

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**MODELAMIENTO VIRTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN DEL
CASCO ESTRUCTURAL DEL CIIFIC-UNI MEDIANTE EL
PROGRAMA TEKLA.**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ERIKA PAMELA ISABEL VALLE BENITES

Lima- Perú

2015

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y a mis ángeles.

A mis abuelos Alejandro y Lucila.

A mis padres Vilma y Percy.

A mis hermanos Leslie y Alejandro

AGRADECIMIENTOS

Agradezco esta tesis a mi familia por tenerme paciencia y demostrarme en todos los sentidos el gran amor que me tienen, esta tesis es para ustedes.

Agradecer a la Facultad de Ingeniería Civil y Universidad Nacional de Ingeniería por ser mi alma mater y haber aprendido dentro de sus aulas la importancia de la perseverancia hacia tus sueños, junto con muchas experiencias de vida que me ayudaron a ser mejor persona.

Agradecer al Laboratorio de Diseño y Construcción Virtual liderado por el Ing. Wilfredo Ulloa por la confianza puesta en este proyecto que ha permitido la difusión de este tema en varios congresos nacionales. Esta tesis no se podría haber realizado sin el apoyo de todos los integrantes de la empresa IDandBIM International, principalmente por el Ing. Felipe Quiroz que me permitió conocer otras áreas adicionales a las aprendidas en la universidad.

Agradecer al Instituto de Investigación IIFIC-UNI, que me permitió conocer mi vocación de investigadora desde mis etapas universitarias, con el apoyo de grandes profesionales como el Dr. Teófilo Vargas y Ms. Pablo Peña.

INDICE

RESUMEN	<i>iii</i>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS	<i>vii l</i>
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	ix
INTRODUCCION	x
CAPITULO I: GENERALIDADES	11
1.1 ANTECEDENTES	11
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivos Generales	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1 MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)	18
2.1.1 Definición	18
2.1.2 BIM en el ciclo de vida de un proyecto	22
2.1.3 Beneficios de BIM en la etapa de diseño y Pre-Construcción	23
2.1.4 Beneficios de BIM en la etapa de construcción y fabricación	25
2.1.5 BIM en el Perú y el mundo	26
2.1.6 Herramientas BIM	29
CAPÍTULO III: MODELAMIENTO DEL CASCO ESTRUCTURAL DEL CENTRO DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	31

3.1	PROYECTO: CENTRO DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL (CIIFIC-UNI)	31
3.2	MODELAMIENTO BIM	36
3.2.1	Modelos de Arquitectura 3D	36
3.2.2	Modelos MEP	37
3.3.1	Catálogo de estructuras	40
3.3.2	Modelo de Estructuras	40
3.3.3	Modelo de Pre-Construcción	42
3.4.1	Atributos de Tekla Structures	48
	CAPÍTULO IV: CASOS DE UTILIZACIÓN DEL MODELO ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN	51
4.1	NIVELES DE UTILIZACIÓN BIM	51
4.1.1	Visualización del modelo BIM	51
4.1.2	Integración Interdisciplinaria	54
	CAPÍTULO V: ENTREGABLES DEL MODELO	63
5.1	PLANILLAS DE DOBLEZ	63
5.2	PATRONES DE CORTE	67
5.3	PLANOS DE FABRICACIÓN	73
	CAPÍTULO VI: AUTOMATIZACIÓN DE UN MODELO BIM	80
6.1	TEKLA OPEN API	80
6.2	CASO PRÁCTICO: AUTOMATIZACIÓN DE PEDESTAL Y ZAPATA	80
6.3	LIMITANTES Y PRÓXIMAS INVESTIGACIONES	84
	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
7.1	CONCLUSIONES	85
7.2	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFIA	88
	ANEXOS	90

RESUMEN

Desde el comienzo del siglo XXI, la tecnología ha sido el quiebre de todas las industrias, como lo demuestra el estudio del Departamento del Comercio de EE.UU. que indica el aumento del 100% de productividad en las industrias no-agrícolas y ganaderas en menos de 40 años, mientras que en el mismo estudio se indica el estancamiento de la productividad en la industria de la Construcción presentándose un ligero aumento sólo con el ingreso del CAD a la industria. A finales del siglo anterior, la aparición de una nueva metodología de trabajo permitió que se pueda generar uno de los mayores cambios en la industria de la construcción que según los expertos se podría comparar con la revolución industrial del siglo XXI. Esta nueva metodología de trabajo viene acompañada del desarrollo de softwares y un cambio de mentalidad principalmente.

La nueva forma de trabajo cambia el esquema tradicional y define el trabajo en equipo como principal característica. Comenzando desde la etapa de diseño hasta la etapa de Operación. En muchos países como Japón, EE.UU., Reino Unido, Chile, etc., se viene realizando este cambio de metodología con presencia del estado y empresas privadas, que aseguran las ventajas de utilizar BIM. Si bien la utilización del BIM viene acompañada por diversas herramientas como los softwares, estos solo representan un 10% de la metodología. Lo restante se realiza con la integración de un equipo de trabajo multidisciplinario que permite colaborar, comunicar y visualizar el proyecto para que pueda cumplir con todos los requerimientos de cada disciplina.

Según Eastman [5], la utilización del BIM trae ventajas a todos los involucrados del proyecto comenzando con el propietario, diseñadores, constructores, fabricantes, contratistas y usuarios, si bien en su libro señalan las ventajas para cada involucrado. Nos parece conveniente definir que nuestro país es un mercado que está en sus primeras etapas de utilización del BIM. En estas primeras etapas se conocen muchas ventajas en la etapa de la construcción como lo son la identificación de interferencias, metrados automáticos desde el modelo, simulación 4D (3D+ Programación de Obra), entre otros.

En la presente tesis hemos estudiado las ventajas y desventajas de utilizar BIM en la etapa de la Pre-Construcción, interactuando con el diseñador y constructor para mejorar la constructibilidad del proyecto y así también las ventajas de utilizar BIM para la fabricación y optimización de las varillas de acero del proyecto Centro de Información e Investigación (CIIFIC-UNI) siendo uno de los primeros proyectos en utilizar la metodología BIM en dichas etapas.

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1	Porcentaje de usuarios BIM y CAD desde 1982 hasta 2012.	11
Figura N° 1.2	Productividad de la industria de la construcción y la no-agrícola 1964-2003 y proyección de DKS Information Consulting hasta el 2022.	14
Figura N° 1.3	Clasificación de interferencias entre las especialidades [1]	15
Figura N° 2.1	Objeto y parámetros del Tekla Structures (Pad Footing Properties)	19
Figura N° 2.2	Propiedades del Tekla Structures (Inquire Object)	20
Figura N° 2.3	Diferencia entre objetos BIM y CAD	21
Figura N° 2.4	Curva de esfuerzo en el ciclo de vida del proyecto	22
Figura N° 2.5	Gráfica de información a través del ciclo de vida del Proyecto	23
Figura N° 2.6	Beneficios en la etapa de Diseño y Pre-Construcción [11]	24
Figura N° 2.7	Beneficios en la etapa de Construcción [11]	26
Figura N° 2.8	Niveles de trabajo colaborativo	26
Figura N° 2.9	Niveles de desarrollo (LOD)	28
Figura N° 2.10	Softwares de la plataforma AutoCAD	29
Figura N° 2.11	Logo del software BIM Bentley System	30
Figura N° 3.1	Vista Render del Proyecto CIIFIC-UNI	32
Figura N° 3.2	Terreno del proyecto CIIFIC-UNI	32
Figura N° 3.3	Especificaciones del aislador sísmico	33
Figura N° 3.4	Sectorización del proyecto CIIFIC-UNI	33
Figura N° 3.5	Fotografía de avance de obra en el nivel de cimentación	34
Figura N° 3.6	Fotografía antes de la instalación de los pedestales	34
Figura N° 3.7	Instalación de Aisladores sísmicos en pedestales	35
Figura N° 3.8	Avance de sector 1 del primer nivel	35
Figura N° 3.9	Modelo de Arquitectura en el software Revit Architecture	36
Figura N° 3.10	Modelo de MEP en el software Revit MEP	37
Figura N° 3.11	Diagrama de flujo del modelamiento virtual de la construcción del CIIFIC-UNI	39
Figura N° 3.12	Modelo de estructuras del CIIFIC-UNI en el software Tekla Structures	41
Figura N° 3.13	Interferencia del modelo MEP y el concreto de la cisterna.	41

Figura N° 3.14	Detallamiento de acero de refuerzo en Tekla Structures	42
Figura N° 3.15	Herramienta de administración de formas de acero de refuerzo por defecto del Tekla Structures.	43
Figura N° 3.16	Herramienta de administración de formas de acero de refuerzo en Tekla Structures utilizado en el proyecto.	43
Figura N° 3.17	Herramienta de reportes IB.Data de propiedad de IDandBIM	44
Figura N° 3.18	Hoja de Excel del Reporte de IB.Data.	44
Figura N° 3.19	Simulación de insertos e identificación de interferencias	45
Figura N° 3.20	Herramienta de Administración de tareas del Tekla Structures	46
Figura N° 3.21	Simulación 4D del proyecto CIIFIC-UNI	46
Figura N° 3.22	Herramienta Tijera de Tekla Structures	47
Figura N° 3.23	Herramienta de Organizador de Tekla Structures	47
Figura N° 3.24	Visualizador gratuito de Tekla Structures	48
Figura N° 3.25	Atributos por defecto en Tekla Structures (Concrete Slab Properties)	49
Figura N° 3.26	Atributos definidos por el usuario.	49
Figura N° 3.27	Atributos definido por el usuario para el proyecto CIIFIC-UNI	50
Figura N° 4.1	Esquema de nivel de utilización del BIM [7]	51
Figura N° 4.2	Inserto Aislador sísmico en el modelo	52
Figura N° 4.3	Plantilla de colocación del acero	52
Figura N° 4.4	Intersección entre capitel, vigas principales y secundarias y columnas	53
Figura N° 4.5	Herramienta Clash Check Manager del Tekla Structures.	53
Figura N° 4.6	Video de colocación del acero en capiteles propuesto por especialistas	54
Figura N° 4.7	Ejemplo de un RFI-General	55
Figura N° 4.8	Ejemplo de un RFI-Rebar	56
Figura N° 4.9	Ejemplo de un RFI - Geometría	57
Figura N° 4.10	Dimensiones del acero de refuerzo del pedestal inicialmente.	58
Figura N° 4.11	Modelo del pedestal con la propuesta	59
Figura N° 4.12	Esquema de la propuesta en 2 partes de varilla.	59
Figura N° 4.13	Método tradicional de colocación de acero en columnas	60
Figura N° 4.14	Propuesta de colocación de acero en columna	60
Figura N° 4.15	Propuesta de colocación del acero en las zapatas.	60

Figura N° 4.16	Fotografía en las reuniones ICE entre los diseñadores y el constructor	61
Figura N° 4.17	Fotografía del uso del modelo del diseñador junto con el constructor	62
Figura N° 5.1	Diagrama de Flujo de generación de planillas	63
Figura N° 5.2	Reporte de Excel obtenido por la aplicación IB.Data.exe	64
Figura N° 5.3	Hoja de Excel LISTA DE BARRAS.xlsm	65
Figura N° 5.4	Lista de barras de la viga de cimentación del sector 1	66
Figura N° 5.5	Diagrama de flujo de Generación de patrones de corte con Optima V1	67
Figura N° 5.6	Stock de acero por diámetro.	68
Figura N° 5.7	Patrones de corte de las lista de barras del nivel del Semisótano	71
Figura N° 5.8	Resumen de saldos de cada diámetro y el stock actual	72
Figura N° 5.9	Propiedades del dibujo general	73
Figura N° 5.10	Propiedades de una vista del dibujo	74
Figura N° 5.11	Propiedades de un objeto (acero de refuerzo) dentro de una vista y plano	74
Figura N° 5.12	Esquema de la jerarquía de todos las partes de un plano.	75
Figura N° 5.13	Diagrama de flujo de generación de planos de fabricación	75
Figura N° 5.14	Ventana de creación de un nuevo plano.	76
Figura N° 5.15	Creación de planos de Tekla Structures y vistas por defecto	77
Figura N° 5.16	Propiedades de las etiquetas de un objeto (acero de refuerzo)	77
Figura N° 5.17	Fotografía de reuniones con el equipo de trabajo en obra en el salón ICE	78
Figura N° 5.18	Fotografía con el maestro fierro y constructor en taller de obra.	79
Figura N° 6.1	Formulario de la aplicación Pedestal.exe	81

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1-1	Porcentaje de Desperdicio por diámetro de varilla.	16
Tabla N°2-1	Lista de objetos de software BIM	20
Tabla N°3-1	Ejemplo de catálogo de una estructura	40
Tabla N°3-2	Matriz de atributos definido por el usuario para el concreto y acero.	50
Tabla N°5-1	Lista de códigos por diámetro para la generación de marcas	66
Tabla N°6-1	Datos Fijos y variables de la Aplicación Pedestal.exe	81

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

As:	Acero superior
Ai:	Acero Inferior
AIA:	American Institute of Architects (en español Instituto Americano de Arquitectos)
AEC:	Architecture/Engineering/Construction (en español Arquitectura/Ingeniería/Construcción)
Bh:	Barra horizontal
BIM:	Modelado de información de la Edificación
BSI:	Building SMART International
Bv:	Barra vertical
CAD:	Diseño asistido por Computadora
Es:	Estribos
EE.UU.:	Estados Unidos de América
ICE:	Integrated Concurrent Engineering (en español Ingeniería Concurrente Integrada)
LOD:	Level of Details (en español Nivel de Detalle)
LOI:	Level of Information (en español Nivel de Información)
MEP:	Mechanical, Electrical and Plumbing (Mecánica, Eléctrica y Plomería)
PBI:	Producto Bruto Interno
RFI:	Request for Information (en español Solicitudes de información o SI)
Tr:	Trava
UK:	Reino Unido

INTRODUCCION

Las ventajas de la utilización de la metodología Building Information Modeling (BIM) es conocida mundialmente y es respaldada por muchos casos de éxitos y aprendizaje continuo pero en nuestro medio la mayoría de casos de éxitos han sido estudiados en la etapa de la construcción, es por eso que esta tesis explicará las ventajas y desventajas de utilizar la metodología antes de la construcción, encontrando el modelo BIM como un punto intermedio que permita al diseñador observar y modificar su diseño y al constructor visualizar la obra tal como va a ser construida. Además, este modelo creado sirvió para la fabricación y optimización de las varillas de acero.

En el primer capítulo, se detalla los antecedentes relacionados a la construcción virtual junto con el desarrollo de sus herramientas a través de años anteriores. Además, permite entender los objetivos y organización de la tesis junto con la justificación y planeamiento del problema. En el segundo capítulo, se conceptualizará todos los términos que nos permitan entender el concepto de construcción virtual y sus diferencias con otros términos.

En el tercer capítulo, explicaremos la concepción del modelo BIM y el alcance de este para todos los involucrados. También se explicará la diferencia de este modelo con otros modelos y se demostrará la importancia de la información en los modelo de Pre-construcción. En el cuarto capítulo, se explicará los diversos casos de utilización del modelo BIM en la etapa de la Pre-construcción junto con el flujo de trabajo BIM utilizado.

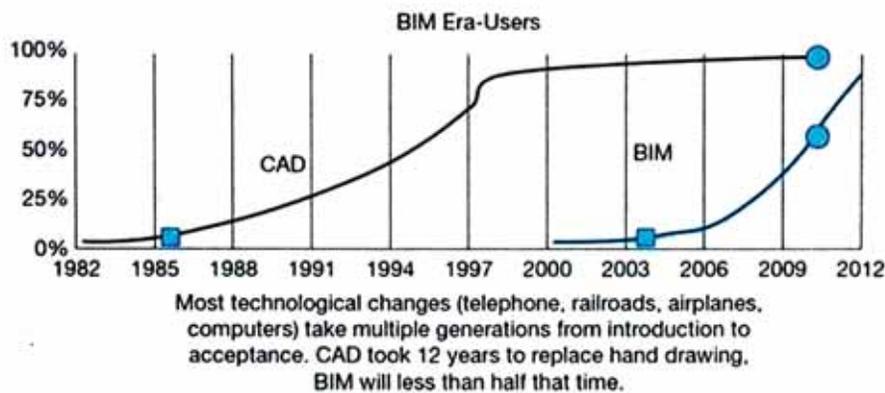
En el quinto capítulo, se explicará los entregables de los proyectos que han sido obtenidos desde el modelo y junto con otras herramientas permitieron realizar los planos de fabricación, planillas de corte y patrones de corte. En el sexto capítulo, se explicará una nueva forma de utilización del modelo BIM para que sirva como base para próximas investigaciones. Finalmente se presentará el séptimo capítulo de conclusiones y recomendaciones de la tesis.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La industria de la construcción ha sido por mucho tiempo sinónimo de retrasos y grandes pérdidas desde la elaboración del proyecto hasta su construcción, por ser una industria que cuenta con muchas variables como son el tiempo, la diversidad de recursos, el clima, las personas, etc. La historia de la industria de la construcción indica que los mayores cambios se han realizado por medio de los avances tecnológicos, como es el caso de la utilización del diseño asistido por computadora (CAD) que comenzó en los años 80 en nuestro medio. El cambio de trabajar con planos realizados a mano y pasar a trabajar con planos realizados mediante una computadora aumento la rapidez de elaboración y exactitud de un proyecto.

En nuestro medio se adaptó rápidamente la utilización del CAD por ser una simplificación del trabajo manual y en la actualidad es la base de todo proyecto de construcción. La incorporación del CAD al mercado tomó aproximadamente 12 años para abarcar el 75% de usuarios, mientras en que el BIM en aproximadamente la mitad de tiempo se aproxima a ese valor, comentando que durante los próximos años la tendencia es que los gobiernos dicten los estándares y normas de uso, acelerando el proceso. (Ver Figura N° 1.1)



BIM Products: Revit, ArchiCAD, Digital project (Catia), Bentley, VectorWorks, Tekla
Figura N° 1.1 Porcentaje de usuarios BIM y CAD desde 1982 hasta 2012.

A partir de fines del siglo anterior, una nueva forma de trabajo prometía ser un cambio tan impactante para la industria que se podía comparar con la revolución industrial del siglo XXI. Esta nueva metodología de trabajo estaba acompañada

con un desarrollo tecnológico superior al CAD, el cambio de programación por coordenadas a una programación de objetos permitió dejar atrás las líneas y círculos del CAD a objetos en 3D (Zapatas, Columnas, etc.). Permitiendo visualizar el proyecto antes de la construcción y que además, pueda contener información relevante para la construcción como es el caso de volúmenes, áreas, niveles, etc.

Las empresas Archicad, Autodesk, Tekla Structures, etc., fueron las primeras en desarrollar esta tecnología empleando diversos criterios de modelamiento, almacenamiento, etc., Por ejemplo, el uso del software Revit es caracterizado por las familias de objetos, que son un conjunto de elementos con características y aspecto muy similares. Mientras que en el Tekla Structures se conocen como partes y conjuntos.

Building Information Modeling (BIM) significa una nueva forma de trabajo en los proyectos, desde el diseño hasta su mantenimiento, aunque en la actualidad se confunde el termino BIM como un producto y no como la metodología, que si bien el software nos ayuda no reemplaza el protagonismo del Ingeniero. Con el BIM los ingenieros tenemos la oportunidad de cambiar, reemplazar, y mejorar nuestras decisiones.

En el Perú, esta tecnología está ingresando al mercado y se está posicionando rápidamente entre las principales constructoras del país, otra iniciativa que promete ser el punto de empuje de la metodología es la creación del comité BIM Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, buscando la estandarización del uso en todos los proyectos de construcción del estado. Esta iniciativa sigue el ejemplo de países como Reino Unido que quieren para el 2016 trabajar en 100% BIM en todos los proyecto del estado, del mismo modo el ayuntamiento de Barcelona con la misma meta para el año 2020.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Generales

- Aplicar la metodología de trabajo utilizando un modelo BIM como herramienta de integración, comunicación y colaboración.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el modelo de Pre- Construcción del centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (CIIFIC-UNI).
- Documentar las ventajas y desventajas de utilizar un modelo BIM con detalles del acero de refuerzo antes de la construcción mediante las reuniones con los especialistas.
- Utilizar la información obtenida del modelo para la habilitación y colocación del acero de refuerzo en la obra.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1. Ausencia de herramientas de visualización de la etapa constructiva que permita mejorar la constructibilidad del proyecto antes de iniciar la construcción y la limitante interacción entre los especialistas encargados del diseño del proyecto y el constructor, no existiendo alguna herramienta que permita visualizar cada especialidad.
2. Limitada cuantificación de corte y doblaje del acero de refuerzo a utilizarse en la obra, habitualmente se delega esta importante definición al maestro fierro, sin intervención del profesional.
3. Existencia de incompatibilidades e incongruencias entre los planos de especialidades que son registrados durante la construcción generando pérdidas de recursos por no haber efectuado las coordinaciones precisas en la entrega del proyecto final.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la construcción ha estado variando a través de los años con grandes ascensos y descenso por la crisis mundial y se ha convertido en la industria que en el año 2014 representaba el 22% del Producto Bruto Interno (PBI) y para el 2015 se espere un aumento del 2% con tendencia a aumentar¹. Siendo este contexto bueno para evaluar lo anterior realizado y prepararnos para el futuro, según el estudio del Departamento del Comercio de EE.UU. que indica el aumento del 100% de productividad en las industrias no-agricola y ganadera en menos de 40 años y compara la productividad de la industria de la construcción dando como resultado valores negativos. En la Figura N° 1.2, se observa el estado de la productividad hasta el 2003 comparando con el aumento de productividad de las industrias no-agricola junto con la proyección de DKS Information Consulting utilizando los procesos BIM para los próximos 20 años. (National Institute of Building Sciences, 2007)[11].

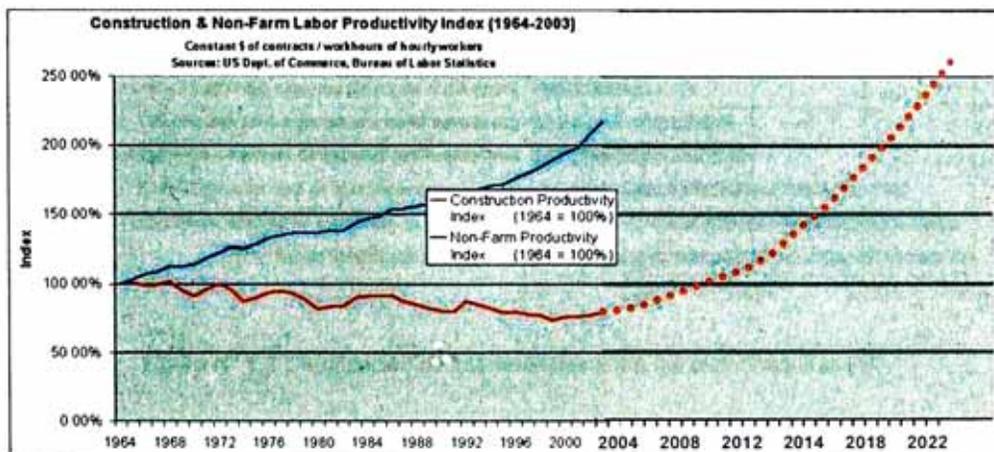


Figura N° 1.2 Productividad de la industria de la construcción y la no-agricola 1964-2003 y proyección de DKS Information Consulting hasta el 2022.

Además, de esta oportunidad se presenta el desafío de la complejidad de estructuras que por el avance tecnológico de los diversos software de diseño permiten crear y el aumento de instalaciones y materiales a utilizar en el proyecto.

¹ Según el marco Macroeconómico Multianual 2015-2017 publicado en Abril del 2014 por el ministerio de Economía y Finanzas.

Esta complejidad viene acompañada por la rapidez del cliente en obtener el proyecto, disminuyendo los tiempos de planificación, ejecución y fabricación drásticamente.

Es por ello que en el mercado peruano, la industria de la construcción incorpora softwares BIM como los son el Revit MEP y Revit Architecture para resolver problemas de interferencias entre las especialidades y solucionarlos de una manera anticipadamente a la obra. En la Figura N° 1.3, se puede observar la clasificación de interferencias entre las especialidades.

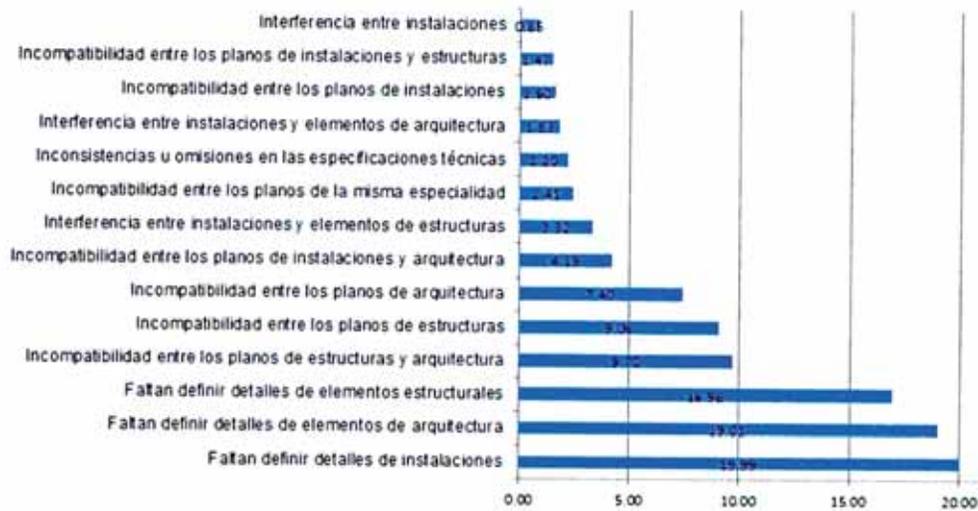


Figura N° 1.3 Clasificación de interferencias entre las especialidades [1]

Los objetivos alcanzados hasta el momento en la industria peruana de la construcción permiten identificar y solucionar las interferencias en la obra entre las diversas especialidades. Si bien, la visualización de todas las especialidades permite que cada especialistas pueda mejorar y/o proponer su diseño, no permite al constructor identificar los por menores del proyecto. Es decir, los modelos BIM en actualidad no representan los problemas de colocación de obra, el acero de refuerzo por alguna tubería, etc., ni permiten desarrollar información que pueda ser de utilidad en la obra. No se puede hablar de una metodología BIM completa sin que esta forme parte de la obra no solo en temas de visualización sino por la información obtenida del modelo.

Por fines prácticos de la tesis, explicaremos el desarrollo del acero de refuerzo en nuestro país que se podría decir que no ha sufrido ningún cambio a través de los años. Si bien en la actualidad, se cuenta con herramientas más

estandarizadas y mayor seguridad, los procesos de habilitado y colocado no han variado generalmente

Generalmente, la habilitación de acero viene a ser realizada por el maestro de obra y los problemas de colocación son solucionados en campo sin tener una sustentación técnica ni la opinión del ingeniero. Siendo estos procesos los más importantes en el desarrollo de la obra y parte fundamental de la ruta crítica del proyecto. Según CAPECO, el 50% del tiempo del proyecto se está habilitando y colocando varillas de acero. Además, la inexactitud en el cálculo de los análisis de costos unitarios se produce por el cálculo de los desperdicios de cada diámetro de varilla (Tabla N°1-1).

Tabla N°1-1 Porcentaje de Desperdicio por diámetro de varilla [13]

Diámetro	% de Desperdicio
3/8"	3
1/2"	5
5/8"	7
3/4"	8
1"	10

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

En el primer capítulo, se detalla los antecedentes relacionados a la construcción virtual junto con el desarrollo de sus herramientas a través de años anteriores. Además, permite entender los objetivos y organización de la tesis junto con la justificación y planeamiento del problema. En el segundo capítulo, se conceptualizará todos los términos que nos permitan entender el concepto de construcción virtual y sus diferencias con otros términos.

En el tercer capítulo, explicaremos la concepción del modelo BIM y el alcance de este para todos los involucrados. También se explicará la diferencia de este modelo con otros modelos y se demostrará la importancia de la información en los modelo de Pre-construcción. En el cuarto capítulo, se explicará los diversos casos de utilización del modelo BIM en la etapa de la Pre-construcción junto con el flujo de trabajo BIM utilizado.

En el quinto capítulo, se explicará los entregables de los proyectos que han sido obtenidos desde el modelo y junto con otras herramientas permitieron realizar los planos de fabricación, planillas de corte y patrones de corte. En el sexto capítulo, se explicará una nueva forma de utilización del modelo BIM para que sirva como base para próximas investigaciones. Finalmente se presentará el séptimo capítulo de conclusiones y recomendaciones de la tesis.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)

2.1.1 Definición

Building Information Modeling (BIM) por sus siglas en inglés, puede ser traducido como “Modelado de la Información de la Edificación” y representa una nueva metodología de trabajo en la industria AEC (Arquitectura, ingeniería y Construcción Civil). Existen muchos términos que pueden explicar esta nueva metodología que según los expertos se podría comparar con la revolución industrial del siglo XXI en lo que respecta a la industria de la construcción [12].

Según el Gobierno Británico, la metodología es una nueva forma colaborativa de trabajo apoyado por la tecnología digital que generan nuevos métodos eficientes de diseño, planeamiento, construcción y mantenimiento [3]. La realización de modelos en 3D con una base de datos genera una mejor administración de la información de un proyecto en todo su ciclo de vida [12].

Según el glosario del BIM Handbook [5] describe BIM como las herramientas, procesos y tecnologías que son facilitadas por una documentación digital e inteligible por la máquina acerca de la edificación, su desempeño, su planeamiento, su construcción y su posterior operación. Por otro lado, es importante señalar la importancia de la utilización de las herramientas BIM acompañados con un equipo de trabajo capacitado y/o comprometidos en el desarrollo del proyecto [9].

Building SMART International (BSI), organización sin ánimo de lucro, apoya el uso de BIM en todo el mundo. Lo define como “un proceso de negocio para la generación y el aprovechamiento de los datos de la construcción, para diseñar, construir y operar el edificio durante su ciclo de vida. BIM permite a todos los interesados tener acceso a la misma información al mismo tiempo a través de la interoperabilidad entre las plataformas tecnológicas” [3].

La tecnología BIM se ha desarrollado desde los años 70 en EE.UU., el primer paso se realizó con la publicación de "The use of computers instead of drawings in building design" [5] donde el concepto de un modelo de un edificio podría generar cortes y secciones. Esto significó una proyección del cambio que generaría en el diseño y procesos de la industria. A través de los siguientes años, las empresas de software fueron desarrollando diferentes plataformas en base a la programación de objetos, generando el concepto de modelo paramétrico. Esta tecnología es diferente al utilizado por el CAD que se basa en la geometría de coordenadas para crear las gráficas.

El modelado paramétrico basados en objetos fue desarrollado en los años 80 por la industria manufacturera que no representaban objetos con geometría y propiedades determinadas. En la industria de la construcción, se generan parámetros como la altura, ancho, espesor, secuencias constructivas, etc., lo que permitió que se pueda cambiar las líneas del CAD por muros, losas, vigas, etc.; estos cambian por el software de uso. En la siguiente Figura se muestra el objeto Zapata del software Tekla junto con sus parámetros (Ver Figura N° 2.1).

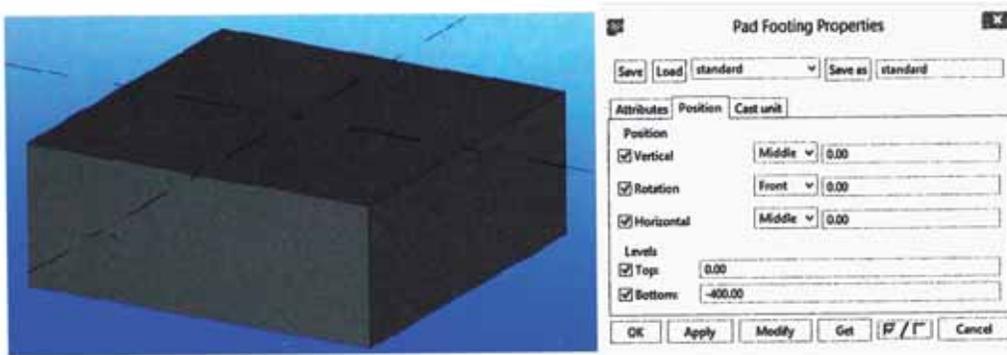


Figura N° 2.1 Objeto y parámetros del Tekla Structures (Pad Footing Properties)

A continuación, se muestra una lista de los objetos presentes en algunos softwares BIM.

Tabla N° 2-1 Lista de objetos de software BIM [5].

Tekla Structures	Revit MEP	Bentley Mechanical and Electrical
Partes (Zapatas, Vigas, losas, etc.)	Terminales aéreos	Tubos
Pernos	Cables	Conectores
Soldaduras	Conectores	Válvulas
Reforzamiento	Accesorios	Filtros
Tareas, etc.	Tuberías, etc.	Distribución de Energía, etc.

A partir del modelado paramétrico y operaciones matemáticas se pueden obtener la información geométrica de cada objeto como las áreas, los pesos, los volúmenes, centro de gravedad, etc. En la Figura N° 2.2 se observa la información que se obtiene automáticamente del objeto.

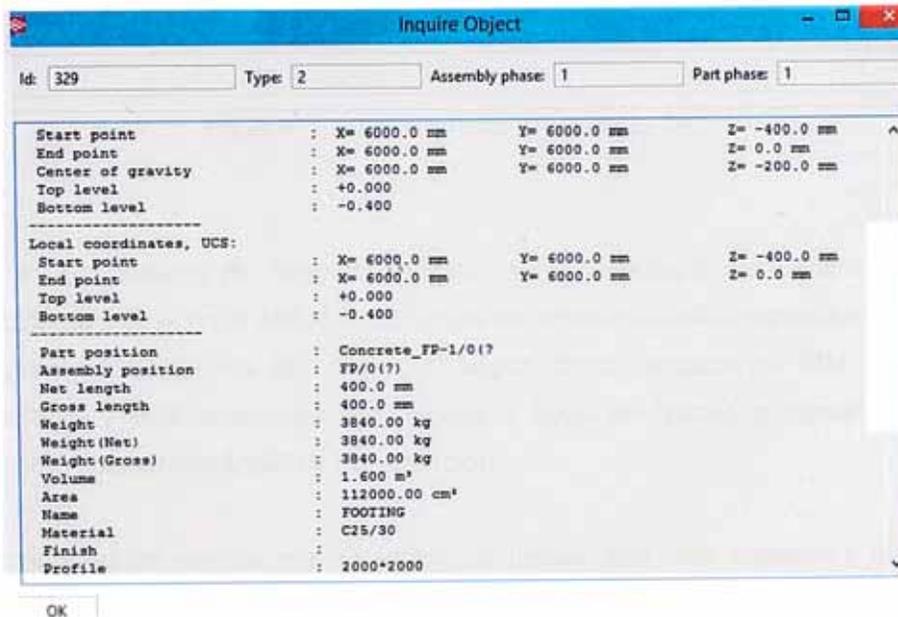


Figura N° 2.2 Propiedades del Tekla Structures (Inquire Object)

Un ejemplo de diferencia del uso del BIM con el CAD, es la creación de una puerta o tabique en una planta, en el CAD se tendría que actualizar todas las vistas, vistas 3D, metrados y cortes del proyecto; originando una de los principales problemas de los proyectos, las incongruencias en los planos. Con el

BIM, la creación de cualquier objeto o ambiente es automáticamente representado en todas las vistas. Además, la información de un muro en CAD serán las propiedades de un conjunto de líneas o bloques pero en el BIM, la información del tabique es el área, volumen, tipo de ladrillo, contratista, rendimiento, día de ejecución, logística, etc. Un modelo BIM tiene como característica principal la información que contiene y es lo que diferencia del 3D CAD. La información que contiene el modelo es el mayor valor agregado que tiene la metodología BIM (Ver Figura N° 2.3)

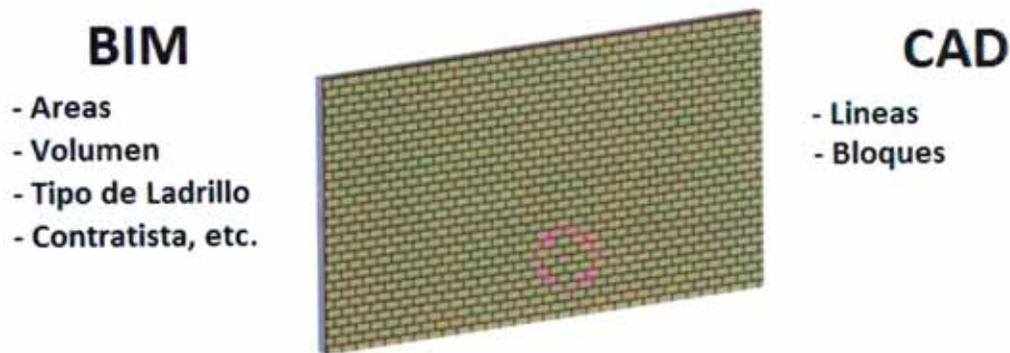


Figura N° 2.3 Diferencia entre objetos BIM y CAD

BIM es un proceso de negocio apoyado en la tecnología pero realizado por equipos de trabajos por ello la importancia de relacionar estos equipos significan en gran parte el éxito del proyecto, según Scott Simpson el BIM es 10% tecnología y 90% sociología. Se conoce 3 tipos de procesos comunicativos: Colaboración, Comprensión y Participación.

La colaboración permite que el equipo de trabajo sea más eficiente y efectivo dentro de la organización. Por ejemplo, se puede lograr que la información se más consistente a lo largo del proyecto o que un miembro del equipo pueda tomar decisiones de una disciplina específica con una visión más clara sobre cómo impacta esa decisión a otras disciplinas. La comprensión de los procesos comunes permitirá mejorar en la inversión de otros proyectos. Por ejemplo, el proceso común de contado de objetos de un modelo puede derivar a la creación y/o inversión de un sistema que permita automatizar el proceso. La participación

permite compartir los procesos entre el equipo de trabajo. Por ejemplo, un equipo puede aprender mejor el software del proyecto que individualmente [8].

2.1.2 BIM en el ciclo de vida de un proyecto

Según el diseño tradicional de proyectos, se empieza con una conceptualización de los requisitos del cliente para luego pasar a la etapa de diseño y documentación, terminada esta etapa se realiza la ejecución y operación del proyecto. Según la curva de MacLeamy, el mayor esfuerzo se encuentra en la etapa de documentación y la etapa donde se tiene una mayor capacidad de influir en costos y cambios y el menor costo de los cambios es en las primeras etapas: concepto y diseño.

En la Figura N° 2.4, la curva amarilla muestra el desarrollo de los proyectos utilizando BIM convirtiendo el mayor esfuerzo en las etapas iniciales.



Figura N° 2.4 Curva de esfuerzo en el ciclo de vida del proyecto

Esta curva demuestra los grandes beneficios que se puede lograr al utilizar BIM como una metodología pero todo el esfuerzo puede verse afectado si no se logra tener un equipo de trabajo comprometido y colaborativo. Si bien el utilizar BIM se utiliza durante todo el ciclo de vida del proyecto, solo nos centraremos en entender la fase de diseño, Pre-construcción y Construcción, puesto que son las

únicas fases donde se aplicó la metodología en el proyecto Centro de Investigación e Información de la Facultad de Ingeniería Civil (CIIFIC-UNI).

La principal ventaja de utilizar BIM en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto es la recuperación de información de cada ciclo vida, es decir la información del planeamiento será la misma para diseñador, constructor y contratista de manera exacta y para la etapa de ejecución, operación y renovación se cuenta con un porcentaje de información; Mientras en un diseño tradicional cada ciclo de vida significa una pérdida de información que produzca un retroceso en el proyecto (Figura N° 2.5).

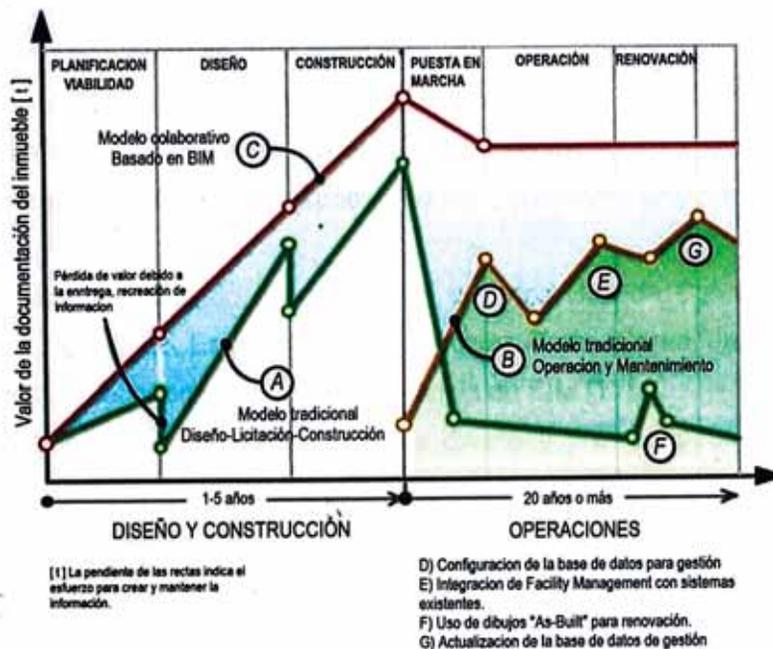


Figura N° 2.5 Gráfica de información a través del ciclo de vida del Proyecto

2.1.3 Beneficios de BIM en la etapa de diseño y Pre-Construcción

La generación de un modelo BIM en la etapa de diseño genera la visualización temprana del proyecto generando cambios técnicos, empíricos y/o estéticos que logran definir un mejor producto, los cambios realizados en el modelo son representados en todas las vistas del modelo sin necesidad de estar actualizando a cada una. Este modelo es el punto en común de todos los interesados del proyecto: dueño, especialistas, subcontratistas, etc., el modelo es versátil a los cambios generados por las reuniones entre los involucrados

junto con todos los planos y/o reportes de metrados que se puede obtener fácilmente del modelo. Si bien estos reportes son preliminares, pueden ser utilizados para realizar un presupuesto preliminar del proyecto.

Por último, el observar el proyecto permite mejorar nuestra ubicación espacial de los objetos teniendo en cuenta las dimensiones, las áreas donde en la realidad si irían. En resumen, los beneficios que se consiguen al utilizar BIM en la etapa de diseño y Pre- Construcción:

- a. Temprana y precisa visualización del diseño.
- b. Actualización automática a todo el modelo frente a un cambio.
- c. Generación de planos desde el modelo.
- d. Temprana colación de especialistas.
- e. Visualización de espacios y cantidades de áreas.
- f. Estimaciones preliminares de costos del proyecto.
- g. Comprobación del diseño visualmente.

Según un estudio realizado a empresas y usuarios BIM de Canadá, Francia, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Australia, Brasil, Corea, Japón y Nueva Zelanda, países reconocidos por su experiencia en BIM [11].

Los principales beneficios en la etapa de diseño y pre- construcción son los siguientes:

BENEFICIOS	Porcentajes
Coordinacion Multidisciplinaria	60%
Visualizacion de diseño propuesto	52%
Modelamiento según la constructibilidad	34%
Metrados desde el modelo	30%
Simulacion 4D	29%
Simulacion 5D	24%
Logistica y planeamiento virtual	23%
Valor a la ingenieria	16%
Interrelacion Scanner Lase con el modelo BIM	13%
Planeamiento de seguridad	6%

Figura N° 2.6 Beneficios en la etapa de Diseño y Pre-Construcción [11]

2.1.4 Beneficios de BIM en la etapa de construcción y fabricación

La generación de modelo BIM permite generar desde el mismo los componentes de fabricación que necesita el proyecto, logrando mejorar la precisión de los componentes y comprobar u observar las dimensiones del mercado de cada componente. Es importante reconocer que la mayoría de herramientas BIM pueden reconocer cualquier tipo de exportación por lo que los fabricantes no dependen del uso BIM, claro que sería aconsejable trabajar en un mismo entorno hasta que la interoperabilidad sea realidad (Capítulo 3).

Con el modelo se puede mejorar la constructibilidad del proyecto y disminuir los errores causados de las incongruencias de los planos en 2D que puede representar la pérdida del 10% hasta 25% de eficiencia del proyecto [13]. El modelo puede sincronizarse con la programación de la construcción, visualizando el 4D junto con las interferencias del proyecto, creando una herramienta eficaz y rápida para representar las diversas formas de construir, adicionalmente se puede incluir los conceptos y técnicas Lean Construction (Construcción sin pérdidas, en español) para el mejoramiento de la programación de obra.

Además, se puede detectar las interferencias con los modelos de las otras especialidades. Permitiendo obtener un producto final libre de interferencias con la participación de los involucrados.

En resumen, los beneficios que se consiguen al utilizar BIM en la etapa de Construcción:

- h. Fabricación a partir del modelo BIM
- i. Detección de interferencias
- j. Generación de modelos 4D.
- k. Aplicación de técnicas de Lean Construction.

Según el reporte de McGraw del valor del BIM para los principales mercados mundiales, el mayor uso en la etapa de la construcción se realiza en:

BENEFICIOS	Porcentajes
Diseños basados en modelos en el campo	59%
Prefabricación	43%
Monitoreo de estado y progreso	40%
Realidad aumentada del modelo con las condiciones existente	32%
Interrelacion Scanner Lase con el modelo BIM	23%
Administración de cadena de suministro	13%
Integración del modelo con GPS	12%
Robots dirigidos por el modelo	7%

Figura N° 2.7 Beneficios en la etapa de Construcción [11]

2.1.5 BIM en el Perú y el mundo

En el mundo la implementación del BIM en la industria de la construcción ha sido diferente en cada país. En la Figura N° 2.8, llamada 'BIM Maturity Diagram' y elaborada por Mark Bew y Mervyn Richards en el 2008 para el RIBA, nos muestra de una forma visual cómo establecer los diferentes niveles de adaptación al trabajo colaborativo a través del BIM, teniendo en cuenta tanto la práctica profesional como los estudios teóricos que nos apuntan a cómo deben gestionarse los proyectos en un futuro próximo.

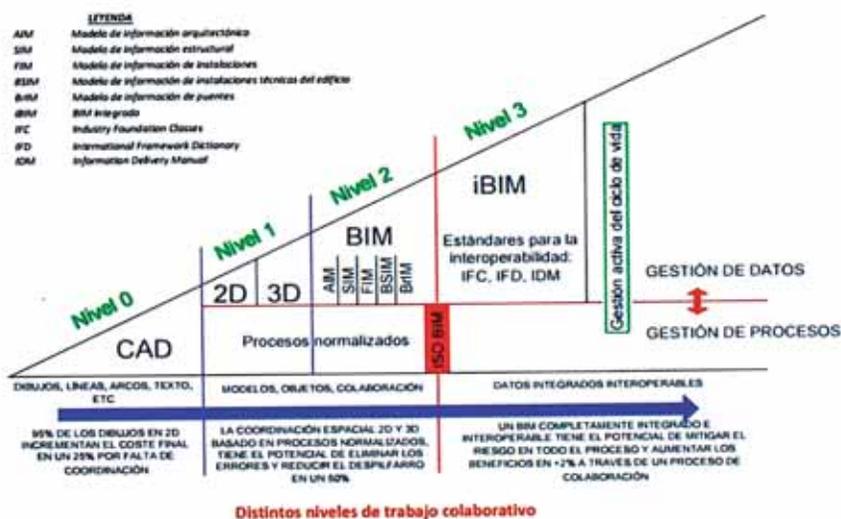


Figura N° 2.8 Niveles de trabajo colaborativo

En el nivel 0, el trabajo se realiza solo con las herramientas de CAD que a la revés aumenta aproximadamente el 25% el costo final por falta de coordinación. La mayoría de los promotores y diseñadores de nuestro país han alcanzado y trabajan en este nivel.

En el nivel 1, en el que se usa el modelado 3D basado en CAD en etapas tempranas del proceso de diseño del proyecto, pero es poco frecuente que la información se use de forma colaborativa entre todos los agentes intervinientes. A pesar de que cada vez más empresas requieren el uso de esta tecnología, no es muy frecuente que se use controles coordinados a través de software especializado. Ya no solamente son importantes los datos generados, sino que además los procesos comienzan a tener algún tipo de norma a cumplir.

En el nivel 2, los equipos de diseño están integrados y coordinados, y se le requiere la presentación de información del modelo en 3D. Estos modelos 3D pueden ser plenamente integrados o pueden ser realizados por separado, pero el desarrollo del diseño debe ser gestionado y coordinado por una norma o estándar. El uso del BIM se hace imprescindible para una total coordinación entre los diferentes modelos del diseño (el de arquitectura, el de estructura y el conjunto de los MEP, Pre-construcción) (Ver Capítulo V).

En el nivel 3, solo se requiere un solo modelo y la colaboración es completamente de todos los especialistas, este mismo modelo también es utilizado para la gestión de mantenimiento y operación.

Los estándares que se esperan cumplir desde el nivel 2 son realizados por las empresas o por el estado. En nuestro país, el comité BIM del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento comenzó la normatividad para la estandarización del uso del BIM en obras públicas en Diciembre del 2014.

En el caso de otros países, como Reino Unido que el 2000 publico *AEC (UK) BIM Standards* como parte de su estrategia de mejora de construcciones públicas y esperando una reducción de 20 -30% del costo de los proyectos. Un caso similar al Ayuntamiento de Barcelona que propuso para el 2020 alcanzar la misma meta.

Los estándares en el Perú han sido propuestas por la empresa privada que están apoyando al estado para la realización de estos, en los próximos años podremos tener estándares BIM junto con un plan de uso para obras públicas y privadas.

A continuación se explicará algunos estándares en otros países.

- Reino Unido, país pionero en creación de estándares BIM. Se basa en el nivel de definición que incluye el nivel de detalle del modelo (Level of Detail, LOD) y el nivel de información del detalle (Level of Information, LOI). Según el Instituto Americano de Arquitectos (American Institute Architecture, AIA) se conoce 5 niveles de detalle del modelo: el LOD100 indica un símbolo u otra representación gráfica que represente visualmente el objeto, generalmente se asocia a la etapa de concepto del proyecto; el LOD 200 indica en el modelo con las cantidades, dimensiones, formas, ubicación exacta del objeto, peso, etc., se asocia con la etapa de diseño. El LOD 300 incluye los accesorios, complementos para que se pueda construir el objeto, generalmente se utiliza en la etapa de documentación. El LOD 400 personaliza el objeto y permite tener la información que permita su puesta en obra, su representación es usada para la etapa de la construcción y por último la LOD 500, representa en totalidad el objeto puesto en obra y es utilizado para la etapa de operación y mantenimiento (Ver Figura N° 2.9).

LEVEL of DEVELOPMENT

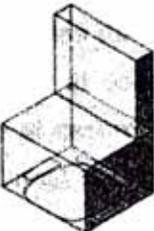
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: MODEL: LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: MODEL: LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: MODEL: LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013

Figura N° 2.9 Niveles de desarrollo (LOD)

2.1.6 Herramientas BIM

A continuación, se detallara las herramientas BIM más utilizadas en el mercado peruano.

a) Revit

La historia de Revit empieza en 1997, cuando dos trabajadores de Parametric Technology Corporation, Leonid Raiz e Irwin Jungreiz, crean una empresa llamada Charles River Software para resolver lo que ellos pensaban que era la ausencia de una plataforma de modelado paramétrico para la arquitectura.

Así pues lanzan un producto (en fase de desarrollo), que permite crear muros e insertarle puertas y ventanas, apenas puede hacer algo más. Aun así, cabe destacar que fue uno de los primeros intentos de crear una herramienta paramétrica de software desde el sector de la arquitectura para el sector de la arquitectura.

En 1999, y después de unir a más gente a su empresa, deciden cambiar el nombre del proyecto al de 'Revise Instantly' (revisión instantánea), más conocido hoy día por su nombre corto, Revit. La empresa cambia así su nombre al de Revit Technology Corporation y, cuatro versiones después (en el 2002), es comprada por Autodesk.

El gran éxito de este programa fue la idea de su concepción, ya que a medida que se trabaja gráficamente, dibujando el edificio, el modelo de construcción paramétrico capta información sobre el desarrollo del proyecto de construcción de otros dibujos y documentación. Como resultado, la información adicional se crea simultáneamente y permite a los profesionales de la construcción cuantificar el alcance de los contenidos de un proyecto y materiales.

En la actualidad, AutoCAD cuenta con un conjunto de programas BIM como lo son el Revit Architecture, Revit Structures, Revit MEP, Naviswork, etc.



Figura N° 2.10 Softwares de la plataforma AutoCAD

b) Tekla Structures

Otro desarrollador importante comenzó en 1966, en Finlandia, y su primer nombre fue 'Teknillinen Laskenta Oy', aunque se hizo más conocida por su abreviatura 'Tekla'. Esta empresa fue una de las emprendedoras en el desarrollo de Procesos de Datos Automáticos (ADP). Aunque el primer enfoque de desarrollo de software se desplaza a la ingeniería estructural, construcción de carreteras y movimiento de tierras, en pocos años empieza a abordar el cálculo por el método de elementos finitos.

A partir del año 1986, desarrolla una tecnología de base de datos virtual, lo que provoca que el uso de bases de datos relacionales se vuelva más rápido.

En el año 1993 saca al mercado X-Steel, renombrado a Tekla Structures a partir del 2004, una aplicación de software que permite crear un modelo 3D en tiempo real de la estructura que está siendo diseñada, ya sea de acero u hormigón.

c) Bentley

Es la empresa de menor tiempo en el mercado comparándolas con las anteriores, la diferencia con sus competidores es por el bajo costo de los ordenadores que pueden utilizar el programa. En 1998, los hermanos Bentley fundaron Bentley Systems y un año más lanzaron PseudoStation un programa que utilizaba el IGDS (Interactive Graphics Design System) de Intergraph utilizar los Terminales Gráficos de bajo costo como lo son los ordenadores personales.

En la actualidad, sus productos son utilizados en la Ingeniería de Construcción (arquitectura, edificación, carreteras y puentes), Sistema de Información Geográfica (cartografía, Ingeniería geotécnica, Catastro), redes de utilidad (ferrovías, alcantarillado, redes de fibras ópticas) o en el mantenimiento de grandes infraestructuras (por ejemplo una autovía o un aeropuerto).



Figura N° 2.11 Logo del software BIM Bentley System

CAPÍTULO III: MODELAMIENTO DEL CASCO ESTRUCTURAL DEL CENTRO DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

En este capítulo se describirá el proyecto Centro de información e investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (CIIFIC-UNI) junto con sus características y se explicara el proceso de modelamiento del proyecto. Siendo nuestro producto inicial los planos del proyecto y nuestro principal entregable el modelo del casco estructural.

3.1 PROYECTO: CENTRO DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL (CIIFIC-UNI)

El proyecto Centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil (CIIFIC-UNI) se encuentra en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería, entre el pabellón G-2 y el Pabellón del Departamento de Suelos. La edificación diseñada para 8 pisos tendrá como primera etapa la construcción de 4 pisos y segunda etapa los pisos restantes. El proyecto fue iniciado en el año 2010 (Ver Figura N° 3.1 y Figura N° 3.2).

La primera etapa del proyecto tendrá la siguiente distribución:

- Primer Nivel: Espacio distribuido para la construcción de servicios higiénicos y recepción de la biblioteca.
- Segundo Nivel: Se encuentra la nueva y moderna biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil, junto con sus salas de lectura, depósitos de libros y oficinas administrativas.
- Tercer Nivel: Este nivel será designado para las áreas de investigación y contara con una sala de lectura, depósito de tesis, mediateca y hemeroteca.
- Cuarto Nivel: Este nivel será designado para aulas de estudio y oficinas administrativas.



Figura N° 3.1 Vista Render del Proyecto CIIFIC-UNI



Figura N° 3.2 Terreno del proyecto CIIFIC-UNI

La edificación de CIIFIC-UNI es una de las primeras obras públicas que cuentan con la innovadora tecnología de aisladores sísmicos. Esta tecnología es muy difundida en Japón, Nueva Zelanda y últimamente Chile, países con problemas sísmicos similares al nuestro. La aislación sísmica de base permite aislar una edificación del suelo mediante los aisladores, dispositivos cilíndricos de caucho que absorben a través de deformaciones elevadas la energía que un terremoto transmite a una estructura ofreciendo seguridad hasta ocho veces más que aquella lograda en un edificio convencional.

Los aisladores fueron adquiridos por la empresa CDV Ingeniería Antisísmica y tienen las siguientes dimensiones técnicas:

Tamaño del Dispositivo				Dimensiones de la placa de soporte					
Diámetro Aislador (mm)	Altura Aislador (mm)	Numero de capas de Caucho, N	Diámetro de plomo (mm)	L(mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificios ϕ (mm)	A (mm)	B (mm)
750	342.4	27	101.6	800	25.4	4	33.34	50	-

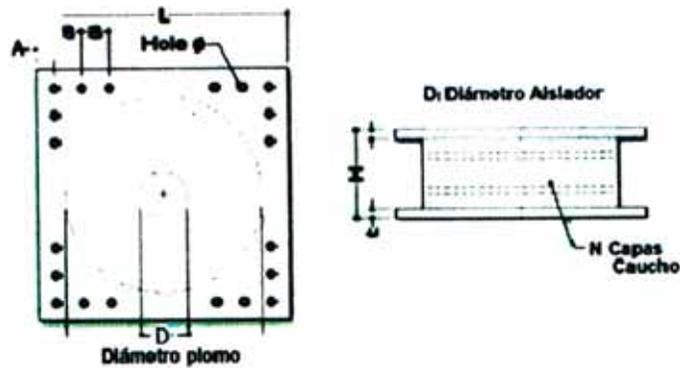


Figura N° 3.3 Especificaciones del aislador sísmico

El proyecto fue realizado por los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil por cada los departamentos académicos de Construcción y Estructuras.

Para la etapa de Pre-Construcción y Construcción, los responsables fueron el Ingeniero Residente Wilfredo Ulloa junto con su equipo técnico, así también fueron el nexo entre los especialistas del proyecto y los encargados de la construcción virtual. La construcción virtual del proyecto se realizó desde el mes de Mayo del 2014 hasta la iniciación de la construcción, Octubre 2014.

La construcción fue dividida por sectores construcción luego de su respectivo análisis se eligió tener 3 sectores de trabajo:

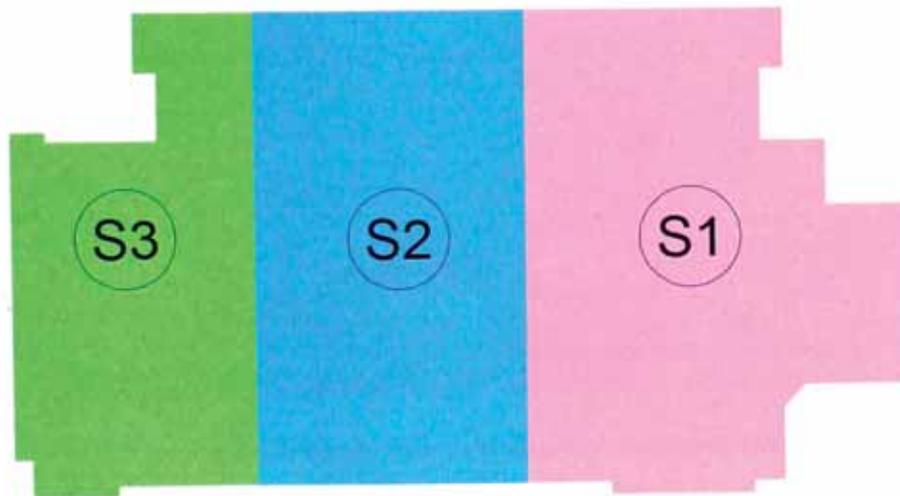


Figura N° 3.4 Sectorización del proyecto CIIFIC-UNI

Esta sectorización fue el inicio de la construcción virtual que se explicara en el Capítulo IV. A continuación, se mostraran algunas fotografías de la etapa de construcción:



Figura N° 3.5 Fotografía de avance de obra en el nivel de cimentación



Figura N° 3.6 Fotografía antes de la instalación de los pedestales



Figura N° 3.7 Instalación de Aisladores sísmicos en pedestales



Figura N° 3.8 Avance de sector 1 del primer nivel

3.2 MODELAMIENTO BIM

El BIM representa los procesos de desarrollar y utilizar un modelo generado por la computadora para simular el planeamiento, diseño, construcción y operación de una edificación. A continuación, detallaremos cada modelo utilizado en el proyecto CIIFIC-UNI junto con su utilidad en la vida útil del proyecto.

3.2.1 Modelos de Arquitectura 3D

Este modelo tiene la característica de representar exactamente todos los espacios, superficies, dimensiones del proyecto real incluyendo el diseño de los interiores. Además, permite mejorar la presentación al cliente el producto final de su proyecto, agregando un valor agregado al producto. En el caso del proyecto CIIFIC-UNI, el modelo partió de los planos de Plantas, distribución y corte entregados por el Arquitecto y no tiene alguna información referente a la construcción, planeamiento, logística, etc. El modelo de arquitectura fue realizado con el software Revit Architecture en conjunto con estudiantes de la Facultad de Ingenieros Civil, integrantes del Laboratorio de Construcción Virtual FIC-UNI (ver Figura N° 3. 9).

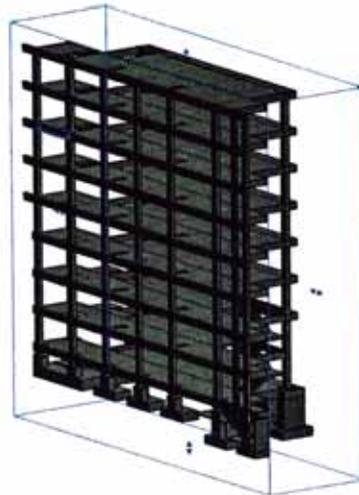


Figura N° 3. 9 Modelo de Arquitectura en el software Revit Architecture

3.2.2 Modelos MEP

Este modelo conocido como MEP (por sus siglas en inglés, Plumbing, Electrical and Mechanical) representa todas las instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas del proyecto.

El modelo del CIIFIC-UNI fue realizado con la plataforma Revit MEP y represento el sistema eléctrico y sanitario, Ver Figura N° 3.10.

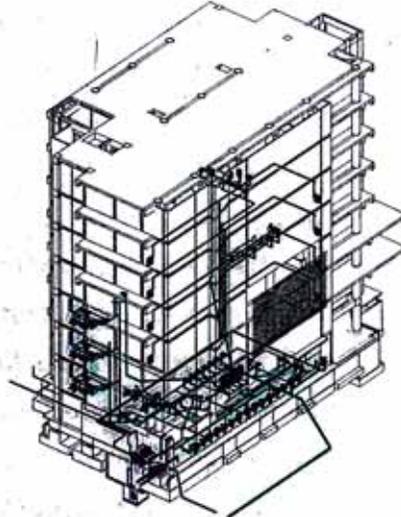


Figura N° 3.10 Modelo de MEP en el software Revit MEP

3.3 FLUJO DE TRABAJO DEL MODELAMIENTO VIRTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CIIFIC-UNI

Luego de la explicación de los modelo BIM de arquitectura y estructura, explicaremos los otros modelo BIM utilizados en el proyecto mediante un diagrama de flujo que fue dividido en 4 áreas: documentación, procesos, aplicaciones y entregables. Este diagrama de flujo nos permitirá entender de mejor manera clara el trabajo realizado en el proyecto, identificando cuales son los procesos, ingresos de datos, documentos, sub-procesos y salidas.

En el área de documentación explicaremos todos los documentos empleados en el proyecto que permitieron transferir información y reportar los requerimientos de información (Ver Ítem 4.1.2). Toda la documentación creada tiene como principal función ser los datos de ingreso para todos los procesos, los cuales serán explicados en el área de Procesos. Esta área tiene como principal función,

crear un modelo libre de incongruencias e interferencias, y ser uno de los datos de ingreso para el área de Aplicaciones. Esta área utiliza el modelo y realiza las simulaciones respectivas para evaluar si el proyecto es construible o no. Por último, el modelo se utiliza en el área de entregables, que creara todos los planos de fabricación, planilla de doblez y patrones de corte del proyecto.

El diagrama de flujo (Ver Figura N° 3.11) comienza con la recepción de todas las especialidades del proyecto siendo de mayor importancia el de Arquitectura porque define la geometría del proyecto. La comparación de los planos nos permitió una primera identificación de incongruencia entre planos de especialidades generando los RFI - Geometría y RFI – General, los cuales serán explicados en el capítulo IV (Ver Ítem 4.1.2), entregados a los especialistas para su aclaración. Luego de tener una estructura compatible con todas las especialidades procedimos a realizar el catálogo de estructuras que nos permite nombrar a cada estructura, y así también definir la información complementaria que la estructura tendrá en el modelo (Ver Ítem 3.3.1). Luego de definir estas estructuras procedimos en realizar el modelo de estructuras (Ver Ítem 3.3.2) que es la representación de las estructuras en concreto y que tiene como objetivo obtener la geometría del concreto con todos los agujeros u orificios del proyecto. Es por ello que se ingresó el modelo MEP y se identificó las interferencias del proyecto de manera visual, generando los RFI correspondientes. Luego de la actualización del modelo de estructuras se procedió al ingreso de la armadura, considerando las especificaciones técnicas, junto con la sectorización definida por el constructor, creando el modelo de Pre-Construcción del proyecto (Ver Ítem 3.3.3).

La finalización de este modelo, permite generar simulaciones como el ingreso de insertos, simulación 4D, análisis de optimización visual y un análisis de prefabricación de armaduras de acero. En el proceso de estas simulaciones se define si el proyecto es construible para todos los involucrados y así también se presentan algunas consultas (RFI). Luego de tener un modelo de Pre-Construcción que haya sido revisado por todos los involucrados del proyecto generamos la información necesaria para la obra, como es el caso de planillas de doblez, patrones de corte y planos de fabricación (Ver Capítulo V).

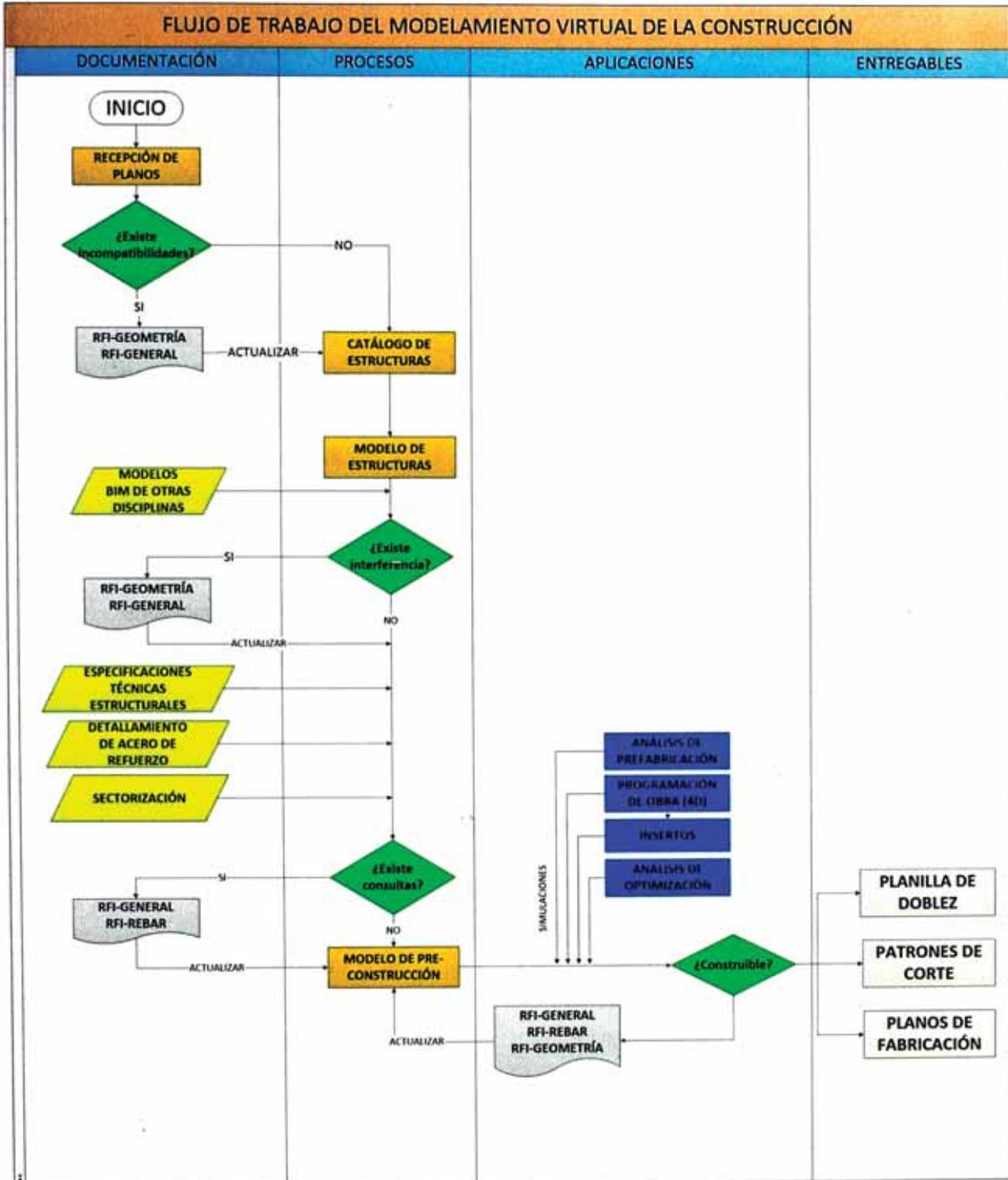


Figura N° 3.11 Diagrama de flujo del modelamiento virtual de la construcción del CIIFIC-UNI

Antes de seguir con la explicación, se detallara el alcance del proyecto que forma parte de la presente tesis:

- El modelamiento del proyecto fue realizado para las siguientes estructuras: Capiteles, zapatas, pedestales, vigas y columnas. El resto de estructura se obvió, por contener acero de menores dimensiones que no tendrían incidencia con los objetivos de la presente tesis.

3.3.1 Catálogo de estructuras

Luego de realizar una primera identificación de incompatibilidades entre planos de las especialidades se procede a realizar el catálogo de estructuras, documento que denominamos al nombramiento de todas las estructuras junto con la información necesaria en el modelo virtual. Toda la información del catálogo de estructuras será ingresada en atributos del programa Tekla Structures (Ver Ítem 3.4.1). Esta etapa fue de suma importancia puesto que la información definida fue representada en todos los entregables. Siguiendo uno de los principios del Lean Construction donde todos los involucrados deben entenderse en el mismo “idioma” para evitar el re-trabajo y como buena práctica se recomienda el nombramiento de las estructuras en un proyecto.

A continuación, se muestra un ejemplo del catálogo de estructuras separadas por nivel, sector, tipo de elemento estructural y nombre.

Tabla N°3-1 Ejemplo de catálogo de una estructura

Nivel	Sector	Tipo de Elemento Estructural	Nombre
Cimentación (CI)	S2	FALSA ZAPATA	FZ-M-1G
1er Nivel (N1)	S3	CAPITEL	Ca-1
2do Nivel (N2)	S1	COLUMNA	C-1

La lista completa de este catálogo se encuentra en el ANEXO 2.

3.3.2 Modelo de Estructuras

Este modelo fue creado luego de terminar el catálogo de estructuras y tiene como objetivo final representar el concreto armado de todo el proyecto sin considerar los orificios de dimensiones inferiores a 20cm y/o representen un

reforzamiento de acero adicional. Este modelo partió de los planos estructurales y consideró las dimensiones de las estructuras y su ubicación en cada nivel (Ver Figura N° 3.12).

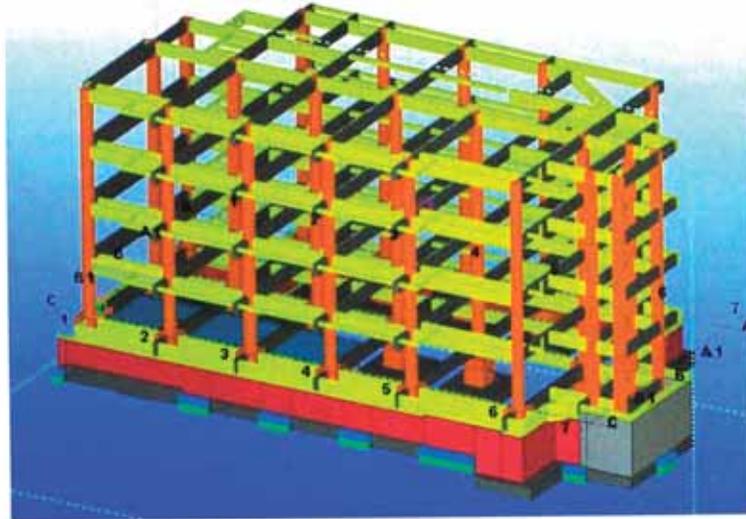


Figura N° 3.12 Modelo de estructuras del CIIFIC-UNI en el software Tekla Structures

Un ejemplo de las interferencias encontrada fue con el sistema sanitario de la cisterna que muestra la geometría del concreto indicada por los planos estructurales, modelo de estructuras, junto con el modelo MEP del proyecto que permitió identificar los orificios productos por las tuberías de dicho sistema. (Ver Figura N° 3.13).

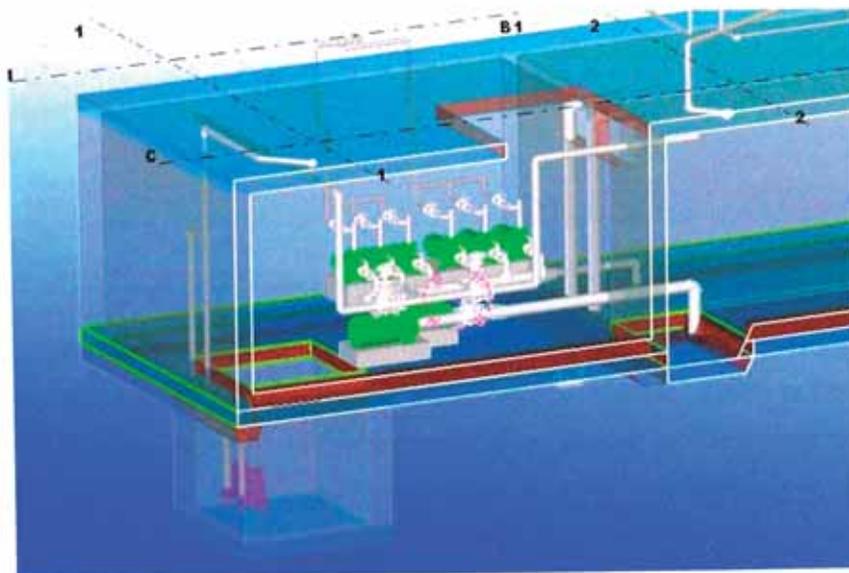


Figura N° 3.13 Interferencia del modelo MEP y el concreto de la cisterna.

3.3.3 Modelo de Pre-Construcción

Este modelo es producto del modelo de estructuras y el ingreso de la armadura de acero, sectorización, información del proyecto, etc., y tiene como objetivo principal representar exactamente el proyecto virtualmente es por ello que el modelo contiene las armaduras de los elementos de concreto armado considerando los empalmes, radio de dobléz, cortes, etc. y contiene información de la obra, como nivel, sector, etc.

El modelo se realizó con el software Tekla Structures, líder mundial en detallamiento de concreto armado y estructuras metálicas. Si bien el software brinda todas las herramientas para colocar el acero en cada concreto es importante conocer los criterios de colocación de acero en obra para que se cumpla el objetivo principal de este modelo. En el Anexo 11, se encuentra un manual básico de modelamiento en el software de una zapata. En la Figura N° 3.14, se muestra la armadura del acero de refuerzo de las columnas y vigas del proyecto.

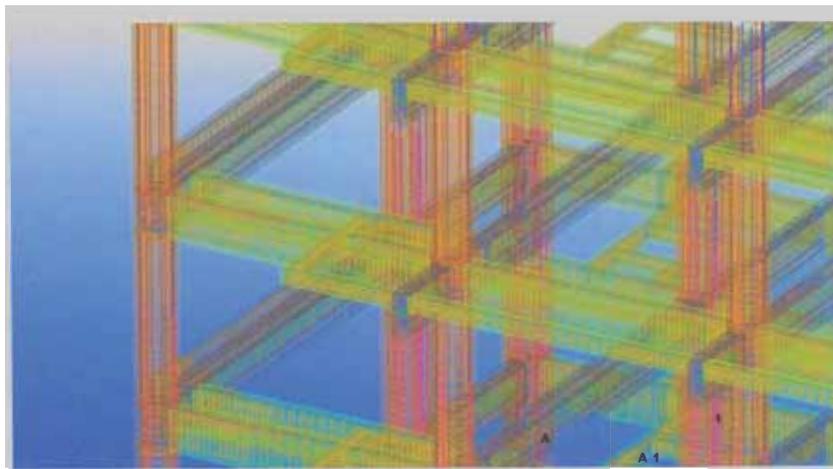


Figura N° 3.14 Detallamiento de acero de refuerzo en Tekla Structures

Una de las principales herramientas del software es el administrador de formas de acero de refuerzo (Rebar Shape Manager) que permite identificar las formas de las varillas de acero sin considerar sus dimensiones, es decir cada pieza del proyecto es listada y representada en base a su forma geométrica. Esta herramienta permite definir el nombre de cada dimensión de la varilla de acero. El software Tekla Structures tiene por defecto una base de datos de formas con una nomenclatura definida por ellos, en la Figura N° 3.15 se muestra la forma

1_1 que define 2 lados con las dimensiones A y B, los cuales serán mostrados como parte de la información de cada varilla (Consultar Objeto).

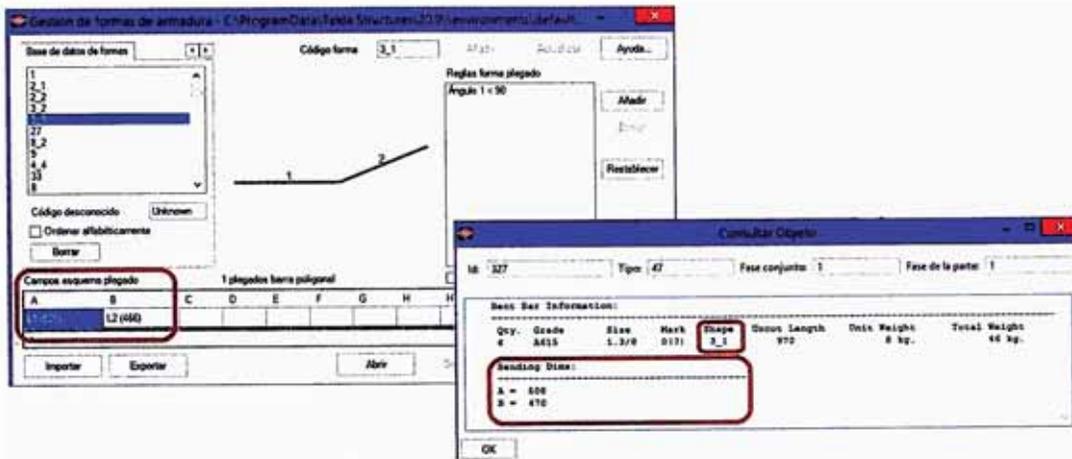


Figura N° 3.15 Herramienta de administración de formas de acero de refuerzo por defecto del Tekla Structures.

Para el proyecto CIIFIC-UNI se actualizo dicha base de datos con las formas a utilizar en el proyecto según un catálogo de formas de acero que define las dimensiones de cada varilla. En el proyecto se utilizaron 15 formas de acero, todas estas representadas en el ANEXO 3 donde se puede observar las acotaciones de cada forma junto con las cotas de verificación que permiten comprobar el corte de algunas formas con ángulos y/o formas especiales. En la siguiente Figura se observa la herramienta Rebar Shape Manager que permite definir las dimensiones que nosotros deseamos, en este caso la forma 301 se define por 3 lados (Ver Figura N° 3.16).

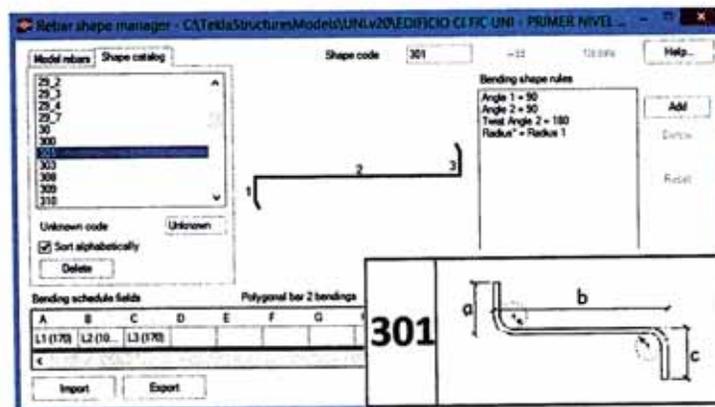


Figura N° 3.16 Herramienta de administración de formas de acero de refuerzo en Tekla Structures utilizado en el proyecto.

Luego de asegurarnos que todos los objetos del modelo contenga la información del proyecto y de nuestro catálogo de formas y estructuras, se procede a utilizar el modelo de Pre-Construcción para la simulación de los insertos, simulación 4D, análisis de pre-fabricación y optimización. A continuación, se explicara las dos primeras aplicaciones del modelo de Pre-Construcción, la optimización se explicará en el Capítulo V (Ver Ítem 5.3) y el análisis de pre-fabricación no se ha considerado puesto que en el proyecto no se utilizó dicha técnica constructiva.

- Análisis de Insertos

El modelo de Pre – Construcción contiene todos los objetos que van a estar insertados en el concreto y que pueden generar interferencias con las varillas de acero; a estos objetos, los denominaremos insertos. En el proyecto CIIFIC-UNI trabajamos con el inserto del aislador sísmico para simular las interferencias de los pernos del aislador con el acero de refuerzo del pedestal, capitel, vigas principales y secundarias, ver la Figura N° 3.19.

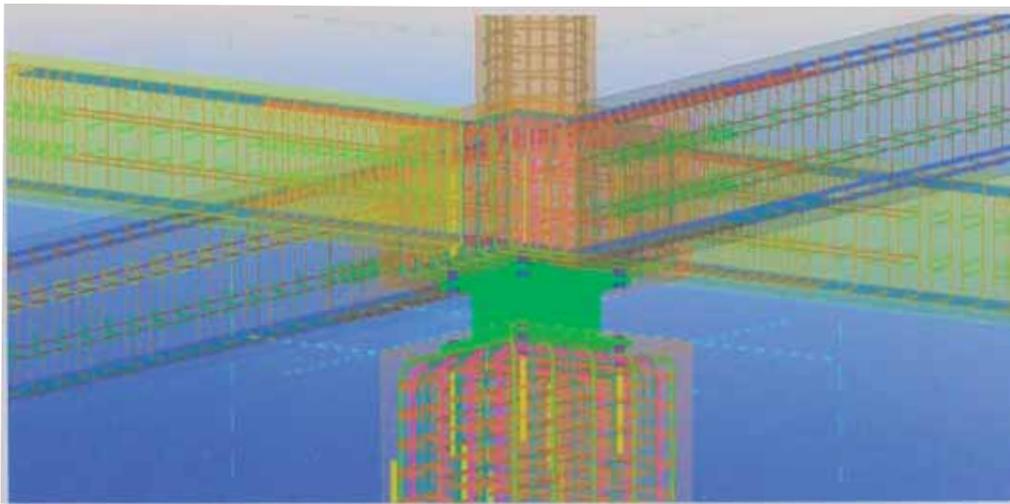


Figura N° 3.19 Simulación de insertos e identificación de interferencias

- Simulación 4D

Además, el modelo de Pre-Construcción fue utilizado para realizar la simulación 4D, dicha simulación también se realizó en el programa Tekla Structures mediante una programación a detalle de todos los objetos (Ver Figura N° 3.20 y Figura N° 3.21), esta programación también puede ser exportada desde un Excel o desde un archivo MS Project.

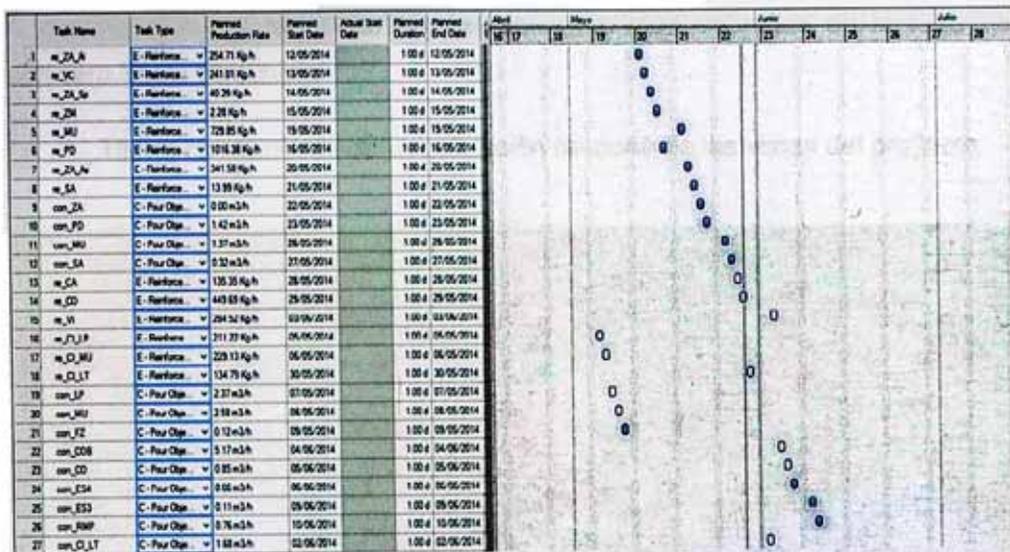


Figura N° 3.20 Herramienta de Administración de tareas del Tekla Structures

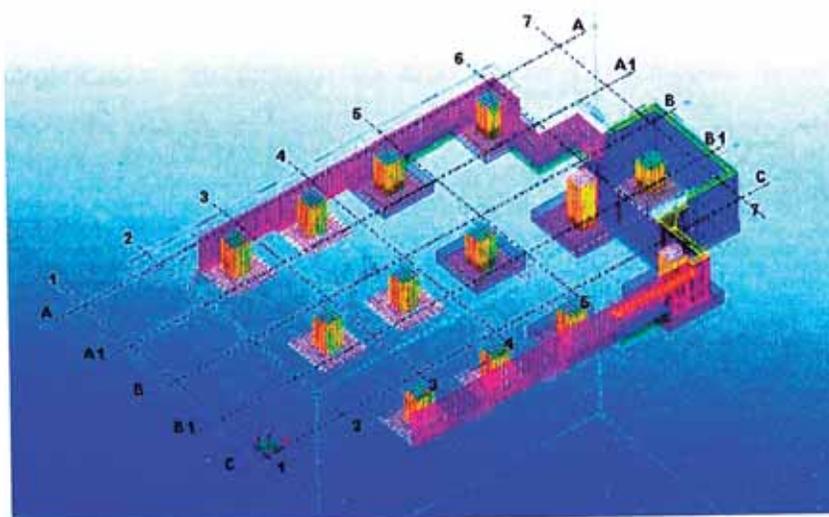


Figura N° 3.21 Simulación 4D del proyecto CIIFIC-UNI

A continuación, se muestran las herramientas más utilizadas en la tesis del software Tekla Structures:

- Tijera: Herramienta de visualización de corte de las vistas del proyecto.

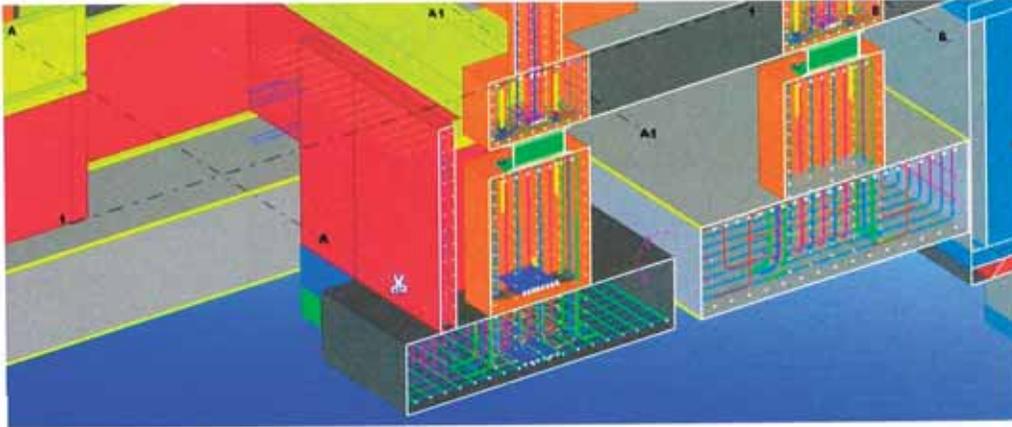


Figura N° 3.22 Herramienta Tijera de Tekla Structures

- Organizador: Herramienta de administración del modelo según pisos, sectores, etc.

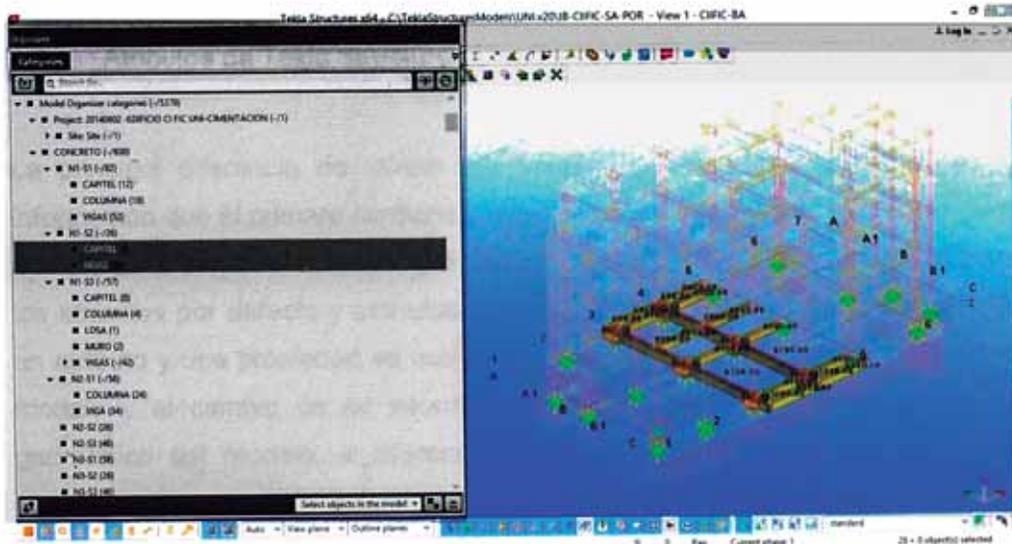


Figura N° 3.23 Herramienta de Organizador de Tekla Structures

- Tekla BIMsight: Visualizador free del modelo para computadoras que permite la generación de consultas visuales y envío por correo. Así también, se puede utilizar en laptop y llevar a la obra.



Figura N° 3.24 Visualizador gratuito de Tekla Structures

3.4 LA IMPORTANCIA DE LA INFORMACIÓN EN BIM

3.4.1 Atributos de Tekla Structures

La principal diferencia de utilizar un modelo BIM con un modelo 3D es la información que el primero contiene y representa. La información que contiene el modelo varía según el software que uno utilice, el software Tekla Structures tiene los atributos por defecto y atributos definidos por el usuario. La diferencia entre un atributo y una propiedad es que el primero es la información que contiene el modelo y el cambio de su información no representa un cambio visual y/o geométrico del modelo, a diferencia de las propiedades que su cambio se representa en el modelo visualmente

A continuación se muestra la Figura N° 3.25, que permite observar los atributos por defecto de una losa junto con las propiedades de espesor (Thickness) y color (Class).



Figura N° 3.25 Atributos por defecto en Tekla Structures (Concrete Slab Properties)

Los atributos definidos por el usuario tienen diversas clasificaciones, según el tipo de información. Por ejemplo; en la pestaña Workflow, se almacena los datos del flujo de trabajo del diseñador, fabricación y montaje. (Ver la Figura N° 3.26).

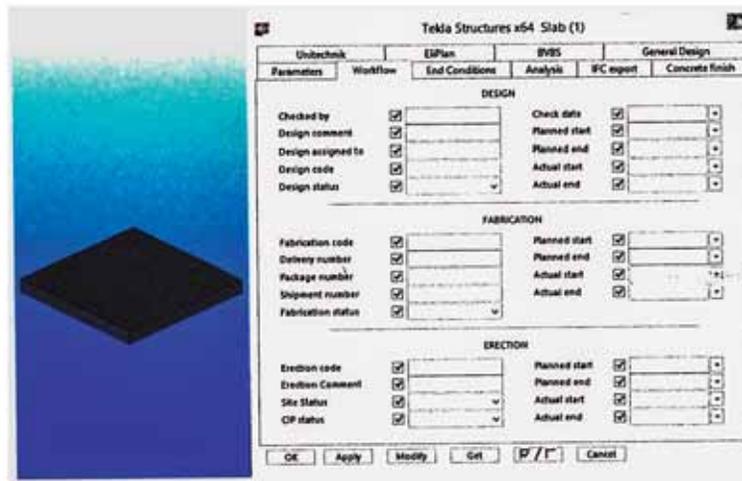


Figura N° 3.26 Atributos definidos por el usuario.

En la siguiente tabla se muestra los atributos utilizados en el proyecto CIIFIC-UNI (Pestaña Parameters) junto con la información almacenada en estos para el concreto y acero.

Tabla N°3-2 Matriz de atributos definido por el usuario para el concreto y acero.

Atributo definido por el usuario	CONCRETO	ACERO
USER_FIELD_1	Nivel	Marca*
USER_FIELD_2		Nombre del Concreto
USER_FIELD_3	Sector	Plano de Fabricación
USER_FIELD_4		Nivel - Sector
comment		Elemento Estructural

* Para mayor información ver el Capítulo V

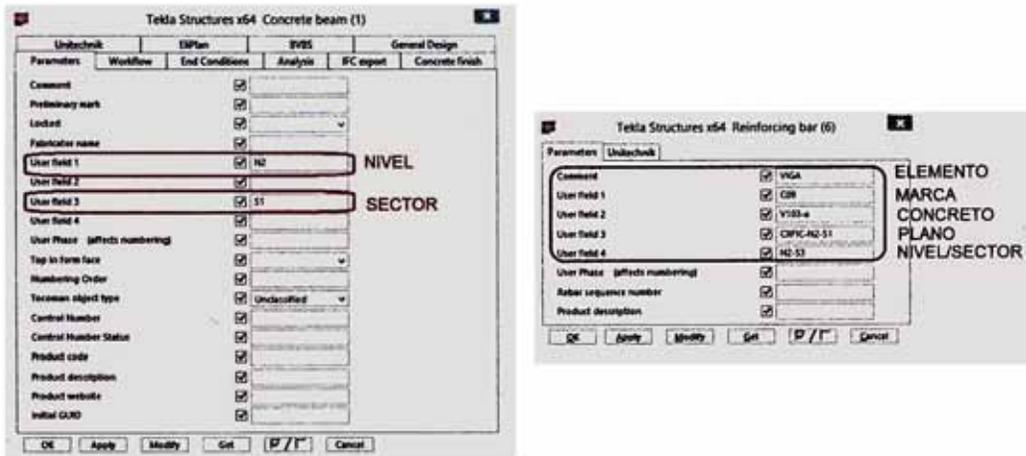


Figura N° 3.27 Atributos definido por el usuario para el proyecto CIIFIC-UNI

CAPÍTULO IV: CASOS DE UTILIZACIÓN DEL MODELO ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se pretende explicar los niveles de utilización desarrollados en el proyecto CIIFIC-UNI, además de mencionar las herramientas más utilizadas del Tekla Structures.

4.1 NIVELES DE UTILIZACIÓN BIM

Existen 3 niveles de utilización BIM con diferentes alcances y cada una incluye a la anterior [7]. En el proyecto del CIIFIC-UNI hemos empleado los tres niveles de utilización, siendo uno de los primeros proyectos que realice parcialmente la automatización (Ver Capítulo V y Capítulo VI).



Figura N° 4.1 Esquema de nivel de utilización del BIM [7]

4.1.1 Visualización del modelo BIM

La visualización es una de las más importantes ventajas que se conoce sobre la metodología BIM, es por ello que la facilidad de los softwares BIM en permiten la visualización de sus objetos es de suma importancia.

La visualización del modelo permitió solucionar varios problemas que hubieran sucedido en obra, como es el caso de los choques de los pernos del aislador sísmico con el acero de refuerzo de los capiteles, zapatas y vigas.



Figura N° 4.4 Intersección entre capitel, vigas principales y secundarias y columnas

Si bien la colocación del acero de refuerzo es manual y su traslape depende del criterio del modelador que identifica visualmente la conglomeración de acero y el choque de estos. Existe la herramienta Clash Check Manager (Administrador de revisión de choques) del Tekla Structures que permite identificar los choques de los objetos del Tekla Structures y dejar que el modelador tome una decisión al respecto. En la Figura N° 4.5, se indica la lista de choques junto con la visualización del choque en el modelo.

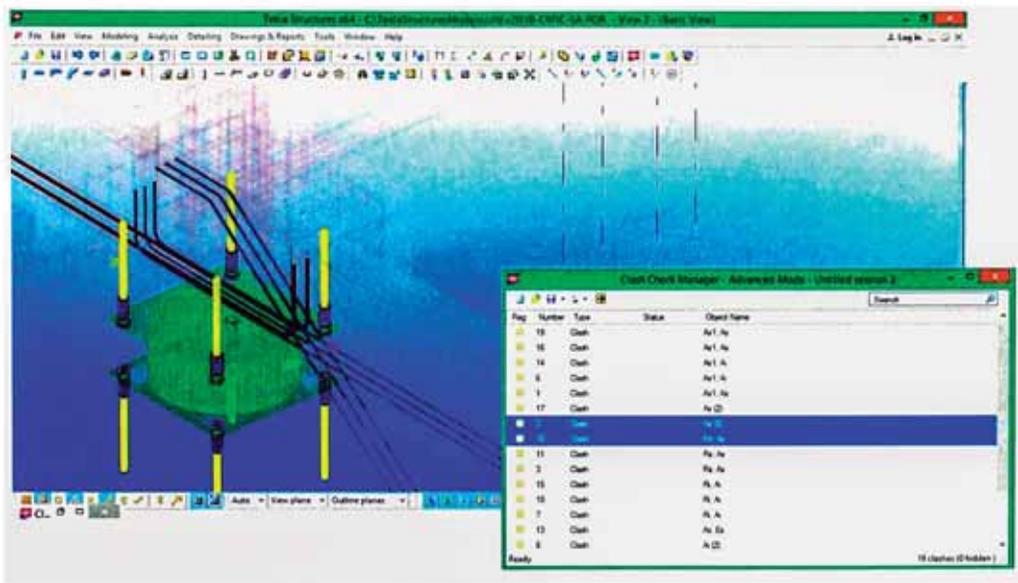


Figura N° 4.5 Herramienta Clash Check Manager del Tekla Structures.

También se utilizó para estudiar las posibilidades de colocación del acero en los capiteles y su impacto con la sección típica de las vigas primarias y secundarias. Generando un video que permitiese explicar el orden de colocación.

(Ver Figura N° 4.6)

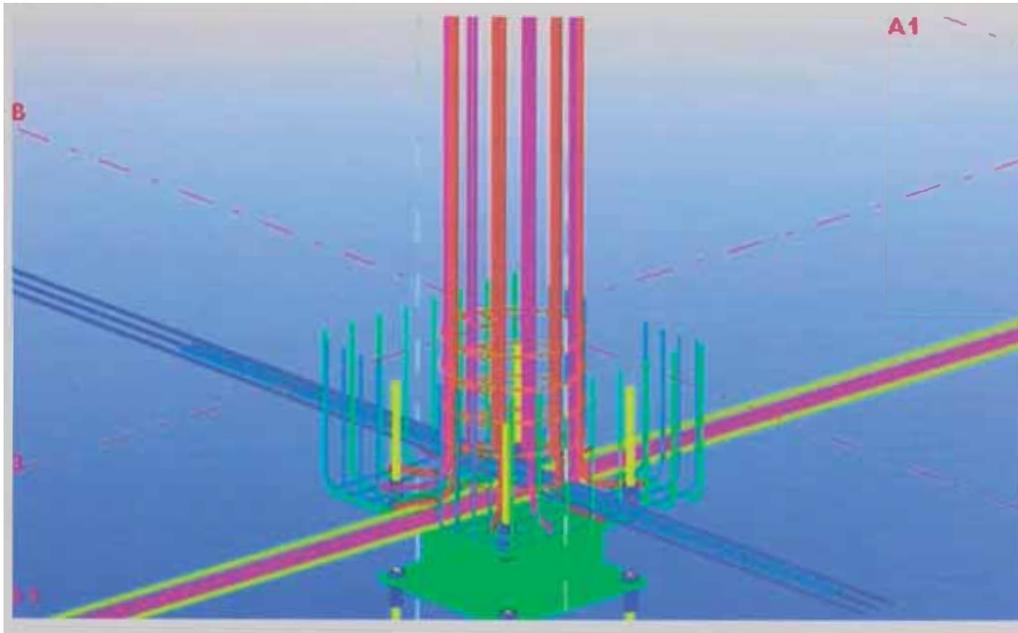


Figura N° 4.6 Video de colocación del acero en capiteles propuesto por especialistas

4.1.2 Integración Interdisciplinaria

El modelo permitió integrar al constructor y diseñador, permitiendo ser el punto de encuentro donde la experiencia del constructor permita mejorar la construcción y el diseñador puede aprobar y dar su punto técnico.

En el proyecto CIIFIC-UNI, se contó con la participación del Ing. Wilfredo Ulloa que propuso muchos cambios pensando en mejorar la productividad, disminuir perdidas y principalmente tomar las decisiones que en campo generalmente es tomada por el capataz de obra. El ingeniero estructural del proyecto es el Ing. Proaño que permitió aprobar los cambios y proponer nuevos cambios de su diseño.

Los requerimientos de Información (RFI) son los documentos utilizados para reportar y/o comunicar cambios, incongruencias, incompatibilidades, etc. (Ver Item 3.3.3). A través de todo el proyecto CIIFIC-UNI los RFI fueron clasificados en 3 tipos: Generales, Armadura y Geometría.

Los RFI - Generales explican las especificaciones técnicas consideradas en el modelo que se aplica en todo el proyecto solicitando la confirmación y/o envío de los mismos. Estos RFI's son especificaciones de Empalmes, Recubrimientos, Longitud de Anclaje, etc. En la Figura N° 4.7 se puede observar un ejemplo de RFI- General, las especificaciones de empalmes de muros, columnas y vigas, ganchos de doblez típicos y para estribos por diámetro de varilla.

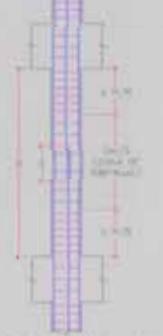
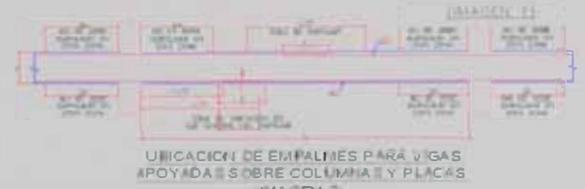
ID and BIM International		REGISTRO DE INFORMACION GESTIÓN DE CALIDAD RFI	
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:		CI-FIC-UNI	
CLIENTE:		Universidad Nacional de Ingeniería	
SOLICITUD DE INFORMACIÓN N°:		001	
FECHA DE SOLICITUD:		26/02/2013	
SOLICITANTE:		ID and BIM International	
CARGO:			
PARA:		UNI	
DISCIPLINA / ESPECIALIDAD:		ESTRUCTURA	
DOCUMENTOS REF.:		Propuesta para diseño Especificaciones Técnicas	
DOCUMENTOS ADJUNTOS			
DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA / CONSULTA:			
En las plantas no se usó la información necesaria para desplazar de los aceros, estamos considerando los siguientes detalles para ganchos estándar, ganchos de estribos y empalmes de acero para columnas y vigas. Favor de confirmar al respecto.			
a) Empalmes columnas y muros: (Imagen 1)		 <p>DETALLES TÍPICOS DE ESTRIBOS (IMAGEN 1)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - 8mm y 3/8" — 900 - 1/2" — 650 - 5/8" — 800 - 3/4" — 950 - 1" — 1100 - 1-5/8" — 2150 			
b) Empalmes para vigas: (Imagen 2)		 <p>UBICACIÓN EMPALMES EN COLUMNAS Y MUROS (IMAGEN 2)</p>	
(Refuerzo inferior 1/4) (Refuerzo superior 1/3) <ul style="list-style-type: none"> - 8mm y 3/8" — (500) (750) - 1/2" — (800) (1000) - 5/8" — (900) (1200) - 3/4" — (900) (1500) - 1" — (1100) (2000) - 1-5/8" — (2150) (2750) 			
c) Gancho (tipo) para estribos (3): (Imagen 3)		 <p>UBICACIÓN DE EMPALMES PARA VIGAS APOYADAS SOBRE COLUMNA Y PLACAS (IMAGEN 3)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - 8mm — 80 - 3/8" — 130 - 1/2" — 175 - 5/8" — 220 			
d) Gancho estándar:			
<ul style="list-style-type: none"> - 3/8" — 300 - 1/2" — 250 - 5/8" — 300 - 3/4" — 350 - 1" — 450 			
RESPUESTA DEL CLIENTE/SUPERVISOR			
Aprobado, gancho mínimo 300 y se respeta la norma. Se cambia el empalme inferior de 3/4" a 1200 de Vigas.			
Fecha:			
Constructor:		Ing. Estrucural	
		ID and BIM International	

Figura N° 4.7 Ejemplo de un RFI-General

Los RFI - Armaduras contienen las solicitudes de información de los planos de estructuras o reportan alguna incongruencia. Este RFI está acompañado por una imagen 3D de la estructura en consulta y una propuesta en referente a la armadura. En la Figura N° 4.8, se muestra un ejemplo de RFI de armadura donde la consulta es la longitud del gancho para el acero en la viga collarín puesto q el gancho estándar sobresale, esta consulta fue respondida en la reunión ICE del 14/06/2014.

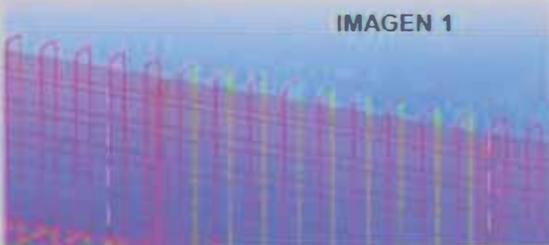
ID and BIM International		REGISTRO DE INFORMACION GESTIÓN DE CALIDAD RFI	
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:		CI-FIC-UNI	
CLIENTE:		Universidad Nacional de Ingeniería	
SOLICITUD DE INFORMACIÓN No.:		008	
FECHA DE SOLICITUD:		30/04/2013	
SOLICITANTE:		ID and BIM International	
CARGO:		UNI	
PARA:		ESTRUCTURA	
DISCIPLINA / ESPECIALIDAD:		Propuesta para diseño	
DOCUMENTOS REF.:		Especificaciones Técnicas	
DOCUMENTOS ADJUNTOS			
DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA / CONSULTA:			
1.- Se indica que en la parte superior de las barras verticales de los muros, no se está considerando la longitud de los ganchos estándar porque sino el acero sobresaliera de la estructura. Se ha considerado un gancho de 0.14m, por lo que su longitud total sería de 2.5m cada barra vertical. Favor de confirmar.			
IMAGEN 1			
			
IMAGEN 2			
			
RESPUESTA DEL CLIENTE/SUPERVISOR			
Aprobado en reunión ICE.			
Fecha: 06/06/2014			
Construcción	Ing. Estructural	ID and BIM International	

Figura N° 4.8 Ejemplo de un RFI-Rebar

Los RFI - Geometría indican las incongruencias que se encuentran entre estructuras y/o planos de diferentes especialidades. En la Figura N° 4.9 se encuentra un ejemplo de los RFI- Geometría, donde la consulta es la cimentación de la fosa de cimentación del ascensor que no estaba detallado en los planos junto con una propuesta de cimentación, que el ascensor

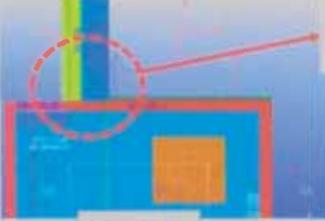
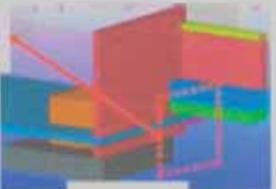
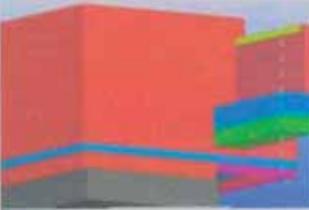
ID and BIM Internacional		REGISTRO DE INFORMACION GESTIÓN DE CALIDAD RFI	
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO:		CI-FIC-UNI	
CLIENTE:		Universidad Nacional de Ingeniería	
SOLICITUD DE INFORMACIÓN No.		016	
FECHA DE SOLICITUD:		06/06/14	
SOLICITANTE:		ID and BIM Internacional	
CARGO:			
PARA:			
DISCIPLINA / ESPECIALIDAD:		Estructural	
DOCUMENTOS REF.		Plano Estructuras ED1 Plano Estructuras ED6 Plano Estructuras ED7	
DOCUMENTOS ADJUNTOS			
DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA / CONSULTA:			
<p>Se solicita información de la cimentación del muro paralelo al eje B de la caja del ascensor, ver imagen 1. En plano ED1, no se indica la línea de quiebre del muro de altura 3.675m (M-M5-A, en imagen 1) y el muro de altura 1.5m (M-M4-B, en imagen 1), ver plano ED6. Se ha halado la línea de quiebre por el plano ED7, el cual indica la existencia de una viga perpendicular al muro M-M5-A, (Ver imagen 2). Además, si punto de quiebre del primer muro indica que solo 3m se apoyaran en la zapata (Ver Imagen 3), se propone utilizar la misma zapata del muro de 1.5m para el tramo indicado, (Ver Imagen 4).</p>			
 <p>Imagen 1</p>		 <p>Imagen 3</p>	
 <p>Imagen 3</p>		 <p>Imagen 4</p>	
RESPUESTA DEL CLIENTE/SUPERVISOR			
Fecha:			
Constructor	Ing. Estructural	ID and BIM Internacional	

Figura N° 4.9 Ejemplo de un RFI - Geometría

La principal ventaja desarrollada en el proyecto fue la optimización del acero de refuerzo con la aprobación del ingeniero estructural. A continuación se explicara algunos casos de optimización y el impacto que tuvo en el proyecto.

1) Optimización de la forma del acero del Pedestal

El diseño de los 20 pedestales se planteó con una malla de refuerzo de 10 barras de 1" en las 2 direcciones y en forma de U con un gancho de 30cm, al modelar este acero se tuvo una longitud en total de 5.4.m, obteniendo un desperdicio de 40% con 400 varillas de 1" de 3.6m., como se puede observar en la Figura N° 4.10:

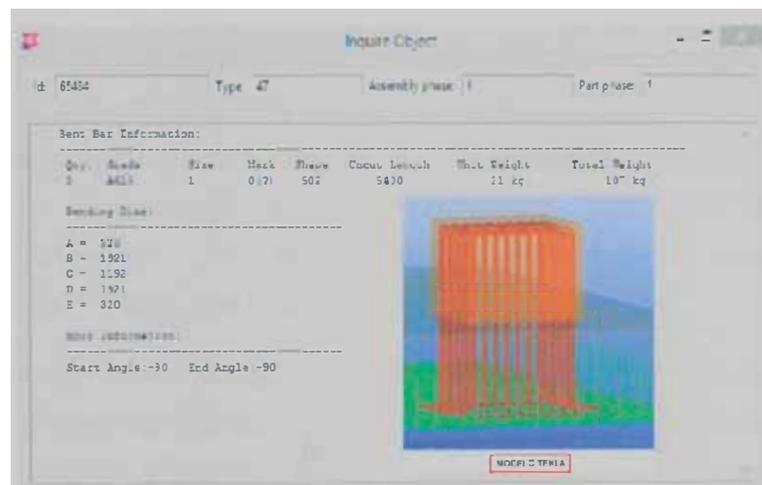


Figura N° 4.10 Dimensiones del acero de refuerzo del pedestal inicialmente.

Durante las reuniones, se planteó juntar 2 formas diferentes para disminuir el desperdicio del acero. La primera forma es una U con gancho en un extremo y sin gancho en el otro extremo y con una longitud de 4.5m y la otra forma, un bastón de 2.25m. Estas formas tendrán que estar juntas y alternadas con la primera forma original (Forma U con ganchos). Permitiendo disminuir el desperdicio a un 15%. Ver Figura N° 4.11 y Figura N° 4.12.

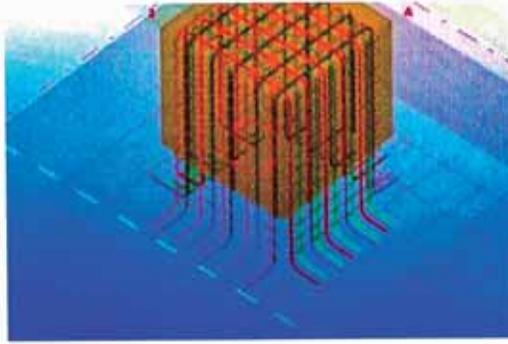


Figura N° 4.11 Modelo del pedestal con la propuesta

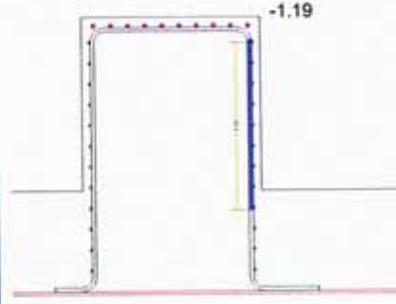


Figura N° 4.12 Esquema de la propuesta en 2 partes de varilla.

2) Optimización del acero de las columnas

Según los planos de estructuras se indicaban el empalme alternado del acero de las columnas en el tercio de la altura, pero al realizar el alternado de las varillas se observó que se tendría que castigar al 30% todas las barras, porque el empalme se iba a realizar al 100%². Utilizando para cada acero de cada columna, 6 varillas de 7.3m, 9m y 5.40m, presentando un desperdicio aproximadamente del 20% (Ver Figura N° 4.13)

Presentando la propuesta al Ing. Estructural, de comenzar a empalmar en el primer nivel y el segundo nivel se llegó a la conclusión que se utilizaría 3 varillas de 6.70m, 9m y 4.50m, y 3 varillas de 3m, 9m y 9m, disminuyendo el desperdicio a un 8.5%. (Ver Figura N° 4.14), consiguiendo un empalme al 50%.³

² Término utilizado para indicar que todos los empalmes serán colocados en la misma posición.

³ Término utilizado para indicar que los empalmes serán colocados en diferentes posiciones.

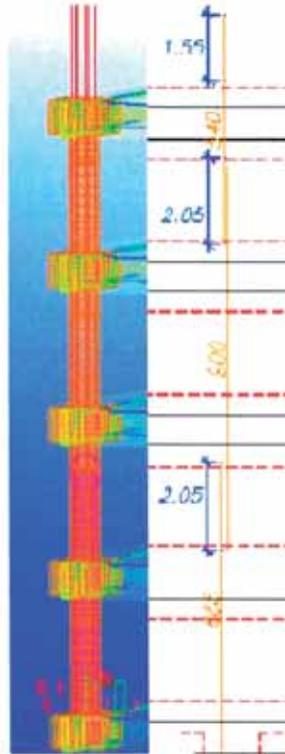


Figura N° 4.13 Método tradicional de colocación de acero en columnas

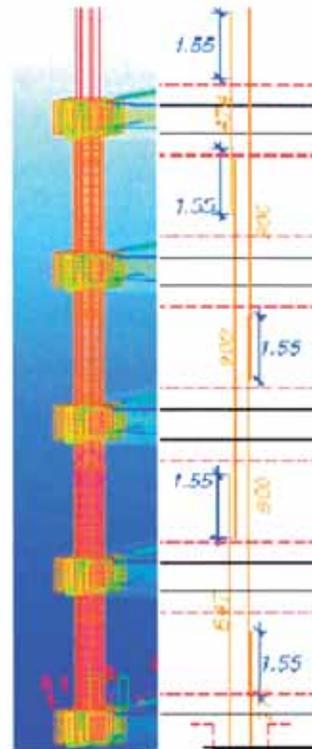


Figura N° 4.14 Propuesta de colocación de acero en columna

3) Optimización del acero de las zapatas

El diseño de las zapatas de los pedestales de 3.5x3.50m fue de 34 fierros de 3/4" de 3.30 m generando un desperdicio del 27%. Se planteó realizar la colocación de 34 fierros de 3m alternados y complementados con bastones de 1/2" para cumplir con los recubrimientos, no generando desperdicio alguno.

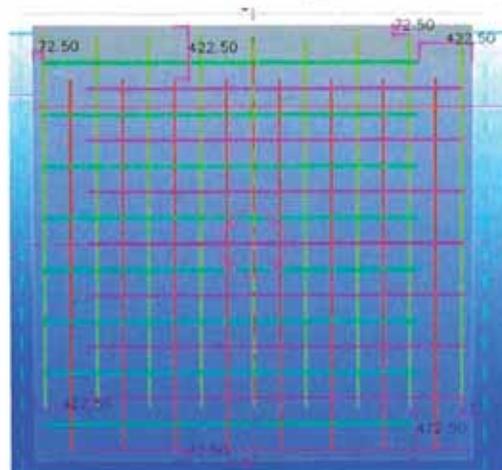


Figura N° 4.15 Propuesta de colocación del acero en las zapatas.

La debida colocación del acero de refuerzo en el modelo es uno de los principales puntos de importancia que permite identificar los típicos problemas en obra. Es en este punto, que volvemos a inferir en la importancia de la experiencia en colocación y habilitación de acero en obra y la habilidad en representarlo en el modelo.

Todos los RFI y consultas de optimización fueron revisados con el Ing. Estructural junto con el constructor en las reuniones realizadas en el salón ICE del laboratorio de construcción virtual de la Facultad de Ingeniería Civil-UNI. A continuación se muestra algunas imágenes del uso del modelo en las reuniones.

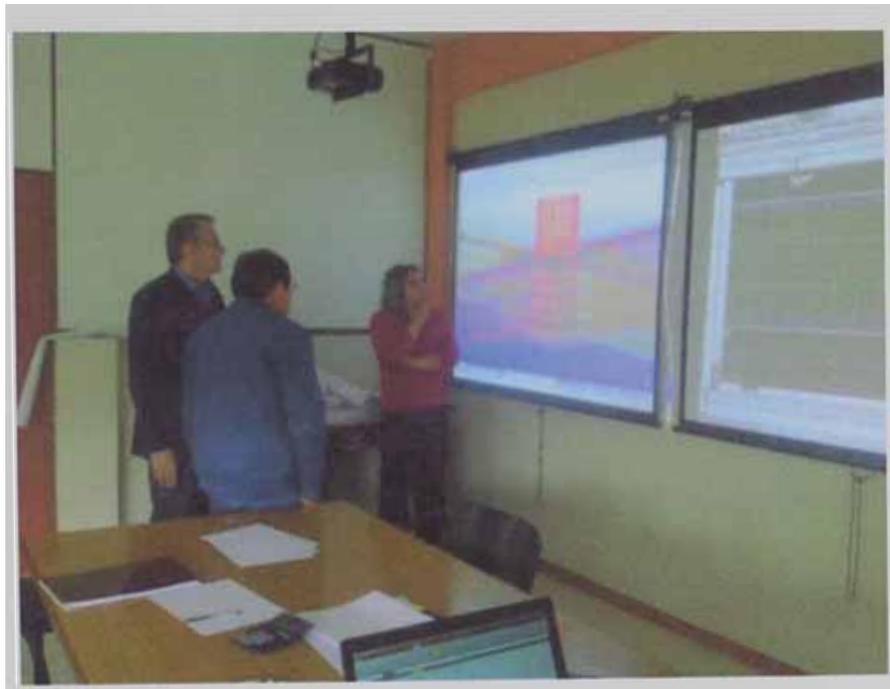


Figura N° 4.16 Fotografía en las reuniones ICE entre los diseñadores y el constructor



Figura N° 4.17 Fotografía del uso del modelo del diseñador junto con el constructor

CAPÍTULO V: ENTREGABLES DEL MODELO

En este capítulo, explicaremos los entregables del proyecto que fueron obtenidos automáticamente del modelo junto con los programas complementarios utilizados para la generación de planillas de doblez y patrones de cortes. Los planos de fabricación se realizaron utilizando las herramientas del software Tekla Structures, se subraya que las planillas de doblez también pueden ser desarrolladas desde el mismo software pero por fines prácticos se utilizó un programa adicional. La importancia de este capítulo es comprender la automatización de la documentación del proyecto, que permitió entregar información correcta y exacta a los integrantes del proyecto y disminuir los errores de documentación.

5.1 PLANILLAS DE DOBLEZ

La planilla de doblez es una hoja A4 donde se detalla los aceros de un elemento estructural (zapatas, pedestal, etc.) o de un plano en específico (Por ejemplo: IB-CIIFIC-SA-COB-SST-A06). Estas planillas de doblez fue realizado por el desarrollo del archivo de Microsoft Excel LISTA DE BARRAS.xlsm con la data obtenida del reporte de Tekla Structures. En la Figura N° 5.1 se describe el flujo de trabajo para la generación de las planillas de doblez.



Figura N° 5.1 Diagrama de Flujo de generación de planillas (Ver ANEXO 4)

A continuación, se explicara cada uno de los pasos:

1. Se comprueba que el modelo virtual contenga los atributos explicados anteriormente (Ver Item 3.4.1).
2. Con el ejecutable IB.DATA.exe se crea un reporte de todas las piezas de concreto y acero del modelo o solo de las piezas seleccionadas (Ver Ítem 3.3.3). En la Figura N° 5.2 se observa los campos extraídos por el ejecutable.

ETAPA	A SUB AREA	ESTRUCTURA PARTE	PHASE REBAI	NOMBRE	DIAM	MARCA	LONG	CAJIT	TIPO	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	H (cm)
6	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Es	1/2	D01	2270	21	614	62	18	8	0	0	0	0
7	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
8	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
9	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
10	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G05	9000	1	100	900	0	0	0	0	0	0
11	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Es	3/8	G01	2210	5	614	62	13	6	0	0	0	0
12	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Es	3/8	G02	2240	5	614	62	15	8	0	0	0	0
13	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
14	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
15	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
16	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
17	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
18	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
19	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
20	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G04	6750	1	200	30	652	0	0	0	0	0
21	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
22	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
23	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
24	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G01	3000	1	200	30	277	0	0	0	0	0
25	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G05	9000	1	100	900	0	0	0	0	0	0
26	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G05	9000	1	100	900	0	0	0	0	0	0
27	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G06	8250	1	100	825	0	0	0	0	0	0
28	SOBRE AISLADORES	N1-S1	COLUMNA	C-2	1 Bv	1	G06	8250	1	100	825	0	0	0	0	0	0

Figura N° 5.2 Reporte de Excel obtenido por la aplicación IB.Data.exe

El reporte también sirve para verificar las medidas, diámetros, nombres, etc. de los objetos permitiendo evitar que los errores del modelo lleguen a la obra.

3. Los datos obtenidos del reporte son ingresados a la hoja de Excel LISTA DE BARRAS.xlsm, creado por la empresa IDandBIM International (Ver Figura N° 5.3). En la columna Despacho se agrega los números de despachos, que pueden ser por sector, planos, nivel, etc., la lista de despachos se encuentran en el registro de entregables (ANEXO 7).

Tabla N°5-1 Lista de códigos por diámetro para la generación de marcas

Diámetro	CÓDIGO
3/8"	C
1/2"	D
5/4"	E
3/4"	F
1"	G

- Diámetro
- Longitud.- Es la longitud en metros que incluye el factor de estiramiento del acero de refuerzo por diámetro
- Esquema.- Representación gráficamente la forma del acero de refuerzo, con los lados y las cotas de inspección en cm.
- Radio de dobléz (cm)
- Cantidad
- Peso (Kg).- Es el peso obtenido de la multiplicación de los pesos por ml por diámetro (Ver ANEXO 1) y la longitud.

MARCA	DIAM	L. DE CORTE	ESQUEMA (cm)	LONGITUD	CANT	PESO (kg)	ESTRUCTURA
G01	1/2"	5.14		2.5	30	480	P-4 P-1 P-1a P-1b
G03	1/2"	15.3		4.0	540	853	P-4 P-1 P-1a P-1b
G01	T	6.80		8.0	9	276	P-4 P-1a P-1b
G02	T	6.10		8.0	12	293	P-4 P-1a P-1b
G06	F	6.86		8.0	33	798	P-4 P-1 P-1a P-1b P-1c
G04	F	8.10		8.0	42	1,028	P-4 P-1 P-1a P-1b P-1c
G17	F	1.75		8.0	72	435	P-4 P-1 P-1a P-1b P-1c

Figura N° 5.4 Lista de barras de la viga de cimentación del sector 1

5.2 PATRONES DE CORTE

La optimización de corte se realizó con el software “OPTIMA V1” de IDandBIM International, esta herramienta utiliza un algoritmo heurístico propio para minimizar la cantidad de barras de acero a utilizar. Esta optimización de corte tuvo como resultado principal los patrones de cortes, que es una lista de los cortes de una varilla de 9m. Para el proyecto CIIFIC-UNI se utilizó los patrones de corte para las varillas de $\frac{3}{4}$ " y 1".



Figura N° 5.5 Diagrama de flujo de Generación de patrones de corte con Optima V1

(Ver ANEXO 5)

Este software realiza la optimización cumpliendo las siguientes reglas:

- Minimizar las mermas.
- Minimizar los tipos de patrones de corte.
- Máximo 3 tipos de patrones de corte por varilla de 9m.

A continuación, se explicara cada uno de los pasos para obtener los patrones de corte y el resumen de corte del sector del semisótano de las varillas de $\frac{3}{4}$ " y 1".

- 1). El primer paso es la generación de las hojas de barras o planillas de doblez de las estructuras que deseamos optimizar. Estas hojas de barras deben estar almacenadas en una sola carpeta para no generar duplicidad de datos. Por fines prácticos utilizaremos los despachos del semisótano, es decir las planillas del 0001 hasta el 0010 (Ver ANEXO 8).

- 2) El ingreso de datos del software OPTIMA V1 son todos los despachos que se desean optimizar para que el software ordene los datos de las longitudes, diámetro, marcas y hoja de producción de cada despacho.
- 3) El tercer paso es el ingreso del stock de acero de cada diámetro junto con sus longitudes, en el proyecto CIIFIC-UNI el stock de acero es mostrado en la Figura N° 5.6.

	6mm	5/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
7.00M							
8.00M							
9.00M	2084	4054	2885	813	770	493	0
10.00M							
11.00M							
12.00M							

Figura N° 5.6 Stock de acero por diámetro.

- 4) Luego de ingresar los datos previos, solo se procede a elegir el diámetro que se va a optimizar y esperar los resultados, la figura N°78 indica los resultados de la optimización del diámetro de 1" del sector semisótano. La lectura de los resultados se explicaran según la numeración indicada en la Figura N° 5.7.

- 1 – Indica el porcentaje de perdida por los cortes del acero en total.
- 2 - La cantidad de varillas a utilizar según la optimización.
- 3 – Los patrones de corte encontrados para la optimización, estos patrones representan los aceros de refuerzo a cortar en una varilla de 9m. La nomenclatura de un patrón de corte es la siguiente:

Ej.

G14/DO/616/0006/(PD)(1) → [Marca]/[Tipo]/[Longitud]/[#de Despacho]/[Elemento]/[# de Cortes]

En el recuadro rojo de la Figura N° 5.7, se indican 2 patrones de corte G14/D2/616/0006/(PD)(1) y G17/D2/1730005/(PD)(1).

4 – Es la cantidad de barras de 9m que se utilizarán para cortar los mismos patrones de corte.

5 – El saldo es la longitud de varilla luego del corte de los patrones, Por ejemplo: los patrones de corte enmarcado indican una longitud de 6.16 y 1.73, siendo la longitud total de corte 7.89m, por ende deja como desperdicio una varilla de 1.11m.

6 - El saldo parcial indica la longitud del saldo por la cantidad de barras a utilizar, siguiendo el mismo ejemplo, se tiene como saldo 1.11m y como cantidad de varillas en total 38, siendo el saldo parcial 42.18m en total.

7 – Es el porcentaje del saldo parcial respecto a la longitud en total a utilizar por el patrón de corte. En el ejemplo:

Se utilizaron en total 38 varillas de 9m c/u, es decir 342ml de acero de refuerzo y siendo el saldo parcial de 42.18ml, este último representa el 12.39% del total.

8 – La cantidad de cortes de una varilla de 9m.

Para el desarrollo del cuadro de resumen se cuenta con la optimización del acero de refuerzo de $\frac{3}{4}$ " y 1" (Ver ANEXO 9). La lectura del cuadro de resumen será explicada según la numeración de la Figura N° 5.8:

- 1- Cantidad total según la optimización de cada diámetro a utilizar.
- 2- Son varillas que tienen una longitud mayor de 1.50m que pueden ser utilizadas para las próximas etapas, por lo que no se consideran como perdidas.
- 3- Es el porcentaje parcial de perdida por diámetro según las varillas a utilizar restándolas con los saldos de cada diámetro.

Por ej.

Para el diámetro de $\frac{3}{4}$ " se tiene que las longitudes totales de todos los patrones de corte de corte junto con su cantidades requerida es de 2341.3 m que se denomina longitud requerida, pero según la optimización realizada se necesita 281 varillas de 9m, es decir 2529 m y además, se tiene como saldo 1 varilla de 4.4m, 7 varillas de 2.2m, 5 varillas de 2.1m y 14 varillas de 2.05 siendo en longitud total de saldo

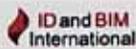
59m. Para hallar el porcentaje parcial de mermas se sigue la siguiente formula:

$$\text{Merma Parcial} = \frac{L \text{ total} - L \text{ requerida} - L \text{ saldo}}{L \text{ requerida}} * 100\%$$

$$\text{Merma Parcial} = \frac{2529 - 2341.3 - 59}{2341.3} * 100\%$$

$$\text{Merma Parcial} \approx 5\%$$

- 4- Es el promedio de todas mermas parciales de cada diámetro.
- 5- Stock Actual de barras de 9m por cada diámetro
- 6- Es el saldo resultante del stock actual menos las varillas a utilizar por la optimización de cada diámetro.

1	Saldo	7.19%	 		
La	9.00m	Diametro			
Barras a usar	2 420	1"			
Optimización					
Cantida de barras	Longitud	Saldo	Saldo parcial	Saldo(%)	N° de cortes
4 20	9.00m	3.60m	72.00m	40.00%	1
6	9.00m	3.00m	18.00m	33.33%	1
9	9.00m	1.27m	11.43m	14.11%	2
33	9.00m	1.27m	41.91m	14.11%	2
16	9.00m	1.27m	20.32m	14.11%	2
26	9.00m	1.27m	33.02m	14.11%	2
22	9.00m	1.27m	27.94m	14.11%	2
12	9.00m	1.12m	13.44m	12.44%	2
38	9.00m	1.11m	42.18m	12.33%	2
34	9.00m	1.11m	37.74m	12.33%	2
2	9.00m	1.11m	2.22m	12.33%	2
18	9.00m	0.67m	12.06m	7.44%	1
14	9.00m	0.62m	8.68m	6.89%	1
2	9.00m	0.59m	1.18m	6.56%	2
16	9.00m	0.59m	9.44m	6.56%	2
40	9.00m	0.26m	10.40m	2.89%	2
9	9.00m	0.00m	0.00m	0.00%	2
1	9.00m	6.00m	6.00m	66.67%	1
12	9.00m	2.65m	31.80m	29.44%	1
8	9.00m	2.10m	16.80m	23.33%	1
14	9.00m	2.05m	28.70m	22.78%	1
59	9.00m	0.00m	0.00m	0.00%	1
7	9.00m	0.00m	0.00m	0.00%	1
2	9.00m	0.00m	0.00m	0.00%	3

G03/DO/540/0007/(PD)(1)	
G06/DO/601/0007/(PD)(1)	
G01/DO/600/0005/(PD)(1)	G17/DO/173/0006/(PD)(1)
G06/DO/601/0005/(PD)(1)	G17/DO/173/0006/(PD)(1)
G06/DO/601/0006/(PD)(1)	G17/DO/173/0006/(PD)(1)
G06/DO/601/0006/(PD)(1)	G17/DO/173/0007/(PD)(1)
G06/DO/601/0007/(PD)(1)	G17/DO/173/0007/(PD)(1)
G02/DO/615/0005/(PD)(1)	G17/DO/173/0006/(PD)(1)
G14/DO/616/0006/(PD)(1)	G17/DO/173/0005/(PD)(1)
G14/DO/616/0007/(PD)(1)	G17/DO/173/0005/(PD)(1)
G14/DO/616/0007/(PD)(1)	G17/DO/173/0006/(PD)(1)
G04/DO/833/0007/(PD)(1)	
G05/DO/838/0007/(PD)(1)	
G14/DO/616/0005/(PD)(1)	G12/DO/225/0007/(PD)(1)
G14/DO/616/0006/(PD)(1)	G12/DO/225/0007/(PD)(1)
G14/DO/616/0005/(PD)(1)	G16/DO/258/0007/(PD)(1)
G15/DO/450/0007/(PD)(2)	
G13/DO/303/0004/(VC)(1)	
G12/DO/634/0004/(VC)(1)	
G08/DO/690/0004/(VC)(1)	
G07/DO/695/0004/(VC)(1)	
G09/DO/900/0001/(ZA)(1)	
G11/DO/900/0004/(VC)(1)	
G13/DO/300/0004/(VC)(3)	

Figura N° 5.7 Patrones de corte de las lista de barras del nivel del Semisótano (Ver ANEXO 8 y 9)

Resumen de optimización

CLIENTE UNI FIC
OBRA CENTRO DE INFORMACION E INVESTIGACION FIC -UNI
DETALLE NIVEL BAJO AISLADORES
DESPACHOS 0001 A 0007

Requerido(m)	105.5			4,312.3			1,104.0			2,341.3			3,334.7		
Diámetros	3/8"			1/2"			5/8"			3/4"			1"		
	Long.	Cant.	Peso	Long.	Cant.	Peso	Long.	Cant.	Peso	Long.	Cant.	Peso	Long.	Cant.	Peso
Stock a utilizar	9.00	0	0	9.00	0	0	9.00	0	0	9.00	281	5,653	9.00	420	15,018
Saldos										4.40	1	10	3.60	20	286
										2.20	7	34	3.00	6	72
										2.10	5	23	6.00	1	24
										2.05	14	64	2.65	12	126
										2.10	8	67			
										2.05	14	114			
Merma parcial										5%			8%		
Merma total	7%														
Stock actual	9.00	420	20,442	9.00	281	25,209	9.00	411	11,356	9.00	770	15,489	9.00	443	17,823
Saldos	9.00	420	20,442	9.00	281	25,209	9.00	411	11,356	9.00	410	5,834	9.00	72	2,922

Figura N° 5.8 Resumen de saldos de cada diámetro y el stock actual

5.3 PLANOS DE FABRICACIÓN

Los planos de fabricación fueron realizados de manera automática desde el modelo de Pre-Construcción en el mismo software Tekla Structures. Siendo la primera vez que en una obra se trabaje con los planos de fabricación obtenidos desde un modelo BIM. Para entender mejor la generación de planos de fabricación se explicaran algunos términos propios del software como los 3 niveles de detallamiento: Plano, Vista, Objeto.

El plano es la representación de una vista⁴ del modelo y sus propiedades determina principalmente las propiedades de todas las vistas y objetos del plano (Ver Figura N° 5.9).

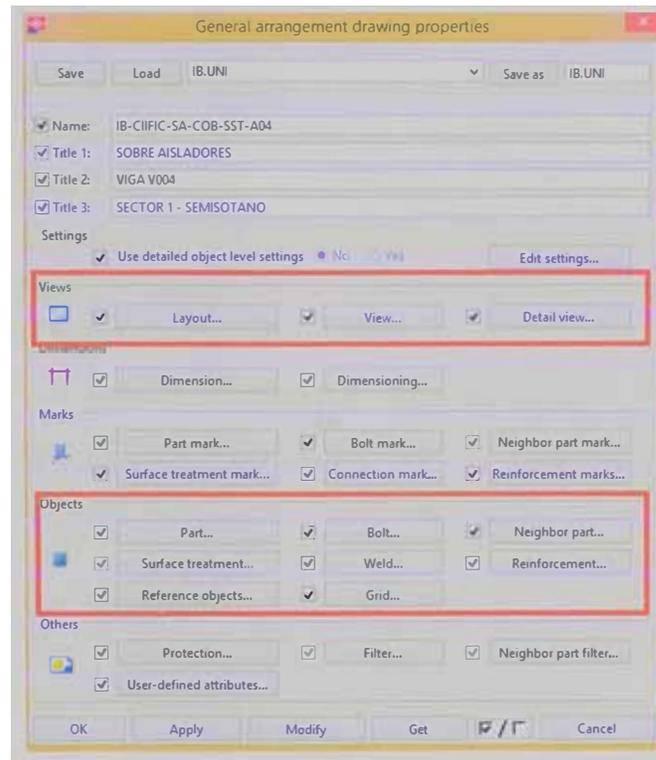


Figura N° 5.9 Propiedades del dibujo general

⁴ El término vista del modelo es diferente al nivel de detallamiento de los planos de Tekla Structures.

Las vistas pueden ser cortes, detalles, secciones, etc. de otra vista y sus propiedades permiten determinar las propiedades de los objetos y escala de una vista. (Ver Figura N° 5.10).

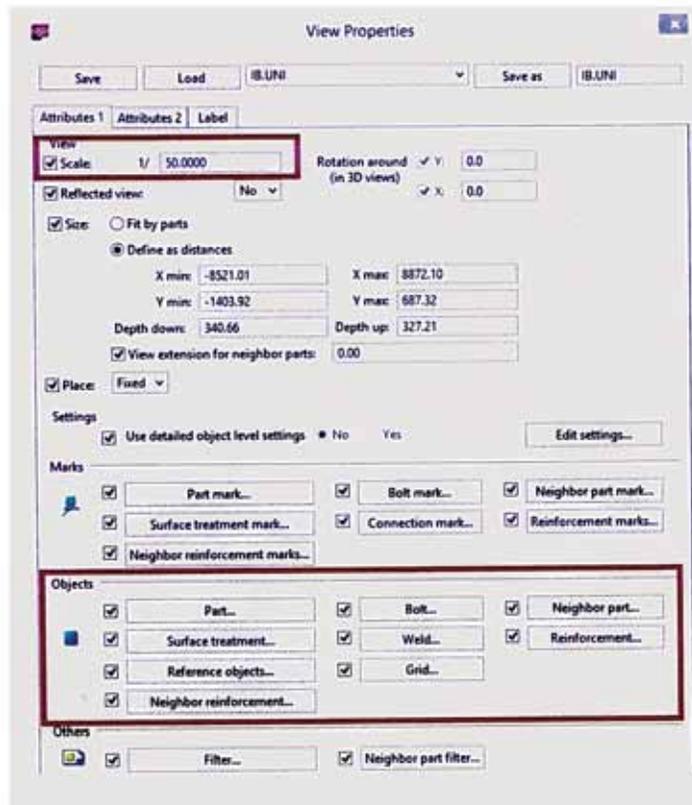


Figura N° 5.10 Propiedades de una vista del dibujo

Dentro de cada vista existen los objetos con sus diferentes propiedades, por ejemplo para el acero de refuerzo (Reinforcement) las propiedades serán las siguientes:



Figura N° 5.11 Propiedades de un objeto (acero de refuerzo) dentro de una vista y plano

En resumen:

La Figura N° 5.12, simula el sistema de generación de planos automáticos del Tekla Structures y la forma como se vinculan las partes de un plano. El plano se crea automáticamente desde el modelo (Drawings and Reports → Create General Arrangement Drawings), y puede contener "n" vistas (Detalles, cortes, sección, etc.), así también, cada Vista contiene objetos (partes, acero de refuerzo, objetos de referencia, etc.). La jerarquía de las partes de un plano es Objeto → Vista → Plano; es decir, la modificación de las propiedades de un objeto se cumple únicamente en la vista que lo contiene, y las modificación de las propiedades de una vista también se cumplen únicamente en el plano.

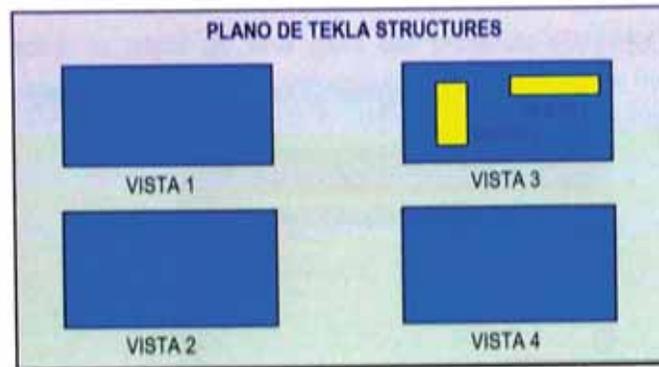


Figura N° 5.12 Esquema de la jerarquía de todos las partes de un plano.

A continuación, se explicara por medio de un diagrama de flujo (Ver Figura N° 5.13) los procesos que se realizaron para obtener un plano de fabricación.



Figura N° 5.13 Diagrama de flujo de generación de planos de fabricación (Ver ANEXO 6)

- 1) Todos los planos son realizados desde el mismo modelo de Pre-construcción y al igual que todos los entregables, el éxito se basa en que el modelo no contenga información errónea.
- 2) Para la creación de planos en Tekla Structures, se tiene 4 tipos de dibujos:
 - Dibujo Parte
 - Dibujo Conjunto
 - Dibujo General
 - Dibujo Unidad Colada.

Para el proyecto CIIFIC-UNI, se utilizó el tipo de dibujo general generados a partir de una vista del proyecto (Drawings & Report -> Create General Arrangement Drawing).

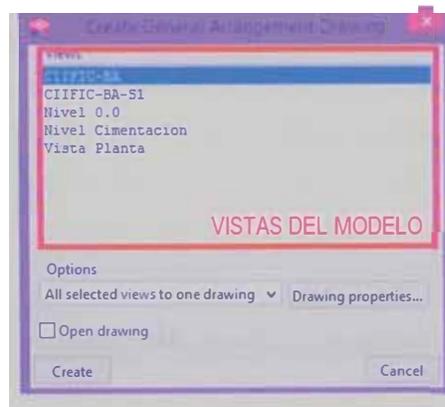


Figura N° 5.14 Ventana de creación de un nuevo plano.

- 3) El dibujo creado es por defecto igual a la vista que uno ha elegido (Ver Figura N° 5.15), es por eso que el Tekla Structures tiene varias opciones para crear nuevas vista (View → Create Drawing View) como secciones, cortes y detalles.

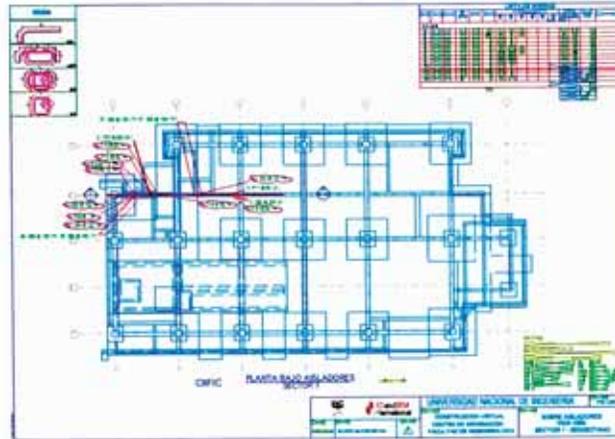


Figura N° 5.15 Creación de planos de Tekla Structures y vistas por defecto

- 4) Al terminar con la creación de todas las vistas del plano, se procede a ingresar a cada vista y crear las marcas y dimensiones de cada objeto o conjunto de objetos. Las etiquetas del acero de refuerzo de una sección se agregan dando click derecho al objeto, Add Mark→Reinforcement Mark. Al igual para crear las dimensiones o cotas del concreto. Estas etiquetas son creadas con la información que uno desee. En la Figura N° 5.16, se puede observar los diversos parámetros de una etiqueta.

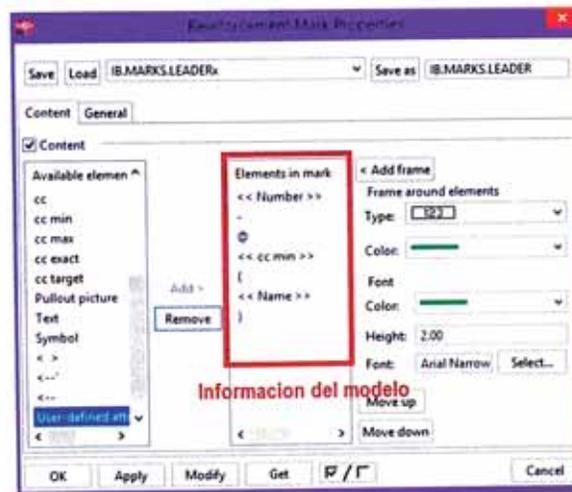


Figura N° 5.16 Propiedades de las etiquetas de un objeto (acero de refuerzo)

- 5) Luego de colocar las etiquetas y las dimensiones de todos los objetos, ya se cuenta con un plano de fabricación que puede ser exportado al CAD o impreso.

En el ANEXO 10, se encuentran los planos de fabricación y planilla de doblez de una viga, columna, capitel y del plano CIIFIC-BA-S3a.

Para explicar toda la metodología de uso de las planillas de doblez, patrones de cortes y planos de fabricación se realizaron reuniones con el maestro herrero en el salón ICE del Laboratorio de Diseño y Construcción Virtual FIC-UNI y también en el taller de la obra.



Figura N° 5.17 Fotografía de reuniones con el equipo de trabajo en obra en el salón ICE



Figura N° 5.18 Fotografía con el maestro herrero y constructor en taller de obra.

CAPÍTULO VI: AUTOMATIZACIÓN DE UN MODELO BIM

En el proyecto CIIFIC-UNI se utilizaron 2 tipos de automatización, la generación de documentación, explicada en el capítulo V y la generación de modelos BIM, explicada en este capítulo. En la actualidad existe la automatización de procesos mediante maquinas con lenguaje CNC que permiten mediante un código indicar los cortes a realizar a una varilla, este código también puede ser obtenido por el modelo BIM desde el software Tekla Structures, Finalizaremos explicando las limitaciones y futuros trabajos de la metodología BIM.

6.1 TEKLA OPEN API

Tekla Open Api es una herramienta que permite desarrollar extensiones propias, como aplicación y plug-ins. Siendo la diferencia principal entre estas dos extensiones que las aplicaciones funcionan fuera del Tekla Structures mientras que los plug-ins funcionan dentro del programa. Para la creación de aplicaciones, TS sugiere 3 formas de utilización del Tekla Open API:

- Macros de VBA
- Aplicaciones COM
- Aplicaciones .NET

Para la creación de plug-ins no se encontró información suficiente que permitiese entender y explicar su utilización. Para el desarrollo del caso práctico se utilizó una aplicación .NET, donde se utilizó los comandos básicos del Tekla Open API.

6.2 CASO PRÁCTICO: AUTOMATIZACIÓN DE PEDESTAL Y ZAPATA

A continuación, explicaremos la creación de una aplicación con el Tekla Open API que tiene como objetivo crear un pedestal y zapata junto con su armadura. Se comenzara explicando los pasos anteriores a la creación del código que permitirá entender los datos de entradas y salidas, luego explicaremos los comandos básicos del Tekla Open API utilizado en la aplicación.

Uno de los primeros pasos de crear una aplicación es la determinación de los datos fijos y variables de la aplicación. Para el caso práctico de creación de un pedestal con su zapata se identificó los siguientes datos:

Tabla N°6-1 Datos Fijos y variables de la Aplicación Pedestal.exe

DATOS FIJOS	DATOS VARIABLES
Forma del Acero Horizontal, Vertical y Estribos.	Geometría de la zapata y pedestal, diámetro de varillas, espaciamiento y/o cantidad, Recubrimientos, longitud de ganchos.

El análisis de estos datos permite crear el formulario de la aplicación, como se indica en la Figura N° 6.1.



Figura N° 6.1 Formulario de la aplicación Pedestal.exe

El flujo del trabajo comienza con reconocer que el software Tekla Structures está activo o no, mediante las siguientes líneas de código:

MODELAMIENTO VIRTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CASCO ESTRUCTURAL DEL CIIFIC-UNI MEDIANTE EL PROGRAMA TEKLA.

```
1    TSM.Model myModel = new TSM.Model();  
    myModel.GetConnectionStatus();
```

Luego de aceptar que el programa este activo se lee todos los datos del formulario y se comienza con la creación del pedestal y zapata, para lo cual se utiliza el siguiente código:

```
1    TSM.Beam Pedestal = new TSM.Beam(new TSG3D.Point(0, 0, 0), new TSG3D.Point(0,  
    0, H));  
    Pedestal.Name = "P1";  
2    Pedestal.Profile.ProfileString = SecColum;  
    Pedestal.Material.MaterialString = "Concrete_Undefined";  
    Pedestal.Finish = "PEDESTAL";  
3    Pedestal.Insert();
```

Donde la fila 1 indica la creación de un concreto de inicio en el punto (0, 0,0) y (0, 0, H), si bien el código indica la creación de una viga (Beam) el programa lo reconoce como una columna por la variación de altura de puntos en el eje Z. En la segunda fila se indica las propiedades básicas del concreto, por último se inserta en el modelo. Las mismas propiedades se utilizan para la creación del pedestal.

Luego de creado el concreto se procede a la creación del acero de Refuerzo con las siguientes líneas de código:

```
1 TSM.RebarGroup Bv11 = new TSM.RebarGroup();
  TSM.Polygon PolygonBv11 = new TSM.Polygon();
    PolygonBv11.Points.Add(new TSG3D.Point(Cx0, Cy1, Cz0));
    PolygonBv11.Points.Add(new TSG3D.Point(Cx0, Cy1, Cz1));
2 TSM.Polygon PolygonBv12 = new TSM.Polygon();
  PolygonBv12.Points.Add(new TSG3D.Point(Cx0, Cy0, Cz0));
  PolygonBv12.Points.Add(new TSG3D.Point(Cx0, Cy0, Cz1));
3 Bv11.Father = Pedestal;

  Bv11.RadiusValues.Add(40);
  Bv11.SpacingType =
  TSM.RebarGroup.RebarGroupSpacingTypeEnum.SPACING_TYPE_EXACT_NUMBER;
  Bv11.Spacings.Add(2);
  Bv11.ExcludeType = TSM.RebarGroup.ExcludeTypeEnum.EXCLUDE_TYPE_NONE;
  Bv11.Name = "Bv";
  Bv11.Class = 2;
  Bv11.Size = "1/2";
  Bv11.Grade = "ADN-420";
  Bv11.OnPlaneOffsets.Add(50);
  Bv11.FromPlaneOffset = 50;
4 Bv11.StartPointOffsetType =
  TSM.Reinforcement.RebarOffsetTypeEnum.OFFSET_TYPE_COVER_THICKNESS;
  Bv11.StartPointOffsetValue = 500;
  Bv11.StartHook.Shape = TSM.RebarHookData.RebarHookShapeEnum.
  HOOK_90_DEGREES;
  Bv11.EndPointOffsetType =
  TSM.Reinforcement.RebarOffsetTypeEnum.OFFSET_TYPE_COVER_THICKNESS;
  Bv11.EndPointOffsetValue = 500;
  Bv11.EndHook.Shape = TSM.RebarHookData.RebarHookShapeEnum.
  HOOK_90_DEGREES;
  Bv11.Polygons.Add(PolygonBv11);
  Bv11.Polygons.Add(PolygonBv12);
5 Bv11.Insert();
```

En la Fila 1, se indica la creación de un acero de refuerzo que se nombrara como Bv1. Para la creación de acero de refuerzo se necesita 2 polígonos (fila 2) que indican la forma del acero de refuerzo inicial y final; también se necesita que el acero pertenezca a un concreto (Ver fila 3) por lo que la propiedad "Father" indica al concreto que fue creado anteriormente. En la Fila 4, se indica las

propiedades básicas de un acero de refuerzo que se necesitan para su creación. Por último, se inserta el acero de refuerzo en el modelo.

6.3 LIMITANTES Y PRÓXIMAS INVESTIGACIONES

A través del desarrollo de la presente tesis se identificó algunas limitantes que son importantes mencionar para que puedan ser objeto de consultas para próximas investigaciones.

- Interoperabilidad entre software BIM, si el concepto general de la metodología BIM radica en el compartir información, las herramientas deberían tener la misma filosofía. Por ejemplo: en el desarrollo de la tesis se contó con un modelo IFC del programa Revit Architecture que no se pudo utilizar en el Tekla Structures porque no se obtenía la información del modelo inicial. Para las próximas investigaciones recomendamos el estudio de las variables de estas interoperabilidades entre software como ETABS, SAP2000, Revit, Bentley, etc.
- El desarrollo del Tekla Open API se encuentra en un estado inicial, por lo que se sugiere el desarrollo de aplicaciones que sean comunes en la construcción pero que tengan un alto grado de variabilidad para su estudio de impacto. Por ejemplo: es común realizar placas en la construcción y así también es variable los tipos de diámetro, el espaciamientos, etc. del acero de refuerzo. Tener en cuenta que estas aplicaciones serian de mucha utilidad en la etapa de diseño.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- ✓ El modelamiento virtual de la construcción permite mejorar el concepto del proyecto para todos los involucrados desde los especialistas hasta el maestro herrero. La visualización de los problemas del proyecto en el modelo permite que los especialistas puedan proponer soluciones conjuntas; Además, representar estas soluciones automáticamente en los documentos de fabricación.

- ✓ El modelamiento del acero de refuerzo se debe realizar teniendo en cuenta los criterios de habilitación y colocación del acero en obra (criterios de empalmes, separadores, aceros adicionales de refuerzo, ganchos, etc.), sin estos criterios el modelo no puede representar la realidad de los elementos estructurales.

La identificación de las formas de acero permite revisar los radios de doblez y las dimensiones de cada lado. Además, para evitar los problemas de habilitación del acero se hallan las cotas de inspección de cada forma.

- ✓ La experiencia de los involucrados del proyecto combinado con las herramientas del software permite que las reuniones ICE (Integrated Concurrent Engineering, por sus siglas en inglés) se propongan cambios que mejoren la constructibilidad del proyecto.

- ✓ La optimización de corte se debe realizar por etapas constructivas, en el proyecto Centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (CIIFIC-UNI) el porcentaje de merma del semisótano fue de 7% y se logró identificar el alto consumo de varillas de 1" para dicha etapa, logrando utilizar estas varillas para el primer nivel.

Los planos de fabricación, planillas de dobléz y patrones de corte facilita al maestro herrero a comprobar sus procedimientos. Este trabajo colaborativo entre el maestro herrero, el ingeniero constructor y el ingeniero estructural es un constante retro-alimentador de información y mejoramiento de modelo, por consiguiente de los entregables.

La automatización de modelos BIM permite disminuir hasta un 50% el tiempo de modelamiento. Permitiendo que el tiempo restante sea utilizado para la generación de planos y/o documentos adicionales. La relación de tiempo de modelamiento y generación de planos generalmente es de 3:2.

- ✓ Una de las ventajas más importante de realizar el modelo de Pre-Construcción fue la generación de planos de fabricación antes de comenzar la obra y su revisión por los especialistas. Estos planos de fabricación generados automáticamente desde un modelo BIM permiten que se puedan actualizar ante cualquier cambio, disminuyendo drásticamente el esfuerzo de actualización de documentos. La revisión de los planos de fabricación, planillas y patrones de corte permiten mejorar y forma parte de la decisión de fabricación de acero en obra, que comúnmente es realizado por el maestro herrero.

7.2 RECOMENDACIONES

- La colaboración de todos los especialistas permite que el modelo sea construido tal como en la realidad y que los costos sean muy inferiores comparándolos si ocurrieran en campo.
- El desarrollo de aplicaciones con Tekla Open API necesitan un conocimiento básico de programación pero fundamentalmente es el conocimiento de las herramientas del propio programa. Además, se sugiere que las aplicaciones sean utilizadas en la etapa del diseño.
- La metodología BIM es una mezcla de experiencia y habilidades por lo que se recomienda que el equipo de trabajo este conformado por personas de experiencia y/o con habilidades de esta tecnología. Los procesos colaborativos de la metodología permiten que al final del proyecto todos los involucrados conozcan algo más de esta tecnología.

BIBLIOGRAFIA

- **[1] Alcantara, V.**, “Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la Construcción Virtual usando tecnologías BIM”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Lima-Peru, 2013.
- **[2] Berdillana F.**, “Tecnologías Informáticas para la Visualización de la información y su uso en la Construcción – Los Sistemas 3D Inteligente”, Tesis para optar grado de maestro, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2008.
- **[3] British Government**, “Industrial Strategy: Government and Industry in Partnership”, 2012.
- **[4] Choclan F., Soler M. y Gonzalez R.**, “Introducción a la Metodología BIM”, Jornal BIM, España, 2014.
- **[5] Eastman, Chuck**, “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors”, 2011.
- **[6] Eastman, C.** “The use of computers instead of drawings in building design”, Jornal de Instituto de Arquitectos Americanos (AIA), 1975.
- **[7] Fisher M.**, “ Virtual Design and Construction”, Presentacion de Project Norway, CIFE, 2011.
- **[8] Haymaker J. y Senescu R.**, “ Communicating Design Processes Effectively and Efficiently”, CIFE Working Paper #198, Julio, 2011.
- **[9] Kymmel, W.**, “Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations”, McGraw-Hill, New York-EE.UU, 2008.

- **[10] Martin, Gonzales y Roldan**, "Building Information Modeling (BIM): Una oportunidad para transformar la Industria de la Construcción, Jornal BIM, España, 2014.
- **[11] Mc Graw Hill**, "The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets", Smart Market Report, 2014.
- **[12] National Institute of Building Sciences**," National Building Information Modeling Standard", Version 1, 2007.
- **[13] Rizal, Willem y Eric**, "BIM Application for Integrated Design and Engineering in Small-Scale Housing Development: A Pilot Project in The Netherlands", Architectural Engineering and Design Management, Volumen 6, 2010.
- **[14] Salazar**, "Costos y Presupuestos en Edificaciones", CAPECO, 2000.