínimo para la presentación de proyectos. La GSA desarrolló las guías BIM Guide Overview respecto las temáticas siguientes: 3D- 4D-BIM Overview, Spatial Program Validation, 3D Laser Scanning, 4D Phasing and Energy

Performance and Operations. The US Army Corps of Engineers (USACE), también publicó el camino de ruta hacia el BIM en el año 2006, en el cual basaba los flujos de trabajo en el sector de la construcción mediante el software Bentley. (Chacón & Cuervo, 2017)

Según un análisis de la revista “The Economist Magazine” los errores, ineficacias y retrasos en obras ascienden a \$200 mil millones de los \$660 mil millones que son invertidos anualmente en el sector de la construcción.

Es por ello que según la encuesta de la compañía McGraw-Hill Construction evidencia el creciente aumento de profesionales que se suman a esta tecnología dejando a Europa rezagada en su tardía aplicación, tal es el caso que han pasado del 28% en 2008, al 71% los usuarios que actualmente se basan en el BIM para la realización de proyectos.

- **Canadá:** Su nivel de estudio sobre el tema le ha permitido incluso crear entes encargados de facilitar el uso coordinado de la metodología BIM en el proceso constructivo completo de los edificios y zonas edificables, como es el caso del Instituto BIM en Canadá (IBC). —Sus organizaciones socias fundadoras representan sectores específicos de la industria que tienen un gran interés en ver BIM aplicado de una manera masiva y a un ritmo de crecimiento acelerado (Puche y Humberto, 2014: 8)(Alzate, 2017)
- **Colombia:** No ha sido un país ajeno al proceso de implementación de BIM en el sector de la construcción, sin embargo, el uso de las herramientas BIM se ha enfocado básicamente a la ejecución de rendes y visualizaciones 3D. La llegada de BIM ha despertado un interés en el ámbito académico y se han venido desarrollando diversas investigaciones que según (Mojica y Valencia, 2012: 36), se han dado desde dos enfoques principales. —El primero de ellos agrupa propuestas de esquemas de trabajo, diagramas de flujo y metodologías de implementación de BIM en el medio colombiano, de corte

teórico, basados en la recopilación de la información. El segundo enfoque, propio de los grupos de investigación, se soporta en los esfuerzos prácticos de implementación de alguna metodología BIM que conlleve a la generación de modelos paramétricos con diferentes alcances (3D, 4D y 5D). El fenómeno de la implementación de BIM emerge desde las principales universidades del país, entre las cuales se encuentran Eafit, Andes y Javeriana. Se utiliza esta tecnología con el objetivo de mejorar la etapa de construcción de los proyectos, mediante el mejoramiento de cálculo de cantidades, la simulación de procesos constructivos y la programación de obra. (Alzate, 2017)

1.3.1.2 En Europa y Asia: Fuente (Chacón & Cuervo, 2017) & (Pitarch, 2015)

- **Finlandia:** Este país es actualmente el más avanzado en la implementación de la metodología BIM en el sector de la construcción. En Finlandia se requiere el uso del BIM desde el año 2007 con la presentación de cualquier proyecto en formato IFC, y tienen por objetivo llegar al Nivel 3 (Integrated BIM) durante los próximos años. La empresa estatal finlandesa The Senate Properties, creó las guías COBIM, predecesoras de las UBIM españolas
- **España:** La asociación Building Smart Spanish Chapter, lanzó en 2014 la primera guía de protocolos BIM en español abierta a todos los profesionales interesados, la Guía uBIM, utilizando como referencia las guías COBIM finlandesa, que son una serie de documentos con una iniciativa para la estandarización del BIM en el sector de la construcción de habla española, de gran utilidad para poder afrontar proyectos en este formato con los estándares de trabajo requeridos y la elaboración efectiva de los mismos. En julio de 2015 el Ministerio de Fomento constituye la Comisión para la implantación de la metodología BIM en España. En ella se establecen las bases y la hoja de ruta para el uso obligatorio del BIM en licitaciones públicas tanto de edificación como de infraestructuras para el año 2018 y 2019 respectivamente.

- **Reino Unido:** La crisis económica obligó al gobierno de UK desarrollar nuevas estrategias para controlar los costes de la construcción. En 2011 se publicó un tratado en el cual se obligaba a la colaboración en 3D BIM para el año 2016 (Nivel 2). El gobierno del Reino Unido ha publicado los AEC (UK) BIM Protocol y el Government Construction Strategy.
- **Noruega y Suecia** también tiene un gran nivel de desarrollo implementando BIM desde la universidad.
- **En Dinamarca** los proyectos públicos de más de \$1Millon de dólares exigen BIM
- En el área de centro y este de Europa están empezando emplearse de una manera activa.
- **Irán:** La Irán Building Information Modeling Association (IBIMA) comparte los recursos y conocimiento con la industria, para colaborar en los procesos de toma de decisiones.
- **China:** Con el apoyo del gobierno siendo incluido en el 12º plan quincenal e impartiendo la metodología en la universidad. Hay que tener en cuenta que en este país el sector de la construcción cuenta con mucho movimiento y capacidad de inversión actualmente lo que ayuda a su implementación.
- **Corea del Sur:** El servicio de contratación pública de Corea del Sur también asume el objetivo de usar BIM en todo lo proyectos público y en todo el proyecto de más de 50 millones de dólares para el 2016.
- **En Singapur:** El gobierno también apoya estas metodologías. En 2008 lideró una plataforma para poder realizar la entrega de proyectos realizados con la tecnología BIM de electrónica. Y además exige entregar todos los proyectos del sector público en BIM a partir del 2015

1.3.2 En Cuba

Aunque en Cuba la metodología BIM no es ampliamente utilizada como en otros países del mundo, si existe el deseo de investigación y desarrollo de esta tecnología partiendo de la capacitación para egresados de la carrera, evidenciada en la

disposición que tienen las universidades del país en la aplicación de este modelo teórico en la formación de los estudiantes y profesionales. Así lo demuestra el informe de la sesión científica: tecnología BIM en el marco del VIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos, desarrollado del 24 al 26 de septiembre 2018 en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI). En el que “se concluye que las dos posibles formas de integrar estos conocimientos, con un trabajo continuado de los participantes en la sesión, es a través del proyecto de implementación del BIM en la construcción y el programa del especialista BIM como posgrado, este último puede desarrollarse con mayor agilidad con la participación de los interesados, aunque también puede formar parte del proyecto”(Delgado, 2018)

Es importante resaltar que existen provincias en las que el descubrimiento de esta nueva tecnología ha abierto la puerta a beneficios palpables con la aplicación de la misma, entre ellas figuran:

- Cienfuegos: Es una de las provincias junto con Matanzas y la Habana donde se han recogido mejores resultados y experiencias positivas a través de la empresa IDEAR y el uso del Software Autodesk Revit ® donde se empieza a aplicar en septiembre de 2017 y en la actualidad, más de 5 proyectos han sido solventados mediante esta tecnología que según la ponencia del Msc.Arq Lázaro Abel Acosta Monzón en la XII Conferencia Internacional Científico - Técnica de la Construcción se han logrado, en proyectos de la empresa utilizando tecnología BIM, disminuir en un 70% -80% los tiempos en etapas tempranas del proyecto y se ha ganado mayor calidad y coherencia en trabajos de equipo. Aunque se continúa en el perfeccionamiento y la capacitación del resto de proyectista para avanzar a etapas posteriores con el modelo de implementación de la empresa que incluye un curso y programas de formación “Se estima que en un periodo inferior a 2 años todo el personal propuesto trabaje con el programa y quede listo para el trabajo colaborativo. De manera que el beneficio se traduzca en ahorro de plazos de desarrollo de proyectos, costes de persona, eficacia de la organización,

costes que se evitan e intangibles no cuantificables como las mejoras de comunicación y coordinación entre los diferentes agentes intervinientes. ”
(Monzón, 2017).

- Matanzas: La Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas (EMPAI), destinado al desarrollo del polo turístico de Varadero en el año 2014, fue la primera entidad de su tipo en el país en implementar el uso de este software y durante la última Feria Internacional del Ministerio de la Construcción (Fecons 2018) fueron reconocidos con el Premio de Calidad por el Servicio a la Construcción, gracias a la utilización de dicha herramienta digital. La EMPAI alcanzó el éxito con esta tecnología al diseñar el teatro de animación del complejo hotelero Las Conchas. Ese objeto de obra marcó el punto de partida y hoy son cinco grandes inversiones entre los que destaca la construcción del nuevo hotel Internacional y el complejo hotelero Oasis las que se ejecutan en esa ciudad-balneario bajo el sello de ese instrumento

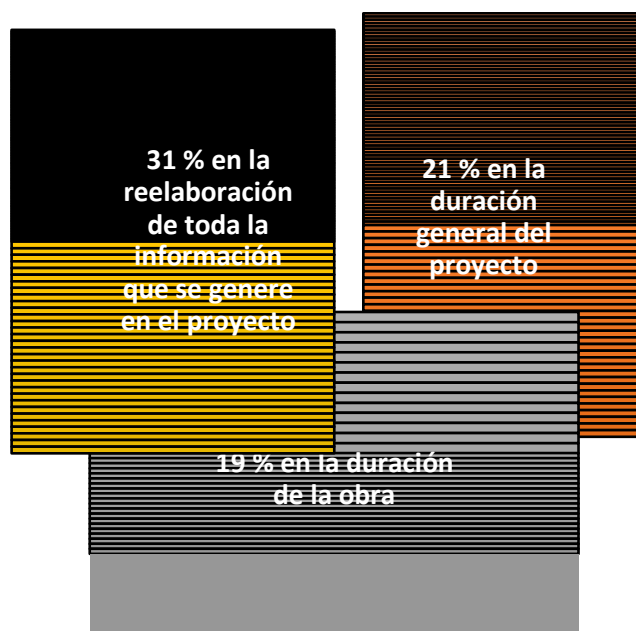


Gráfico 1.6- Porcientos estimados de la reducción de tiempos en obra, datos aportados por el especialista principal de la EMPAI Matanzas.(Rodriguez, 14 mayo, 2018) fuente www.tvyumuri.icrt.cu). Gráfico, elaboración Propia

- La Habana: Los mayores avances en estas provincias son de la mano de la empresa francesa de construcción BBI (Bouygues Bâtiment International), la cual dedica el 100% de sus esfuerzos en la isla para el desarrollo de la industria hotelera utilizando el sistema BIM, bajo el manual Estándar BIM-BBI Cuba fruto del trabajo del arquitecto peruano José Manuel Galfré y su equipo. La empresa trabaja en grandes proyectos hoteleros como el Hotel Packard en Prado, recientemente inaugurado y que será administrado por el grupo Iberostar y también en el icónico hotel Prado y Malecón que será gestionando a dos manos entre la nacional Gaviota y la francesa Accor.(CaribbeanNewsDigital, 2017)

“Tanto Packard como Prado y Malecón fueron trabajados en el sistema BIM. En La Habana, además se trabaja con otros proyectos como el Gran Hotel y el Regis, también en Prado (...) Hay un plan de desarrollo para La Habana por parte de nuestros clientes con varios proyectos en Habana Vieja, Miramar y Vedado. Extendiendo el servicio hotelero en la ciudad.”(Galfré, 2017)

- Villa Clara: La empresa CCrea se destaca en el trabajo en equipo y la compatibilización entre especialidades, así como con los especialistas de la construcción, apoyados en la implementación y desarrollo de softwares de plataforma BIM (Modelado de Información para la Edificación) en el sistema de gestión de proyecto desde finales del 2008, siendo pioneros en el país, agilizando el proceso de diseño y la calidad del producto final. En este aspecto el Grupo se ha hecho eco transmitiendo los conocimientos desarrollados, extendiéndolos hasta la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV), asumiendo asignaturas en años terminales de la carrera de arquitectura y a especialistas de otras entidades interesados en el tema. (Landa, 2017)

1.4 Softwares:

1.4.1 Softwares BIM:

Existen innumerables softwares BIM ya sea para la modelación 3D o diseño como para la organización de obra y presupuesto del proyecto, en la tabla 1.7 se muestran los más utilizados y su desarrollador:

Programa	Desarrollador
Revit ®	Autodesk ®
ArchiCAD®	Graphisoft®
Tekla Structures®	TEKLA®
CypeCAD®	CYPE ingenieros S.A®
Synchro Pro ®	Synchro Software®
Navisworks®	Autodesk®
Scia Engineer®	Scia®
AllPlan®	Allplan GmbH®
Sap2000®	Sap2000®
ETABS®	CSI®

Tabla 1.7 Softwares BIM más utilizados en el mundo. Tabla, elaboración propia.

Destacándose como programas líderes a nivel mundial en el diseño estructural: ArchiCAD®, Revit®, Tekla®, ETABS®, Scia Engineer® y CypeCAD®.

1.4.1.1 Historia del programa Tekla Structures®:

Tekla® es una empresa de ingeniería de software especializada en el diseño y redacción en 2D y 3D. La compañía comenzó sus operaciones el 1 de julio de 1966. Esta compañía es un socio registrado de Microsoft. Tekla® al igual que otra compañía trabajaba con la tecnología CAD, pero actualmente se centra en el desarrollo de la tecnología BIM. El programa Tekla Structures® es un software en 3D BIM que permite emplear modelos estructurales, navegar a su alrededor en tiempo real y revisar el modelo utilizando herramientas incluidas en él. Este software está enfocado en el diseño estructural, del que los arquitectos pueden prescindir un poco, porque en realidad no está pensado para la arquitectura. Cuenta con una inmensa biblioteca de materiales y propiedades específicos que pueden ser empleados en el diseño de una estructura. Además, sus funciones abarcan la gestión y control de la obra administrando y rastreando el estado del proyecto. Las vistas personalizadas permiten al usuario crear y cambiar información adjunta a objetos de construcción. Funciones que integra el programa son la creación de cuadros eléctricos, refuerzo de modelos, crea conjuntos de piezas de acero, crea unidades de fundición de piezas de hormigón, visualiza los modelos con un navegador de internet, importa y exporta datos gráficos 2D, 3D en DXF, DGN, DWG y IFC, crea informes (horarios e informes de costes) etc. Hoy Tekla® tiene clientes en más de 80 países (Sato, 2018)

1.4.1.2 Historia del programa ArchiCAD®:

La empresa húngara Graphisoft desarrolló ArchiCAD® que hoy es un software arquitectónico BIM-CAD en plataformas Windows y Mac OS. Su aparición data de 1982, reconocido como el primer producto CAD capaz de crear dibujos 2D y 3D en una computadora personal. ArchiCAD® permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos, representaciones en 2D y 3D, siendo exportables en cualquier

momento, los proveedores de terceros y algunos fabricantes de productos arquitectónicos han compilado bibliotecas de componentes arquitectónicos para su uso en ArchiCAD®. Este software incluye un lenguaje de descripción geométrica (GDL) utilizado para crear nuevos componentes de esta manera si un usuario desea crear un nuevo elemento, puede hacerlo. Las funcionalidades de ArchiCAD® permiten exportar e importar en DWG, DXF e IFC entre otros, almacena la información del edificio en una base de datos centralizada cualquier cambio realizado en el modelo se actualiza automáticamente en todos los demás, los elementos estructurales y otros como puertas, ventanas y columnas reaccionan con su entorno de modo que si hay algún conflicto el programa lo detectará muy fácil y rápidamente. Los documentos de construcción se pueden derivar automáticamente del modelo de edificio virtual, lográndose menores tiempo y alta eficiencia.(Sato, 2018)

1.5 OpenBim, Building Smart e Interoperabilidad:

1.5.1 Open BIM:

Es un enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operativa de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos. Open BIM es una iniciativa de varios vendedores de software que utilizan el sistema abierto de Building Smart Data Model. El programa Open BIM Program es una campaña de marketing iniciada por GRAPHISOFT®, Tekla® y otros miembros del Building Smart para animar y facilitar la promoción global coordinada del Concepto Open BIM a través de la industria AEC, con comunicación lineal y marcas comunes disponibles a los participantes del programa.(Graphisoft®www.graphisoft.es, 2019). Facilita así el trabajo colaborativo entre proveedores de diferentes softwares en una interacción común.

1.5.2 Building Smart e Interoperabilidad:

1.5.2.1 Building Smart:

La Building Smart es la asociación internacional sin ánimo de lucro compuesta por los agentes del sector de la construcción para fomentar la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM y de modelos de negocio orientados a la colaboración para alcanzar nuevos niveles en reducción de costes y plazos de ejecución.(Astobiza, 2013)

1.5.2.2 Interoperabilidad:

“La habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada” (IEEE, 1990)

La interoperabilidad es la capacidad de transmitir datos entre aplicaciones, y para múltiples aplicaciones contribuir conjuntamente a la obra que nos ocupa. Interoperabilidad, como mínimo, elimina la necesidad de copiar manualmente los datos ya generados en otra aplicación (Eastman et al., 2011:100).

La interoperabilidad es prerequisite para hacer multi-dimensional a BIM. Tanto la obtención de cantidades de obra como los costos y los análisis de eficiencia energética, ventilación, iluminación, eficiencia térmica, entre otros, requieren de intercambio de información común entre programas especializados para cada tarea. Adicionalmente las posibilidades no se limitan a los programas producidos por una única compañía de diseño de software. Hay múltiples formatos asociados a BIM que sirven para exportar archivos digitales entre software de diversos fabricantes. De esta forma un modelo paramétrico creado inicialmente en un producto Revit puede ser exportado a Tekla®, ArchiCAD® o Bentley Architecture® para generarle cambios. La interoperabilidad de BIM está en constante evolución y ha sido una de las limitaciones principales en su desarrollo, el costo de interoperabilidad adecuada para la industria AEC de Estados Unidos fue de US \$ 15.8 billones según un reporte

de The National Institute of Standards and Technology (NIST) publicado en 2004 (Eastman et al., 2010). Este tipo de deficiencias propias de las herramientas BIM se han contrarrestado con normativas especificadas en el NBIMS-US del 2011 (National BIM Standards).(Arboleda & Rivera, 2012)

1.5.3 Extensión IFC:

El principal beneficio del archivo IFC (Industry Foundation Classes) como formato de archivo es la descripción que contiene del objeto. No solo preserva el total dimensionamiento y descripción 3D, sino que sabe la localización del objeto y sus interacciones con el entorno, así como todas las propiedades o parámetros (modelo paramétrico) de cada objeto en cuestión. Con la importación/exportación del fichero IFC, ArchiCAD® puede comunicarse con un amplio rango de aplicaciones de estructura mecánica y análisis de energía. Muy importante es considerar que tipo de información se va a exportar a las diferentes disciplinas así por ejemplo un ingeniero estructural puede desear la información del comportamiento de las cargas en el edificio, mientras un consultante HVAC necesitará un modelo más rico en información interna del mismo. ArchiCAD®, por ejemplo, te permite filtrar la información antes de exportarla. Una opción predefinida pero personalizada con traductores ayudan a aplicar al modelo en IFC cambios de ajustes lo más fácil posible.(Graphisoft®, 2012)

1.6 Ciclo de vida del Modelo BIM

La metodología BIM contempla el concepto de ciclo de vida desde las primeras fases de concepción de un proyecto constructivo, es decir, el edificio se puede estudiar tanto en la fase de diseño, la de construcción e incluso también la de explotación, buscando que sus futuros usuarios puedan acceder a toda la información necesaria para planificar, por ejemplo, el mantenimiento y la reparación de todas las instalaciones en un momento determinado. (Alzate, 2017). Así se puede afirmar que —BIM tiene un uso potencial en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto: puede ser utilizado por el propietario para entender las necesidades

del proyecto, por el equipo de diseño para analizar, diseñar y desarrollar el proyecto, por el contratista para gestionar la construcción del proyecto y por el gerente de la instalación durante las fases de operación y desmantelamiento (Bryde et al., 2013:974)

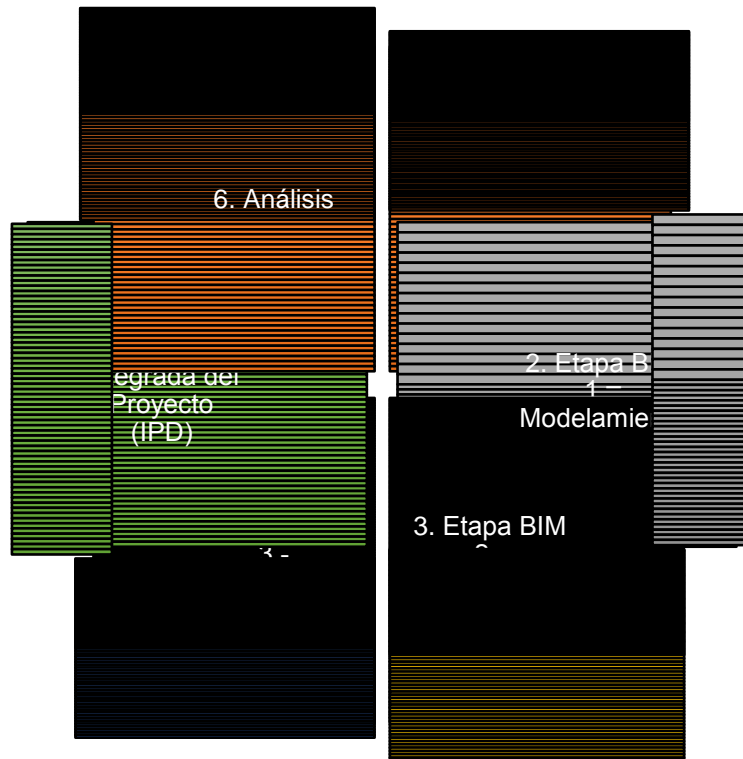


Gráfico 1.8. Etapas de un proyecto BIM. Fuente (Succar, 2008). Gráfico, elaboración propia.

1.7 BIM en la dirección integrada de proyectos:

De acuerdo a (Succar 2008), la entrega integrada de proyecto representa la visión a largo plazo a la que debe apuntar BIM mediante la fusión de las tecnologías, procesos y políticas. La entrega integrada de proyecto es un enfoque que integra personas, sistemas, estructuras de negocios y prácticas en un proceso que colaborativamente aprovecha los talentos e ideas de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, incrementar valor para el dueño, reducir

desperdicio y maximizar la eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.(Aponte, 2016)

Las soluciones integradas de diseño ayudan a perfeccionar la colaboración y comunicación, soporte de decisiones y en posesos de trabajos con mayor integración horizontal, vertical y temporal de datos e información.

BIM Manager: Encargados de la coordinación y gestión del Proyecto. Serán los que vigilaran las interferencias, así como los que desarrollarán la planificación y el presupuesto. Será muy importante que los integrantes del grupo tengan formación en liderazgo, pues serán los responsables de detectar las colisiones de elementos y poner en marcha su modificación. Esto puede suponer momentos de tensión debido a que algún grupo no quiera modificar sus trazados y haya que negociar, algo muy habitual en la vida real.(F. C.-G. López, 2016)

1.8 Alcance y Proyección:

1.8.1 Siete dimensiones BIM

La dimensión del BIM comienza con la representación 2D, una representación planimetría del objeto de obra que más tarde se transforma en 3D gracias al desarrollo de aplicaciones de software. Los modelos en 3D-BIM nos permiten visualizaciones que incorporan diferentes parámetros, es decir que ya no solo se basa en la visualización gráfica y espacial, sino que también se suman aspectos como el tiempo y el costo. Esto referido al modelamiento 4D y 5D.(Ojeda, 2016). Una de las grandes innovaciones del sistema BIM es poder pensar en 4 nuevas dimensiones teniendo así la 4D para tratar el tiempo de un proyecto y el 5D para estimar el costo de producción del mismo, incorporadas en el período 2000/2002 aportan un gran valor a la hora de planificar la obra. A partir del año 2013 se empiezan a considerar dos dimensiones más, la 6D (Green BIM) o sostenibilidad y la 7D (Facility Managment) gestión del ciclo de vida del proyecto. No es de asombrar

entonces que se hable en la actualidad sobre dimensiones 8D, 9D y 10D en un sistema que se centra en la recopilación y uso efectivo de la nueva información.

Estos aspectos van manteniendo una relación constante, por lo que llevan un manejo así de específico, se agiliza los procesos, y mejor aún, ayuda a determinar cómo se está llevando a cabo el proyecto; es decir, es fácil predecir si se generarán atrasos y de la misma forma determinar las posibles soluciones y acciones a tomar para evitar que esto suceda.(Ojeda, 2016)

1.8.1.1 Los beneficios que aporta cada dimensión del BIM son:

Dimensión 4D:

- Permite la asignación a cada elemento en obra de una secuencia de construcción
- Se controla la dinámica del proyecto de esta forma somos capaces de controlar con tiempo un imprevisto en la obra diseñando el adecuado plan de ejecución a través de simulaciones de las diferentes etapas del proyecto, aumentando la efectividad de los plazos previstos en el inicio.

Dimensión 5D:

- Eleva el nivel de control sobre la información financiera y contable.
- Mejora significativamente la rentabilidad y cumplimiento de costos iniciales de la obra

Dimensión 6D:

- Aumenta los valores de sostenibilidad del edificio.
- Brinda información de interés sobre el comportamiento de la construcción mucho antes de tomar decisiones definitivas y antes de

la ejecución, teniendo en cuenta aspectos como su situación, orientación, conductividad térmica de los materiales empleados, etc.

- Su objetivo general es reducir a niveles récords el consumo de energía de la obra siendo más eficiente y con el análisis que brindan softwares específicos en el tema.

Dimensión 7D:

- Facilita el trabajo en la etapa de mantenimiento de la obra durante la vida útil del edificio mediante un modelo As-Built.
- Brinda la información relacionada al estado de las instalaciones, manuales de uso, garantía de los productos utilizados. (Impararia, 2015)



Figura. 1.9 Dimensiones del BIM. Fuente: www.ndimensionsbim.com

1.8.2 Criterio de constructabilidad que aporta el BIM:

Sobre este tema se habla mucho a nivel mundial en como el criterio de constructabilidad favorece los costos desde edades tempranas del proyecto.

Normalmente, los ingenieros civiles diseñan considerando el cumplimiento con el código, no la constructabilidad. Pero las interpretaciones incorrectas sobre el propósito de los diseños hechos en campo debido a documentación ambigua pueden provocar retrasos en el calendario, peticiones de modificación y solicitudes de información después de iniciada la construcción. Considere un proyecto típico de construcción de una nueva autopista con puentes y enlaces, con un presupuesto de 100 millones de dólares. En general, entre 7 y 8 por ciento de esto se destinará al desarrollo del diseño. Reducir el gasto en el diseño un 35 por ciento, con un proceso más productivo, ahorra 2.6 millones de dólares. Pero reducir la parte de construcción un 15 por ciento al considerar la constructabilidad durante la etapa de diseño ahorra cerca de 14 millones de dólares. Y estos ahorros no toman en cuenta los procesos legales que surgen a causa de errores en campo. Diseñar para la constructabilidad puede ayudar a reducir estos errores antes de que se conviertan en un problema.(Strafaci, 2008)

1.8.3 Proyección del BIM

La gerencia BIM como sistema de gestión para proyectos de construcción tomará la forma de paradigma para este sector de la industria en un mediano plazo. La iniciativa la tienen las empresas vendedoras de software y le han seguido algunas universidades interesadas en dar la mejor formación posible a sus estudiantes.(Aponte, 2016).

De esta manera se ve cómo las empresas y profesionales aumentan su implicación en el tema desarrollando plataformas tecnológicas y metodologías que mejoran los procesos en desarrollo de sus proyectos, así como que el avance de la tecnología está progresando más rápidamente. BIM es hoy una tecnología relativamente nueva en un sector que demora en asimilar cambios, no obstante, sus clientes y usuarios piensan en el BIM como la tecnología que crece para jugar un papel aún más detonante del que fue hace unos años la tecnología CAD.

1.9 Ventajas y Limitaciones

1.9.1 Ventajas:

Etapas de Planificación:

- BIM contribuye a facilitar la definición de los requisitos de proyecto y su aceptación como bases del diseño, ejecución y explotación de los distintos intervinientes.
- Puede usarse en estudios previos de planeamiento, mediante modelos volumétricos que permiten estudiar la viabilidad de los proyectos aunando información relativa al programa funcional, los sistemas constructivos, su coste y el análisis de su ciclo de vida.

Etapas de Diseño:

- Requerimiento de información actualizada en cualquier lugar y en tiempo real.
- Sustentabilidad.
- Posibilita el diseño según características.
- Mayor interacción modelo-diseñador.
- Facilita el diseño según criterios no formales.
- Disminución de errores.
- Trabajo multiusuario y multidisciplinario eficaz.
- Detección de interferencias de elementos constructivos.
- Interoperabilidad del archivo IFC.
- Parametrización de cada elemento del modelo.
- Detección anticipada de problemas o interferencias en el diseño, estas son evaluadas a través de una construcción digital.
- Nivel de detalle de la visualización geoespacial.

- Rápida generación de múltiples alternativas de diseño en donde los diseñadores pueden manipular eficientemente la geometría manteniendo la coherencia del diseño.
- La generación automática de dibujos y documentos, con sólo algunos datos de entrada se pueden tener dibujos y documentos de manera automática
- Permite realizar una auditoría del proyecto con mayor seguridad y eficiencia.
- Permite la disminución de riesgos en materia de seguridad y salud, mediante la simulación de las actividades críticas, la eliminación de aquellas que sean claramente identificadas como innecesarias y la propuesta de alternativas que permitan minimizar el riesgo

Etapas de Construcción:

- Aumento de la productividad.
- Mayor fiabilidad y calidad en los procesos.
- Disminución de tareas mecánicas.
- Aumento del control de la obra.
- Visualización de animaciones y maquetas de la obra en la fase deseada del proyecto.
- Manejo de cantidades de obra y presupuesto.
- Manejo de los proveedores.
- Disminución de los tiempos de ejecución.
- Disminución de la incertidumbre en los presupuestos de obra.
- Se logra controlar el uso de las instalaciones temporales en obra.
- Se evita el cruce con otras instalaciones y se reduce el sobre costo por el control de las instalaciones que consumen recursos monetarios en función del tiempo

Etapas de Mantenimiento:

- La constante actualización del modelo, permite la identificación y definición de los trabajos de mantenimiento necesarios y facilita su planificación.
- Base de datos en el modelo para la administración, facilitando esta tarea.
- Los modelos cubren todo el ciclo de vida de un proyecto.
- Modelos As Built, permiten realizar modificación/ ampliaciones futuras con toda la información in situ.
- Disminución en el manejo de planos.

Fuente: (Aschraft, 2007), (Eastman, 2008), (Sacks, 2004) & (J. G. López et al., 2016)

En términos numéricos según un análisis recogido en la exposición de Sebastián Zaje en la conferencia BIM (Modelos de información para la construcción) (Zaje, 2011), perteneciente a Autodesk con la utilización de la metodología BIM se ahorra:

- Hasta un 40% en eliminación de cambios no presupuestado.
- Hasta un 80% en reducción de tiempos para calcular costos estimados.
- Estimación de costos con margen de error inferior al 3%.
- Ahorro de hasta un 10% del valor del contrato a través de detecciones de choques.
- Hasta un 7% de reducción en el tiempo del proyecto.

Siguiendo estos valores teóricos y comparándolos con valores reales obtenidos en la empresa Idear de Cienfuegos se obtiene un alto índice de confiabilidad pues los resultados reales de la empresa reflejan un ahorro de tiempo del 70% al 80 % en etapas tempranas del proyecto utilizando la tecnología BIM, según la información

recogida en la XII Conferencia Internacional Científico - Técnica de la Construcción (Monzón, 2017)

1.9.2 Limitaciones.

- Costo de adopción.
 - Cambios en la metodología personales de trabajo.
 - Información incompleta entre plataformas BIM
 - Formación exigida.
 - Falta o insuficiencia de la implementación BIM en la legislación actual.
- (Pitarch, 2015)

Conclusiones Parciales del Capítulo I:

1. Numerosos países se encuentran avanzados en el uso del BIM, de los cuales 17 ya manejan una estandarización mediante la asociación Building Smart, lo que favorece el uso y aplicación de esta tecnología en proyectos de gran envergadura sobre todo en proyectos públicos que ocupan grandes inversiones de los gobiernos involucrados.
2. Al día de hoy la complejidad de los proyectos aumenta, solicitando un mayor número de recursos o agentes involucrados.
3. La posibilidad de utilizar esta metodología sin importar la localización puede ser un motor de avance para la expansión de inversiones.
4. Las técnicas tradicionales efectivas en su momento carecen de coherencia en el trabajo multidisciplinarios, generan gastos, atrasos, imprevistos e incertidumbres en la obra, sin hablar de temas como sustentabilidad y eficiencia energética.
5. La información clara, precisa y de fácil comprensión, estimula la participación del cliente planteándose estrategias de colaboración e integración. Se logra mayor satisfacción del cliente.

6. Con empleo de la tecnología BIM en etapas tempranas del proyecto se puede ahorrar hasta en 80% de tiempo en la estimación de costos.
7. Al tratarse de proyectos multidisciplinarios, el intercambio de información entre especialidades intensifica el valor del modelo sobre todo en la identificación de errores y conflictos
8. Si bien nuestra mayor ineficiencia para la adopción de esta tecnología es el costo de inversión, es necesario la apertura de un medio de capacitación que actualice las formas y métodos de pensar en la construcción de hoy.
9. El uso y desarrollo del BIM en Cuba queda justificado, son muchas las necesidades que carece el sector constructivo cubano y pocas las soluciones ofertada por los medios competentes en términos de ahorro y eficiencia.

CAPÍTULO II: PROPUESTA DE FLUJO DE TRABAJO PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL EN LA EMPRESA CCREA

Introducción:

A nivel teórico, el proyecto arquitectónico se representa mediante un Modelo de Información que cubre todos los aspectos posibles, los cuales quedan reflejados en vistas especializadas. En la práctica, actualmente los modelos BIM más completos sólo pueden acoger las disciplinas principales de: arquitectura, estructura, instalaciones, control de costos, presentación y diseño energético. Dependiendo del grado de apoyo multidisciplinar de la aplicación BIM en concreto, los distintos perfiles profesionales podrán trabajar en mayor o menor grado directamente sobre el mismo modelo BIM, consiguiendo más eficacia. Aquellos aspectos más específicos se desarrollarán en aplicaciones concretas que podrán aprovechar la parte de la información del modelo BIM que los interese. Si la comunicación entre las aplicaciones es bidireccional, podrá devolver la información al modelo BIM para que pueda ser usada por otras disciplinas. Por ejemplo, el programa de cálculo estructural puede partir de la estructura y los cerramientos modelados con una aplicación BIM especializada en arquitectura, y también puede devolver parte del resultado de su cálculo (dimensionado de la estructura, por ejemplo) al modelo BIM para que los arquitectos lo tengan en cuenta. Podríamos decir que el Modelo de Información hace de coordinador entre los diversos profesionales que intervienen en la creación de los edificios, ya sea alojando directamente sus objetos u ofreciendo vías de comunicación controladas. Tampoco no hay que olvidar a los usuarios finales del edificio, los cuales se beneficiarán de poder disponer de información fiable acerca del inmueble que explotarán. (Picó, 2008)

Utilizando un modelo para cada una de las disciplinas, pero vinculados unos con otros no se tiene una división frente a las disciplinas a pesar de cada una trabaja en su área específica. Al tratarse de bases de datos representadas gráficamente por un

modelo tridimensional, la obtención de cuantificaciones se realiza en definitiva con mucha mayor rapidez y confiabilidad respecto al trabajo con el método convencional que se usa actualmente. Una mejor organización y la facilidad de obtener información generan un claro ahorro de tiempo y, por ende, un ahorro en los costos.

En el departamento de estructura de la empresa CCREA no existe una metodología de trabajo clara para su utilización por los ingenieros estructurales, la utilización del software ArchiCAD® para la elaboración del edificio virtual obliga a partir desde ese punto como software base, lo que representa una ventaja por las potencialidades que representa como herramienta BIM en la compatibilidad con otras aplicaciones de estructuras, instalaciones, eléctrica y mecánica.

A continuación, y basándose en el flujo de trabajo típico que propone Graphisoft se elabora la propuesta de trabajo adaptada a las necesidades de la empresa CCREA, en la solvencia del modelo estructural, ya sea en su análisis y diseño como en la elaboración detallada de uniones, cortes etc.

2.1 Previsiones y aseguramiento:

2.1.1 Servidor BIM

Partiendo de un análisis lógico lo primero que se debe tener en cuenta es la necesidad del servidor BIM.

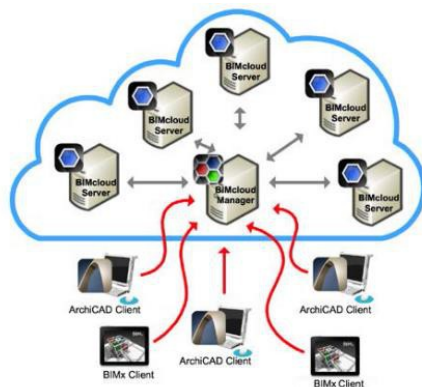


Figura. 2.1 Servidor BIM ArchiCAD y usuarios involucrados. Fuente:(Graphisoft®, 2012)

Se trata de una nube (ver figura 2.1) donde se encuentran los proyectos de la empresa en tiempo real y al que pueden acceder todas las especialidades, ya sea independientemente unas de otras o incluso pueden trabajar a la vez sobre un mismo proyecto al mismo tiempo. La existencia de este servidor es la única que asegura realmente un trabajo colaborativo entre especialidades y permite la exportación /importación del modelo en cada una de las fases del proyecto.

2.1.2 Concepto de archivo único:

Para el flujo de trabajo típico de ArchiCAD®, el modelo 3D (datos BIM) incluyendo sus representaciones (planos de pisos, secciones, vistas 3D, programación de la obra, etc.) y las hojas finales de dibujo (layouts) están todas incluidos en un solo archivo de ArchiCAD®.



Figura. 2.2 Concepto de archivo único ArchiCAD®. Fuente:(Graphisoft®, 2012)

2.1.3 Elección del Formato:

La elección del formato adecuado de trabajo se debe realizar teniendo en cuenta algunos puntos de interés (Graphisoft®, 2012):

- Debe soportar las representaciones de los elementos en 3D
- Debe ser capaz de almacenar información
- No es suficiente con que incluya una amplia base de datos, esta debe ser filtrable, para que cada disciplina pueda extraer solo la información que considere importante
- Debe cumplir los requerimientos del concepto del modelo de referencia
- EL código del formato debe estar abierto a todo desarrollador de software, necesario para asegurar la colaboración global entre programas locales, así como los más utilizados internacionalmente
- Para permitir la rápida implementación, el código debe tener un simple plan estructurado.
- En pos de que el código sea entendido e implementado en cualquier lugar del mundo, debe estar en idioma inglés.

Entre varios de los formatos disponibles, es el Industry Foundation Classes (IFC) quien reúne todos los requerimientos descritos anteriormente. Por tanto, será el formato ideal para traspasar información de un software BIM a otro.

2.2 Flujo de trabajo típico utilizando ArchiCAD® como software base:

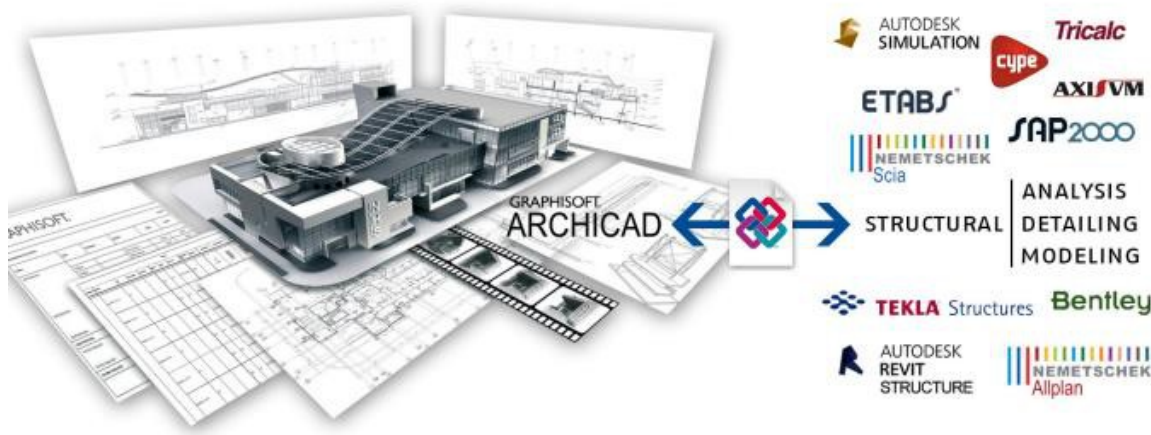


Figura. 2.3 Ambiente colaborativo ArchiCAD® con herramientas de análisis y diseño estructural. Fuente: (Graphisoft®, 2012)

Partiendo del archivo único de ArchiCAD® dado por los arquitectos que contiene toda la información del modelo arquitectónico, es necesario previamente simplificar el mismo a aspectos que consideren importantes los ingenieros estructurales. Teniendo en cuenta que objetos como macetas adornos y otros no representan importancia real a la hora de realizar el análisis del edificio.

En esta representación visual (ver figura 2.4), queda establecido el flujo típico que establece Graphisoft para la especialidad de estructura partiendo del modelo arquitectónico. Es necesario tener en cuenta la importancia que tiene el software base ArchiCAD® en el proceso debido a que todos los cambios, adiciones al modelo u otra información de importancia a la hora del diseño estructural en otro software BIM será posteriormente combinado con el trabajo colaborativo de las otras especialidades en un modelo único que será entregado al inversionista del proyecto.

- Architectural model
- Structural model
- Analysis model

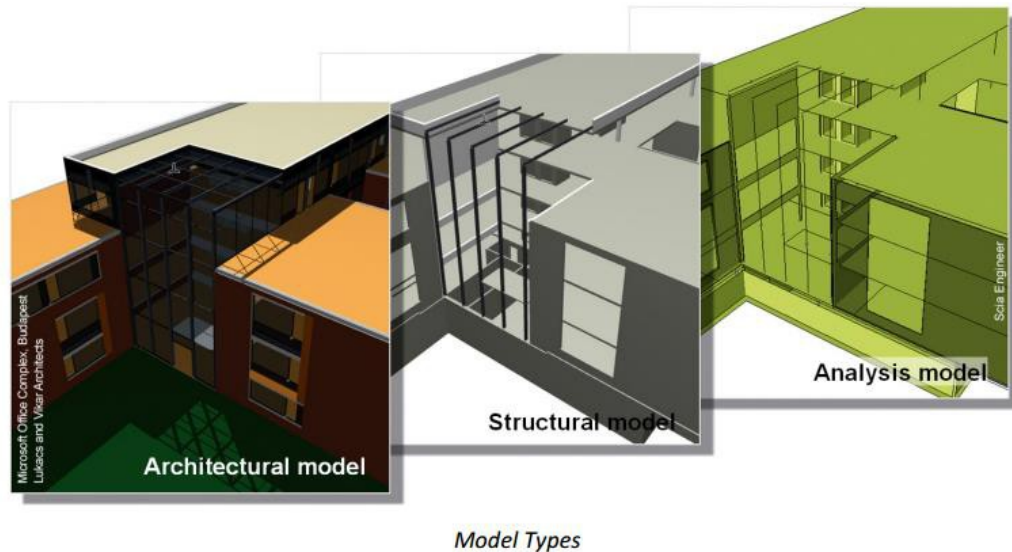


Figura. 2.4 Modelos de trabajo BIM en diferentes etapas del proyecto que propone Graphisoft. Fuente:(Graphisoft®, 2012)

2.3 Propuesta de flujo de trabajo para la elaboración del modelo estructural:

Con base en lo anterior se elabora el siguiente diagrama de flujo (ver figura 2.5) que servirá de base para la elaboración de la propuesta definitiva, dicho diagrama contiene los aspectos fundamentales de trabajo para los ingenieros, es decir los softwares elegidos deben cumplir con al menos una de estas funciones, asegurando que se cumpla el trabajo en el departamento de estructura de manera funcional.

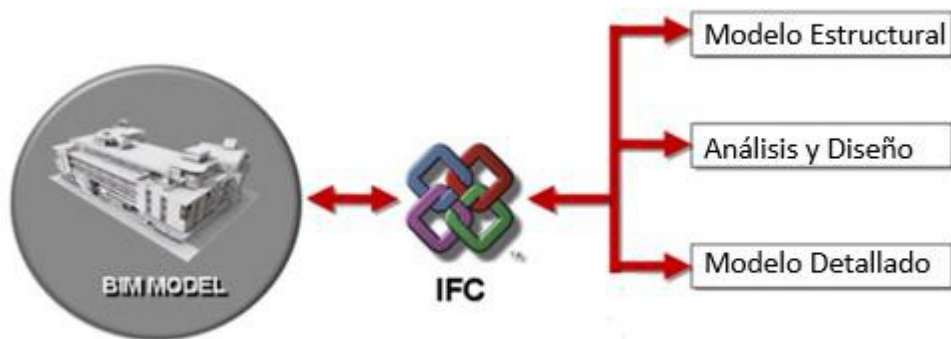


Figura. 2.5 Intercambio de información a través del archivo IFC.
Fuente:(Graphisoft®, 2012)

De acuerdo a lo ilustrado en la figura 2.3 son varios los softwares que pueden ser vinculados gracias al Building Smart con el software ArchiCAD®, la posterior selección de cada uno de ellos en la fase del modelado y diseño estructural dependerá de las necesidades de cada empresa, así como el grado de madurez del software y el previo conocimiento de estos por partes de los ingenieros estructurales de la misma.

Con el objetivo de diagnosticar las necesidades de los ingenieros, el grado de conocimiento del BIM y otros aspectos básicos para la elaboración del nuevo flujo de trabajo, se realiza una encuesta (ver anexo 1). Los resultados obtenidos reflejan que casi la totalidad de los ingenieros estructurales ven grandes potencialidades en los softwares ArchiCAD®, ETABS®, y Tekla Structures®, su conocimiento y dominio está más allá de la media en la utilización de estos, además de que esos softwares destacan a nivel mundial como líderes en su campo, ver figura 2.6.

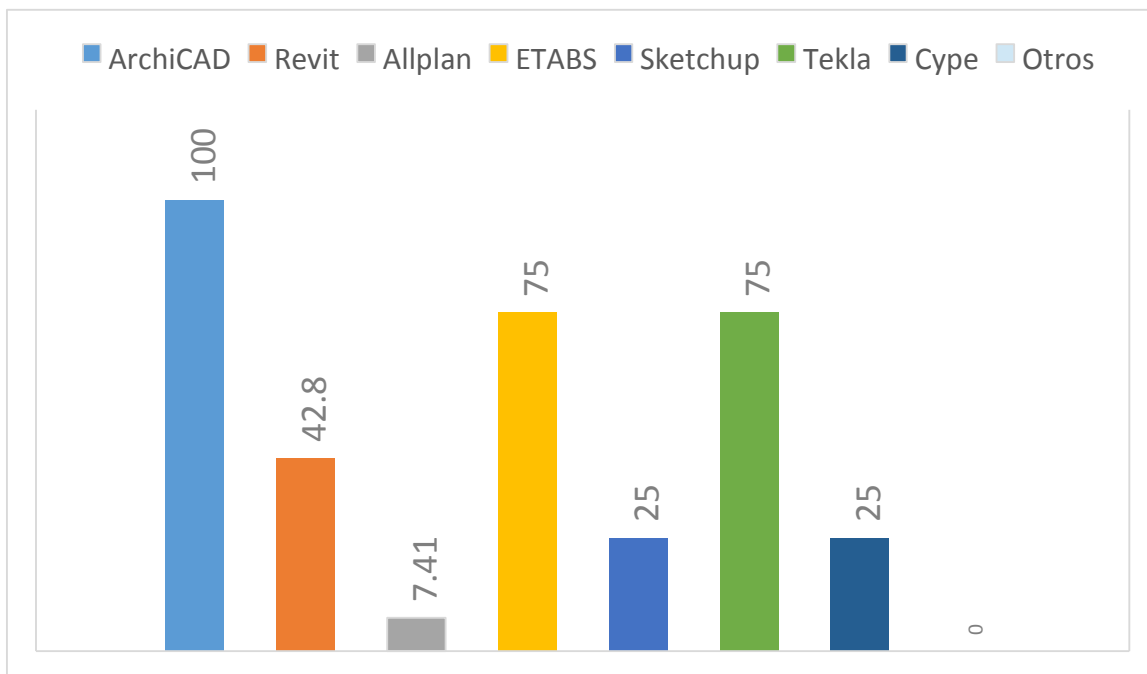


Gráfico 2.6 Herramientas BIM conocidas en el departamento de estructura de CCrea. Fuente: Encuesta (Anexo 1). Gráfico, elaboración propia

Si se realiza un análisis más profundo teniendo en cuenta la participación del resto de las especialidades de la empresa los resultados no serían muy diferentes.

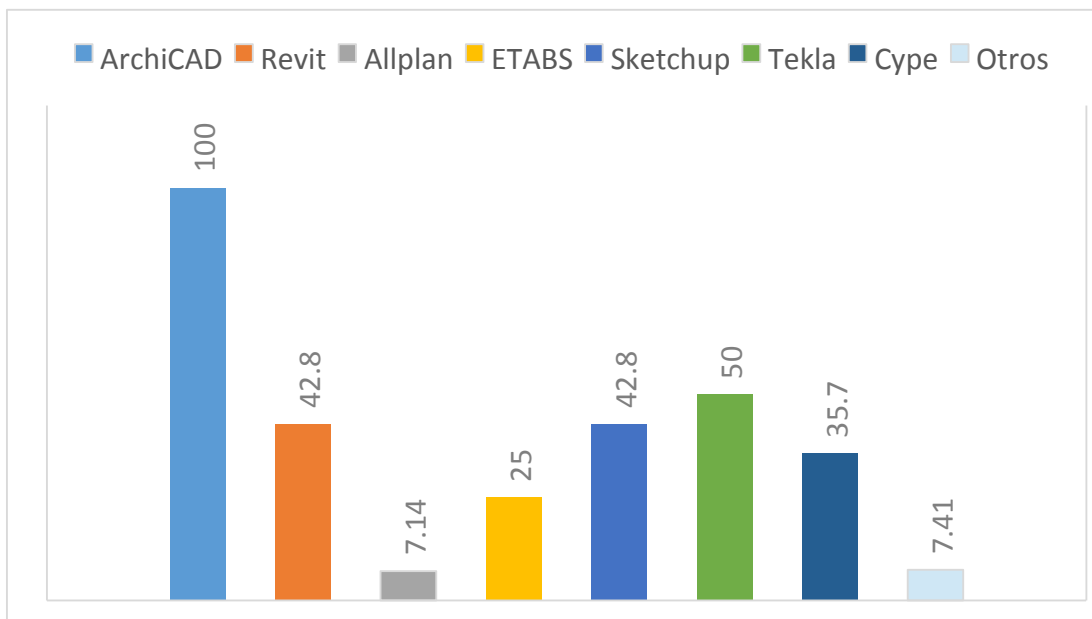


Gráfico 2.7 Herramientas BIM conocidas en la empresa CCREA. Fuente: Encuesta (Anexo 1). Gráfico, elaboración propia

Se refleja claramente el conocimiento previo que existe en los softwares ArchiCAD®, Tekla®, Cype® y Revit®, además, se aprecia como a nivel de empresa el conocimiento del software ETABS® es mucho menor (ver figura 2.7), justificado en que este, es un software netamente estructural, su uso no es ni siquiera básico en otros departamentos de la empresa ya que no proporciona las herramientas para la arquitectura o la eléctrica del proyecto, por ejemplo.

Más allá del conocimiento básico que tienen los ingenieros estructurales en estas herramientas, es importante conocer cuáles son las herramientas BIM que más utilizan en la empresa a la hora de gestionar un proyecto/obra ya sean exigidas o no por su director de proyecto (Ver gráfico 2.8).

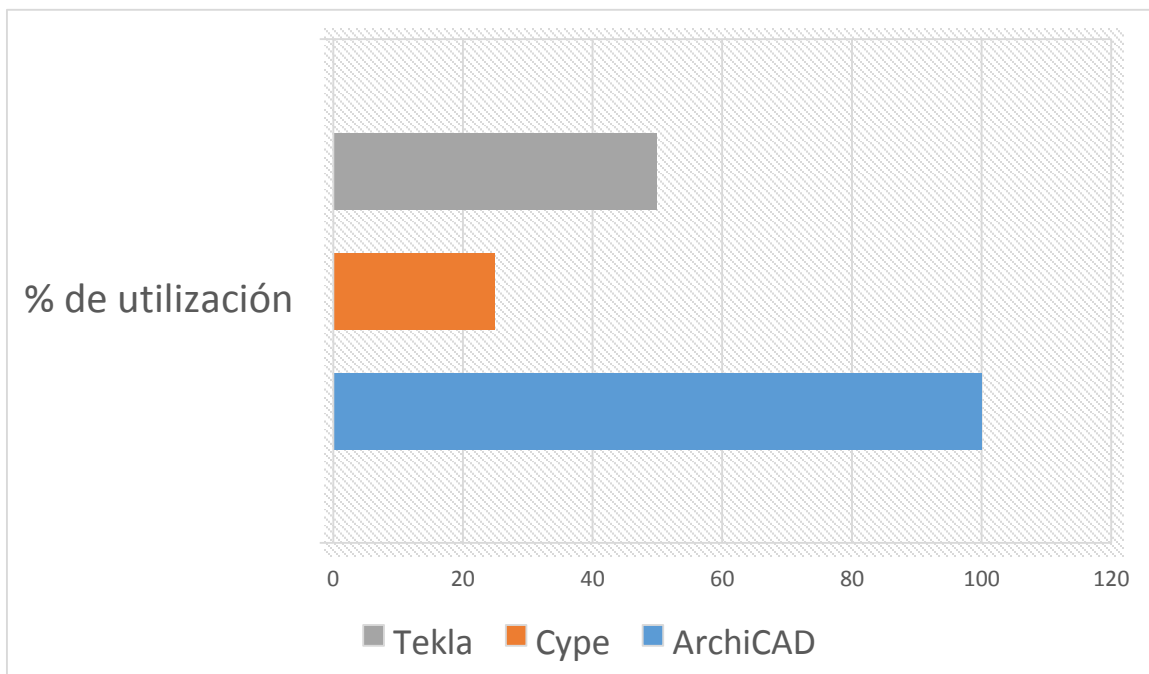


Gráfico 2.8 Herramientas implementadas en la empresa y % de utilización en un proyecto (Departamento de Estructura). Fuente: Encuesta (Anexo 1). Gráfico, elaboración propia

Por último, se realiza un análisis para determinar en cada fase del proyecto (incluso en la fase de organización de obra, meta a alcanzar por la empresa y que vincula la 4ta y 5ta dimensión del BIM), el grado de importancia que le otorga cada especialidad a los softwares que mejor resuelven sus necesidades de trabajo.

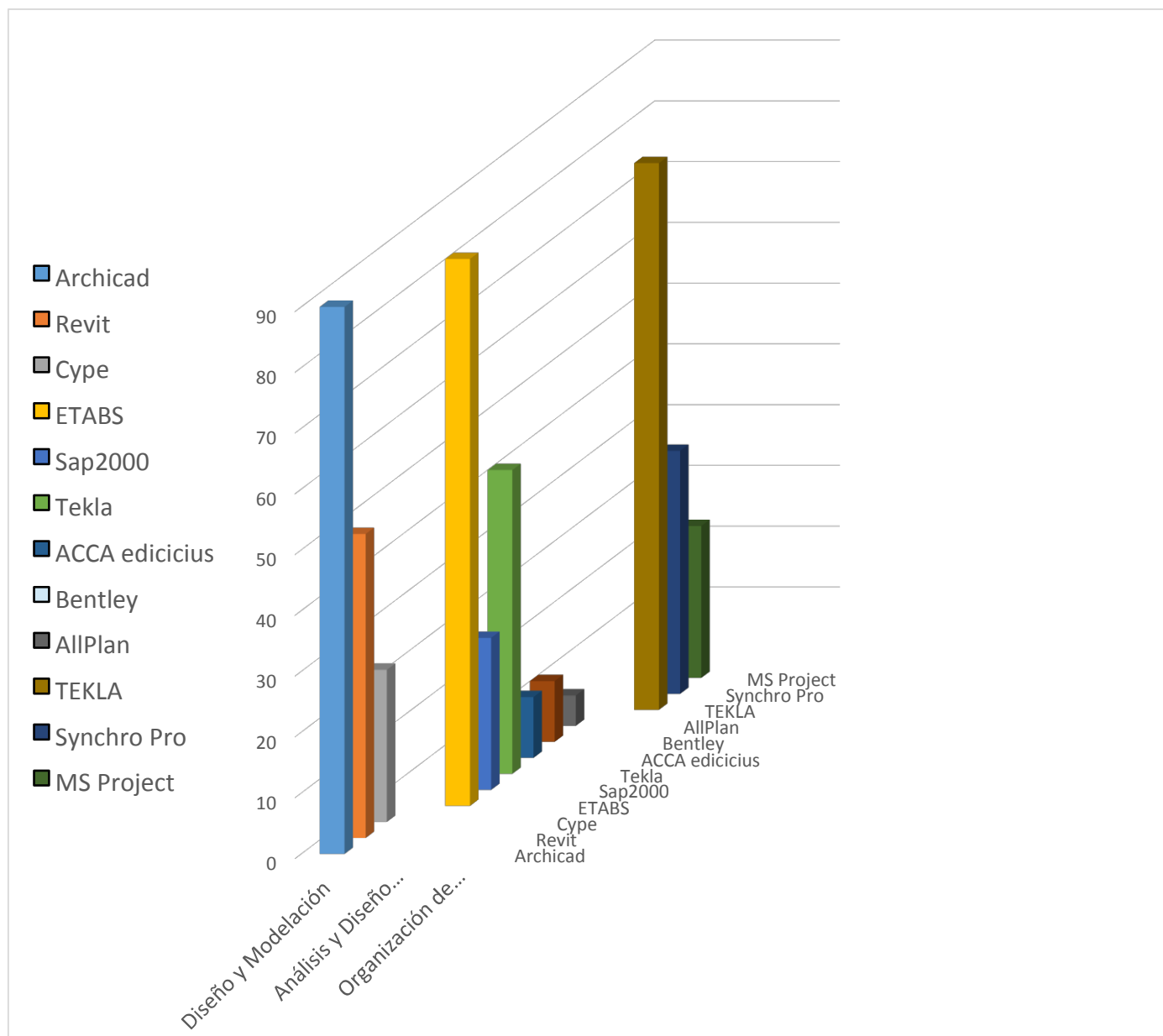


Gráfico 2.9 Grado de jerarquía conferido a cada software en una etapa específica del proyecto. Fuente: Encuesta (Anexo 1). Gráfico, elaboración propia

Claramente, el gráfico 2.9 ratifica los resultados anteriores, aquí se puede apreciar con mayor claridad la interacción entre los conocimientos y el grado de solvencia profesional que tiene cada herramienta para cada departamento en específico.

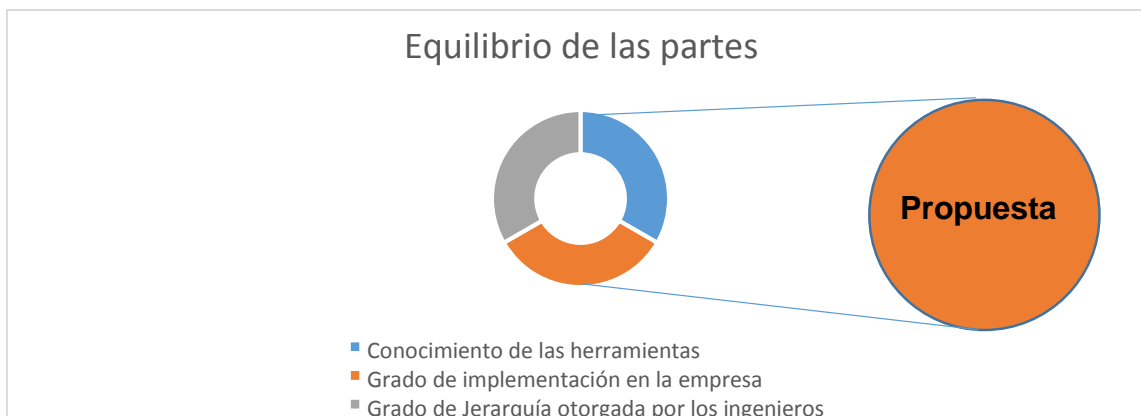


Figura. 2.10 Bases para la elaboración de la propuesta.

Teniendo en cuenta un equilibrio entre las partes más importantes del proceso de implementación de una nueva metodología para el departamento de estructura (Ver figura. 2.10), se justifica un flujo de trabajo que incluya los softwares BIM: ETABS®, para el análisis y diseño estructural y Tekla Structures®, para el modelo detallado.

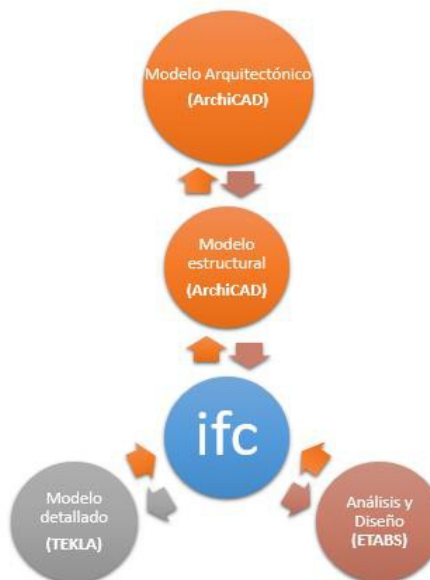


Figura. 2.11 Metodología de trabajo propuesta. Figura, elaboración propia.

De esta manera aparece un nuevo modelo a agregar en el modelo básico que propone ArchiCAD® que sería el modelo detallado (ver figura 2.12):

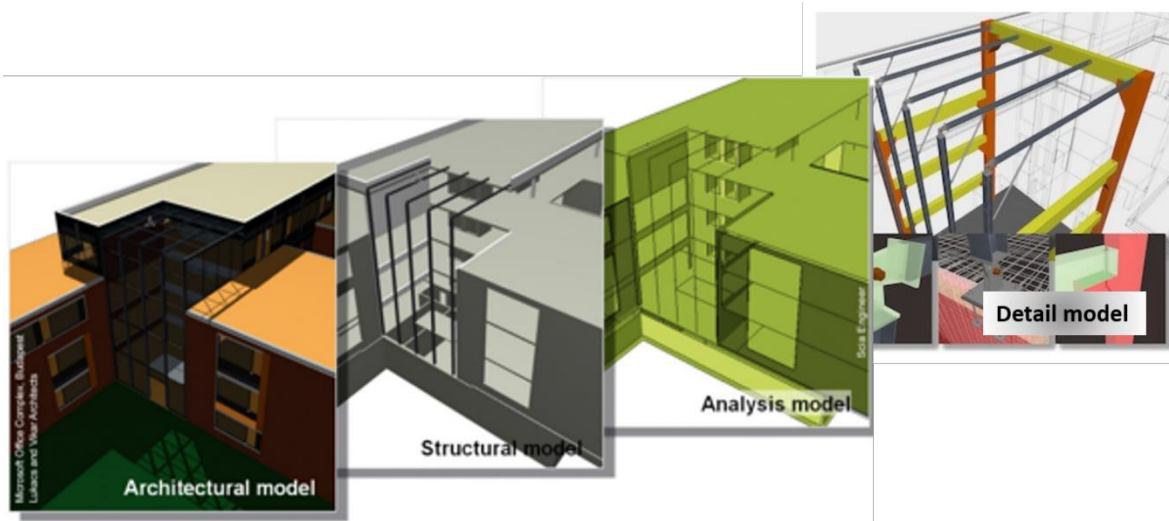


Figura. 2.12 Modelos de trabajo BIM implicados en la nueva metodología.

2.3.1 Pasos a seguir en la metodología de trabajo:

2.3.1.1 Simplificar el modelo arquitectónico a modelo estructural en ArchiCAD®.

Una vez obtenido el modelo arquitectónico dado por el arquitecto al ingeniero, este debe ser filtrado a un modelo más simplificado con la información siguiente para la obtención del modelo estructural:

- Elementos que constituyan cargas para el edificio o elementos estructurales de importancia que aseguren la invariabilidad geométrica del mismo tales como columnas, vigas, losas, muros, tejados, y las partes que componen el núcleo de la sección de cargas y esfuerzos

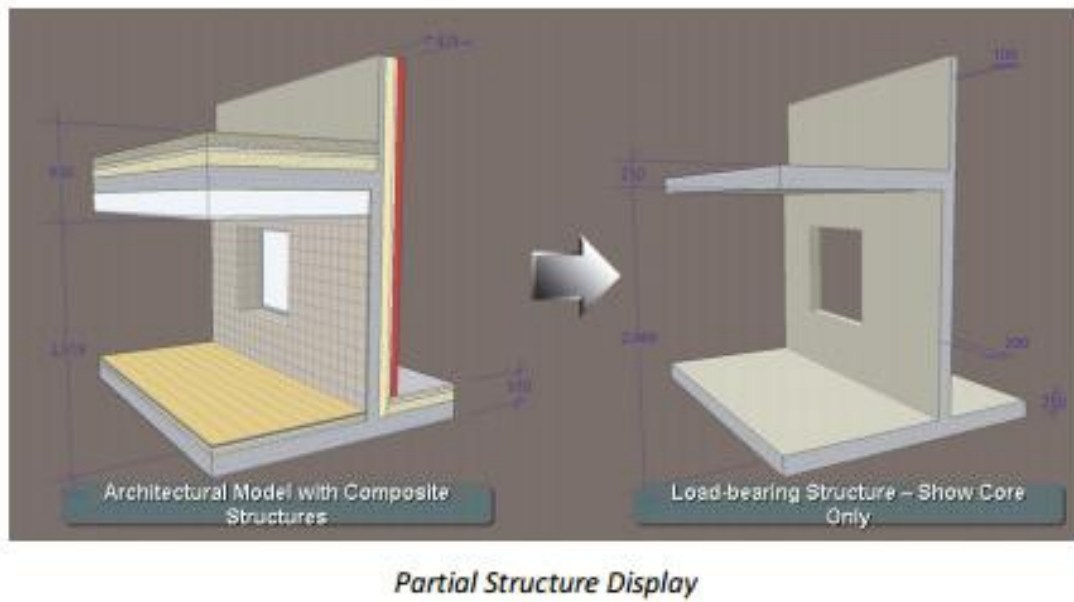


Figura. 2.13 Vista de conversión de un modelo arquitectónico a modelo estructural utilizando la opción Partial Structure Display dentro del programa ArchiCAD®.

Fuente: (Graphisoft®, 2012)

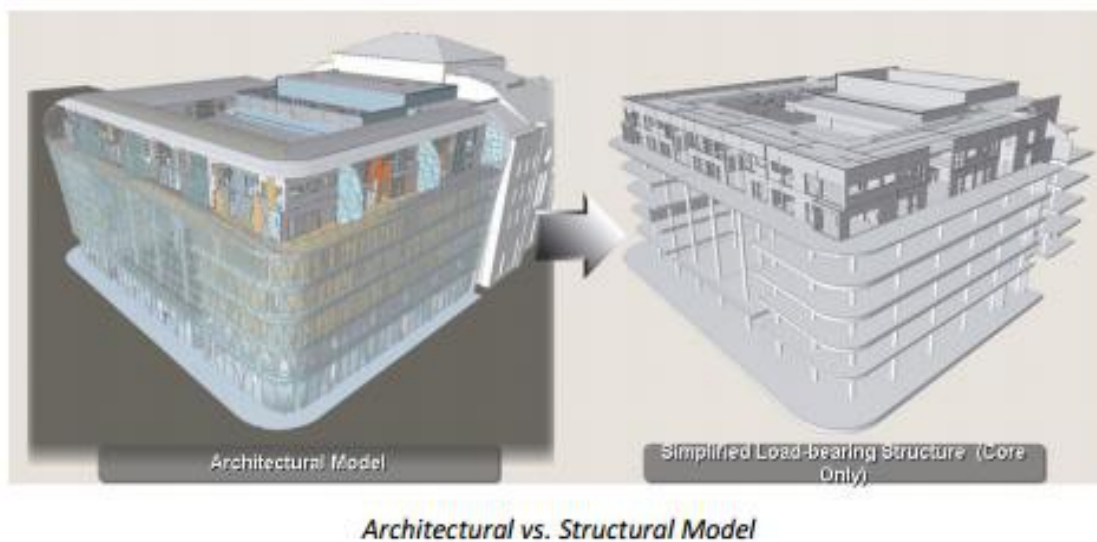


Figura. 2.14 Proceso de simplificación del modelo arquitectónico y vista resultante.

Fuente: (Graphisoft®, 2012)

- Cualquier material usado como entrehierros en elementos complejos ya que pueden ser definidos de acuerdo a si participan en la detección de colisiones: de esta manera, solo las partes de los elementos con geometría real participarán en la detección de colisiones en ArchiCAD® y en chequeadores del modelo con formatos ifc.

Otras aclaraciones:

El ingeniero utiliza el modelo arquitectónico como base para la elaboración de su modelo estructural, nunca modificará la información que el arquitecto le entrega en el modelo base. De igual forma el arquitecto dejará intacta la información recibida, debiendo tener en cuenta las sugerencias del ingeniero acerca de qué partes del edificio constituyen elementos de carga a tener en cuenta.

En ArchiCAD® use:

- **Partial Structures Display:** Para ver el modelo de simplificación de carga
- **Combinaciones de Layers and Layer:** Use la opción de Layers personalizados para mostrar/esconder los elementos con propósitos estructurales.
- **Opciones de exportación IFC:** Puede ser personalizado para salvar una vista estructural que contenga solo objetos que sean importantes para el ingeniero estructural.
- **Trace & Reference:** Herramienta en ArchiCAD® para visualizar las diferencias (por ejemplo, modificar la posición de las paredes, columnas, incrementar/decrecer el grosor de las secciones etc.) entre un modelo estructural analizado ya salvado en formato ifc y su original.

2.3.1.2 Importar el modelo estructural en ETABS®:

Importado el modelo estructural corregido y solo con la información deseada en ETABS®, una vez dentro del programa se procederá a:

- **Ajustar la modelación geométrica**
- **Corrección de algún tipo de incoherencia con respecto a la ubicación en planta de los elementos.**
- **Ajustar la modelación de los vínculos entre elementos y a tierra:** Debido a la forma en que se modela en ArchiCAD® los elementos estructurales generalmente no se encuentran conectados en sus centroides, por tanto, a su entrada en el software deben corregirse estas imprecisiones mediante:
 - Ajustar la unión de los elementos en los nudos: **Edit/ Align Joints/Frames/Edges**
 - Ajustar la unión de los elementos tipo área con el resto de la estructura: **Edit/ Move Joints/Frames/Shell.**
 - Ajuste de los vínculos a tierra: El programa permite seleccionar para cada nudo, uno de los cuatro casos predeterminados de restricciones (empotramiento, apoyo simple, articulación y sin restricciones, ver figura 2.15) que son los más comunes en el modelaje de edificios. (Armenta Villa, et al., 2007)

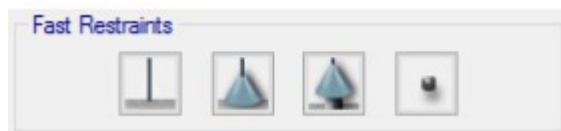


Figura. 2.15 Tipos de apoyos en elementos (De izquierda a derecha empotramiento, apoyo simple, articulación y sin restricciones). Fuente: Software ETABS®

- **Ajuste de la modelación y asignación del tipo de material para cada elemento:**

- El programa permite crear cualquier tipo de materiales al definir sus propiedades mecánicas para el análisis y para el diseño. Por defecto ETABS® cuenta con tres materiales: hormigón armado, acero para perfiles y barras de acero, con propiedades predefinidas, que pueden ser modificadas.
 - Además, el software incluye otra gama de materiales a definir tales como el aluminio, acero conformado en frío, cables, mampostería y otro material definido por el usuario.
 - Para definir el material a utilizar se procede a seguir la ruta **Define / Material Properties** y se abrirá la ventana de definición de los materiales **Define Materials**
 - Una vez abierta la ventana se puede modificar el material de acuerdo a las propiedades que presente antes de ser asignado a las propiedades de las secciones de los elementos estructurales. Además, se tiene la posibilidad de añadir un nuevo material utilizando el comando **Add New Material**.
- **Definición de las propiedades geométricas y mecánicas de la sección:**
 - Las propiedades son asignadas a cada objeto para definir el comportamiento estructural de cada uno en el modelo.
 - Para definir el material a utilizar se procede a seguir la ruta **Define / Section Properties**, luego definir el tipo de sección sea **losa (slab)**, **piso (deck)** o **muro (wall)**
- **Definición y asignación de cargas:** Para la definición de cargas seguir la ruta establecida:
 - Cargas estáticas: **Define/Load Pattern** y aplicar la carga muerta, viva, sismo y de viento actuando en el edificio.

- Combinaciones de carga: **Define/Load Combinations.** Las combinaciones de carga pueden ser generadas por el usuario también teniendo en cuenta la norma vigente u otra cualquiera a la que se esté remitiendo.
 - **Casos de carga: Define/Load Cases.** Para la creación de un caso de carga se debe agregar el análisis a desarrollar y las diferentes cargas ya definidas, así como el factor de escala por el que se va a multiplicar cada una de ella
- **Análisis:**
 - Después de completar el modelo estructural que ha sido creado usando los comandos precedentes, el modelo puede ser analizado siguiendo la ruta **Analyze / Run Analysis.**
 - Estas aplicaciones usadas tienen en cuenta las normas exigidas en el país y los métodos y técnicas de análisis (método de los elementos finitos, etc.)
- **Diseño del modelo:** El software contiene los siguientes subprocesos de diseño:
 - Diseño de elementos lineales de acero.
 - Diseño de elementos lineales de hormigón armado.
 - Diseño de vigas compuestas.
 - Diseño de conexiones de acero.
 - Diseño de muros de corte.
- **Exportar el fichero IFC:** La exportación del modelo desde el ETABS® constituye sin duda uno de los pasos fundamentales en el flujo de trabajo, una mala exportación conducirá a errores futuros en la interoperabilidad del modelo con otras aplicaciones.

- Para exportar el fichero desde ETABS®, seguir la ruta **file/ export** y seleccionar el formato ifc para asegurar la interoperabilidad del modelo en el ambiente Tekla Structures®, seleccionar **ifc 2x3** o **ifc.zip**.


2.3.1.3 Importar el modelo diseñado y analizado, en Tekla Structures. ®

- **Conversión de los objetos en nativos:**
 - Puede convertir la mayoría de objetos de referencia IFC lineales, como vigas, columnas, arrostramientos, placas, losas, zapatas y muros, en objetos nativos de Tekla Structures®. La conversión también admite polivigas que tienen secciones curvadas y se han exportado originalmente de Tekla Structures®, y los ADU de tipo string, int y double.
 - La finalidad de convertir objetos IFC en Tekla Structures® es ayudar en la creación del modelo estructural y evitar trabajo duplicado en una fase temprana del modelado.
 - En la conversión de objetos IFC debe hacer lo siguiente:
 1. Antes de efectuar la conversión, compruebe que los perfiles y las unidades del modelo de referencia IFC sean compatibles con su entorno.
 2. Compruebe la configuración de conversión de objetos en el cuadro de diálogo **Configuración convertidor objetos IFC** y cámbiela si es necesario.
 3. Convierta los objetos IFC en objetos nativos de Tekla Structures®. Existen dos formas alternativas disponibles en la conversión de objetos:
 - Conversión de todos los objetos de modelo de referencia seleccionados de una vez mediante el botón **Convertir objetos IFC** en la pestaña **Gestión** o conversión mediante la gestión de cambios

de conversión de objetos IFC. También puede realizar una conversión de actualización con una nueva revisión del modelo de referencia mediante la gestión de cambios.(Corporation, 2017)

¿Es la conversión de objetos siempre necesaria?

En Tekla Structures®, los objetos del modelo de referencia se pueden usar de forma semejante a los objetos nativos, por ejemplo, en la detección de choques, generación de informes y planificaciones. No es necesario que todo sea nativo, porque los objetos de modelo de referencia también se pueden usar de muchas formas. Por ejemplo, los objetos de modelo de referencia se pueden mostrar en dibujos y enumerar en informes.(Corporation, 2017)

- **Detallado de elementos y uniones:**
 - Seleccionar el comando Aplicaciones y Componentes en el lateral derecho del programa: 
 - Seleccionar dependiendo del tipo de material en el listado, el tipo de estructura, elementos a unir y tipo de conexión consecutivamente.
 - Seleccionar cada elemento a unir, ejemplo columna-viga y automáticamente el programa aplica las uniones según especificaciones de diseño.
 - Las propiedades de las uniones aplicadas pueden ser cambiada con un doble clic sobre la unión deseada.
- **Exportar IFC:** Para exportar el modelo será necesario abrir panel **archivo/ exportar /ifc** y seleccionar el destino y los elementos del modelo que desea exportar el proyectista.

2.3.1.4 Importar el modelo con toda la información para su gestión en ArchiCAD®:

El objetivo final es la creación y entrega de planos utilizando la información introducida en el Tekla® anteriormente y sustituir el trabajo manual.

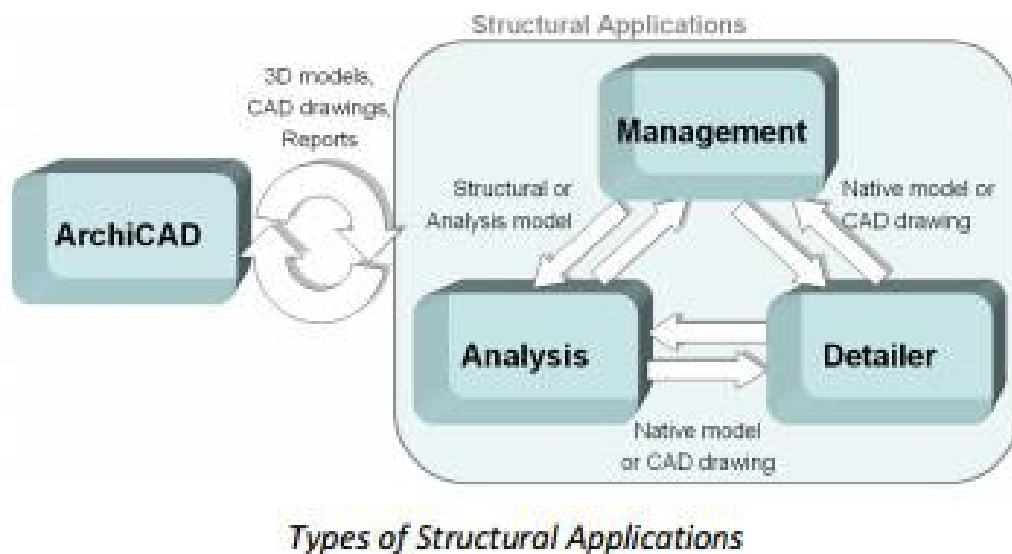


Figura. 2.16 Salida y entrada de información entre ArchiCAD® y otros programas de diseño, modelación y detallado estructural. Fuente: (Graphisoft®, 2012)

- Para esto, es necesario dirigirse a la ruta **File/Interoperability/IFC/Update with IFC Model**, e importar el modelo utilizando como traductor el **Tekla Structures Import**.
- Creación de Planos de Estructura en el ArchiCAD®:
 - Crear una combinación de Layers que muestren solo los elementos deseados
 - Editar las opciones añadiendo una escala visible del elemento en planta

- Crear una nueva combinación de cancelación de gráficos donde se añaden nuevas reglas de visualización
- Realizar los cortes, plantas y elevaciones deseadas y los planos generados de este proceso.

La metodología propuesta aporta un valor significativo al departamento y a la empresa, se trata de un flujo coherente y justificado en la solución de las necesidades de trabajo de los ingenieros estructurales, el antiguo flujo de trabajo no resuelve estas imperfecciones, básicamente porque cada ingeniero utiliza softwares al azar sin conocer si realmente resuelve o no el trabajo que realiza, o en ocasiones, porque el ingeniero desconoce las herramientas que incluye otro softwares, que puede darle mayor resultado a sus problemas, si bien es cierto que los softwares ArchiCAD®, Tekla® y ETABS® han sido probados por los ingenieros anteriormente la aparición de incoherencias por el desconocimiento o mal uso de los mismo conducen a la paralización del trabajo y en ocasiones a la remodelación de los proyectos por la pérdida total de la información, aspecto que lleva al departamento a un trabajo aleatorio y que no se consolida por la prueba constante de nuevas herramientas, esto queda evidenciado en el diagrama de flujo de trabajo BIM de la empresa CCrea (ver anexo 2), la creación del modelo arquitectónico está unida a la creación, análisis y gestión del modelo estructural, etapas que deben ir completamente separadas y que se encuentran solapadas en el diagrama puesto que no existe un flujo ideal o teórico como si existe para el caso del modelo MEP.

Conclusiones Parciales del Capítulo II:

1. Se ha establecido una metodología de trabajo para el departamento de estructuras teniendo en cuenta el análisis de las encuestas y las necesidades específicas de la empresa CCrea
2. Con el uso de este nuevo flujo de trabajo, el tiempo de creación, análisis y diseño del modelo se reduce teóricamente y confiere al usuario de diversas

herramientas que proporcionan facilidad en el manejo y el trabajo computacional.

3. Los softwares ArchiCAD®, Tekla® y ETABS® son capaces de solventar todas las necesidades de los profesionales en el departamento de estructura de la empresa CCrea, sin importar el tipo de proyecto solicitado por el inversionista.
4. La metodología establecida logra vincular el trabajo de los ingenieros estructurales al trabajo de los arquitectos a través del servidor BIM existente en la empresa sin la necesidad de crear un servidor nuevo.

CAPÍTULO III APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA EN UN PROYECTO REAL DE LA EMPRESA CCREA. VALIDACIÓN POR ESPECIALISTAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Introducción:

Con la finalidad de evaluar la metodología propuesta, esta se aplica a un proyecto real de la empresa, teniendo en cuenta que, el mismo proyecto ya ha sido realizado por los especialistas utilizando un método de trabajo muy inefectivo, utilizando softwares elegidos al azar, con poca claridad en su uso y a través de procesos repetitivos. La solución de este proyecto basado en el antiguo flujo de trabajo sirve de apoyo para la validación de la nueva metodología y la evaluación de su eficiencia a la hora de su utilización.

3.1 Características del proyecto:

El proyecto corresponde a la remodelación de Casa de las Letras, localizada en el municipio de Santa Clara, Villa Clara. La obra ha sido proyectada a petición del Centro Provincial del Libro (Cliente). La edificación se sitúa en la esquina de las calles Independencia (Boulevard) y Plácido, esta edificación ha cumplido varias funciones en su vida útil, siendo las últimas: taller, tienda y librería, encontrándose actualmente en desuso. La obra está encaminada a reestablecer la funcionalidad del edificio mediante su remodelación. Debido a la complicación en área de la organización de la obra, producto de su localización, la estructura de hormigón es ejecutada “in situ” con hormigón elaborado en planta para cumplir con los requerimientos necesarios. El sistema estructural a ejecutar se constituye en una estructura esquelética con entrepiso y cubiertas pesadas. La obra posee además muros de bloques de hormigón para divisiones, cierres y de carga (usados puntualmente).

3.2 Aplicación de la metodología:

3.2.1 Simplificación del modelo arquitectónico a modelo estructural en ArchiCAD®

A través del software base ArchiCAD® es compartida la información del arquitecto al ingeniero estructural, dicha información contiene el modelo arquitectónico o de referencia que debe ser simplificado a modelo estructural para su análisis y diseño, dicho proceso queda descrito cabalmente a continuación:

3.2.1.1 Asignación de propiedades funcionales a elementos de interés. (Columnas, Vigas, Losas)

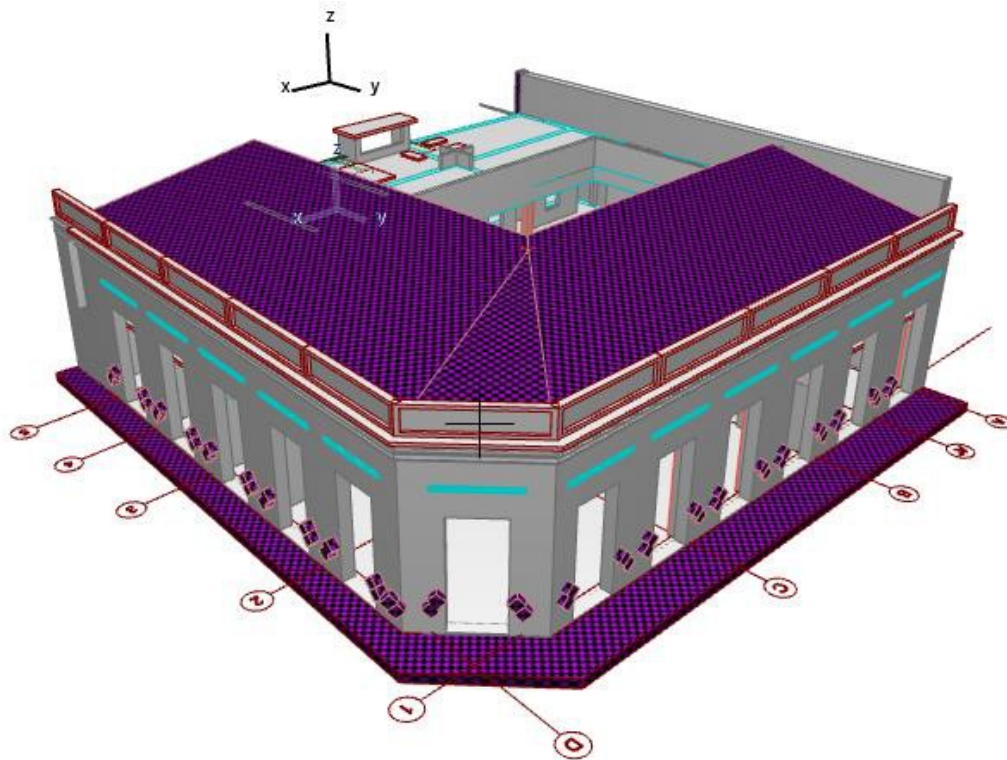


Figura. 3.1 Vista del modelo arquitectónico en ArchiCAD®.

Para obtener del modelo arquitectónico solamente la información deseada se debe primeramente designar qué elementos representan interés estructural para la edificación y asignar a cada elemento o conjunto de ellos que puedan ser agrupados según su categoría: (Vigas, Columnas, Losas etc.) la prioridad y función que realmente tiene dentro de la estructura.

Para asignar tales propiedades se utiliza la herramienta **Find & Select** permitiendo categorizar los elementos según su función y permite aplicar propiedades a un grupo de elementos sin tener que escoger uno a uno. Una vez en el cuadro de dialogo se filtran los elementos en 3D para solo seleccionar las columnas y ajustar sus propiedades, se seleccionan los elementos a través del botón +, se comprueba que la selección se realizó correctamente y se continúa a ajustar las propiedades a través del cuadro **Settings Dialog**.

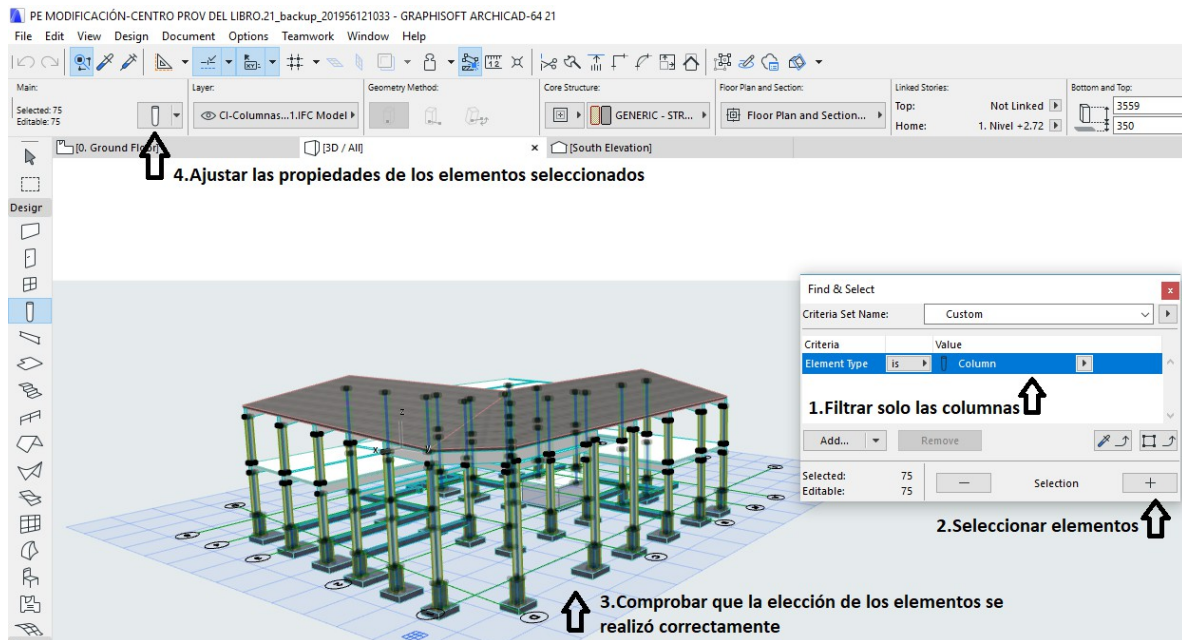


Figura. 3.2 Ruta utilizada para la selección en lote de elementos de interés (columnas).

Luego en la ventana de ajuste de las propiedades de las columnas seleccionadas (**column selection settings**), se ajusta a través de la pestaña **Geometry and**

Positioning el material del núcleo de la columna, que será hormigón armado. A través de la pestaña **Clasificación and Properties** se designará al elemento con importancia estructural para el edificio.

El mismo procedimiento es realizado para todos los elementos que supongan importancia estructural, en este caso se repite para las vigas, losas de entrepiso y losa de cubierta, de la misma manera descrita anteriormente.

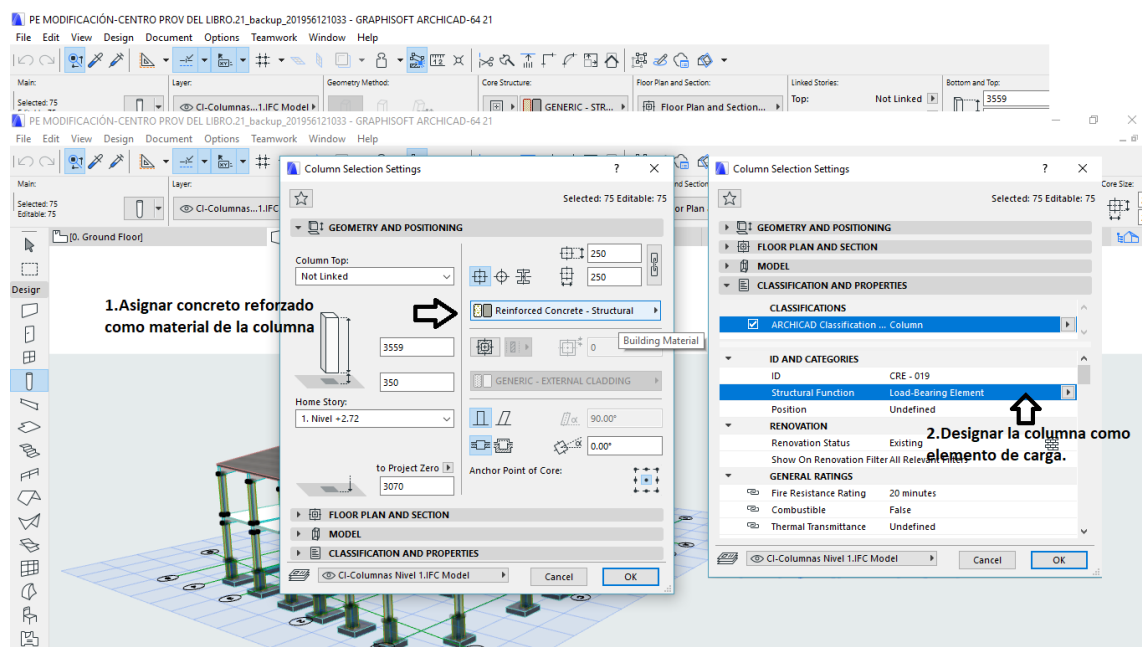


Figura. 3.3 Proceso de asignación de las propiedades paramétricas: tipo de material y función estructural del elemento columna.

3.2.1.2 Filtrado del modelo.

En la barra de herramientas a través de la ruta **Documents/ Partial Structure Display** se filtra el modelo con solo los elementos de carga de la estructura (**Core of load-bearing elements only**)

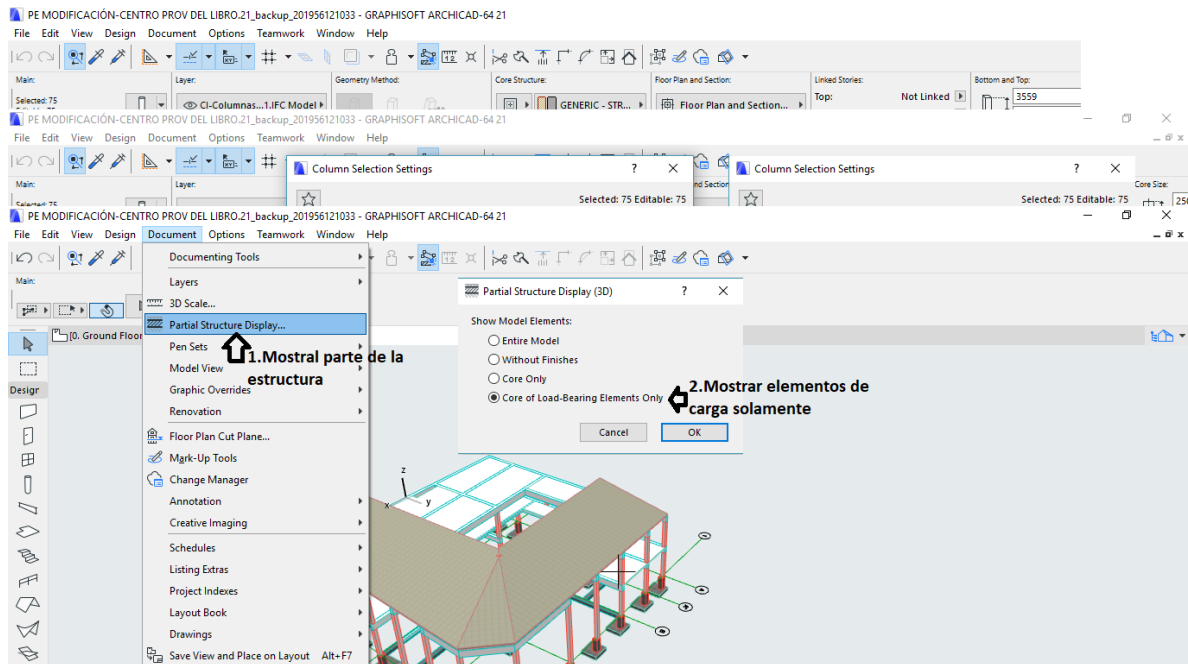


Figura. 3.4 Ruta de selección y vista de todos los elementos con función estructural.

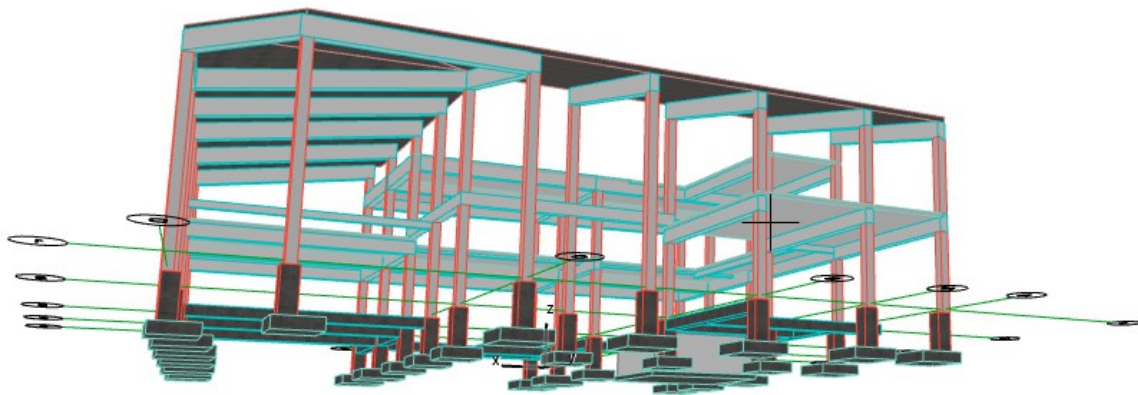


Figura. 3.5 Modelo estructural filtrado.

3.2.1.3 Exportación del modelo

Utilizando la ruta **File/Save as** se guardará el modelo, es necesario revisar que en las opciones de guardado este puede configurarse dependiendo del programa en el que se importará a continuación, en este caso se selecciona la opción de exportación para análisis estructural (**Structural Analysis Export**).

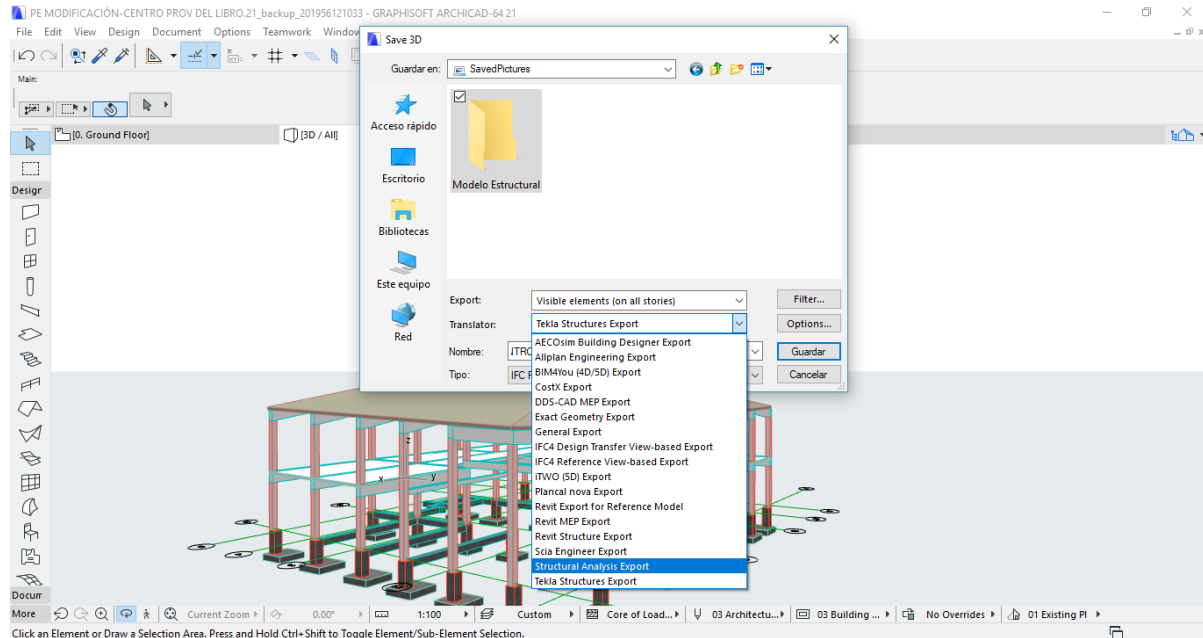


Figura. 3.6 Exportación del modelo estructural

3.2.2 Importación el modelo estructural en ETABS®.

El modelo filtrado será introducido en ETABS® utilizando la ruta **file/Import/ifc** puede ocurrir que la importación del modelo se realice con algunas incoherencias principalmente en la unión de los elementos en sus nudos, debido a dos causas fundamentales: los elementos importados del modelo estructural no tienen su unión definidas en sus centroides y las excentricidades en las columnas que resultan en desplazamientos visibles de los elementos. Para realizar el análisis se deben unir todos los nudos utilizando la herramienta **Align Joints/Frames/Edges** en la

pestaña **Edit** y luego extendiendo los elementos (**extend Frames objects**) hasta su convergencia.

Para el caso de las columnas excéntricas se utiliza la herramienta **Move Joints/Frames/Shell** en la pestaña **Edit**, y ajustando su desplazamiento en los ejes x, y, z. A pesar de este inconveniente el resultado es igualmente favorable pues este no implica el remodelado de la estructura en su totalidad y elimina gran cantidad de tiempo en el diseño de la obra.

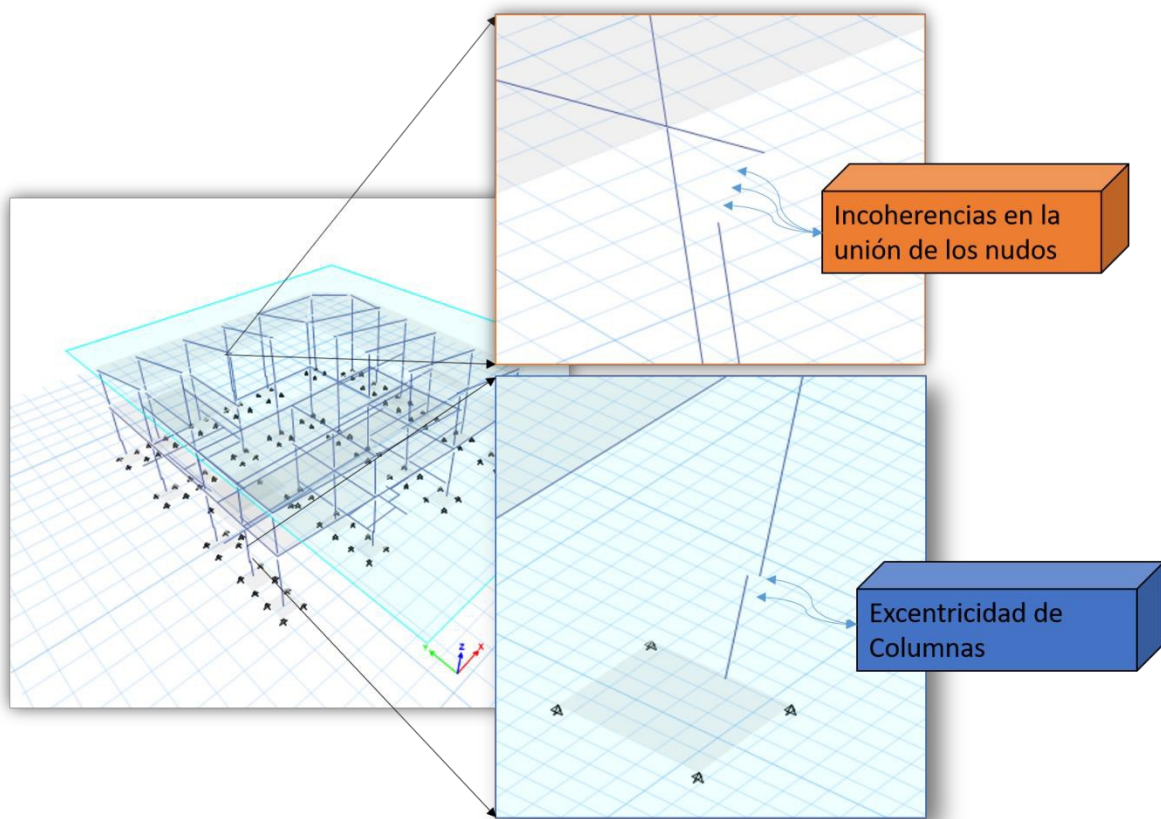


Figura. 3.7 Principales incoherencias detectadas en la importación del modelo en ETABS®

El proceso de asignación de los tipos de apoyos, material, sección etc. es un proceso bien conocido por los ingenieros estructurales en este programa lo mismo

ocurre con la creación de combinaciones de cargas y casos de carga necesarios para correr el análisis, por tanto, no resulta novedoso este proceso y puede ser obviado en esta investigación.

Una vez obtenidos los resultados serán analizados por el ingeniero estructural para su utilización en Tekla Structures®.

3.2.3 Importar el modelo diseñado y analizado, en Tekla Structures®:

Una vez realizado el análisis estructural, se utiliza el modelo exportado desde el ArchiCAD® con extensión IFC y con preferencias definidas para su importación y trabajo en Tekla Structures®, asegurando así el mínimo de incoherencias, evitando posibles remodelados y reajustes en las propiedades del objeto de obra.



Figura. 3.8 Ventana de selección de la configuración inicial del programa Tekla®.

3.2.3.1 Creación de un entorno de trabajo e importación del modelo

Para definir un nuevo espacio de trabajo seleccionar un entorno con características preestablecidas (Default) por el programa, esta opción puede ser cambiada luego al entorno US metric si se desea o según los intereses del usuario. Se selecciona todas las funciones (All) y configuración (Completo) para poder trabajar con todo el

grupo de herramientas que ofrece el programa de lo contrario solo se podrá visualizar el modelo sin poder editarlo.

Luego se selecciona y crea un nuevo modelo con una plantilla en blanco. Una vez dentro se continúa a la importación del modelo estructural ya diseñado en ArchiCAD® con los objetos paramétricos deseados sobre los cuales se va a trabajar.

Para ello hay que trasladarse a la barra lateral derecha y allí seguir la ruta **Añadir modelo/examinar**, seleccionar la carpeta de origen y el archivo a importar y añadir el modelo al espacio de trabajo.

Una vez dentro se puede visualizar que el archivo importado aún no puede ser editado y al dar un clic sobre cualquier objeto se puede observar que queda seleccionado todo el modelo, esto significa que el programa aún no reconoce los objetos por separados y asocia todo el edificio como un único elemento por tanto la conversión de estos elementos debe ser realizada a objetos nativos del entorno Tekla®, opción que permitirá al usuario el trabajo con las herramientas de edición.

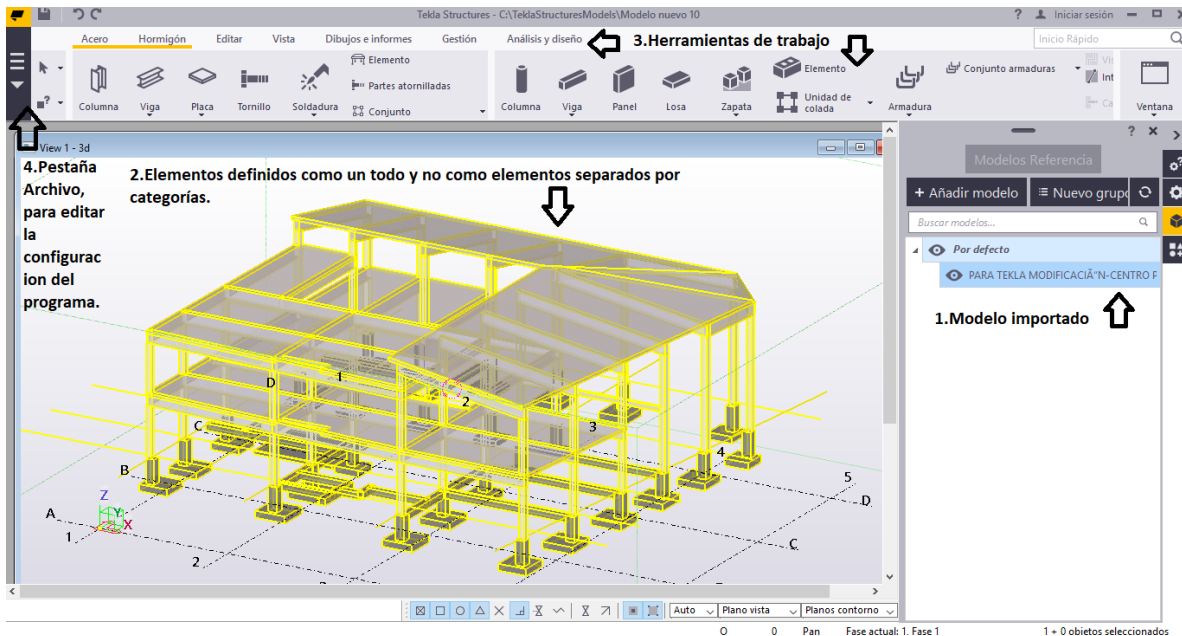


Figura. 3.9 Ruta de conversión de los elementos estructurales de ArchiCAD® a objetos nativos de Tekla®

3.2.3.2 Conversión de los elementos en objetos nativos de Tekla®.

La finalidad de la conversión es evitar el trabajo duplicado en esta etapa del proyecto y facilitar el trabajo del modelo estructural dentro del programa.

En la conversión de objetos ifc se debe realizar lo siguiente:

Seguir la ruta **Gestión/ Convertir Objetos ifc** y se abrirá un nuevo panel con las características de la conversión a realizar, luego en la pestaña archivo seleccionar **Configuración / Configuración Convertidor Objetos ifc** y **Verificar** que el material de los elementos importados no tiene aún asignación definida para su conversión a elementos de Tekla®, asignar entonces a qué tipo de material se desea convertir estos elementos, en el caso del proyecto objeto de estudio se convertirá el material asignado en ArchiCAD® **Reinforced_Concrete Structural** a **Concrete_Undefined** en Tekla®.

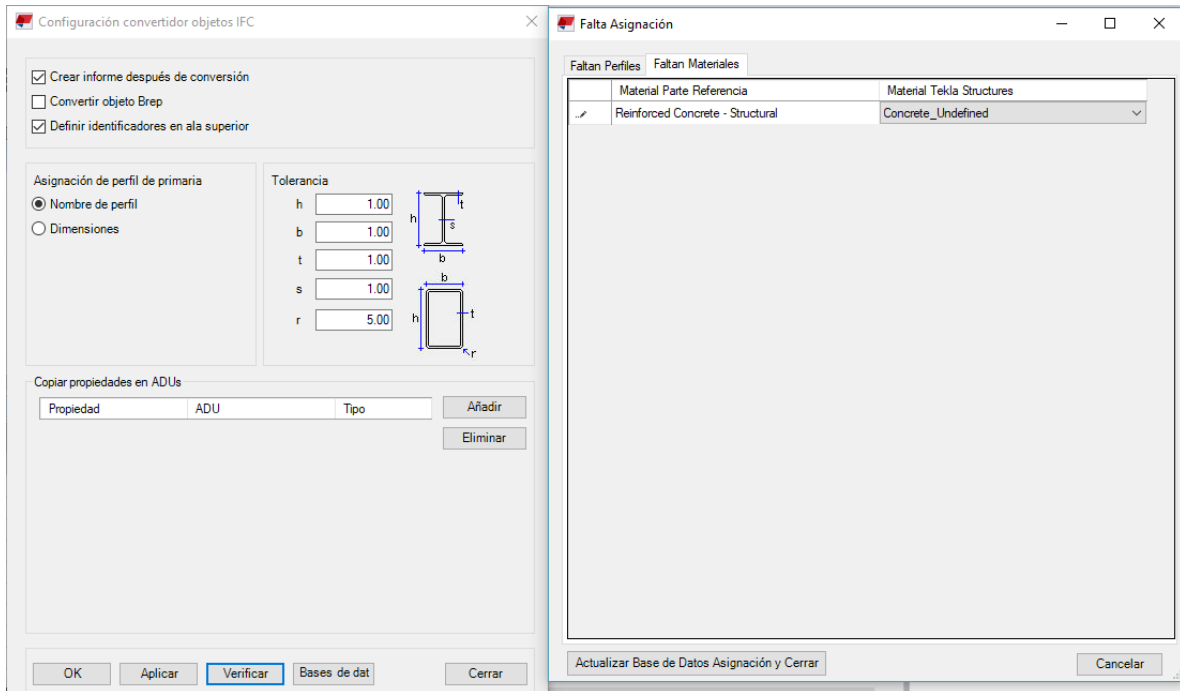


Figura. 3.10 Ventana de configuración convertidor objetos ifc (izquierda) y verificación del tipo de conversión del material a realizar (derecha)

De regreso en el panel de conversión seleccionar la opción **convertir como extrusión** pues todos los elementos son de hormigón y **aplicar los cambios**.

Puede comprobar que las propiedades de cada elemento ya pueden ser editadas de acuerdo a la función estructural de cada uno, de existir alguna incoherencia en cuanto al posicionamiento de un elemento, puede ser fácilmente corregido en el programa extendiendo o reajustando el elemento desde su centro de masa en dirección al plano deseado.

3.2.3.3 Reforzamiento de elementos.

Para reforzar cada elemento primero se debe trasladar hasta el objeto en cuestión, para ello, utilice la tecla **V** marque el punto con respecto al que va a orbitar el modelo y utilizando **Ctrl + Scroll** mueva el modelo o gírelo con respecto al punto.

Para el reforzamiento de la estructura se utilizará el comando **aplicaciones y componentes**, previa selección del elemento a reforzar y seleccione de acuerdo al material que tipo de reforzamiento debe ser aplicado para el caso de la columna se utilizará hormigón, colada in situ, estructuras aporricadas, columna y se refuerza la sección con una armadura pilar rectangular.

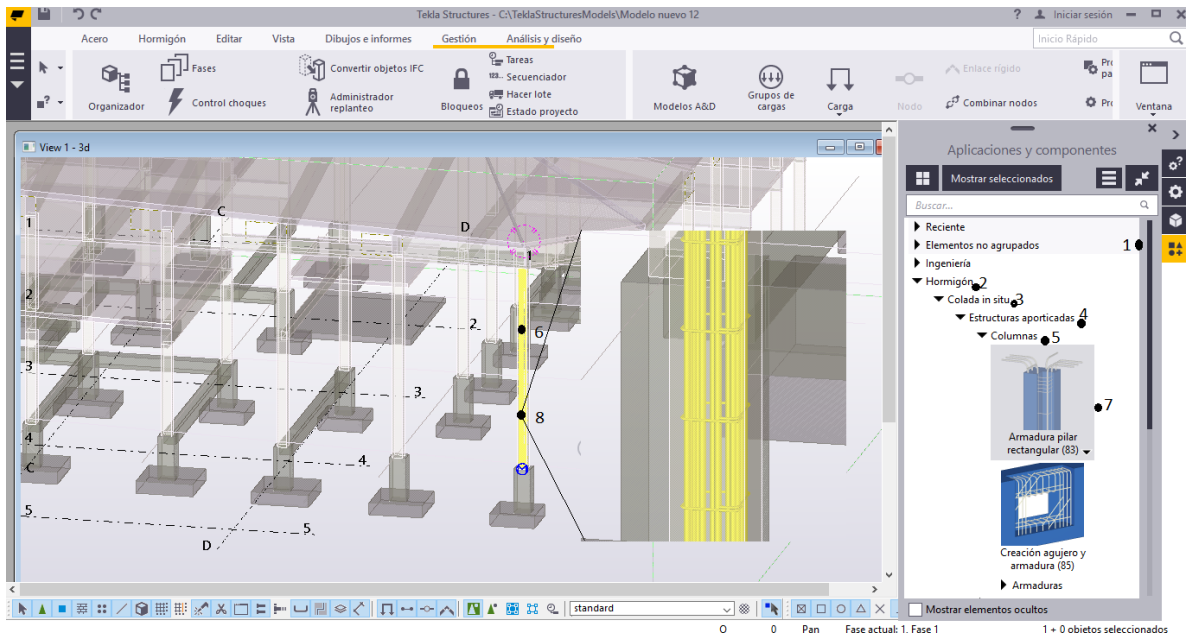


Figura. 3.11 Proceso de colocación de una armadura rectangular a una columna.

Las propiedades del refuerzo deben ser establecidas según los resultados del análisis obtenido en ETABS®, de esta forma se modifican sus propiedades con un clic derecho sobre la armadura.

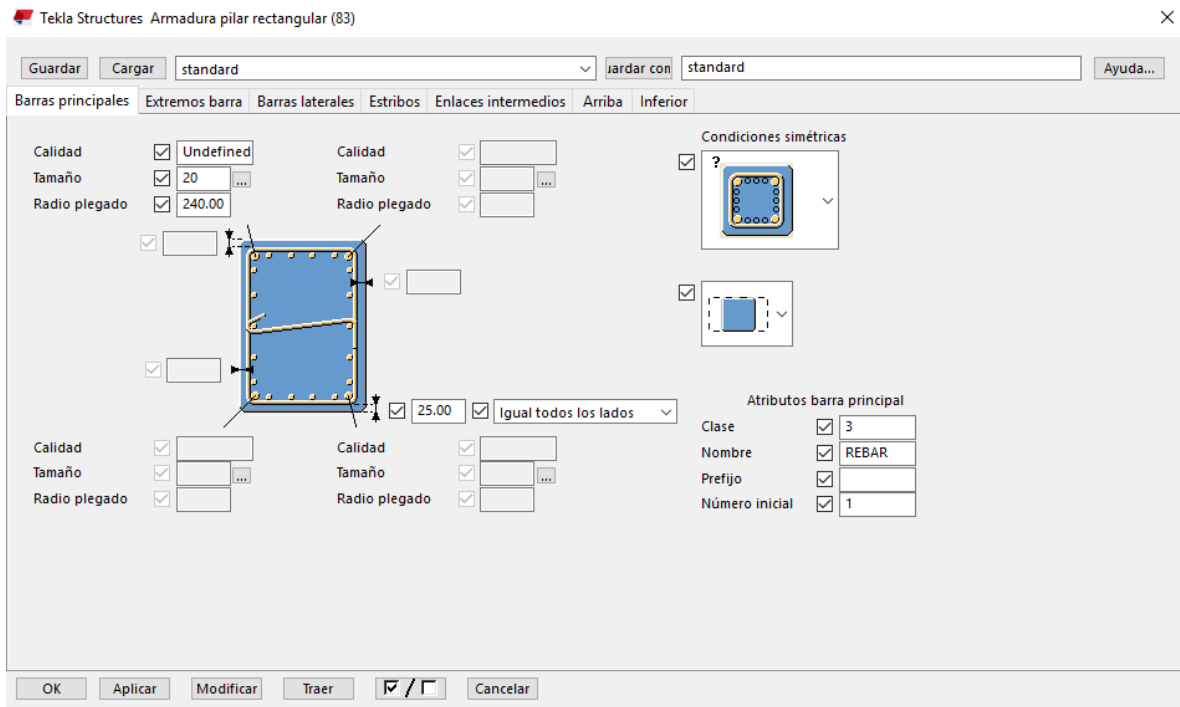


Figura. 3.12 Ventana de Edición de las propiedades del refuerzo de la columna

El mismo procedimiento se repite para la asignación del refuerzo en vigas, losas, zapatas y otros elementos de hormigón. Además, el programa proporciona todo el paquete de elementos constructivos incorporando todo tipo de material por tanto el empalme de barra y las uniones en elementos metálicos ya sean por pernos o soldaduras también puede llevarse a cabo con facilidad.

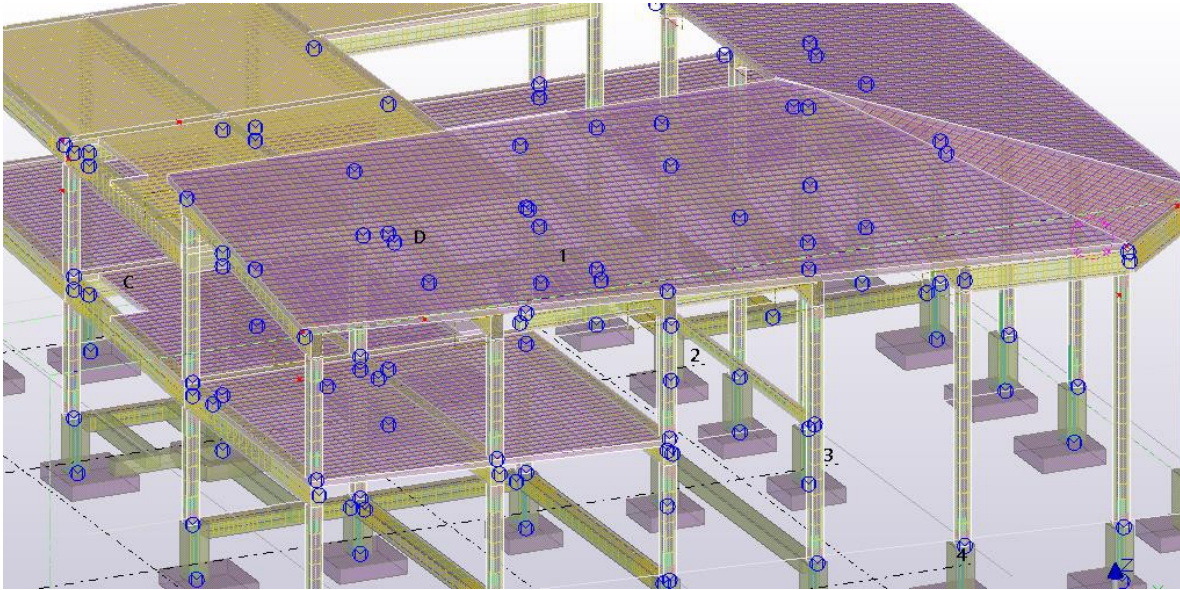


Figura. 3.13 Vista del modelo completamente reforzado utilizando Tekla®

3.2.3.4 Control de Choques:

Este proceso evita errores constructivos en la fase de ejecución de la obra muy fácilmente en la pestaña **Gestión/Control de Choques** el programa analiza si existe algún elemento en conflicto con otro, esta opción es muy productiva para los estructurales evitando por ejemplo que el acero de refuerzo de una viga evite el paso o choque con las tuberías que el ingeniero hidráulico diseño para el edificio, además ahorra tiempo en etapas posteriores, pues un mal control del proyecto definitivamente conducirá a errores constructivos que deberán ser replanteados por segunda vez con el equipo de proyecto.

Indica	Número	Tipo	Estado	Prioridad	Fecha Modificado	ID Objeto	ID Conjunto	Nombre Objeto
✱	1	Choque			5/18/2019 1:34 PM	825323; 1609007		STIRRUP; BOTTOM_BAR
✱	2	Choque			5/18/2019 1:34 PM	828189; 1607112		TOP_BAR; STIRRUP
✱	3	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1372865; 1603181		TOP_BAR (2)
✱	4	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1371905; 1603160		BOTTOM_BAR (2)
✱	5	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1369997; 1603138		STIRRUP (2)
✱	6	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1588678; 1602973		REBAR (2)
✱	7	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1602354; 1602952	1602370	COLUMN; REBAR
✱	8	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1587102; 1602952		REBAR (2)
✱	9	Choque			5/18/2019 1:34 PM	909656; 1602952		BOTTOM_BAR; REBAR
✱	10	Choque			5/18/2019 1:34 PM	1602354; 1602931	1602370	COLUMN; REBAR

Figura. 3.14 Ventana de Gestión Control de Choques en Tekla®.

En esta etapa se reconocieron 10 choques entre elementos estructurales, estribos en conflictos con acero positivo de la losa y columnas en conflictos con acero de refuerzo de las vigas son algunos de ellos, la corrección es muy sencilla ajustando la posición de los elementos en este caso los choques se deben a una rotación de 270° grados de las columnas que el programa definió automáticamente para este modelo.

3.2.3.5 Exportación del modelo con traducción a ArchiCAD®.

La exportación se realiza en la pestaña **Archivo/ Exportación/ IFC** y se selecciona las propiedades del modelo a exportar. En esta elección, la armadura de refuerzo debe estar seleccionada para su visualización en ArchiCAD®.

3.2.4 Importación y gestión del modelo final en ArchiCAD®:

En esta etapa, se utiliza la opción que ofrece la pestaña interoperabilidad para actualizar el modelo en el que trabaja el arquitecto con los datos técnicos del modelo estructural, portanto, se trata de una unión de los dos modelos anteriores en uno.

Para esto es necesario dirigirse a la ruta **File/Interoperability/IFC/Update with IFC Model**, y se importa el modelo utilizando como traductor el **Tekla Structures**

Import.

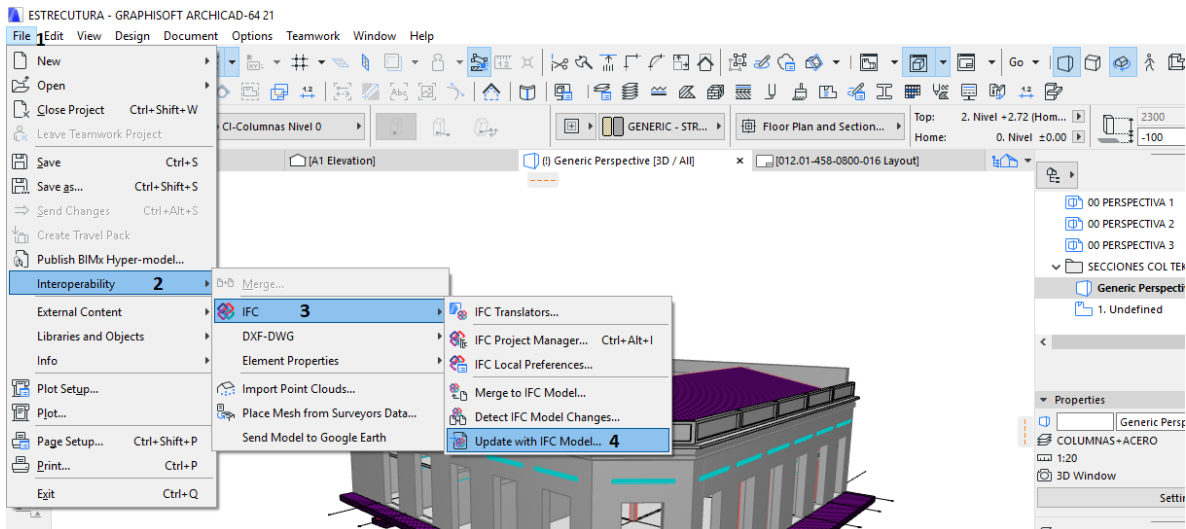


Figura. 3.15 Ruta de importación y actualización del modelo arquitectónico con la información del modelo estructural reforzado.

3.2.4.1 Creación de Planos de Estructura en el ArchiCAD®.

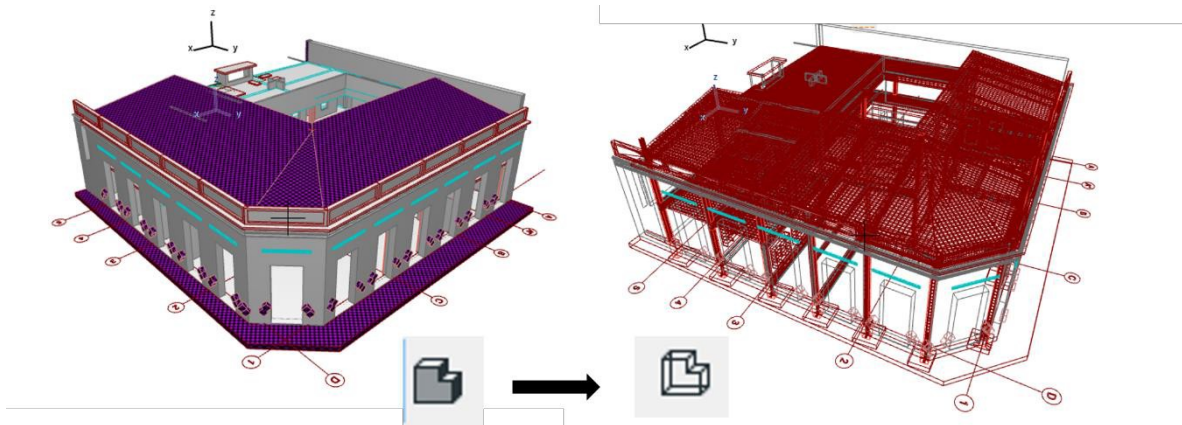


Figura. 3.16 Vista del modelo arquitectónico (Izquierda) y modelo reforzado (Derecha) visible mediante la opción de alambrado

La creación de planos en ArchiCAD® sustituye el proceso de dibujo manual que utiliza la empresa, este proceso se realiza creando, en primer lugar, una combinación de **Layers** que muestren solo los elementos deseados, en este caso se realiza para una de las Columnas C-1 Nivel 0+0.00 y su refuerzo interior, en esta se quieren obtener los planos de elevación, corte transversal y longitudinal del elemento. Con la **Combinación de Layers** activada en la vista de mapa, se editan las opciones añadiendo una escala visible del elemento en planta en este caso 1:20 y creando una nueva combinación de cancelación de gráficos donde se añaden nuevas reglas de visualización para el **hormigón**(Columna) y los **objetos**(Acero) haciendo visible el hormigón y aplicando un relleno metálico al acero, de esta manera queda visible todos los elementos metálicos que se encuentran dentro de la columna y la creación de cortes y elevaciones facilitan el proceso sustituyendo dibujos manuales, nivelaciones, acotamientos, asignación de cantidades y espaciamientos de aceros, etc.

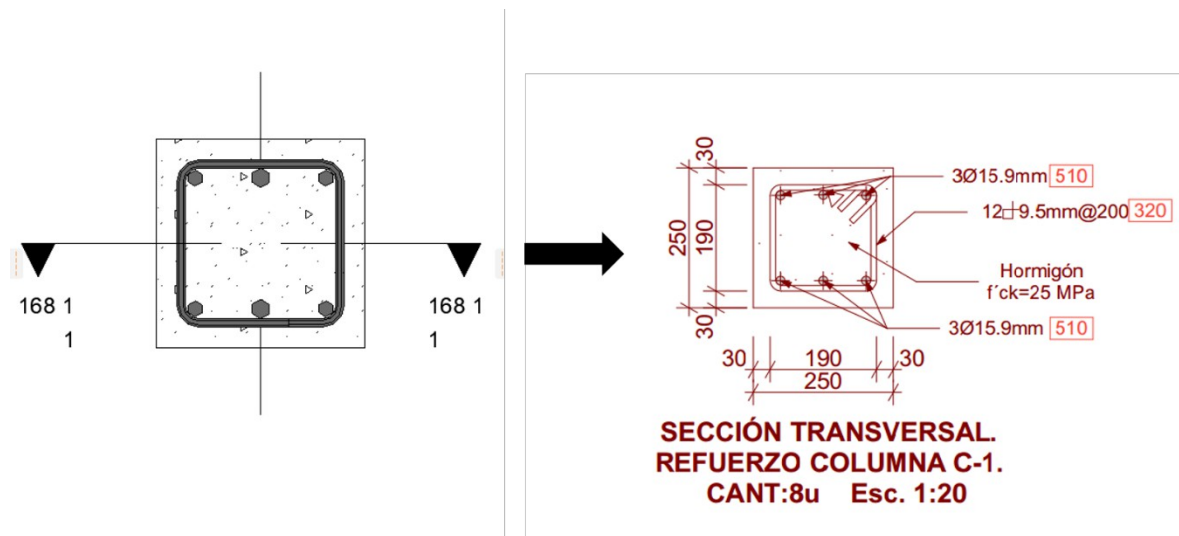


Figura. 3.17 Vista de corte 1:1 y Sección transversal de la columna C-1 utilizando la información paramétrica del modelo

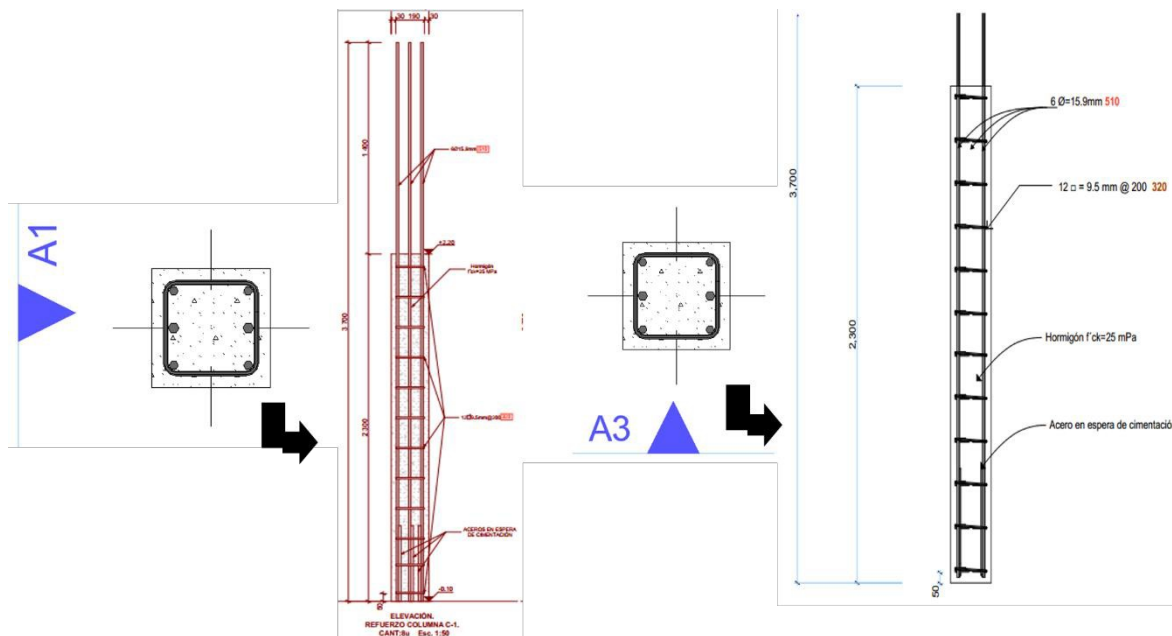


Figura. 3.18 Elevación Frontal (A-1) y Lateral (A-3) de la columna C-1 utilizando la información paramétrica del modelo.

Hasta este punto queda demostrada la nueva metodología de trabajo en un proyecto real y se da solución al problema principal, la prueba de este nuevo flujo evidencia que es posible solucionar las incoherencias entre estos programas y evitar remodelados y pérdidas de tiempo por errores y elaboración de dibujos manuales. A la vez y como se explica a continuación, se introduce a la empresa en las dimensiones 4D y 5D, lo que se cree, puede proporcionar mayor calidad al producto final, utilizando un mismo programa BIM en la empresa, en este caso gracias a las potencialidades que ofrece el software Tekla® en términos de costo y tiempo.

3.2.5 Organización, control y costo de obra:

La utilización de esta metodología engloba las 3 primeras dimensiones del BIM puesto que la empresa no ha experimentado aún con las demás dimensiones que conforman esta tecnología, sin embargo, el programa Tekla® permite ir más allá con la vinculación de la 4D (Organización y Control de Obra) y la 5D (Presupuestación), la vinculación a través de Tekla® de estas dos nuevas

dimensiones puede resultar en la oferta de un nuevo servicio por parte de la empresa, haciéndola más integral en su trabajo y permitiendo la obtención de mayores beneficios económicos por el cobro de estos servicios.

Rigiéndose por el artículo 33, capítulo 3 del Decreto Ley 327 del Proceso Inversionista en lo referente a los deberes y atribuciones del proyectista se establece que, en los puntos 3 y 7 de mencionado artículo: El proyectista tiene las obligaciones y atribuciones de (...) contratar con el inversionista el cronograma de entrega de la documentación técnica del proyecto, incluye el presupuesto y especificaciones, y tiene en cuenta las condiciones de los posibles constructores y suministradores, según su experiencia como proyectista (...) elaborar integralmente la documentación de los proyectos ejecutivos, de acuerdo con los términos y condiciones estipulados en el contrato, e incluye, entre otros, el presupuesto y las especificaciones de calidad de los suministros.

La utilización del BIM para el control de obra y presupuestación de la misma, resuelve otra necesidad de las empresas de proyectos en Cuba, permite la adecuada aplicación del artículo 33 del Decreto Ley 327, permite vincular al proyectista con un abanico más amplio de su carrera y resuelve a la vez importantes exigencias del inversionista, resultando sin dudas en un servicio más integral que deja al cliente más satisfecho a la hora de la entrega de la documentación técnica.

Utilizando el programa Tekla® la organización de obra se realiza de manera intuitiva, la asignación de tareas a un grupo de elementos en 3D facilita la rapidez en el trabajo, el cálculo automático de volúmenes complejos de grupos de objetos evita el cálculo manual, la información paramétrica del elemento automáticamente categoriza la unidad de medida a cuantificar y al tratarse de los elementos reales tal y como van a ser construidos, una vez detectadas las posibles colisiones entre ellos la programación por barras de Gantt se hace muy fiable a la realidad.

Para la programación de la obra se utiliza la ruta gestión tareas y se comienza con la creación de las actividades a realizar, en el caso real del proyecto se tuvo en

cuenta 5 actividades para ejemplificar el trabajo, una vez asignadas las tareas se crean subtareas en cada una de ellas para separar los elementos en columnas, vigas, losas de entrepiso y losas de cubierta. La selección de los elementos se realiza usando el modelo en 3D, de esta manera se pueden seleccionar todas las columnas de un nivel o agrupadas según su geometría, etc. Para asignar los rendimientos se utiliza la ruta **Configuración y acciones generales/tipos de tareas** y se asigna para cada tarea nueva su unidad de medida y cantidades por tiempo de trabajo, estos tipos de tareas serán asignados luego a las tareas creadas con anterioridad en la vista general de la ventana.

Como último paso se asigna las dependencias de cada actividad con un doble clic sobre cada tarea: **información tarea/ dependencias**.

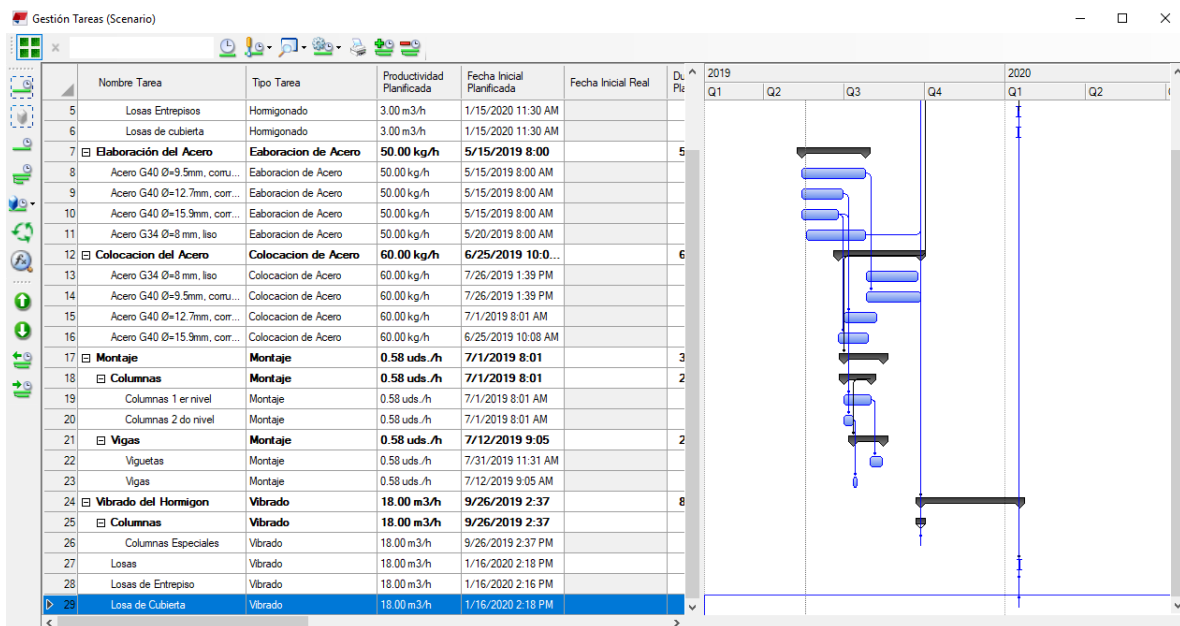
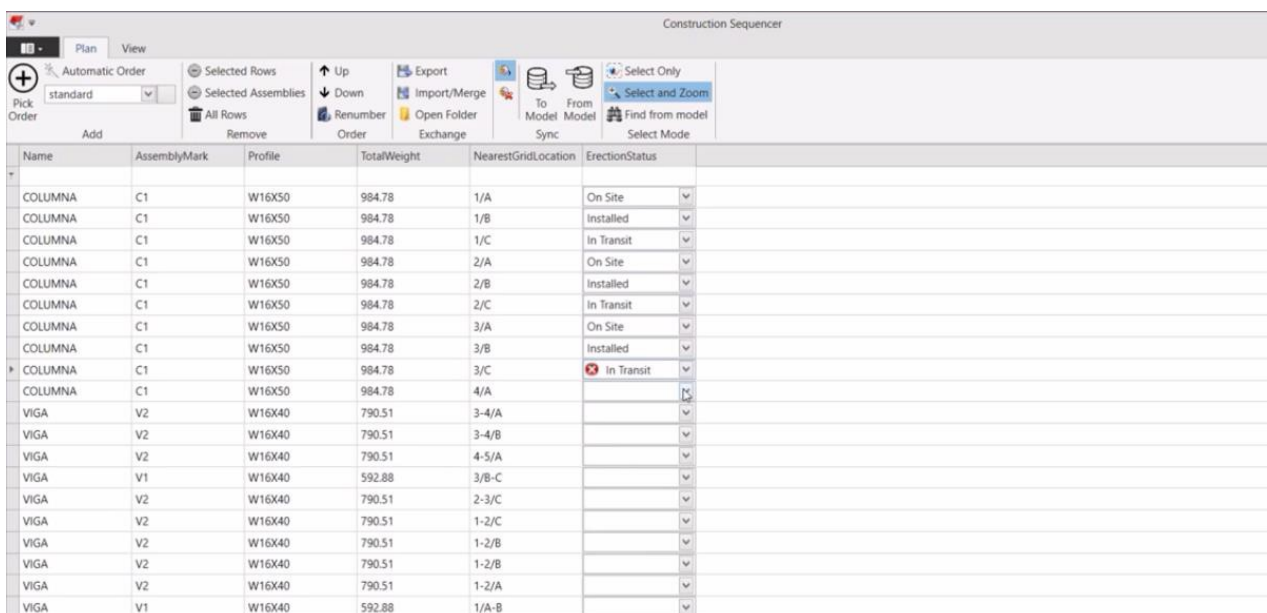


Figura. 3.19 Barras de Gantt en Tekla® utilizando la información paramétrica del modelo.

De esta forma queda establecido el cronograma por barras de Gantt, un servicio más amplio del programa permite controlar la ejecución de obra para que el cliente realice pagos por ejecuciones finalizadas, con la extensión del programa Construction Sequencer a través de una hoja de Excel que el programa analiza inteligentemente, enviada a la oficina del proyecto, el constructor puede designar en qué estados se encuentran los elementos en tiempo real, el cliente puede efectuar por ejemplo ,el pago de los elementos izados solamente si así lo desea, con un clic, que genera el informe de pagos automáticamente, según la norma establecida para este proceso.



Name	AssemblyMark	Profile	TotalWeight	NearestGridLocation	ErectionStatus
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	1/A	On Site
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	1/B	Installed
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	1/C	In Transit
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	2/A	On Site
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	2/B	Installed
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	2/C	In Transit
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	3/A	On Site
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	3/B	Installed
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	3/C	In Transit
COLUMNA	C1	W16X50	984.78	4/A	
VIGA	V2	W16X40	790.51	3-4/A	
VIGA	V2	W16X40	790.51	3-4/B	
VIGA	V2	W16X40	790.51	4-5/A	
VIGA	V1	W16X40	592.88	3/B-C	
VIGA	V2	W16X40	790.51	2-3/C	
VIGA	V2	W16X40	790.51	1-2/C	
VIGA	V2	W16X40	790.51	1-2/B	
VIGA	V2	W16X40	790.51	1-2/B	
VIGA	V2	W16X40	790.51	1-2/A	
VIGA	V1	W16X40	592.88	1/A-B	

Figura. 3.20 Ventana de la extensión Construction Sequencer utilizada para el control en obra de los elementos en construcción y montaje en tiempo real.

3.3 Criterio de especialistas y análisis de resultados.

La metodología propuesta fue puesta en prueba por especialistas del departamento de estructura, basando sus criterios en el tiempo de realización del modelo, análisis

de posibles imperfecciones, modificaciones en cada etapa y facilidad en el trabajo, resulta factible la propuesta, considerada de provechosa, eficiente y altamente aplicable.

La duración del proyecto basado en el antiguo flujo de trabajo culminó en 2 meses (40 días contables por la empresa), (ver gráfico 3.21), se invirtió el 50% en la modelación del proyecto y 50% en la generación de planos manuales. Con la utilización de la nueva metodología propuesta se reporta un ahorro de un 30% (12 días) en la elaboración del proyecto teniendo su mayor influencia en la generación de planos en la que se ahorra 10 días de trabajo, (ver gráfico 3.22).

El ahorro en tiempo usando esta metodología es directamente proporcional a la magnitud del proyecto, mientras mayor sea el volumen de planos a entregar mayor será el tiempo ahorrado en la creación de los mismo.

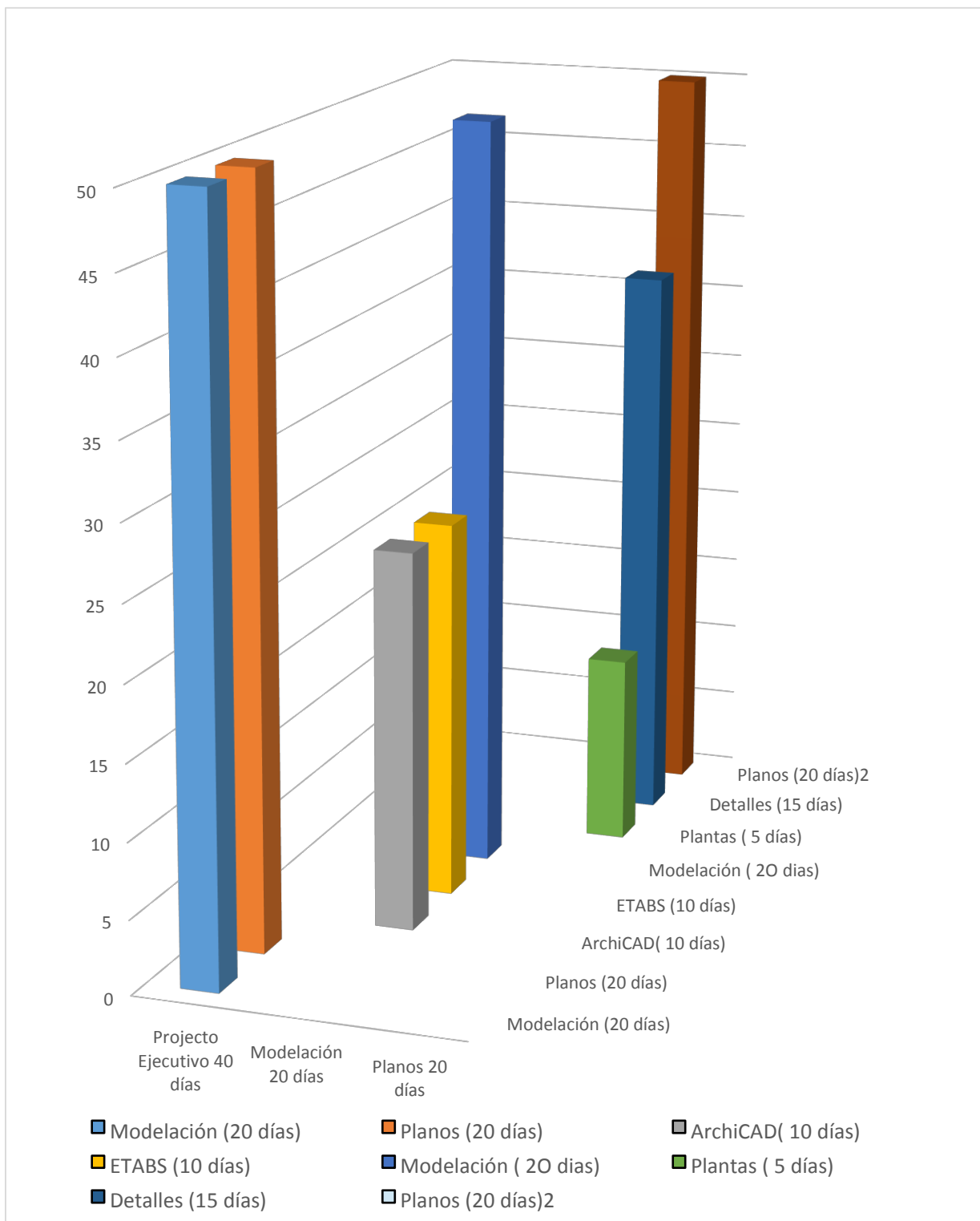


Gráfico 3.21 Duración del proyecto utilizando el antiguo flujo de trabajo (días).

Gráfico, elaboración propia

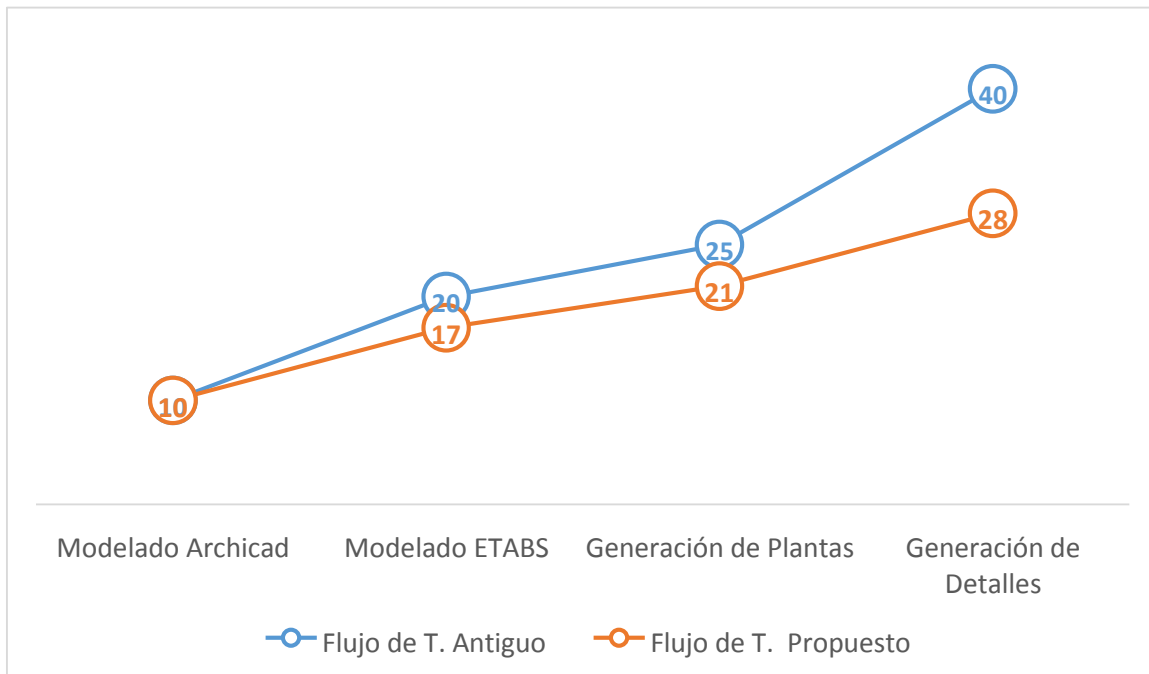


Gráfico 3.23 Comparación de métodos, análisis de tiempo acumulado por etapas. Gráfico, elaboración propia.

El control de choques evitó la modificación de errores de replanteo, que causó una modificación del proyecto por el antiguo flujo de trabajo en el que se invirtió 30% más del tiempo total utilizado en el proyecto ejecutivo; la detección de interferencias a tiempo por la nueva metodología propuesta evitó un error de los pases para instalaciones que pudieron llegar a convertirse en un tema más costoso en obra por la demolición y reconstrucción del objeto en conflicto.

Según la especialista económica la oferta del servicio de organización de obra que puede ser ofertado a solicitud del cliente, puede incrementar el costo del proyecto en un estimado de \$8000 a \$10000, por tanto, se incrementan las ganancias para el personal de la empresa.

Las ganancias en tiempo, en cuanto a la creación de proyectos, no producen ganancias monetarias de acuerdo al sistema de pago de la empresa. Pero si ganancias en cuanto a la facilidad del trabajo y la corrección de errores. Apoyados en una futura legislación del BIM para la entrega de proyectos en Cuba, legislación que en muchos países del mundo se encuentra en vigor, la utilización de un nuevo método de pago que tenga en cuenta los beneficios que aporta las herramientas BIM en cuanto a calidad y tiempo, puede ser provechoso para los involucrados en el proceso inversionista, se trata de una construcción con la menor cantidad de pérdidas posibles y con la mayor calidad de entrega propuesta.

Conclusiones parciales del capítulo III:

1. La metodología o flujo de trabajo propuesta en la presente investigación, ha sido validada en un caso real de la empresa basando los criterios de inspección de la misma en variables cuantitativas de costo y tiempo a su vez justificadas en el análisis de imperfecciones, modificaciones en cada etapa y facilidad en el trabajo. Basado en el criterio de especialista se consideró provechosa, eficiente y altamente aplicable.
2. El uso de la nueva metodología evidencia la eficacia del BIM generando ahorros de un 30 % en la elaboración del proyecto ejecutivo y ganancias monetarias agregados por la corrección de errores y detección de interferencias en etapas tempranas.
3. El salto a la 4D y 5D que incluyen el costo y control de obra en la información de entrega del proyecto, constituye una novedad para la empresa y permite ganancias monetarias agregadas con valor de \$8000 a \$10000 por la oferta de un nuevo servicio, valores inferidos por la especialista económica de la empresa.

CONCLUSIONES GENERALES:

1. La construcción del marco teórico-referencial permite la elaboración de un análisis científico - técnico de la tecnología BIM, demostrando los innumerables beneficios que puede tener en el sector constructivo actual y supliendo los antiguos e ineficientes métodos de trabajo por herramientas mucho más capaces en la solución de proyectos más ambiciosos.
2. La empresa CCrea presenta un alto índice de conocimiento de la tecnología BIM, cuenta con aseguramiento necesario en hardware y software, pero carecen de los métodos que permitan hacer un uso real y eficiente de lo que supone BIM como concepto.
3. La metodología propuesta soluciona las incoherencias causadas por el mal uso de los softwares en el departamento de estructura de la empresa CCrea, la implementación de la misma en un proyecto real demuestra cuán provechosa y aplicable resulta su uso
4. La eficacia del flujo de trabajo ArchiCAD® - Tekla® genera ahorros de un 30% en la elaboración del proyecto ejecutivo y ganancias monetarias agregadas por la corrección de errores y la detección de interferencias en etapas tempranas.
5. La utilización de las potencialidades del software Tekla®, ha permitido la ampliación del uso del BIM en la empresa CCrea al permitir el cálculo del tiempo y el costo de los proyectos, su posible uso la convierte en una empresa innovadora y vanguardista en el uso del BIM dentro de las empresas del territorio.

RECOMENDACIONES

1. Para la elaboración de una metodología es necesario tener muy en cuenta las necesidades de la empresa en la que se va a aplicar, no se puede insertar un método de trabajo que no sea acorde a las carencias que presenta cada empresa de proyecto, para la aplicación de esta propuesta en otra empresa del territorio es recomendable comenzar con un análisis de necesidades para comprobar que su uso puede ser efectivo en la misma.
2. La utilización del software ArchiCAD® obliga a partir de un punto existente en la modelación y diseño que, en algunos casos, puede determinar las incoherencias que ocurren en la importación del modelo en otros softwares por ejemplo (ETABS®), e incluso en el trabajo con otras especialidades como mecánica, hidráulica y eléctrica. Aunque este resulta un problema muy extendido en la literatura existente, puede ser solucionado utilizando una familia de softwares común como Revit (Autodesk), en los que estos problemas son menos pronunciados al tratarse de un mismo desarrollador.
3. Aunque ya se comenzó el camino para la propagación y uso de esta tecnología de la mano de la UNAIC en la provincia de Villa Clara a través del Evento Tecnología de Gestión del Proceso Constructivo, en el que se tomaron algunos acuerdos para su revisión por el frente de proyecto, se hace necesario que otras entidades apoyen también el uso de esta tecnología, que incorpore junto a su implementación métodos de pago acorde al ahorro que genera cada empresa en el uso de la misma, basándose para ello en la estandarización global ISO 19650: Organización y Digitalización de Información de Construcción y trabajos de ingeniería, incluyendo Building Information Modeling (BIM) dada a conocer en el mes de enero del 2019 por la Organización Internacional de Estandarización.

BIBLIOGRAFÍAS

- Alzate, A. M. F. S. (2017). Impacto económico del uso de bim en el desarrollo de proyectos de construcción en la ciudad de Manizales. (Máster), Universidad Nacional de Colombia.
- Aponte, L. X. S. (2016). Gestión de proyectos de construcción con metodología bim *"Building Information Modeling"*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Arboleda, A. M., & Rivera, D. F. V. (2012). Implementación de las metodologías bim como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.
- Astobiza, R. G. (2013). BIM Iberica.
- CaribbeanNewsDigital. (2017). Bouygues Batiment International apuesta por la infraestructura hotelera cubana. from www.caribbeannewsdigital.com/es
- Corporation, T. S. (2017). Tekla Structures 2017 Interoperabilidad.
- Chacón, D. C. I., & Cuervo, G. C. I. (2017). Implementación de la metodología bim para elaborar proyectos mediante el software Revit. Universidad de Carabobo.
- Delgado, D. I. C. R. (2018). Tecnología bim. En el marco del VIII Congreso Iberoamericano de ingeniería de proyectos.
- Diazgranados, M. B. (2018). Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño cad para aventurarse a lo moderno de la metodología bim. Universidad Católica de Colombia.
- Dousdebés, J. F. B. (2017). Aplicación de la metodología BIM, en el ciclo de vida de estructuras industriales para instalaciones mecánicas. (Máster), Escola Técnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports.
- Faubel, I. O. (2015). Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta. (Doctor), Universitat Politècnica de València, Programa de Doctorado en Arquitectura, Edificación, Urbanística y Paisaje.
- Galfré, J. M. (2017). Bouygues Batiment International apuesta por la infraestructura hotelera cubana.

- Graphisoft®. (2012). Interoperability with Structural Disciplines. In Graphisoft® (Ed.).
- Graphisoft®www.graphisoft.es. (2019). OpenBim.
- Indo, I. A. M. V. (2014). Estudio de viabilidad del uso de la tecnología bim en un proyecto habitacional en altura. (Máster), Universidad de Chile.
- Landa, A. M. L. M. (2017). 10mo ANIVERSARIO DE CCREA. 1ro de Octubre 2007 al 1ro de Octubre del 2017.
- López, F. C.-G. (2016). Experiencia de implantación de metodología bim en plan de estudios del máster universitario de edificación de la universidad politécnica de valencia. <https://www.researchgate.net/publication/303882067>
- López, J. G., Mateu, M. M., Castillo, A. C., Giner, A. B. F., López, R. H., García, J. L., & Ruiz, P. P. Z. (2016). BIM en 8 puntos In ©es.BIM (Ed.).
- MICONs. (2016/2017). Informe del estado de las viviendas comprometidas a terminar por los organismos (DPV. CAP. Villa Clara) IV trimestre 2016.
- Monzón, M. A. L. A. A. (2017). Implementación de tecnología BIM en IDEAR, Cienfuegos. Experiencia con Revit. Paper presented at the XII Conferencia Internacional Científico-Técnica de la Construcción. "Por mejores desempeños y la sostenibilidad de nuestro desarrollo".
- Ojeda, S. L. E. (2016). Aplicación de la tecnología bim en la gestión de la construcción y análisis de los beneficios del modelamiento 4d (tiempo-coste) en un edificio de 9 pisos en la ciudad de Arequipa. Universidad Católica Santa María.
- Picó, E. C. (2008). Introducción a la tecnología BIM. *Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I Secció Geometria Descriptiva, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.*
- Pitarch, C. M. (2015). Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura. Un proyecto con Revit. Universidad Politécnica de Valencia.
- Rodriguez, G. T. (14 mayo, 2018). En Matanzas: BIM adentro de la Empai (+ Fotos). Retrieved 28/2/2018, 2018, from www.tvyumuri.icrt.cu
- Sacks, R. (2010). The Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction.
- Sato, J. G. (2018). Análisis y evaluación de la tecnología (BIM) Building Information Modeling.

- Scaysbrook, S. (2018). Planning and their use of BIM. Birmingham City University.
- Strafaci, A. (2008). ¿Qué significa BIM para los ingenieros civiles? CE News.
- Vela, R. R. E. (2015). Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales bim 4d durante la etapa de planificación. (Bachiller), Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Zaje, S. (2011). BIM (Modelos de información para la construcción). Paper presented at the BIM (Modelos de información para la construcción) Autodesk.

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta a los profesionales del sector de la construcción:

1. Datos Generales del Encuestado

Empresa: _____

Departamento: _____

Especialidad: _____

Grado Científico: _____

Cargo que Desempeña: _____

Años de experiencia: _____

2. Cuestionario:

2.1 Conoces lo que es BIM (Building Information Modeling)

Si ligeramente _____ No _____ Si en profundidad _____

2.2 ¿Has recibido Formación BIM?

SI__ NO__

2.3 En caso de haber recibido formación BIM. ¿Qué tipo de formación?

Autodidacta _____ Curso Experto _____ Curso Básico _____

Postgrado _____ Máster _____ Seminarios _____ Otro(Cuál) _____

2.4 ¿Cuáles de las siguientes herramientas BIM conoces?

Autodesk Revit_____ Bentley Architecture/AecoSIM_____

Graphisoft ArchiCAD____ Nemetschek Allplan_____

ACCA software (Edificius)_____ CYPE_____ Tekla_____ Sketchup_____

Otro(especificar) _____ Ninguno_____

2.5 ¿Cuáles son las herramientas BIM que más utilizas en tu empresa a la hora de gestionar un proyecto/obra?

Autodesk Revit_____ Bentley Architecture/AecoSIM_____

Graphisoft ArchiCAD____ Nemetschek Allplan_____

ACCA software (Edificius)_____ CYPE_____ Tekla_____

SketchUp_____ Otro(especificar) _____ Ninguno_____

2.6 A Continuación, se muestran diferentes herramientas BIM. Ordene de 1(más importante) a 10(menos importante), los softwares que más resuelve las necesidades en cada etapa del proyecto.

Diseño y Modelación 3D	Análisis Estructural	Organización de obras (Costo, tiempo)
____Autodesk Revit ____Bentley Architecture/AecoSIM ____ Graphisoft ArchiCAD ____ Nemetschek Allplan ____ ACCA software (Edificius) ____ CYPE	____Autodesk Revit ____Bentley Architecture/AecoSIM ____ ETABS ____ SAP 2000 ____ Nemetschek Allplan ____ ACCA software (Edificius)	____Autodesk Revit ____Bentley Architecture/AecoSIM ____ Graphisoft ArchiCAD ____ CYPE ____ Tekla ____ Primavera ____ Synchro

___ Otro(especificar)	___ CYPE ___ Tekla ___ Otro(especificar)	___ Otro(especificar)
-----------------------	--	-----------------------

2.7 ¿Cuánto tiempo de implantación del BIM tiene en su trabajo/ Empresa?

Más de 5 años___ Menos de 1 año___

De 2-5 años ___ No se utiliza aún___

2.8 ¿En qué fase de los trabajos usted utiliza el BIM?

Modelado 3D___ Redacción completa del proyecto___

Redacción de mediciones y Presupuesto___ Análisis de instalaciones___

Redacción de la documentación del proyecto___ Análisis Estructural___

Análisis de detalles Constructivos___ Programación de Obra___

Mantenimiento Posterior___ Otros (especificar)_____

2.9 Como consideras (Excelente, Bueno, Malo) el aporte de esta tecnología en términos de:

- Tiempo: _____
- Costo: _____
- Detección de vulnerabilidades en etapas tempranas del proyecto:

- Facilidad en la forma de trabajo: _____
- Corrección de errores: _____
- Novedades que incluye_____

2.15 Del 1 al 3 siendo: 1(Poca) 2(Normal) 3(Considerable) ¿Cómo clasificarías tu resistencia al cambio, considerando que es un sistema que incluye al menos un 40% de conocimiento básico del sistema CAD_____

Anexo 2: Diagrama de flujo de trabajo BIM, empresa CCrea.

DIAGRAMA DE FLUJO DE TRABAJO BIM

