

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**Automatización en la elaboración del presupuesto y
calendario valorizado a nivel de casco estructural en la
etapa de licitación de un proyecto de edificación**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta los bachilleres:

Andrea Elizabeth Braul Moreno

Renzo Giancarlo Rios Rugel

ASESOR: Mag. Danny Eduardo Murguía Sánchez

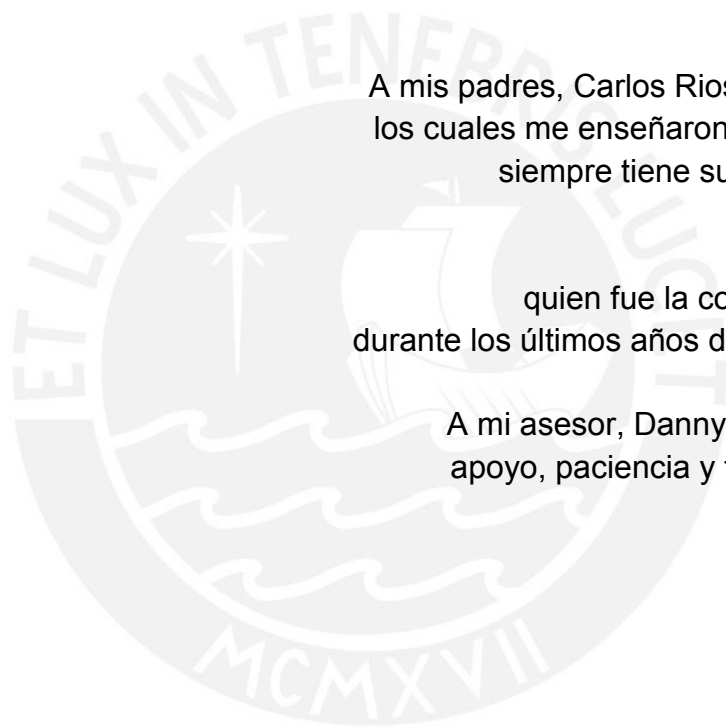
Lima, Abril de 2018

DEDICATORIA DEL AUTOR

A mis padres, Carlos Rios y Gloria Rugel,
los cuales me enseñaron que el sacrificio
siempre tiene sus recompensas.

A mi hermana
quien fue la compañía y apoyo
durante los últimos años de la universidad.

A mi asesor, Danny Murguía, por su
apoyo, paciencia y tiempo invertido.



DEDICATORIA DE LA AUTORA

A mis padres, Edgardo Braul y Sucena Moreno ,
por su cariño, amor y apoyo
incondicional para cumplir mis metas.

A mi hermano por guiarme día a día tanto en mi
vida profesional como personal.

A mi familia por el apoyo brindado durante
los años en la universidad.

A mi asesor, Danny Murguía, por sus
enseñanzas y consejos de cómo ser un mejor profesional.

RESUMEN

La presente tesis consiste en el desarrollo de una herramienta (add-in) que permite crear un presupuesto y un calendario valorizado de un Proyecto de edificación en la etapa de licitación. El objetivo es demostrar que se puede generar un presupuesto y un calendario valorizado de manera automática a partir de un modelo 4D y 5D. Para cumplir con el objetivo se ha dividido el desarrollo de la investigación en seis capítulos.

Capítulo 1 contiene los objetivos y se describe la metodología que se someterá la tesis para obtener los resultados del diseño de la investigación.

Capítulo 2 contiene un análisis del estado actual de las metodologías para la gestión de costos y tiempos en proyectos de edificaciones y se realiza una comparación de herramientas para ejecutar esta labor.

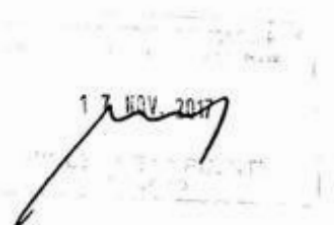
Capítulo 3 contiene de manera profunda el flujo de la propuesta metodológica desde la creación del modelo 3D hasta la presentación de los entregables (Presupuesto y Calendario Valorizado).

Capítulo 4 contiene la aplicación de la metodología, así como las particularidades del proyecto Quinta Arrieta, el cual será caso de estudio de la presente tesis y el análisis de los resultados de la entrevista realizada a profesionales del área de costos en empresas locales acerca de la aplicabilidad de esta metodología.

Capítulo 5 contiene a detalle las limitaciones, lecciones aprendidas, recomendaciones y conclusiones realizada en base a los temas expuestos a lo largo de la tesis.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Automatización en la elaboración del presupuesto y calendario valorizado a nivel de casco estructural en la etapa de licitación de un proyecto de edificación.
Área : Construcción y Gestión
Asesor : Danny Eduardo Murguía Sánchez
Alumno : ANDREA ELIZABETH BRAUL MORENO
Código : 2010.5512.412
Alumno : RENZO GIANCARLO RIOS RUGEL
Código : 2010.5161.412
Tema N° : # 297
Fecha : Lima, 13 de noviembre de 2017

13 NOV 2017


PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El método de procura Diseño-Licitación-Construcción es ampliamente usado en la construcción pública y privada. En la etapa de licitación, las empresas constructoras destinan recursos para presentar sus ofertas económicas y cronogramas ante un cliente. El cálculo de presupuestos se realiza de manera tradicional en base a metrados, a planos 2D y hojas de cálculos. Estos procesos requieren gran cantidad de recurso humano para realizarse en tiempos cortos.

Las tecnologías de información y comunicación, como BIM, son una promesa de mejora para la eficiencia y eficacia de la estimación de costos de un proyecto de construcción. El uso de dichas herramientas disminuyen significativamente los errores generados por la percepción humana. La generación de modelos paramétricos es la base fundamental de esta metodología ya que cada elemento contiene información que puede ir desde volúmenes y áreas hasta la asignación de costos y tiempos de ejecución. Esto aumenta la precisión al momento de cuantificar costos y a su vez la disminución de la variabilidad de los adicionales que se puedan presentar durante la ejecución del proyecto.

Esta tesis está enfocada en una propuesta de generación automática de un presupuesto y calendario valorizado en base a un modelo virtual BIM y utilizando "programación visual", un método de programación accesible para el entendimiento de profesionales en la industria AEC.



i



OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar un add-in en Revit para automatizar la elaboración del presupuesto y calendario valorizado a nivel de casco estructural en la etapa de licitación de un proyecto de edificación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Revisar la literatura referente a la automatización de costos con Software BIM.
- b) Elaborar el modelo 3D de un proyecto de edificación.
- c) Desarrollar un add-in que utilice la información del modelo 3D, así como bases de dato del usuario, para automatizar la elaboración del presupuesto y calendario valorizado.
- d) Explorar las percepciones de la automatización de presupuestos versus procesos tradicionales con expertos del área de costos en empresas locales.

PLAN DE TRABAJO

- Recopilación bibliográfica
- Generación del modelo BIM 3D: a través de la recopilación de la información como planos y especificaciones técnicas se desarrollará un modelo BIM 3D solo de la especialidad de estructuras.
- Asignación de información: a partir de estándares de criterios de modelado se asignará información a cada elemento a través de parámetros que contendrá costos, tiempos y especificaciones adicionales para una correcta gestión en etapas posteriores.
- Propuesta de automatización: en base a la información contenida dentro del modelo paramétrico se elaborará una propuesta de automatización para la obtención del presupuesto y calendario valorizado en la etapa de licitación.
- Exploración de percepciones de automatización de costos usando BIM con expertos en el área de costos.
- Conclusiones y Recomendaciones

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



ii



INDICE

ANEXOS

Anexo 01: Criterios de Modelado

Anexo 02: Auditoría del Modelo de la Especialidad de Estructuras

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
---------------------------------------	---

1.1. Introducción general	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodología de investigación	3
1.4. Descripción de los capítulos.....	4

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	5
--	---

2.1. Building Information Modeling	5
2.1.1. Reseña histórica de la tecnología BIM	7
2.1.2. Dynamo	10
2.1.3. API	12

2.2. Gestión de la Integración del proyecto	14
---	----

2.2.1. Descripción de un proyecto	14
2.2.1.1. Alcance del Proyecto	15
2.2.1.2. Work Break Down (WBS).....	15
2.2.2. Gestión de Costos.....	15

2.2.2.1. Clasificación fundamental	16
2.2.2.1.1. Uniformat	16
2.2.2.1.2. Uso de clasificación fundamental en software BIM	17

2.2.3. Gestión del tiempo	18
---------------------------------	----

2.2.3.1. Planeamiento del proyecto	19
2.2.3.1.1. Planificación.....	19
2.2.3.1.2. Programación	19
2.2.3.1.3. Organización.....	19
2.2.3.1.3.1. Sectorización.....	19

2.2.3.1.3.2. Tren de Actividades	20
2.2.3.2. Presupuestación del proyecto	20
2.2.3.2.1. Análisis de Precios Unitarios	20
2.3. Software en el mercado	20
2.3.1. Software para la creación de modelos 3D	20
2.3.1.1. Comparación de programas y herramientas en el mercado	21
2.3.1.1.1. Autodesk Revit	21
2.3.1.1.2. Archicad	22
2.3.1.1.3. Tekla structures	24
2.3.1.2. Conclusión de la comparación de programas 3D	25
2.3.2. Software para la gestión integral de proyectos	25
2.3.2.1. Comparación de programas y herramientas para la gestión integral del proyecto	26
2.3.2.1.1. Sistema 10	26
2.3.2.1.2. Presto	28
2.3.2.1.3. Vico Software	29
2.3.2.1.4. Qex	30
2.3.2.1.5. Synchro PRO	31
2.3.2.2. Conclusión de la comparación de programas de gestión integral de un proyecto	32
CAPÍTULO 3: FLUJO DE TRABAJO DEL ADDIN	34
3.1. Definición del proyecto	34
3.1.1. Alcance del Proyecto	34
3.1.2. WBS	35
3.1.2.1. Descomposición de paquetes de trabajos	35
3.2. Modelado en Revit	35
3.2.1. Preparación plantilla	35
3.2.1.1. Parámetros	36
3.2.1.2. Materiales	37
3.2.2. Criterios de modelado	38
3.2.3. Auditoria	39
3.2.3.1. Herramientas complementarias	40

3.3. Metrados	42
3.3.1. Flujo	42
3.3.2. Scripts de Dynamo	43
3.3.3. Metrado de Acero	47
3.4. Planeamiento del proyecto	49
3.4.1.1.1. Sectorización	49
3.4.1.2. Duración de Actividades	50
3.4.1.2.1. Tren de Actividades	50
3.5. Presupuesto	52
3.5.1. Análisis de Precios Unitarios	52
3.5.1.1. Recursos	53
3.5.1.1.1. Mano de Obra	53
3.5.1.1.2. Materiales	54
3.5.1.1.3. Equipo y herramientas	55
3.5.1.1.4. Subcontrata	55
3.5.2. Presupuesto	56
3.6. Calendario Valorizado	58
3.6.1. Calendario Valorizado de recursos	58
3.7. Simulación 4D	60
CAPITULO 4: CASO DE ESTUDIO	62
4.1. Definición del Proyecto	62
4.1.1. Alcance del proyecto	65
4.1.2. Work BreakDown Structure	65
4.2. Modelado de Revit.	67
4.3. Metrados	69
4.4. Planeamiento del proyecto	73
4.5. Presupuesto	76
4.6. Calendario Valorizado	77
4.7. Resultados de entrevista	78
4.7.1. Resultados de las entrevistas	79
4.7.2. Comentarios de las entrevistas	82
CAPITULO 5: LECCIONES APRENDIDAS Y CONCLUSIONES	84

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE FIGURAS

<i>Fig. 2-1 ¿Qué es BIM?</i>	6
<i>Fig. 2-2 Proceso para obtener un proyecto eficiente y preciso</i>	7
<i>Fig. 2-3 Exportación de información con Dynamo</i>	13
<i>Fig. 2-4 Exportación de información con C#</i>	13
<i>Fig. 2-5 Fases de los tipos de clasificación.</i>	16
<i>Fig. 2-6 Proceso para gestión del tiempo en un proyecto de construcción.</i>	18
<i>Fig. 2-7 Interfaz del software Revit.</i>	22
<i>Fig. 2-8 Interfaz del software Archicad.</i>	23
<i>Fig. 2-9 Interfaz del software Tekla Structures.</i>	25
<i>Fig. 2-10 Interfaz del software Sistema 10.</i>	27
<i>Fig. 2-11 Catálogo de causas de incumplimiento.</i>	28
<i>Fig. 2-12 Interfaz del software Presto</i>	29
<i>Fig. 2-13 Interfaz de Vico Software.</i>	30
<i>Fig. 2-14 Interfaz del software Qex.</i>	31
<i>Fig. 2-15 Interfaz del software Synchro PRO.</i>	32
<i>Fig. 3-1 Ventana Propiedades con parámetros de un proyecto.</i>	36
<i>Fig. 3-2 Estructura organizada de parámetros de la presente tesis.</i>	37
<i>Fig. 3-3 Ventana Material Browser.</i>	38
<i>Fig. 3-4 Criterio de modelado del elemento columna</i>	39
<i>Fig. 3-5 QElements</i>	40
<i>Fig. 3-6 Pick Information</i>	41
<i>Fig. 3-7 Filtros complementarios</i>	42
<i>Fig. 3-8 Herramientas complementarias</i>	42
<i>Fig. 3-9 Flujo para obtención de metrados</i>	43
<i>Fig. 3-10 Script Dynamo para recolección de elementos.</i>	44
<i>Fig. 3-11 Script Dynamo para filtrar columnas.</i>	44
<i>Fig. 3-12 Script Dynamo para obtención de información de elementos.</i>	45
<i>Fig. 3-13 Nodo de obtención de materiales.</i>	45
<i>Fig. 3-14 Script Dynamo para cálculo de área de zapata.</i>	46
<i>Fig. 3-15 Utilización de “Element.SetParameterByName” para asignación de valores calculados.</i>	46
<i>Fig. 3-16 Creación del script Sets para el uso en Navisworks</i>	47
<i>Fig. 3-17 Interfaz de ARAMBI para ratios de acero.</i>	48
<i>Fig. 3-18 Interfaz de ARAMBI para el metrado detallado.</i>	48
<i>Fig. 3-19 Interfaz de ARAMBI para el resumen de metrados.</i>	49
<i>Fig. 3-20 Interfaz de ARAMBI para la sectorización.</i>	50

<i>Fig. 3-21</i> Agregar actividades del Tren de Actividades	51
<i>Fig. 3-22</i> Tren de actividades	51
<i>Fig. 3-23</i> Resumen de Hitos.....	52
<i>Fig. 3-24</i> Interfaz de ARAMBI para creación de partidas.	53
<i>Fig. 3-25</i> Interfaz de ARAMBI para los recursos.	55
<i>Fig. 3-26</i> Interfaz de ARAMBI para el presupuesto.	56
<i>Fig. 3-27</i> Interfaz de ARAMBI sobre opciones de metrado y filtros.	56
<i>Fig. 3-28</i> Obtención del Costo total del proyecto.....	57
<i>Fig. 3-29</i> Interfaz de ARAMBI sobre estadísticas de los recursos.....	58
<i>Fig. 3-30</i> Interfaz de ARAMBI para el calendario valorizado.....	59
<i>Fig. 3-31</i> Interfaz de ARAMBI para la curva S.....	59
<i>Fig. 3-32</i> Creación de reglas lógicas en Navisworks.....	60
<i>Fig. 3-33</i> Código para la creación de los sets.	61
<i>Fig. 3-34</i> Desarrollo del script de sets en Dynamo.....	61
<i>Fig. 4-1</i> Maqueta arquitectónica de Quinta Arrieta.....	62
<i>Fig. 4-2</i> Acceso al Proyecto.....	63
<i>Fig. 4-3</i> Work BreakDown Structure del proyecto Quinta Arrieta.....	66
<i>Fig. 4-4</i> Criterio de modelado de columna	67
<i>Fig. 4-5</i> Criterio de modelado de losas.....	68
<i>Fig. 4-6</i> Distinción entre losas aligeradas y macizas.....	68
<i>Fig. 4-7</i> Scripts para obtención de encofrado de zapatas.....	70
<i>Fig. 4-8</i> Scripts para obtención de concreto de losas aligeradas.....	70
<i>Fig. 4-9</i> Modelado de acero.....	71
<i>Fig. 4-10</i> WBS para obtención de metrados.....	72
<i>Fig. 4-11</i> Secuencia de actividades.....	73
<i>Fig. 4-12</i> Sectorización de la cimentación.....	74
<i>Fig. 4-13</i> Sectorización del piso típico.....	75
<i>Fig. 4-14</i> Modelo 3D de la sectorización del piso típico.....	75
<i>Fig. 4-15</i> Costo total del caso de estudio	77
<i>Fig. 4-16</i> Curva S obtenida.....	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fragemento ASTM Unifomat II Classification for Building Elements (E1557-97)	17
Tabla 2. Salarios y beneficios sociales.....	54
Tabla 3. Resultados de encuesta.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

BIM	Building Information Modeling
RFI	Request for Information
API	Application Programming Interface
SDK	Software Development Kit
IFC	Industry Foundation Class
GDL	Geometric Description Language
NBIMS	National Building Information Modeling Standard
APU	Análisis de Precios unitarios
WBS	Work Break Structure
PMI	Project Management Institute
ODBC	Open Data Base Conectivity

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción general

La industria de la construcción ha demostrado tener grandes deficiencias comprobadas en los diferentes casos de incumplimiento de plazos, adicionales de obra, número de RFI's, entre otros índices. Esto se debe, principalmente, a las incompatibilidades encontradas en los planos y especificaciones técnicas, además a la mala ejecución de la etapa de diseño que impactan en la etapa de ejecución del proyecto tanto en los costos como en el plazo, derivando posteriormente en problemas de calidad.

Se ha encontrado un sin número de diferencias entre la industria de la construcción y otras industrias, como la automovilística. Mientras el crecimiento de aquellas ha sido constante, la construcción se ha estancado debido principalmente por dos factores. En primer lugar, la industria de la construcción tiene el paradigma de pensar que cada proyecto es único y que por lo tanto no se puede comparar con otras industrias que pueden perfeccionar sus productos. Por otro lado, tenemos el poco uso de la tecnología, que ha sido el principal impulso para otras industrias.

Una tecnología emergente es el uso de modelos 3D para almacenar la información del proyecto a través de información paramétrica, aprovechando varias de sus aplicaciones. Entre ellas está el modelar en 3D para propósitos de compatibilización del proyecto, simulación 4D del proceso constructivo o la visualización virtual del proyecto para realizar revisiones de constructabilidad y estimación de cantidades con costos 5D. Además, se puede incluir la automatización de los procesos en la elaboración de un modelo 3D y obtención de información que éste utilizando “programación visual”, un método de programación accesible para el entendimiento de profesionales en la industria AEC, con el fin de

que se realice mucho más rápido optimizando tiempo, para ello antes se debe aplicar un análisis de productividad que asevere el tiempo ahorrado.

La tecnología nos propone un sistema de gestión de la información conocido como BIM que nos permite la integración total de la información a través de un modelo y del uso de parámetros previamente definidos.

Es importante mencionar que hay autores como los ingenieros Danny Murguía y Xavier Brioso que están en constante investigación para utilización de modelos BIM para la gestión de información. Estas investigaciones se enfocan en la sinergia que tiene BIM con la metodología Lean construcción para la planificación de proyectos de construcción como se puede observar en el paper Using “Choosing by Advantages” and 4D Models to Select the Construction-Flow Option in a Residential Building Best (Murguía, et al., 2017). Las investigaciones en el marco de utilizar tecnología BIM pueden tener como consecuencia que grandes empresas peruanas tomen la decisión de cambiar la forma de gestionar sus proyectos por una forma más eficaz. Hay empresas pioneras como es el caso de COSAPI y Graña y Montero que ya realizan gran parte del número de proyectos con el uso de BIM. Estos proyectos han sido caso de éxitos lo que ha demostrado que el uso de la tecnología apoya de manera exitosa a un proyecto de construcción.

1.2. Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un add-in en Revit para automatizar la elaboración del presupuesto y calendario valorizado a nivel de casco estructural en la etapa de licitación de un proyecto de edificación.

Objetivos específicos:

- Revisar la literatura referente a la automatización de costos con Software BIM.
- Elaborar el modelo 3D de un proyecto de edificación.
- Desarrollar un add-in que utilice la información del modelo 3D, así como bases de dato del usuario, para automatizar la elaboración del presupuesto y calendario valorizado.
- Explorar las percepciones de la automatización de presupuestos versus procesos tradicionales con expertos del área de costos en empresas locales.

1.3. Metodología de investigación

En primer lugar, la tesis inicia con la elección de un proyecto sencillo de edificación donde se recolectará la información necesaria (expediente técnico, memoria descriptiva, planos, entre otros).

En segundo lugar, se realizará un análisis y elección de software disponibles en el mercado como Autodesk Revit, Tekla y Archicad que se utilizarán para la presente tesis. Además, se mostrará acerca del software disponible para la gestión de costos para hacer un análisis de las ventajas y desventajas al momento de obtener el presupuesto y calendario valorizado. Una vez que la información se encuentre disponible se elaborará un modelo que permita la visualización 3D de la información a partir de los planos en 2D solo de las especialidad de estructura basado a nivel de casco estructural. Después, a partir de una base de datos se asignará información a cada elemento a través de parámetros que contendrán costos, tiempos, rendimientos y especificaciones adicionales para una correcta gestión en etapas posteriores. Luego, se realizará la estimación de costos y la elaboración del análisis de precios unitarios correspondientes al proyecto.

Finalmente, se extraerá la información contenida dentro del modelo paramétrico y en base a ello se elaborará una propuesta de automatización para la obtención de herramientas de gestión de costos como el presupuesto y el calendario valorizado en la etapa de licitación.

1.4. Descripción de los capítulos

Capítulo 1 – Introducción: Se presenta brevemente el estado actual del desarrollo de la industria de la construcción. Seguido se presenta la hipótesis y los objetivos de la presente tesis. Por último, se describe la metodología que se someterá la tesis para obtener los resultados deseados.

Capítulo 2 – Marco teórico: Se realiza un análisis del estado actual de las metodologías para la gestión de costos y tiempos en proyectos de edificaciones. Además, se hace una comparación de herramientas para realizar esta labor.

Capítulo 3 – Propuesta metodológica y flujo de datos: Describe el desarrollo del add-in y el flujo de datos desde la creación del modelo 3D hasta la presentación de los entregables (Presupuesto y Calendario Valorizado).

Capítulo 4 – Caso de estudio: En este capítulo se muestra el caso de estudio y las particularidades del proyecto. Además, se presenta el análisis de los resultados de la encuesta realizada a profesionales del área de costos en empresas locales acerca de la aplicabilidad de esta metodología.

Capítulo 5 – Lecciones aprendidas y conclusiones: El lector revisará a detalle las limitaciones, lecciones aprendidas, recomendaciones y conclusiones de esta tesis.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

El marco teórico se centra en la revisión literaria y en la evolución actual de la gestión de costos y tiempos a través del ciclo del proyecto de construcción en la etapa de licitación y el uso de BIM para optimizar este proceso. El objetivo es analizar los métodos actuales y las herramientas en el mercado que permiten tomar decisiones al momento de presupuestar y planificar proyectos antes de su ejecución.

2.1. Building Information Modeling

La palabra software se emplea muchas veces como sinónimo de BIM que es acrónimo de Building Information Modeling, sin que estos sean lo mismo. El software viene a ser el medio para lograr el objetivo que es obtener un modelo con la información oportuna para poder construir el proyecto sin retrasos en los procesos por planos incompletos, trabajos rehechos y falta de información.

Mientras que BIM es un término amplio que implica una gran diversidad de definiciones en la literatura. Según la administración de servicios generales de edificios públicos en Washington D.C en los Estados Unidos, (GSA), que elaboró en el año 2007 una guía para el uso de la tecnología BIM, lo define como “el desarrollo y el uso de un modelo de datos computarizado de múltiples facetas, que sirve no sólo para documentar el diseño de un edificio, sino también para simular la construcción y operación de este. El Modelo resultante es una rica representación de datos basada en objetos, una representación digital inteligente y paramétrica, en la que de acuerdo a las diferentes necesidades de los usuarios puede ser analizados para generar información, retroalimentarse e implementar mejoras en el proyecto”. (U.S. General Services Administration, 2007)

El National Building Information Modeling (NBIMS) define BIM como una representación de características físicas y funcionales de una instalación. BIM es

un recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación formando una base confiable para decisiones sobre su ciclo de vida, definido desde la concepción hasta la demolición. (NIBS, 2009)

Según Autodesk, BIM es un proceso basado en el modelo inteligente que proporciona una visión para ayudar a planificar, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras (Autodesk, 2015).

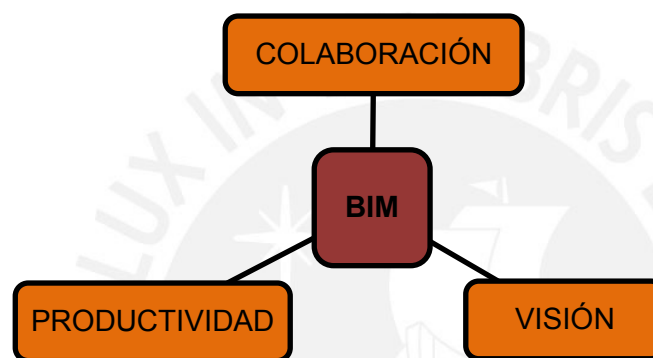


Fig. 2-1 ¿Qué es BIM?

Fuente: Adaptada de Autodesk

BIM tiene como objetivo integrar todas las disciplinas del proyecto, con el fin de que todas las partes involucradas entiendan el proyecto durante su ciclo de vida e incluso cuando dichas personas no tengan conocimiento técnico (clientes, usuarios, entre otros). Además, este permite detectar las incompatibilidades logrando así una reducción considerable por trabajos rehechos, generación de planos de manera automática, así como tablas de cuantificación para presupuesto y visualizar el proyecto completo o por especialidades o zonas. Además, permite la reducción de cantidad de RFI's (consultas por deficiencias de diseño), realizar un control de costos y logística de la planificación del proyecto y entregar un proyecto de construcción de manera eficiente y precisa.

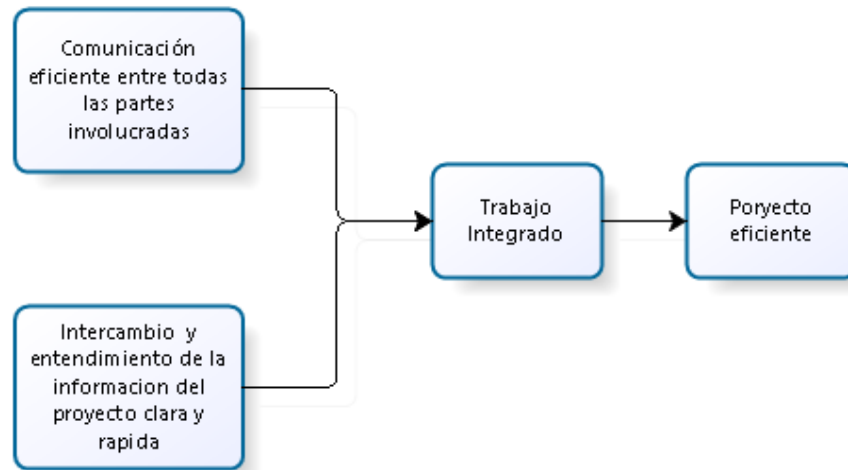


Fig. 2-2 Proceso para obtener un proyecto eficiente y preciso.

2.1.1. Reseña histórica de la tecnología BIM

Actualmente, los conceptos y metodologías de trabajo que se incluyen bajo el término BIM datan de hace más de treinta años. Prueba de ello es que la primera vez que se menciona el concepto BIM fue en la publicación “AIA Journal” en 1975 en la cual Charles M. Eastman, profesor en el Instituto Tecnológico de Georgia describía su concepto de “Building Description System” con las siguientes palabras:

“interactively defining elements...deriving sections, plans, isometrics or perspectives from the same description of elements...Any change of arrangement would have to be made only once for all future drawing to be updated. All drawing derived from the same arrangement of elements would automatically be consistent...any type of quantitative analysis could be easily generated...providing a single integrated database for visual and quantitative analyses...automated building code checking in city.”

En 1957, el Dr. Patrick J. Hanratty, conocido como "el padre de CAD " por sus contribuciones pioneras en el campo de diseño asistido por ordenador, empezó la historia de trabajar con programas informáticos (Roldan, et al., 2012).

En 1968, Donald Welbourn vio las posibilidades de usar ordenadores para ayudar a dibujar formas tridimensionales complejas, y en 1973 se desarrolló la manera de construir sólidos 3D por ordenador (Roldan, et al., 2012).

En 1979, Mike y Tom Lazear desarrollaron el primer software de CAD. En 1982, Autodesk tenía como objetivo crear un programa de CAD para PC. También en 1982 Gabor Bojar se enfrenta al gobierno comunista de Hungría y crea una empresa privada para desarrollar ArchiCAD. (Roldan, et al., 2012)

En 1984, se crea la primera versión de Archicad llamada CH RADAR para el sistema operativo Apple Lisa, luego ArchiCAD basada en el potente lenguaje GDL (Geometric Description Language), se convierte en el primer software BIM para ordenadores personales. También en 1984 Georg Nemetschek crea Allplan, empresa alemana que se puede considerar como el segundo software BIM de la historia para ordenadores personales. Además, en 1984 fue el comienzo de la Compañía Graphisoft, que empezó a desarrollar un programa de CAD en 3D. (Roldan, et al., 2012)

En 1985 aparece en el mercado VectorWorks, que se puede considerar como el tercer BIM de la historia de ordenadores personales, bajo el nombre comercial MiniCAD desarrollado por Richard Diehl, solo para la plataforma MAC. También en 1985 Keith Bentley, de la empresa Bentley Systems, proporciona funciones avanzadas de diseño asistido por ordenador (Tjell, 2010). El primer documento que apareció con el término "Building Model" fue probablemente el que escribió Robert Aish en 1986. Este trataba de una aplicación que permitía el modelado tridimensional a través de elementos paramétricos, bases de datos relacionales,

planeamiento según fases, extracción automatizada de documentación, entre otros. (Roldan, et al., 2012)

Un éxito del uso del software fue en el diseño y construcción del tercer terminal del aeropuerto de Heathrow. Después de muchos años, se encontró el término completo, "Building Information Model" en un artículo de G.A. Van Nederveen y F. Tolman "publicado en diciembre de 1992" en la revista *Automation in Construction*. En 1993, Graphisoft hace la primera versión de ArchiCAD para Windows, este se convierte en el primer software CAD-BIM multiplataforma. En 1996 Diehl Graphisoft desarrolla la versión 6 de MiniCAD disponible para Windows y Mac, este se convierte en el segundo CAD-BIM multiplataforma. De 1997 al 2000, Leonid Raiz e Irwin Jungreis forman Charles River software, luego esta fue renombrada como Revit Technology Corporation. (Roldan, et al., 2012)

En 2000, apareció la primera versión del Revit, este trató de distribuir el software de una manera novedosa sin distribuidores físicos, solo contó con una suscripción mensual en el internet. Se reconoce a Jerry Laiserin como el responsable de que el término BIM se popularizara a partir de su artículo "*Comparing Pommies and Naranjas*", escrito en 2002 donde defendió su adopción universal para identificar las aplicaciones destinadas a crear modelos de información de edificios. (Picó, 2011)

En el año 2002, Gehry Technologies, crea el software *Digital Projects*, su forma de trabajo se llamó "Integrated Project Models" (Modelo integral de proyectos) (Roldan, et al., 2012).

En 2002, Autodesk compró la compañía Revit Technology Corporation, con el objetivo de entrar en las plataformas BIM, con el software Revit. Hasta el año 2009 Revit mantiene una interface basada en el icono similar a la del año 2002. En el año 2010, Revit cambia totalmente su interface asimilando la tecnología Ribbon que mantiene en la actualidad. "Building Information Modeling" (El modelo de

información de edificios) (BIM) es un término relativamente nuevo, para describir un enfoque innovador para el diseño de edificios y construcción. (Roldan, et al., 2012)

2.1.2. Dynamo

Dynamo es un software gratuito de código abierto que permite al usuario acceder a la API de numerosos paquetes de software, incluyendo Revit y Autodesk Navisworks a través de la programación gráfica (Sgambelluri, 2015). Ha sido "fuertemente influenciado por una serie de interfaces de programación visual que han llegado antes", es decir, la herramienta de programación gráfica para Rhino; Saltamontes (Kensek, 2014).

La programación gráfica o también llamada programación visual usa el concepto de programación textual, pero simplifica la abstracción reemplazando fragmentos de código textuales con componentes gráficos. La programación visual tiene una sintaxis bien estructurada como cualquier otro tipo de lenguaje con la ventaja de ser más accesible y menos abstracta para aquellos que no tienen conocimientos técnicos de programación con código. La fragmentación de código para la formación de nodos gráficos es la base fundamental de la programación gráfica. Los nodos pueden tener entradas y salidas de información que es manipulada por el usuario. El impacto óptico, el manejo intuitivo, el bajo riesgo de errores, la retroalimentación directa y la capacidad de una manipulación fácil aumentan la motivación del usuario. (Schiffer, 1998)

Por otro lado, Spin define Dynamo como un programa de scripts visuales que permite crear algoritmos personalizados a fin de procesar datos y generar geometrías. Las posibilidades que ofrece este software unido con Revit son infinitas, además en innumerables ocasiones facilita y resuelve conflictos que de otra manera serían tediosos o incluso inalcanzables, como por ejemplo crear geometrías complejas, aplicar fórmulas matemáticas para desarrollar envolventes,

exportar información, crear y estandarizar procesos. Aunque puede utilizarse como un software independiente, normalmente se utiliza enlazado con otros programas como Revit incluido a modo de plugin. (Spin, 2017).

Según la afinación de Vogt, Dynamo permite una transición en el diseño paramétrico impulsado gráficamente introduce la posibilidad de la manipulación masiva de componentes, así como la modificación rápida de las entidades modelo, permitiendo a los usuarios combatientes aumentar tanto la precisión como el flujo de trabajo. (Vogt, 2016) Esto permite trabajar con gran cantidad de información paramétrica de los elementos.

El objetivo de Dynamo es ampliar las posibilidades del software Revit BIM mediante la programación visual en lugar de la programación normal basada en texto (Kron, 2013). La programación visual puede ayudar a los usuarios de BIM que no están muy familiarizados con los lenguajes de programación compatibles con .NET (VB.NET, C # y C ++ administrado) para comunicarse con la Interfaz de Programación de Aplicaciones Revit (API .NET).

Si bien Andy McNamara menciona en su reciente tesis, La naturaleza de código abierto de Dynamo significa que no es posible licenciar o vender secuencias de comandos individuales. Esto ha causado controversia dentro de la comunidad de Dynamo en relación con los desarrolladores que protegen sus derechos de propiedad intelectual a los scripts. (McNamara, 2016).

Esta modalidad de código abierto ha permitido un desarrollo exponencial dentro de la comunidad. Este desarrollo se puede comprobar en la gran cantidad de foros en internet y la satisfacción de sus usuarios.

2.1.3. API

La interfaz de programa de aplicación (API) es un conjunto de rutinas, protocolos y herramientas para crear aplicaciones de software. Los proveedores de software proporcionan API para dar a los desarrolladores de terceros los elementos básicos para desarrollar aplicaciones complementarias. Las API son un mecanismo que puede utilizarse para exportar información desde una aplicación BIM para su uso mediante aplicaciones de cálculo de costos.

Los comandos desarrollados en el entorno de Revit tienen la capacidad de tener una conexión bidireccional con otros programas como Excel o una base de datos. En el caso específico de Excel el usuario tiene la capacidad de extraer la información de Revit para generar reportes de cuantificación de materiales o características de los elementos. Posteriormente el usuario puede manipular estas características dentro del entorno de Excel, los datos al retornar a Revit.

Dynamo utiliza los métodos que ofrece la API de Revit para escribir y leer datos de Excel para poder ser manipulados en Excel sin tener la necesidad de conocer todos los códigos en C#, VB.NET, Python u otro lenguaje que no todos los usuarios tienen la capacidad de entender.

Si bien se ha mencionado anteriormente, Dynamo tiene la ventaja de ser simple por el uso de programación visual. La superioridad de usar los lenguajes de programación para crear aplicaciones se justifica en el potencial y la rapidez que se obtienen los resultados. La complejidad de utilizar lenguaje de programación versus programación gráfica se puede observar en las siguientes figuras.

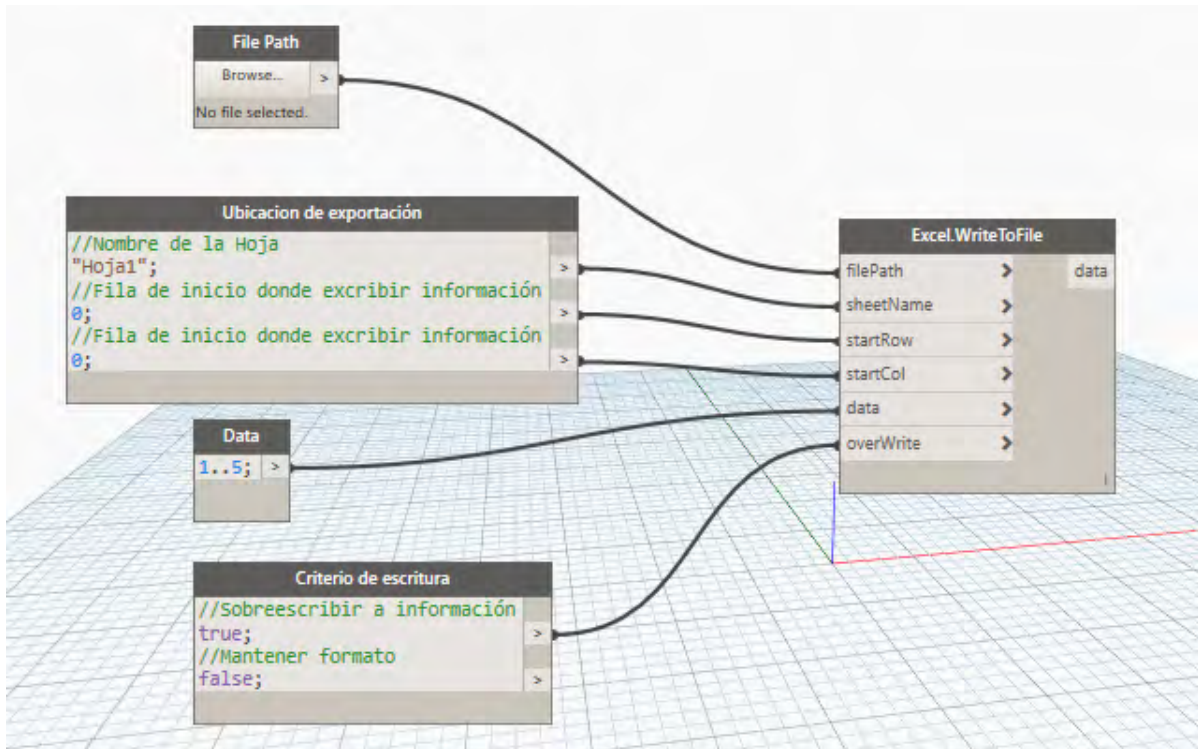


Fig. 2-3 Exportación de información con Dynamo

```

84 //Busqueda del archivo de Excel
85 WinForms.OpenFileDialog dlg = new WinForms.OpenFileDialog();
86 //Filtrar el tipo de formato de Excel
87 dlg.Title = "Select source Excel file from which to update Revit shared parameters";
88 dlg.Filter = "Excel spreadsheet files (*.xls;*.xlsx;*.xlsm)|*.xls;*.xlsx;*.xlsm|All files (*)|*";
89 //Verificar la existencia del archivo
90 if (WinForms.DialogResult.OK != dlg.ShowDialog())
91 {
92     return Result.Cancelled;
93 }
94 X.Application excel = new X.Application();
95 //Hacer visible excel
96 excel.Visible = true;
97 //Crear un Workbook
98 X.Workbook workbook = excel.Workbooks.Open(dlg.FileName,
99 Missing.Value, Missing.Value, Missing.Value,
100 Missing.Value, Missing.Value, Missing.Value, Missing.Value,
101 Missing.Value, Missing.Value, Missing.Value, Missing.Value,
102 Missing.Value, Missing.Value, Missing.Value);
103 //Abrir una hoja especifica existente
104 X.Worksheet worksheet1 = excel.ActiveWorkbook.Sheets["Hoja1"];
105
106 worksheet1.Cells[1, 1] = "Datos";

```

Fig. 2-4 Exportación de información con C#

Los usuarios que quieran obtener más de Revit pueden utilizar herramientas adicionales o complementos. Se pueden descargar desde Autodesk App Store o desde compañías de software especializadas en la fabricación de herramientas de Revit (Bounduel, 2016). Para esta investigación se utilizará ambas herramientas.

Por un lado, Dynamo para la obtención de metrados ya que hay una mayor facilidad de trabajar con la geometría de los elementos de Revit. Por otro lado, se utilizará el lenguaje C# o C Sharp dentro del Entorno de desarrollo integrado (IDE por sus siglas en ingles).

2.2. Gestión de la Integración del proyecto

La Gestión de la Integración del Proyecto incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de dirección del proyecto dentro de los Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos (PMBOK, 2013).

2.2.1. Descripción de un proyecto

La descripción de un proyecto inicial de la elaboración de un plan de ejecución de un proyecto de construcción. Para la elaboración de una correcta elaboración de una descripción del proyecto es necesario obtener y revisar la documentación contractual del proyecto.

La documentación contractual para revisar como mínimo es la siguiente:

- Descripción del alcance
- Especificaciones técnicas
- Planos
- Requerimiento de calidad, seguridad y medio ambiente
- Listado de partidas del cliente
- Estudios técnicos

Durante la descripción de un proyecto se define la estrategia general, describe el alcance, los hitos del proyecto, la secuencia general de construcción, los principales recursos y la organización del equipo.

2.2.1.1. Alcance del Proyecto

Se define el alcance del proyecto en base de los requerimientos del cliente, condiciones de los contratistas, objetivos de los involucrados de acuerdo a lo suscrito en el contrato del proyecto.

2.2.1.2. Work Break Down (WBS)

Es la descomposición jerárquica de un proyecto en los entregables que se deben completar para lograr los objetivos del proyecto. Un WBS debe contar con las siguientes características.

- Debe cubrir con el 100% del alcance
- Debe ser esquemático y gráfico
- Cada nivel inferior debe representar una definición cada vez más detallada
- Puede ser actualizado conforme se ejecuta el proyecto

2.2.2. Gestión de Costos

La Gestión de Costos del Proyecto incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado (PMBOK, 2013). El estado actual dentro de la industria de la construcción peruana se puede dividir en dos etapas marcadas para la gestión de costos.

La primera etapa se enfoca en la planificación sistemática y racional del consumo de recursos a lo largo del proyecto. Esta etapa está relacionada directamente con la gestión de costos en la cual se estiman la cantidad de recursos que se utilizarán.

La segunda etapa está enfocada en el control de proyecto, para ello analizar el gasto de los recursos es una parte fundamental para que un proyecto cumpla los

objetivos que se plantearon en la etapa de la planificación. Un correcto control permite al gerente de proyectos tomar decisiones en función al avance del proyecto. Estas decisiones hacen uso de la planificación como línea base.

Una correcta gestión de costos va de la mano con una correcta asignación de notas claves o códigos únicos que puedan representar. Para esta correcta asignación de códigos existen muchos ejemplos de clasificación como la Unifomat que representa una clasificación jerárquica de los elementos.

2.2.2.1. Clasificación fundamental

La clasificación mediante código único es la mejor forma de identificar un elemento y evitar la ambigüedad. Esta codificación tiene carácter de estándar en países como Estados Unidos y Reino Unido. El uso de esta clasificación es utilizado en las diferentes etapas de un proyecto de construcción donde se resalta el uso para la estimación de costos y la especificación. El uso de la estandarización de códigos mejora la comunicación entre todas las partes involucradas del proyecto. Esto ayuda a una comprensión óptima, además el uso de una clasificación estructurada tiene ventajas en etapas posteriores como el uso para un monitoreo eficiente.

Phases	Pre-project Planning	Preliminary Design	Design	Bidding	Procurement	Construction	Operations
Processes	Conceptual Cost Planning	Detailed Design Costing. Product Selection	Detailed Cost Estimate	Price Discovery	Purchasing, Change mgmt.	Asset Management	
Information Standards	UniFormat		MasterFormat				UniFormat
	OmniClass						
	Industry Foundation Classes						

Fig. 2-5 Fases de los tipos de clasificación.

Fuente: Louise Sabol

2.2.2.1.1. Unifomat

Unifomat es una clasificación fundamental para elementos de construcción recomendada para describir la información común en diversos países. Su

clasificación es en base a la descripción jerárquica de los elementos usando una codificación única por nivel. Esta clasificación jerárquica se puede apreciar en la siguiente tabla:

Level 1 Major Group Elements	Level 2 Group Elements	Level 3 Individual Elements
A SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations A1020 Special Foundations A1030 Slab on Grade
	A20 Basement Construction	A2010 Basement Excavation A2020 Basement Walls
B SHELL	B10 Superstructure	B1010 Floor Construction B1020 Roof Construction
	B20 Exterior Enclosure	B2010 Exterior Walls B2020 Exterior Windows B2030 Exterior Doors
	B30 Roofing	B3010 Roof Coverings B3020 Roof Openings
C INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions C1020 Interior Doors C1030 Fittings
	C20 Stairs	C2010 Stair Construction C2020 Stair Finishes
	C30 Interior Finishes	C3010 Wall Finishes C3020 Floor Finishes C3030 Ceiling Finishes
D SERVICES	D10 Conveying	D1010 Elevators & Lifts D1020 Escalators & Moving Walks D1090 Other Conveying Systems
	D20 Plumbing	D2010 Plumbing Fixtures D2020 Domestic Water Distribution D2030 Sanitary Waste D2040 Rain Water Drainage D2090 Other Plumbing Systems

Tabla 1. Fragmento ASTM Uniformat II Classification for Building Elements (E1557-97)
Fuente: National Institute Of Standards And Technology

2.2.2.1.2. Uso de clasificación fundamental en software BIM

La adopción de una clasificación elemental por programas BIM es fundamental ya que es necesario el orden de información de cada uno de los elementos que intervienen en un proyecto. Autodesk es una de las empresas que ha puesto énfasis en adoptar el Uniformat dentro de su estandarización esto se puede observar en programas como Navisworks y Revit.

En Revit se usan códigos que puede ser agregado través de un archivo .txt que se agrega a dos parámetros específicos “omniclass” y “assembly code” para asignar la codificación elemental.

2.2.3. Gestión del tiempo

La Gestión del Tiempo del Proyecto incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo. Estos procesos abarcan desde la definición del alcance y los objetivos hasta la finalización del proyecto (PMBOK, 2013). Por medio de una correcta gestión del tiempo se logra tomar decisiones acertadas para cumplir con la finalización de un proyecto de calidad, que cumpla tiempos y no incurra en los costos del proyecto. El PMBOK define el siguiente proceso para una correcta gestión del tiempo en un proyecto de construcción.

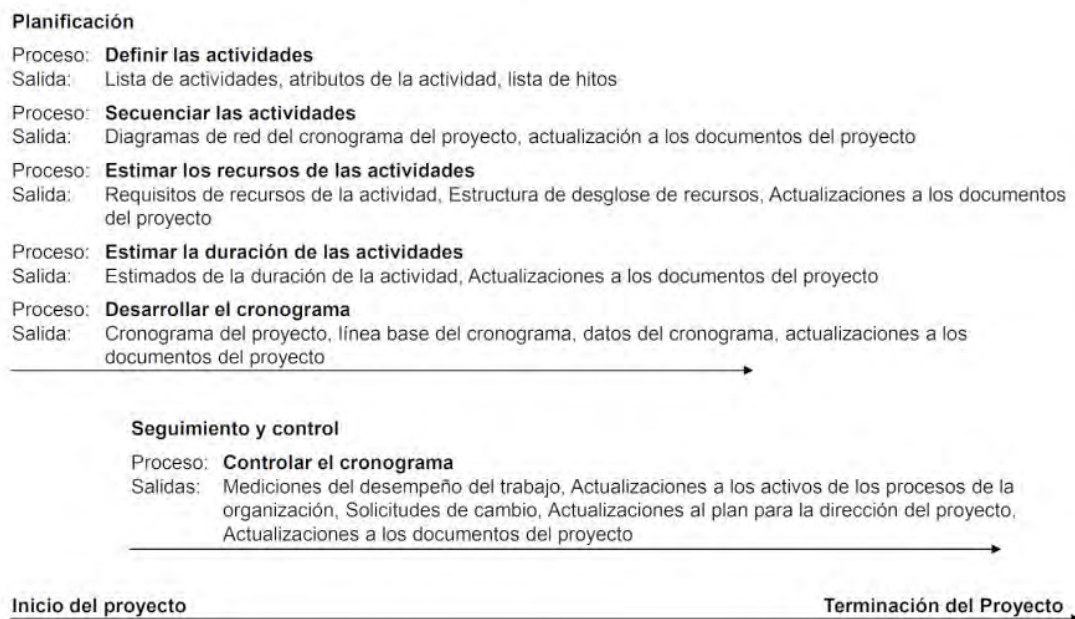


Fig. 2-6 Proceso para gestión del tiempo en un proyecto de construcción.

Fuente: PMBOK 2013

Es importante resaltar que una correcta gestión del tiempo no está relacionada directamente con la cantidad de horas que se utilizan durante un día de trabajo, si no como se utiliza el tiempo para que se cumplan las actividades planificadas. Esto quiere decir que no se debe buscar ampliar las horas de la jornada laboral durante el día, sino enfocarse en que las tareas planificadas tengan los recursos necesarios para que se cumplan en el tiempo establecido. Para que todas las actividades se cumplan con los requerimientos establecidos durante la etapa de

planificación es necesario ver un proyecto hacia delante (Look Ahead). Anteponerse a los problemas es la mejor solución en una de las industrias más variables como es el caso de la industria de la construcción.

2.2.3.1. Planeamiento del proyecto

2.2.3.1.1. Planificación

El proceso de planificación consiste en realizar una estrategia general a partir de la definición de las actividades generales del proyecto que deben realizarse para cumplir los objetivos. Este proceso sirve como guía base para el desarrollo de la programación y organización del proyecto.

2.2.3.1.2. Programación

La programación consiste en la elaboración más detallada del plan de ejecución del proyecto. En este proceso las actividades se relacionan sistemáticamente con el objetivo de encontrar una secuencia lógica.

2.2.3.1.3. Organización

En esta etapa se organiza las actividades que han sido identificadas y relacionadas en paquetes de trabajo. Organizar las actividades tiene el objetivo de identificar los recursos requeridos y disponibles para cada tarea.

2.2.3.1.3.1. Sectorización

La sectorización consiste en dividir el área de trabajo en sectores más pequeños con el objetivo de crear un flujo de trabajo constante. Cada tarea de un determinado sector debe ser realizado en un día asimilándose a un flujo de trabajo de la industria de la manufactura.

2.2.3.1.3.2. Tren de Actividades

El tren de actividades es un método que permite desarrollar la secuencia constructiva de manera detallada para la ejecución de un elemento o una partida. Mediante este método se busca lograr que cada cuadrilla de trabajadores realice una misma producción de una actividad específica durante todo el proyecto.

2.2.3.2. Presupuestación del proyecto

2.2.3.2.1. Análisis de Precios Unitarios

El análisis de precios unitarios es el proceso donde se estima la cantidad de recursos (materiales, mano de obra, equipo y subcontrata) que se utilizarán en la partida. Dado que en la etapa de planificación se identificaron tanto las cuadrillas como los procesos constructivos es parte del analista identificar las limitaciones y desarrollar una cuantificación lo más real posible. Aunque este análisis se caracteriza por ser aproximado y dinámico es fundamental basarse en la experiencia de obras desarrolladas por la empresa.

2.3. Software en el mercado

2.3.1. Software para la creación de modelos 3D

Los programas de modelado BIM permiten crear modelos paramétricos en 3D y tienen la característica de poder brindar al usuario información geométrica y almacenar información personalizada de cada elemento a través de parámetros.

Los programas de modelado BIM permiten:

- Crear modelos en 3D
- Crear parámetros relacionado con elementos para almacenar información.
- Realizar renderizados

- Detectar deficiencias en el diseño
- Crear reportes de cantidades volumétricas
- Plasmar elementos físicos para su gestión dentro de un proyecto.
- Comunicar de manera visual los detalles de un proyecto.

Los software que se analizan en esta tesis son los siguientes:

- Autodesk Revit
- Archicad
- Tekla Structures

2.3.1.1. Comparación de programas y herramientas en el mercado

2.3.1.1.1. Autodesk Revit

Este es considerado una aplicación BIM, siendo la más joven de todas. Además, es un software que permite diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico. En 1997, Autodesk Revit fue creado y desarrollado por Revit Technology Corporation. En el 2002 fue comprado por Autodesk. La plataforma del software permite a los usuarios diseñar tanto mediante un modelo 3D como 2D. (Coloma, 2008)

El programa cuenta con un archivo único que contiene toda la información del proyecto, incluidas las vistas, las láminas y las bibliotecas de objetos paramétricos. Además, es la que está orientada hacia la tecnología de modelos de información para la construcción y tiene una estructura interna muy coherente en la que cualquier elemento del proyecto es tratado de manera similar. Por otro lado, este software dispone de una interface gráfica para el modelado paramétrico, en el cual los elementos modelados que se obtienen tienen independencia en su uso. También cuenta con herramientas que le permiten establecer determinadas relaciones asociativas entre objetos, sean del tipo que sean. (Coloma, 2008)

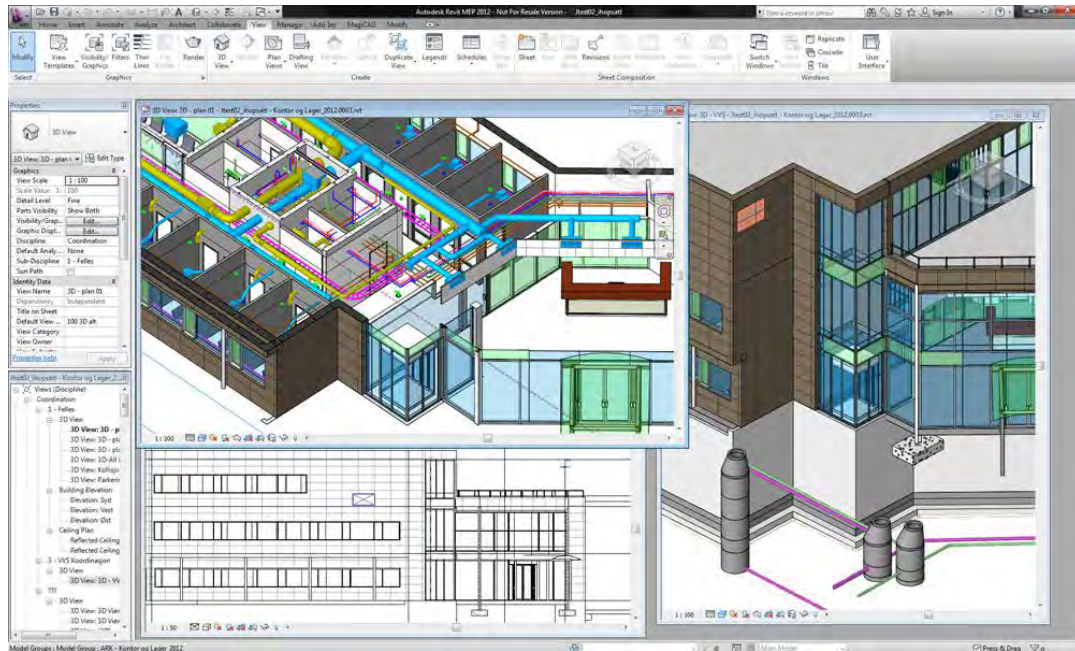


Fig. 2-7 Interfaz del software Revit.

Fuente: CASE

El sistema operativo de Revit es compatible con Windows. Entre sus fortalezas está que es una aplicación muy intuitiva de emplear, con una interface coherente y con una documentación muy cuidada, además cuenta con una estructura interna amistosa y sencilla, es decir, es fácil de aprender. Y entre sus debilidades se tiene que se vuelve lento con proyectos pesados, no permite superficies curvas complejas, también tiene una falta de conexión directa con algunas otras aplicaciones. (Coloma, 2008)

2.3.1.1.2. Archicad

Este software fue creado en los años 80s. ArchiCAD es un software de CAD completo, específico de arquitectura, interiorismo y construcción que trabaja bajo el concepto del Edificio Virtual™ el cual le permite diseñar su edificio en vez de dibujarlo. Este programa permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos con datos enriquecidos, usualmente llamados por los usuarios "smart objects". (Ulloa et al., 2013)

Este programa permite realizar un modelado en 3D en el cual toda la documentación necesaria e imágenes se crean automáticamente a medida que se va realizando el modelamiento y los resultados obtenidos tienen una buena calidad. Además, este cuenta con una Nube en donde se integra la información necesaria que ayuda y permite a los usuarios a crear y encontrar los objetos y componentes personalizados que necesitan para completar sus modelos BIM. (Ulloa et al., 2013)

ArchiCAD permite trabajar al usuario con representaciones 2D o 3D en pantalla. Los diseños en "Dos dimensiones" pueden ser exportados en cualquier momento, incluso en el modelo; la base de datos siempre almacena los datos en "Tres dimensiones". Planos, alzados y secciones son generados desde el modelo del edificio virtual de tres dimensiones y son constantemente actualizados. (Ulloa et al., 2013)

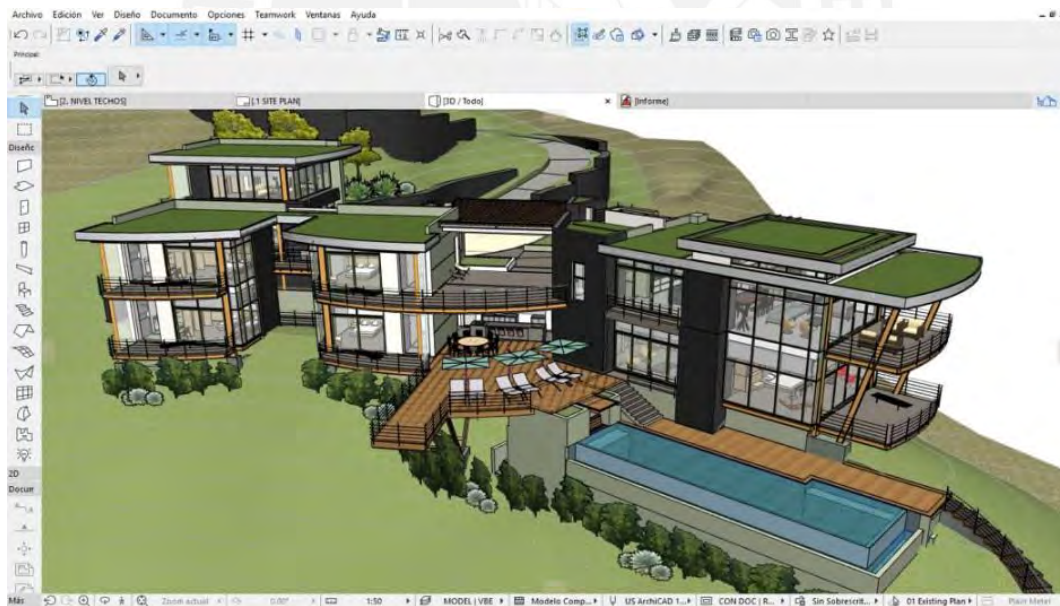


Fig. 2-8 Interfaz del software Archicad.

Fuente: Graphisoft

La clave de ArchiCAD es la facilidad de su uso y la disponibilidad de una amplia librería. Además, ofrece un flujo de trabajo de diseño y documentación BIM.

2.3.1.1.3. Tekla structures

Este software fue creado en la década de 1990. Este es considerado una aplicación BIM que permite modelar en tres dimensiones, asimismo permite dibujar sólidos paramétricos dentro de un solo modelo 3D. Es uno de los software más especializados en cálculo y diseño de estructuras de acero. Los modelos creados con el software Tekla contienen la información detallada, confiable y precisa, necesaria para la exitosa ejecución de la construcción y el Modelado de Información para la Construcción. Este programa permite modelar no importando su tamaño y dificultad, esto se debe a su facilidad de uso, sencillez, precisión y gran rapidez. Además, cuenta con dos diferentes modos de trabajar, usuario y multiusuario, en este último permite que varias personas trabajen en el mismo modelo. De esta manera se intercambia información y se actualiza instantáneamente, es decir se trabaja en el mismo proyecto y en tiempo real. También, este software permite modelar y analizar estructuras en hormigón y acero (Ulloa et al., 2013).

Una vez que se tiene el modelo en 3D, este programa permite obtener los planos generales, un listado de los materiales y piezas utilizadas en la modelación. Toda esta información es dependiente del modelo, por ello si es que se realiza algún cambio en el modelo los resultados obtenidos también serán actualizados de manera automática.

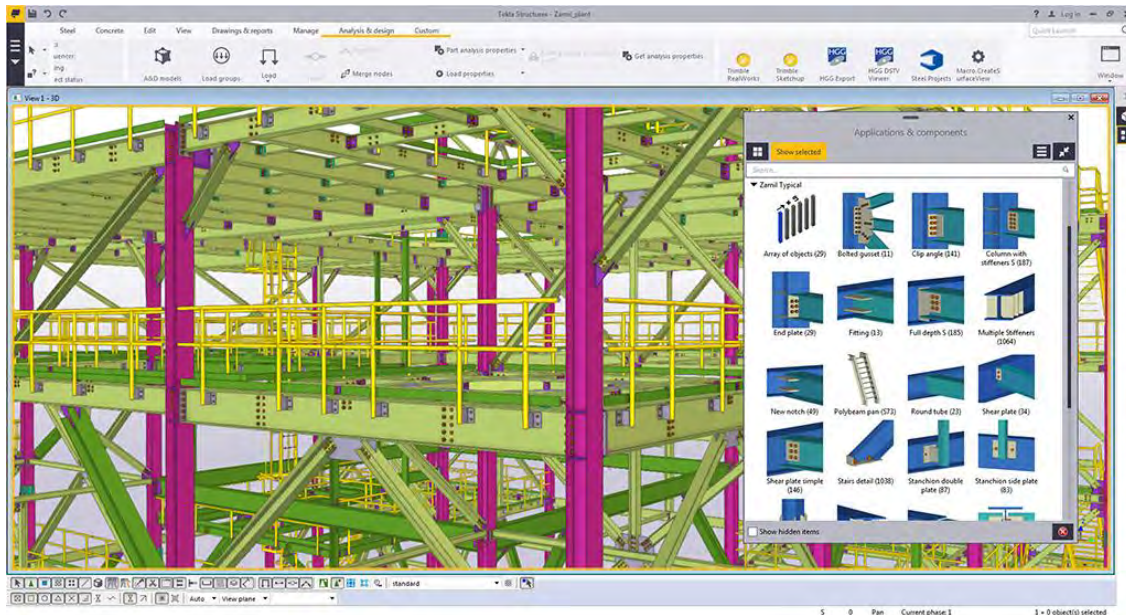


Fig. 2-9 Interfaz del software Tekla Structures.

Fuente: Tekla

2.3.1.2. Conclusión de la comparación de programas 3D

Luego del análisis de las características realizadas por los autores se establecieron dos criterios para valorar los software que se encuentran en el mercado. Por un lado, el primer criterio es la cantidad de empresas que usan el software. Por otro lado, el segundo criterio está basado en la utilidad del software para desarrollar proyectos de edificaciones.

Según estos dos criterios el programa que se utilizará en el caso experimental será Autodesk Revit ya que es el software que más se utiliza por empresas para modelado BIM en el mercado peruano (Ver capítulo 4), además es el software que tiene un mejor interfaz para realizar proyectos de edificaciones.

2.3.2. Software para la gestión integral de proyectos

Hay una amplia gama de software para la gestión integral de proyectos de construcción disponibles en el mercado que permiten al usuario el manejo de datos de recursos, rendimientos y otros factores determinantes con el objetivo de

realizar una correcta planificación y control de los proyectos en análisis. Estos programas y herramientas pueden realizar lo siguiente:

- Almacenar datos de rendimientos, precios, etc. de los recursos usados en el proyecto.
- Calcular los precios de actividades a partir de recursos a través de análisis de precios unitarios (APU).
- Realizar presupuesto a partir de cuantificaciones y costo de actividades
- Realizar una planificación detallada de la secuencia de actividades de proyectos.
- Obtener métricas del proyecto.
- Realizar un control del avance.
- Comparar lo planificado versus el avance real del proyecto.
- Generar reportes.

Los software más utilizados para la gestión integral de proyectos son los siguientes:

- Sistema S10
- Presto
- Vico Software
- Qex
- Synchro PRO

2.3.2.1. Comparación de programas y herramientas para la gestión integral del proyecto

2.3.2.1.1. Sistema 10

Sistema 10 (S-10), es un software de ingeniería civil que calcula el costo que involucraría construir cualquier obra de ingeniería civil o similar, así también determina las cantidades de mano de obra, material y equipo que se necesitaría para dicha obra (Gamarra, 2006).

El Software S10 está compuesto de varios módulos, que son: Presupuestos, Compras y pedidos, Administrativo, Contabilidad, Ventas, Almacenes (bodegas), Facturación, Nominas, Valorizaciones, Lean, Gerencia de Proyectos (Moreno, 2016).

Este es un programa para elaborar presupuestos de todo tipo de obras a partir de los metrados. Permite elaborar hasta tres tipos de presupuesto por obra, el Venta, Meta y Línea Base, los que son asignados a los proyectos que serán utilizados para planificar, ejecutar, controlar y valorizar labores que se realizan en el módulo de Gerencia de proyectos del S10. Las facilidades implementadas como la interacción con el Office de Microsoft, permite que la información sea aprovechada e integrada a otros programas de aplicación. (S10peru, 2017)

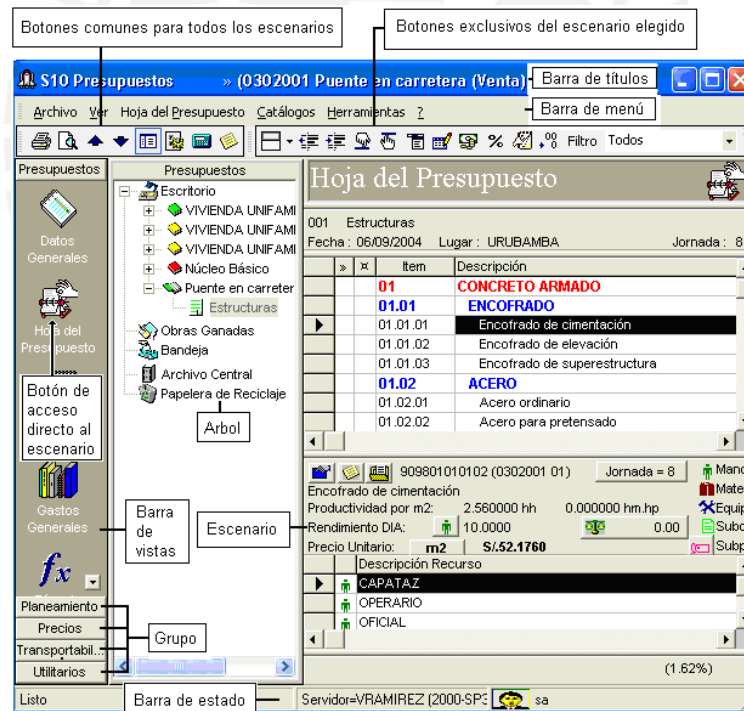


Fig. 2-10 Interfaz del software Sistema 10.

Fuente: Manual de S10

S10 es un programa destinado a la planificación inicial y la programación constante durante la ejecución del proyecto. Además, permite hacer un análisis para la toma de decisiones con su módulo de planeamiento (S10peru, 2017).

Código	Descripción
01	Causas de Incumplimiento
0101	Atribuido a la Empresa
010101	Programación
01010101	<input checked="" type="checkbox"/> Cambio de Ingeniería del proyecto
01010102	<input checked="" type="checkbox"/> Error en el Lookahead
01010103	<input checked="" type="checkbox"/> Error en el análisis de restricciones
01010104	<input checked="" type="checkbox"/> Error en el Plan Semanal
010102	Logística
01010201	<input checked="" type="checkbox"/> Problemas con subcontratista
01010202	<input checked="" type="checkbox"/> Falta de equipos
01010203	<input checked="" type="checkbox"/> Falta de herramientas

Fig. 2-11 Catálogo de causas de incumplimiento.

Fuente: Manual de S10

2.3.2.1.2. Presto

Presto es el primer programa de presupuestos y mediciones BIM orientado al desarrollo integral de la gestión y el control de costes para edificación y obra civil que comprende las diferentes necesidades de todos los agentes que intervienen en todas las fases como directores de ejecución de obras, Project managers, empresas constructoras y promotoras, entre otros. (Presto, 2017)

Toda la información se mantiene integrada en el presupuesto, desde la planificación hasta las certificaciones, incluyendo el control económico de la obra, la información de los sistemas de gestión de la calidad y la documentación de la obra terminada, proporcionando un entorno compartido y ordenado de gestión del conocimiento. (Presto, 2017)

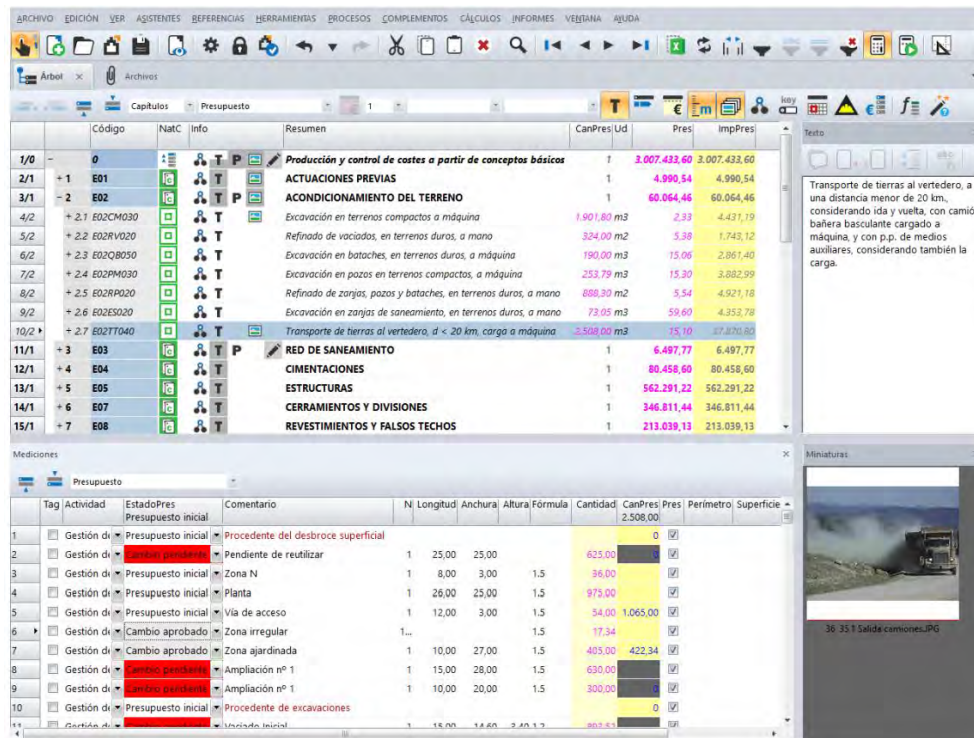


Fig. 2-12 Interfaz del software Presto.

Fuente: Manual de Presto

Está integrado bidireccionalmente con Microsoft Office, primavera, Revit y otros programas utilizados en el proyecto y la ejecución de obras. Además, permite la creación de complementos o plugins mediante un API (Application Programming Interface) para cubrir las necesidades particulares de los clientes. (Presto, 2017)

2.3.2.1.3. Vico Software

Vico Office está diseñado específicamente para la construcción y está diseñado como una plataforma BIM-neutral totalmente integrada a la que se pueden publicar, sintetizar y aumentar diversos tipos de modelos BIM con información de costes y calendario. Para maximizar la eficiencia y satisfacer las necesidades específicas de los diversos procesos y fases del proceso de construcción, Vico Office está estructurado de manera modular, proporcionándole una solución adaptada y ampliable y un entorno consistente y fácil de usar. (Vicosoftware, 2017)

Los módulos de Vico Office soportan las diversas funciones involucradas en un proyecto BIM y proporcionan para cada función módulos distintos, aunque integrados, para explorar, planificar, controlar y gestionar el proceso de construcción. Cada módulo agregado aprovecha los datos, aumentando aún más la eficiencia del proceso BIM. La estructura unificada de Vico Office se ajusta perfectamente a la metodología de Project Delivery Integrado y permite un entorno BIM social realmente beneficioso. (Vicosoftware, 2017)

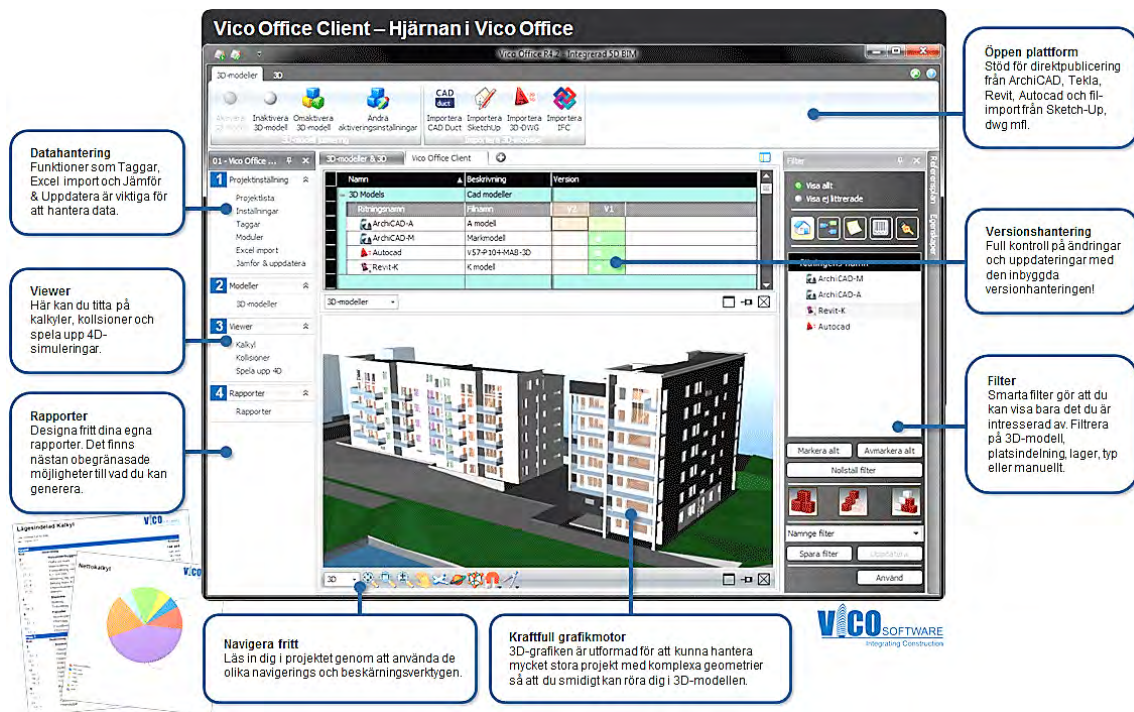


Fig. 2-13 Interfaz de Vico Software.

Fuente: Manual de Vico Software

2.3.2.1.4. Qex

Qex es un plugin para Autodesk Revit que muestra todos los elementos del Modelo BIM y ayuda en la confección de Cómputos Métricos. Su principal característica es su velocidad, ya que los cómputos se pueden confeccionar de una forma sencilla y rápida. La principal razón de utilizar Qex es su simpleza, ya que los cómputos confeccionados se pueden exportar a varios formatos (Word,

Excel, Gestión Revit) y el usuario luego realiza su Presupuesto en la solución de software que elija. (Autodesk, 2017)

Qex fue desarrollado por Luciano Gorosito y es gratuito en su versión LT que permite realizar un presupuesto de manera rápida con el objetivo de tener un estimado del precio del proyecto. Qex no tiene la capacidad de realizar una planificación dentro de la misma aplicación, pero permite exportar la información a programas como MsProject para su planificación externa.

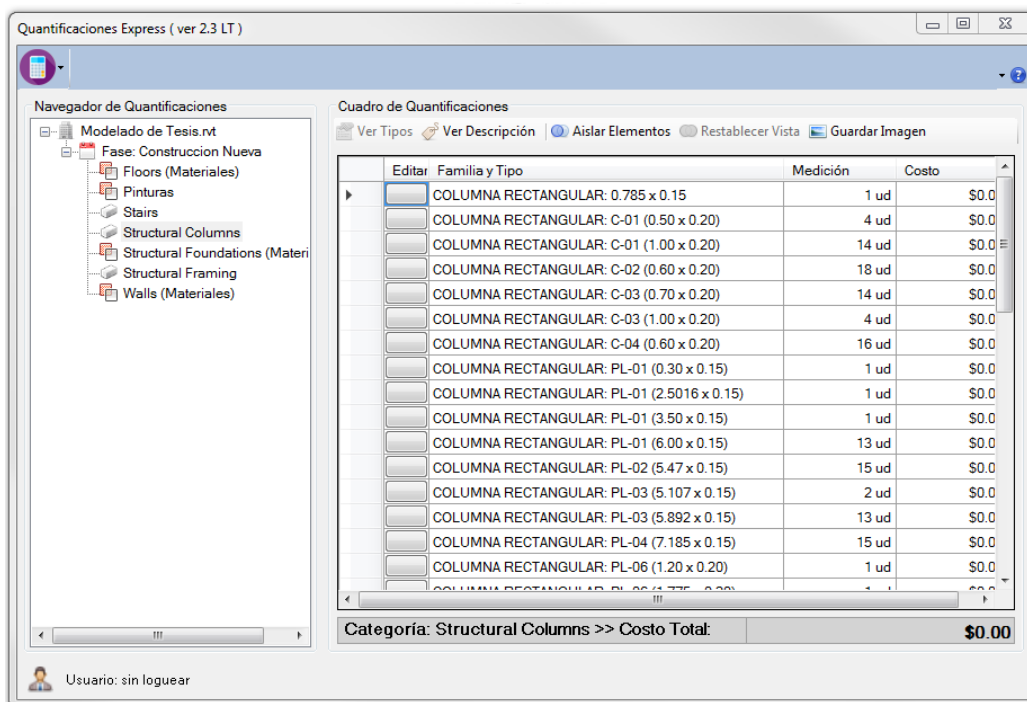


Fig. 2-14 Interfaz del software Qex.

2.3.2.1.5. Synchro PRO

Synchro Pro es una plataforma que permite realizar la programación de un proyecto de construcción. La programación que permite realizar Synchro software no solo se enfoca en simple simulaciones del proceso constructivo del proyecto. Synchro permite realizar la logística y control de trabajos temporales durante el

proyecto, además, permite analizar y editar visualmente los cambios durante la ejecución del proyecto.

Si bien nuestro software es interoperable y se sincroniza con herramientas heredadas de programación de CPM como Oracle Primavera P6, Microsoft Project y Excel, parte del poder exclusivo de Synchro PRO es su sistema de programación integrado.

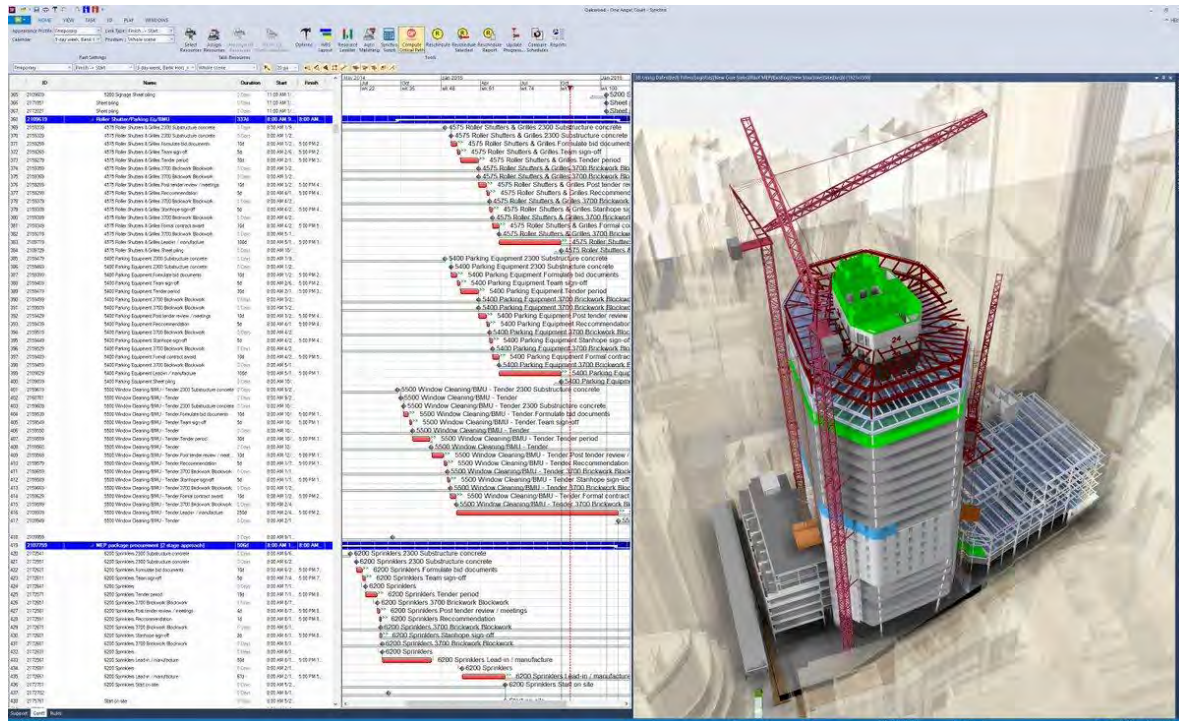


Fig. 2-15 Interfaz del software Synchro PRO.

2.3.2.2. Conclusión de la comparación de programas de gestión integral de un proyecto

Los autores luego de investigar y analizar las características del software disponibles en el mercado han decidido valorar como superiores aquellos que se alineen a la utilización de la metodología BIM como primer criterio y como segundo criterio enfocarse en la aplicación de metodologías para la gestión de costos y tiempos como el uso de Lean Construction.

En primer lugar, es evidente que hay dos software que sobresalen al momento de gestionar un modelo BIM, Vico Office y Synchro Software son los programas con una gran ventaja ya que permite realizar una detallada gestión del visual del costo. Además, cuenta con la ventaja de poder trabajar con archivos IFC. La desventaja de estas plataformas es su elevado precio que ha sido la principal barrera para poder entrar al mercado peruano. En segundo lugar, Presto permite trabajar también con modelos IFC, pero es ineficiente (complejo) al momento de planificar de manera óptima un proyecto. En tercer lugar, Qex resalta su rapidez para realizar cuantificaciones y presupuestos de manera automática. La desventaja de Qex se debe a la nula interoperabilidad de trabajar con otros software de modelado aparte de Revit, es decir no trabaja con archivos IFC. Además, no cuenta con un módulo de planeamiento.

Por último, es necesario dedicarle comentarios especiales a S10. Si bien S10 es el programa más difundido en el mercado peruano (Ver capítulo 4), sin embargo, no tiene ninguna opción de trabajar con modelos paramétricos BIM. Es por ello que los autores de la presente tesis han decidido valorar muy por debajo a este software.

CAPÍTULO 3: FLUJO DE TRABAJO DEL ADD-IN

Para una correcta gestión, los autores han centrado gran parte del trabajo del flujo en el proceso de definir las limitaciones, datos y actividades necesarias para realizar una correcta gestión de costos y tiempo de un proyecto. Esto significa que la generación del modelo 3D toma un segundo plano.

3.1. Definición del proyecto

Para definir el proyecto es necesario enfocarse en las limitaciones y ventajas que enfrentará el proyecto en función a condiciones externas como internas. Las condiciones que los autores han decidido evaluar son las siguientes:

- Identificar los factores geográficos y sus limitaciones según la ubicación del proyecto.
- Detectar cuáles son las limitaciones legales (trámites municipales)
- Identificar el objetivo del proyecto.
- Identificar los involucrados y analizar los objetivos individuales
- Identificar la complejidad del proyecto
- Asignar responsabilidades

3.1.1. Alcance del Proyecto

Para una correcta definición del alcance se debe identificar los siguientes ítems:

- Actividades que se realizarán para cumplir los objetivos.
- Las excepciones del contrato.
- Responsabilidad de los involucrados identificando el plazo de cumplimiento.

3.1.2. WBS

Para la creación del WBS se debe identificar la relación de las actividades y el cumplimiento de los entregables. Los autores recomiendan identificar las actividades que están relacionadas o pueden ser obtenidas desde el modelo BIM preparado. Para aquellas actividades que no pueden ser gestionadas desde el modelo BIM se debe realizar un plan para obtenerla por métodos alternativos.

3.1.2.1. Descomposición de paquetes de trabajos

La presente tesis se enfoca en la realización de una correcta gestión para un proyecto a nivel de casco estructural por lo cual se ha decidido identificar los siguientes paquetes de trabajos.

- Acero de elementos
- Concreto de elementos
- Encofrado de Elementos
- Curado de Elementos

Además de identificar las actividades y organizar la del WBS los autores recomiendan realizar un RBS (Resources Break Down Structure) con el objetivo de tener un panorama más claro al momento de realizar el presupuesto y la planificación de la utilización de los recursos.

3.2. Modelado en Revit

3.2.1. Preparación plantilla

Las plantillas son el espacio de trabajo dentro de Revit para iniciar un proyecto y define el enfoque de trabajo que tiene un determinado grupo de trabajadores. Es importante contar con una plantilla que se adecue con el objetivo del trabajo ya

que no es lo mismo trabajar con una plantilla para obtener renderizados que trabajar con una plantilla para cuantificar cantidades. En los siguientes párrafos se ahondará la manera adecuada para poder generar una plantilla para cuantificar y planificar un proyecto de construcción

3.2.1.1. Parámetros

Los parámetros definen las características de los elementos dentro del modelo. Esta información puede incluir desde el costo y fecha de ejecución de un elemento hasta la ubicación espacial dentro de un proyecto. Revit le permite crear nuevos parámetros (contenedores de información) para que posteriormente pueda ser gestionado.

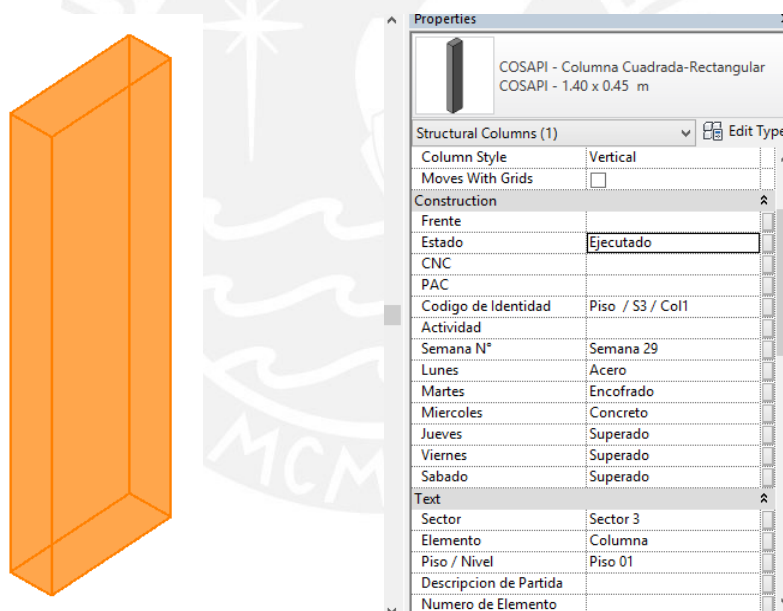


Fig. 3-1 Ventana Propiedades con parámetros de un proyecto.

El objetivo de definir parámetros es contener información que sean relevantes y puedan ser utilizados para la creación de parámetros. En la siguiente figura se muestra de manera organizada los parámetros utilizados en la tesis.

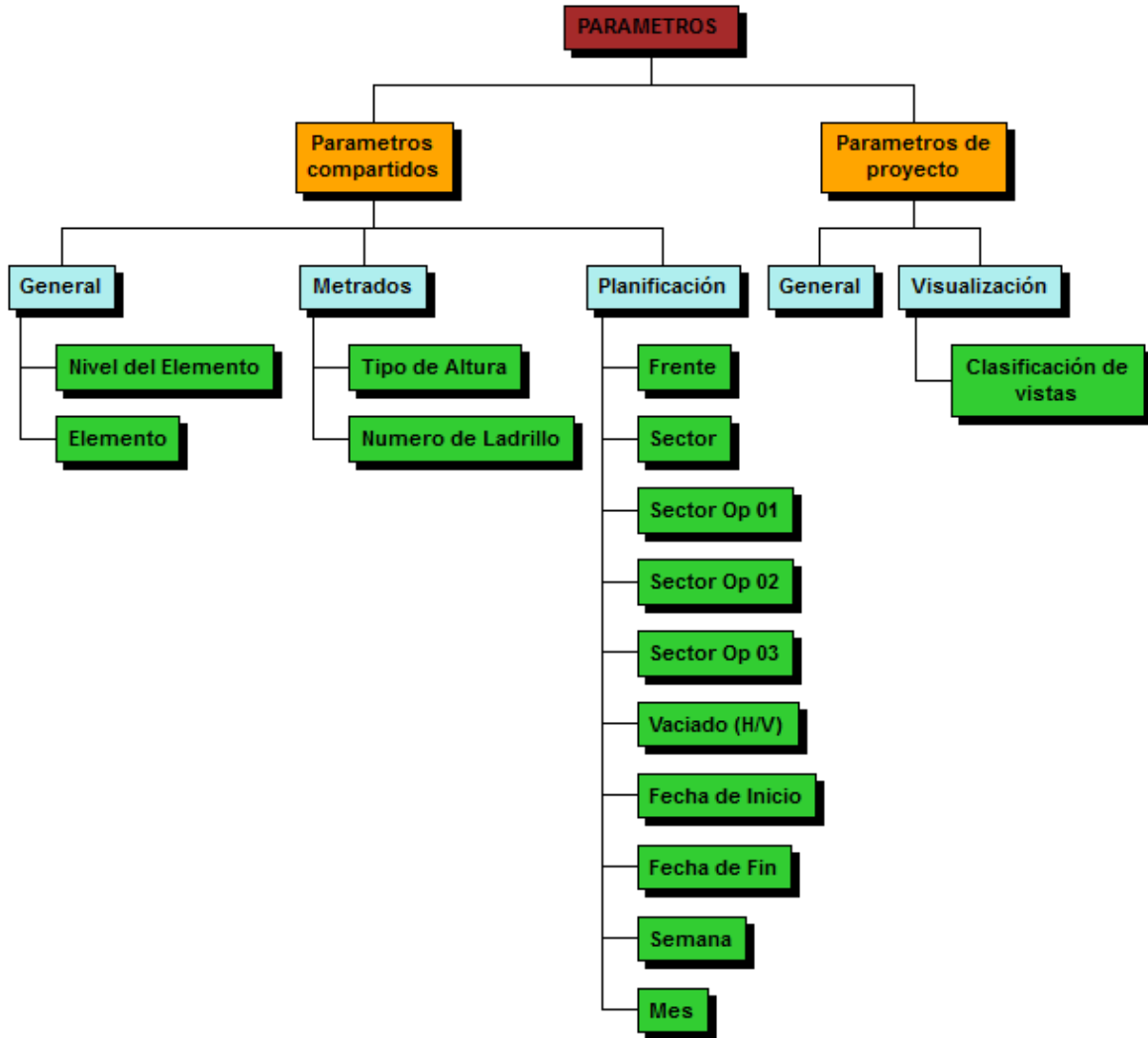


Fig. 3-2 Estructura organizada de parámetros de la presente tesis.

3.2.1.2. Materiales

Los materiales fueron creados, a diferencia de otras fases, con el objetivo de contener información textual de especificaciones técnicas como la calidad de concreto o el uso del material. Cabe resaltar que se asignó colores sólidos al aspecto de cada material para su rápida identificación de características de los elementos. Esto va en contra con lo que comúnmente se utiliza los materiales como renderizados y creación de videos para publicación.

Se crearon materiales para la calidad del concreto especificando su resistencia. La imagen siguiente muestra las diferentes calidades de concretos creados. Cada elemento tenía asignado el material que especificaba los planos y/o especificaciones técnicas.

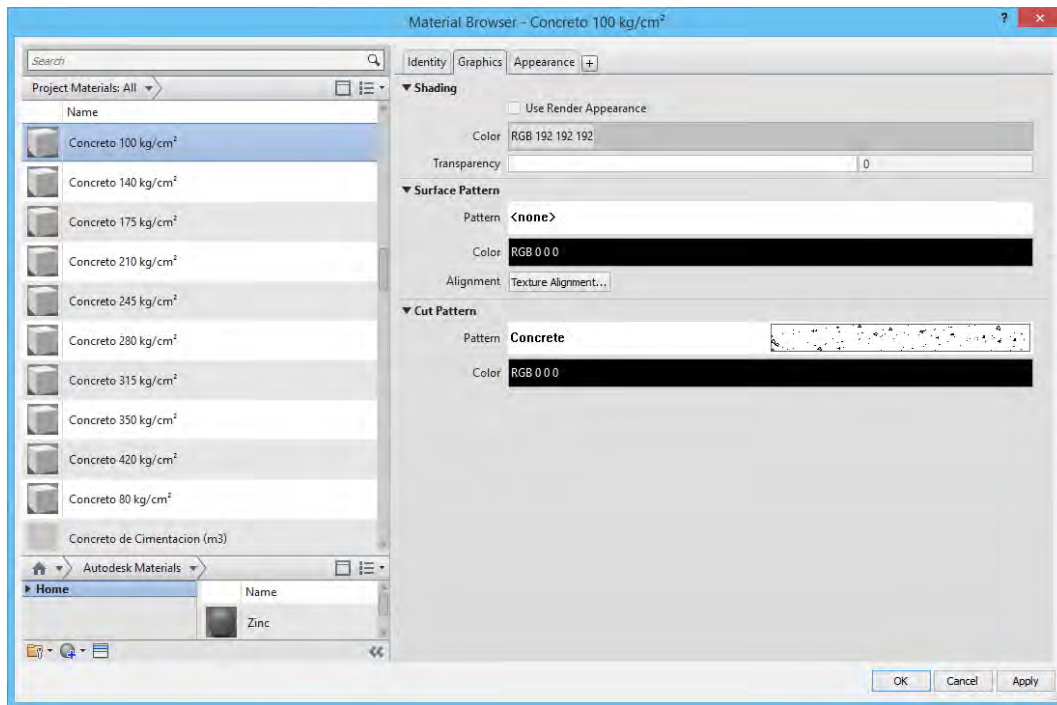


Fig. 3-3 Ventana Material Browser.

Además, se crearon nuevos materiales para describir el uso que tenía, sin importar sus características geométricas, por ejemplo, se creó materiales para identificar el encofrado y se especificó la ubicación (Fondo de viga, Laterales de viga, etc.). Estos materiales serán agregados mediante la herramienta “paint” que ofrece Revit durante el modelado para obtener zonas de encofrado más exactas.

3.2.2. Criterios de modelado

Los criterios de modelado son las reglas que se tiene que respetar para obtener un modelado que cumpla con los requisitos necesarios para poder realizar una cuantificación y su posterior planificación.

En la imagen inferior se muestra una imagen que resume como debe desarrollarse el correcto modelado de una columna. Se muestra la nomenclatura que se utiliza, la categoría a la que pertenece y las cotas que deben respetarse.

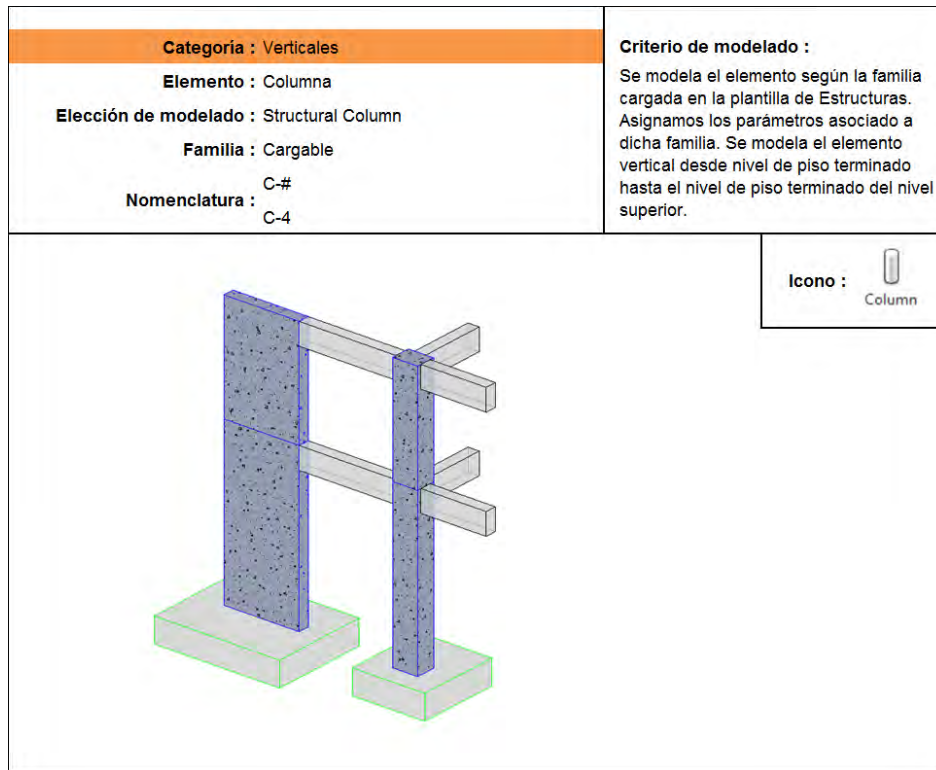


Fig. 3-4 Criterio de modelado del elemento columna

Para fines de esta tesis se desarrolló un pequeño documento donde se explica de manera detallada cómo debe desarrollarse el modelo para que se pueda aplicar la metodología de la tesis (Ver Anexo 01).

3.2.3. Auditoría

Posterior al modelado es necesario realizar una inspección o verificación que los criterios de modelado sean respetados durante el modelado del proyecto. Esta auditoría tiene la finalidad de comprobar si el modelo cumple con los requisitos necesarios para que se pueda obtener el presupuesto y el calendario valorizado.

Los autores han decidido basar esta auditoria en la tesis del ingeniero Diego Fuentes donde se realiza un análisis de un modelo estructural (Ver anexo 02).

3.2.3.1. Herramientas complementarias

Para una correcta auditoria del proceso de modelado fue necesario realizar complementos que permitan al usuario verificar el cumplimiento de los estándares dentro del manual de criterios de modelado. Dentro de las herramientas complementarias desarrolladas por los autores se encuentran:

- a. QElements: Esta herramienta permite revisar que todos los elementos tengan asignado un valor dentro del parámetro nombrado como "Elemento. Además, permite al equipo de trabajo de modelado controlar su avance según la cantidad de elementos desarrollados.

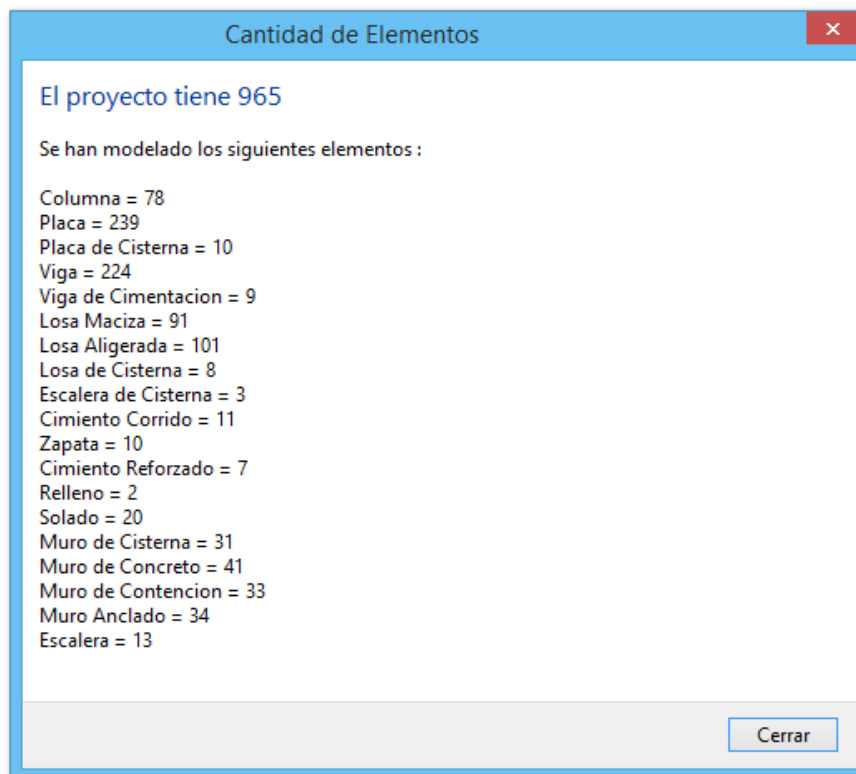


Fig. 3-5 QElements

- b. Pick Information: Permite al usuario obtener cantidades de áreas y volúmenes de múltiples elementos seleccionados. Esta herramienta fue realizada ya que Revit no permite obtener valores al seleccionar más de un elemento.

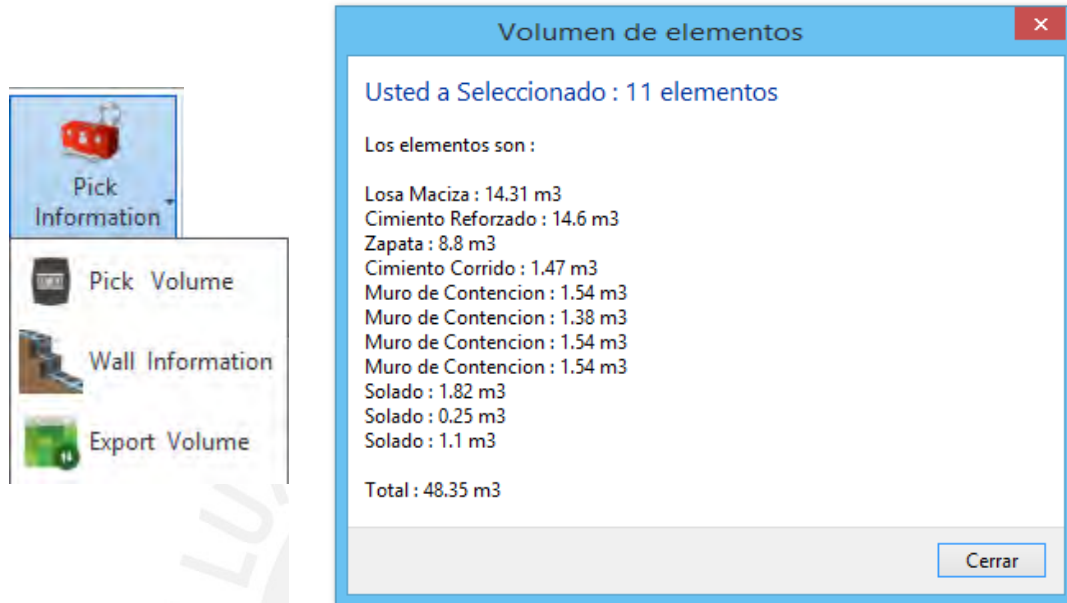


Fig. 3-6 PICK INFORMATION

- c. Allow Join – DisAllow Join: Durante el proceso de modelado del proyecto se creó las herramientas “Allow Join” y DisAllow Join” que permite unir y desunir respectivamente los elementos con el objetivo de obtener un metrado más exacto del encofrado. Es necesario mencionar que Revit permite utilizar estas dos herramientas por elemento a diferencia de las herramientas desarrolladas por los autores que permite realizar estas actividades con todos los elementos a la vez. Esto generó un ahorro en tiempo de manera considerable.
- d. Filtros complementarios: Revit permite realizar filtros de elementos según la categoría, pero estos filtros no son personalizados. Por ello, se creó filtros complementarios que permiten seleccionar los elementos según las siguientes condicionales:

- Parámetro compartido “Elemento”
- Diámetro del acero.

- Tipo del elemento.

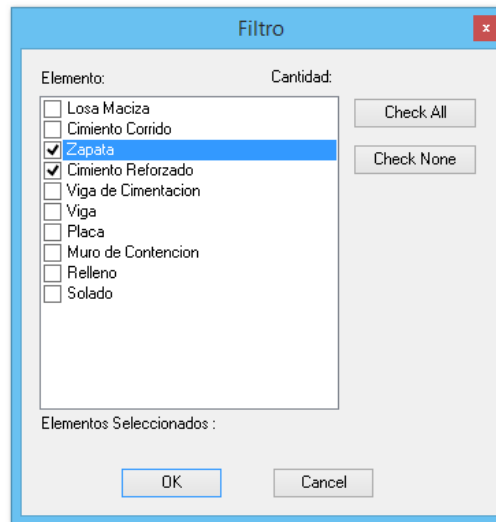


Fig. 3-7 Filtros complementarios

Estas herramientas son de fácil acceso para el usuario ya que se encuentran en la pantalla principal de Revit.

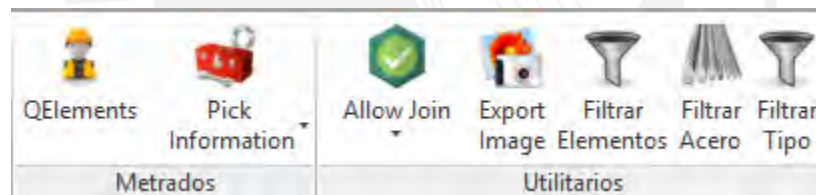


Fig. 3-8 Herramientas complementarias

3.3. Metrados

Los metrados son obtenidos con la finalidad de calcular la cantidad de recursos que serán utilizados en las actividades que se ejecutarán durante el proyecto. Las cantidades que se obtendrán a partir del modelo paramétrico son volúmenes y áreas.

3.3.1. Flujo

- Correcta asignación de valores en parámetros compartidos

- Asignación de materiales a elementos
- Verificación del cumplimiento de los criterios de modelado
 - o Elementos modelados con su correspondiente categoría
 - o Elementos modelados respetando cotas
- Ejecutar los scripts de Dynamo (Metrado de concreto y Encofrado)
- Metrado de Acero a partir de volúmenes
- Visualización y verificación que todos los elementos tengan asignado los valores correctos

3.3.2. Scripts de Dynamo

Para la obtención de metrados se utilizará Dynamo. Este tiene la capacidad de trabajar con la geometría y la información paramétrica de los elementos existentes dentro de Revit. Además, permite realizar filtros según las condiciones del usuario. Por último, Dynamo permite realizar operaciones (matemáticas y lógicas) entre la información que desde el interfaz de Revit es complicado e ineficiente acceder. El flujo para obtener los metrados de cada uno de los elementos se muestra en la siguiente figura.

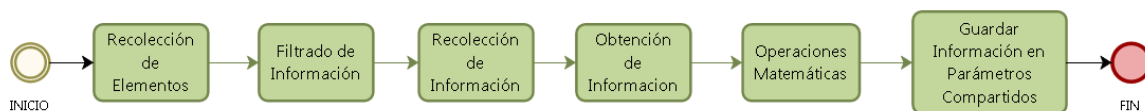


Fig. 3-9 Flujo para obtención de metrados

Dynamo permite recolectar los elementos de Revit a partir de su categoría. Para elementos estructurales los autores han decidido crear los elementos en seis categorías.

Recolección de Elementos



Fig. 3-10 Script Dynamo para recolección de elementos.

Luego de obtener todos los elementos es necesario organizar los elementos en función a la información que vamos a necesitar. Por ejemplo, en el caso de columnas y placas, ambos elementos pertenecen a la categoría structural columns. Por ello, para poder aislar los elementos que son columnas es necesario realizar un filtro a través de una Máscara Booleana.

Filtrar Columnas

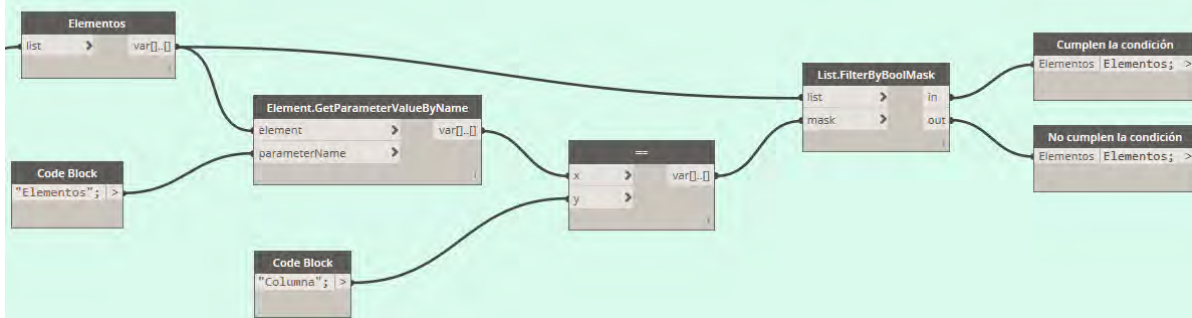


Fig. 3-11 Script Dynamo para filtrar columnas.

Dynamo permite obtener la información paramétrica (Parámetros propios de Revit y parámetros compartidos) a partir de un nodo llamado “Element.GetParameterValueByName”. Se puede obtener cualquier valor almacenado dentro de un parámetro de un elemento a partir de especificar el nombre del parámetro.

Información de Elementos

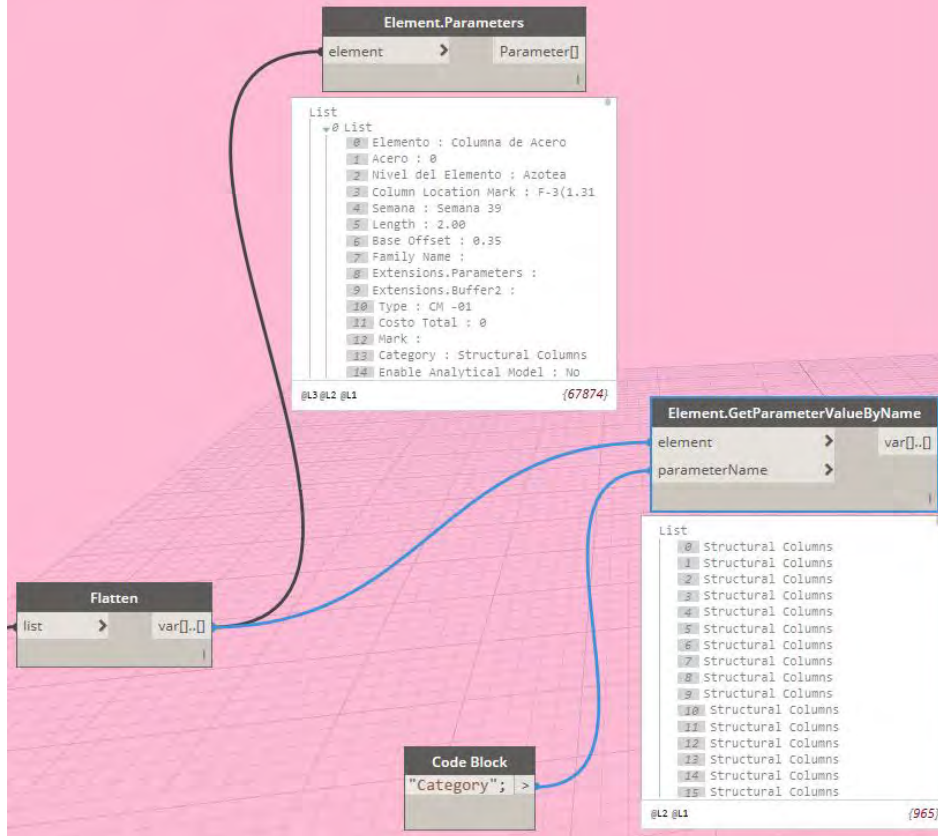


Fig. 3-12 Script Dynamo para obtención de información de elementos.

Además, con ayuda de un nodo del paquete “Universo BIM” se puede obtener los materiales dentro de los elementos.

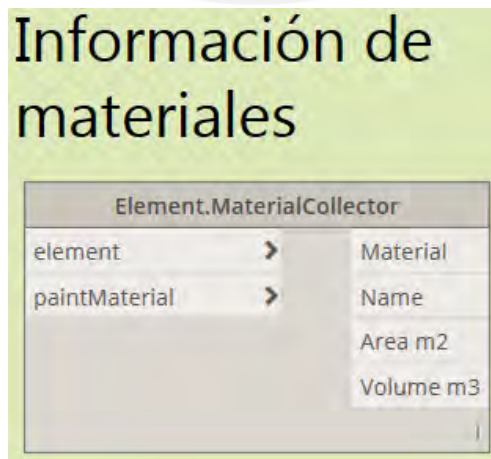


Fig. 3-13 Nodo de obtención de materiales.

Con toda la información (volúmenes, longitudes, áreas y cantidades) de los elementos se pueden realizar operaciones matemáticas como suma, restas, multiplicación división, etc.

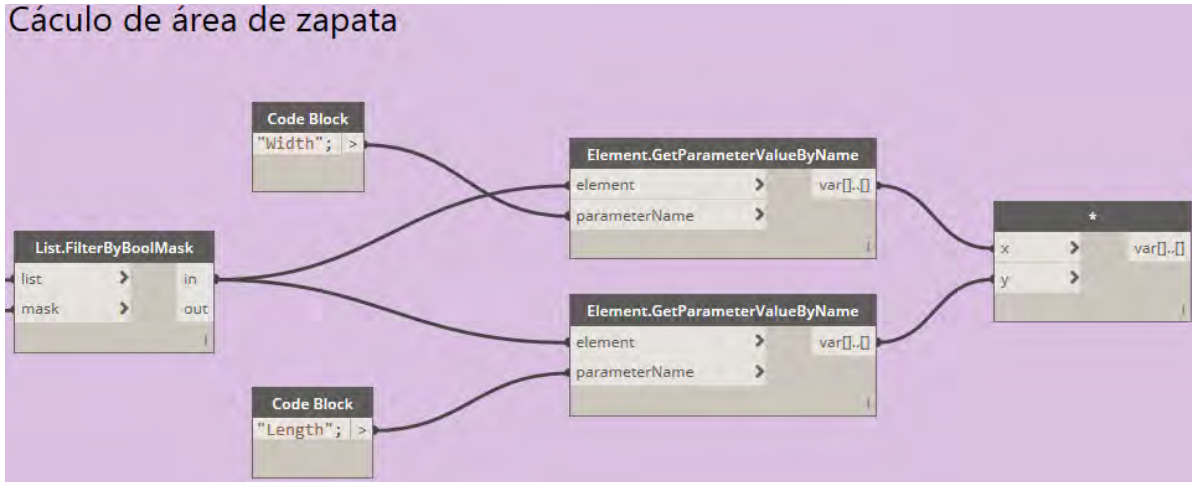


Fig. 3-14 Script Dynamo para cálculo de área de zapata.

El proceso finaliza con asignar los valores calculados (encofrado y concreto) en los parámetros compartidos creados. Para poder guardar información dentro de los elementos se usó el nodo “Element.SetParameterByName”.

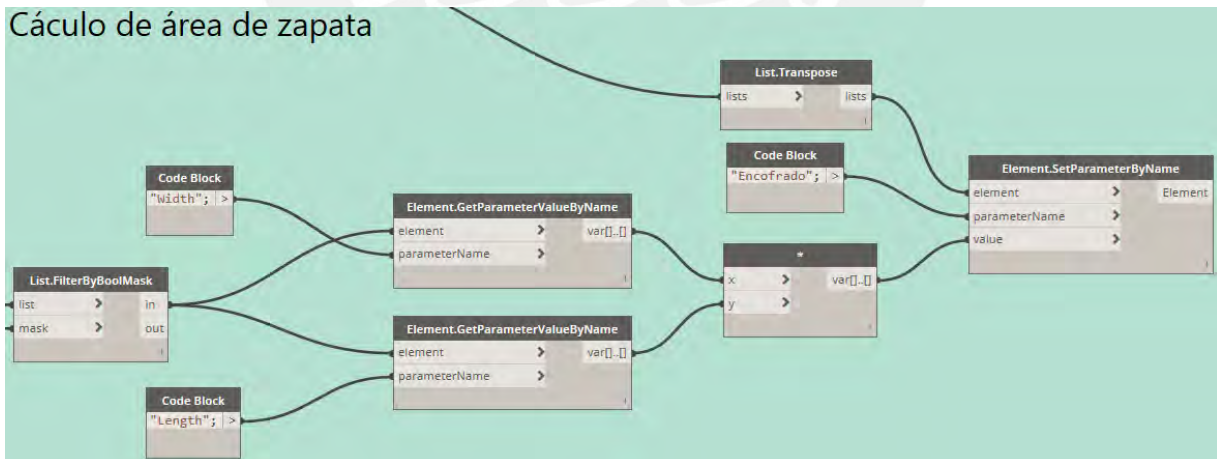


Fig. 3-15 Utilización de “Element.SetParameterByName” para asignación de valores calculados.

Para la realización de la simulación virtual (BIM-4D), los autores realizaron un script que pueda ser leído por el software Navisworks. El tipo de archivo generado

por el script es un archivo. xml. Este archivo tiene una configuración que permitirá al programa reconocer los elementos según el parámetro compartido “semana” y crear grupos de elementos (Sets).

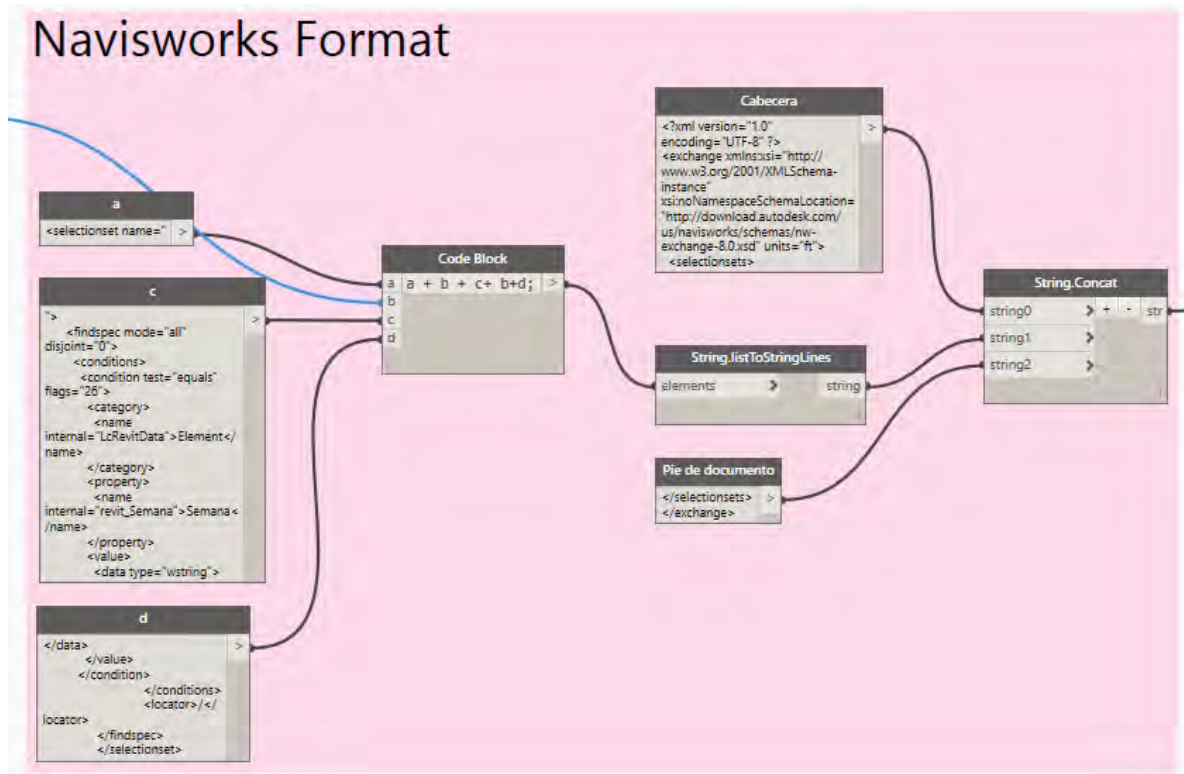


Fig. 3-16 Creación del script Sets para el uso en Navisworks

3.3.3. Metrado de Acero

Según los resultados obtenidos a partir de las entrevistas realizadas a profesionales del área de metrado de empresas (Resultados mostrados en el capítulo 4) se concluyó que la manera más eficiente de obtener metrados de la partida de acero en la etapa de licitación de un proyecto es a través de ratios. Para ello, se desarrolló un add-in conectado a una base de datos que contiene los ratios según la tipología del proyecto. Dicha base de datos podía ser modificada de manera sencilla por el usuario.

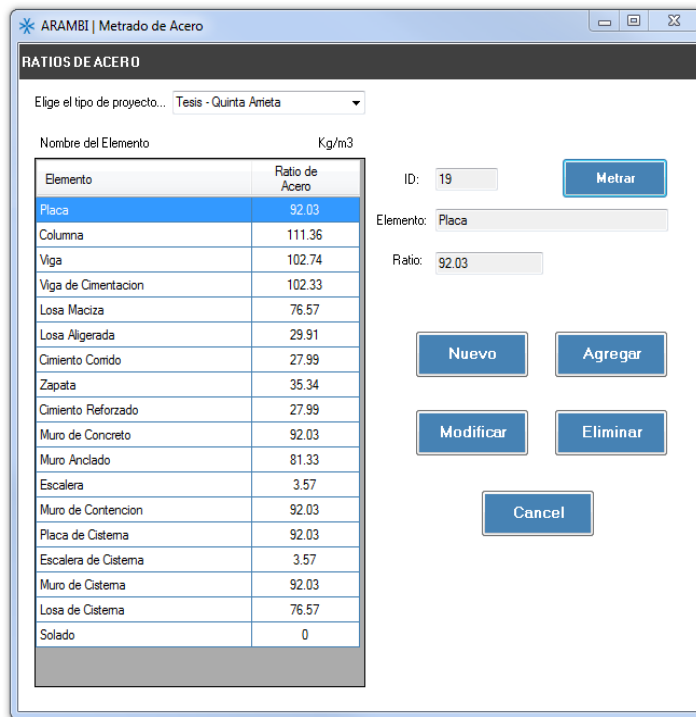


Fig. 3-17 Interfaz de ARAMBI para ratios de acero.

Para La visualización y verificación de que los resultados obtenidos sean coherentes, los autores han desarrollado una add-in que permite visualizar los metrados detallados en un interfaz amigable.

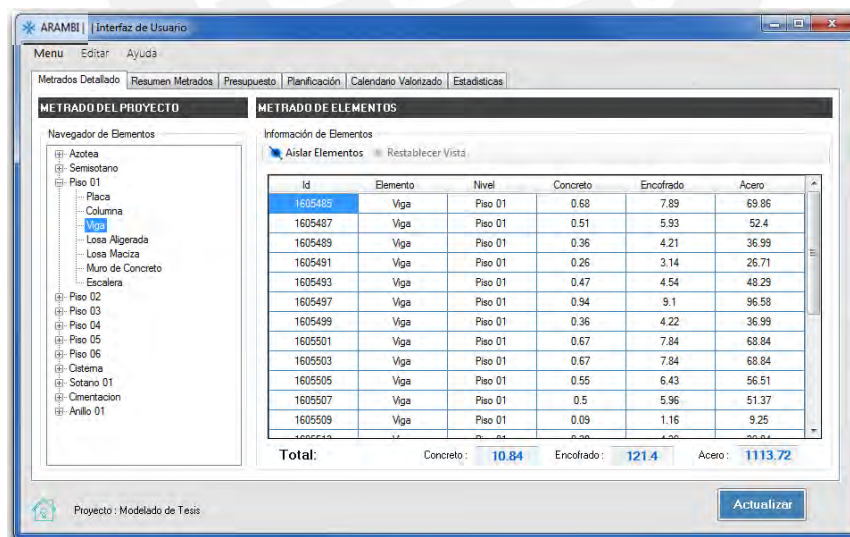


Fig. 3-18 Interfaz de ARAMBI para el metrado detallado.

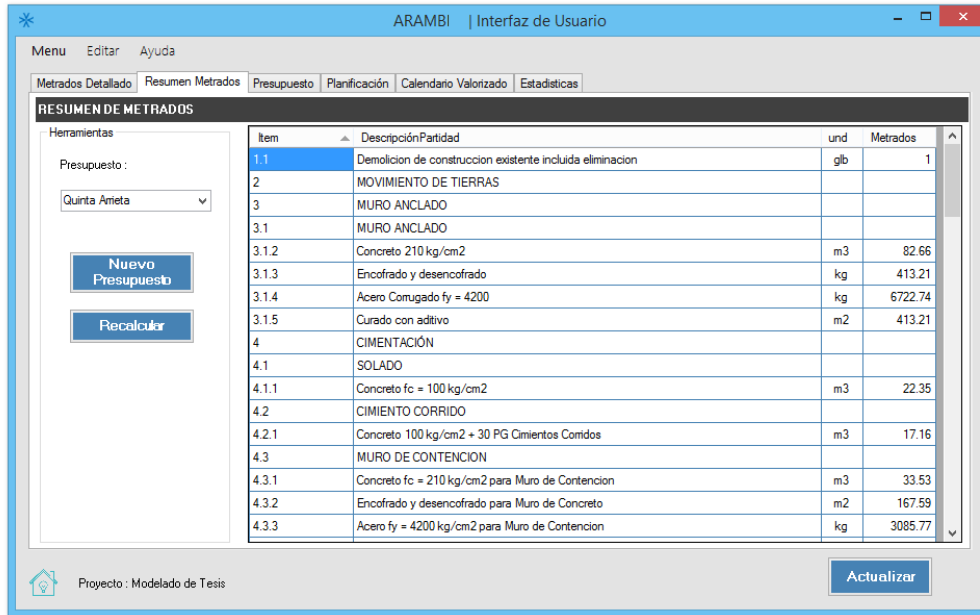


Fig. 3-19 Interfaz de ARAMBI para el resumen de metrados.

3.4. Planeamiento del proyecto

Para realizar un correcto planeamiento del proyecto, la presente tesis desarrolla una adaptación del proceso propuesto por el PMI. Donde el add-in desarrollado trata de abordar procesos con el objetivo de reducir el tiempo y los recursos que se invierten de manera tradicional.

3.4.1.1.1. Sectorización

A diferencia del método tradicional con planos en 2D, utilizar un modelo BIM permite al encargado de la planificación generar más opciones de sectorización en un menor tiempo ya que cantidades como volúmenes de concreto y encofrado son obtenidos de manera automática.

Dentro del software que se desarrolló para cumplir con la metodología el usuario tiene la capacidad de elegir tres tipos diferentes de sectorización y obtener los datos necesarios para elegir cuál de las opciones es la más eficiente.

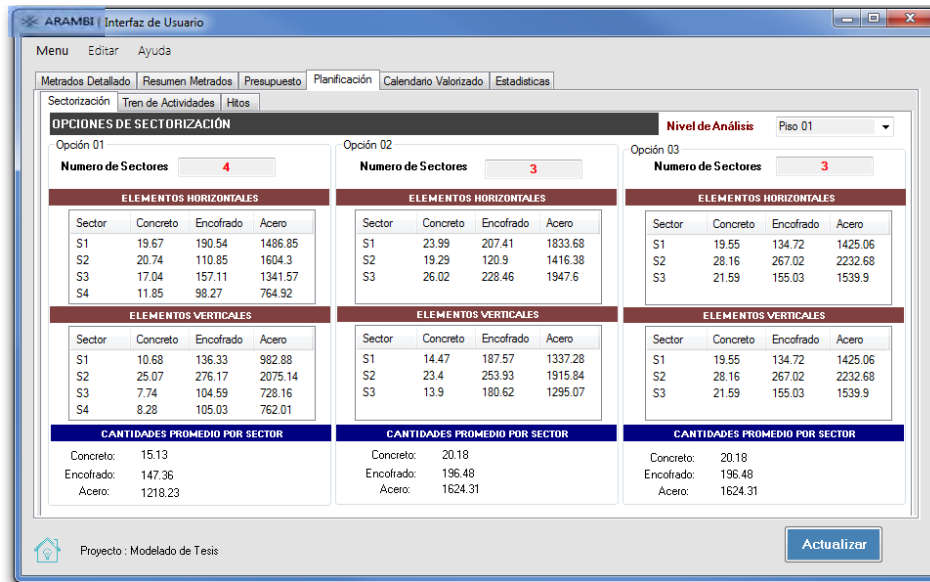


Fig. 3-20 Interfaz de ARAMBI para la sectorización.

3.4.1.2. Duración de Actividades

Según la data de cada empresa se tiene un rendimiento de cuadrilla en función a número de integrantes, métodos constructivos y materiales usados. Calculado el rendimiento se procede a calcular la duración de las actividades mediante fórmulas matemáticas.

$$\text{Jornada de trabajo necesarias} = \frac{\text{cantidad de trabajo (metrado)}}{\text{Rendimiento de cuadrilla}}$$

$$\text{Duración} = \frac{\text{Jornada de trabajo necesarias}}{\text{Cuadrillas disponibles}}$$

3.4.1.2.1. Tren de Actividades

El programa desarrollado por los autores permite al usuario tener la capacidad de generar su propio tren de actividades a partir de una lista de actividades según los sectores que pertenecen a un mismo nivel.

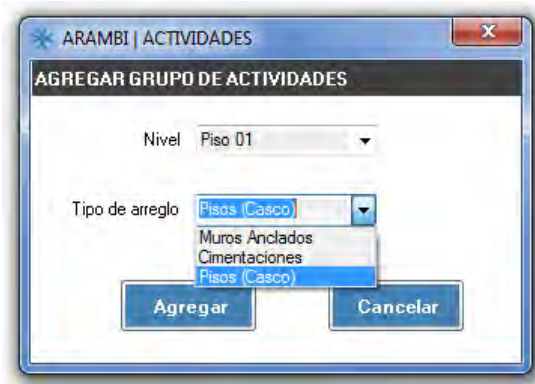


Fig. 3-21 Agregar actividades del Tren de Actividades

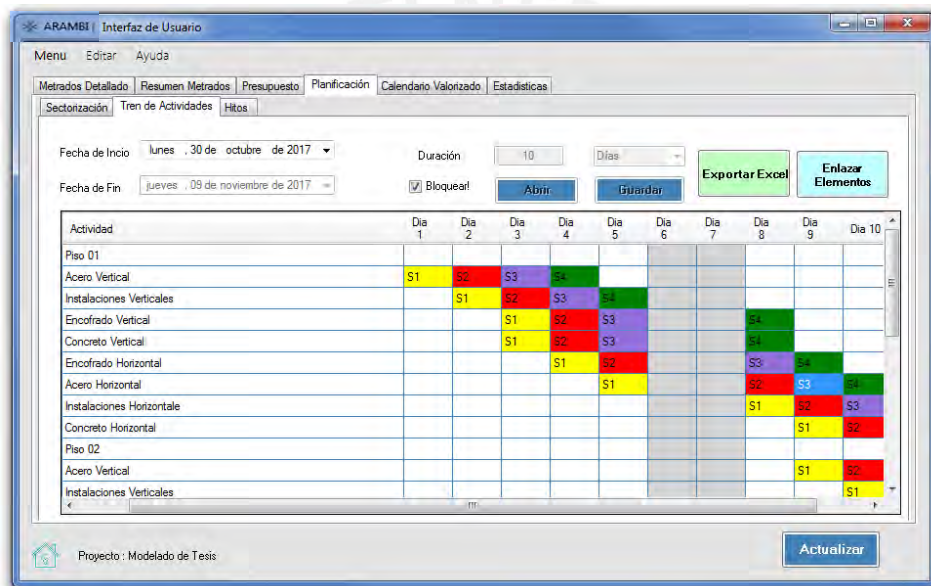


Fig. 3-22 Tren de actividades

Una vez finalizado el tren de actividades tentativo el usuario enlazará los elementos a través de condicionales (“Nivel del Elemento”, “Sector” y “Vaciado (H/V)”). Con esta herramienta cada elemento tendrá dentro de sus parámetros la siguiente información:

- Fecha de inicio
- Fecha de fin.
- Semana
- Mes

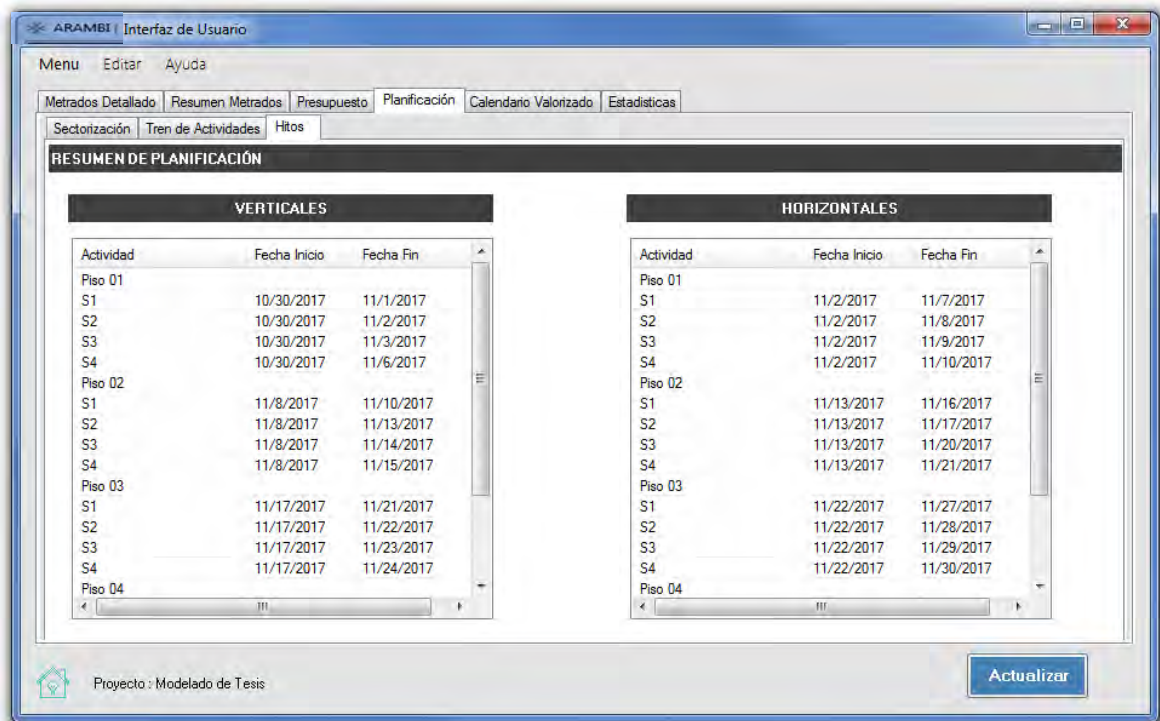


Fig. 3-23 Resumen de Hitos

3.5. Presupuesto

3.5.1. Análisis de Precios Unitarios

Tener una base de datos con los precios actualizados es fundamental para obtener un buen presupuesto. Además, dado que en proyectos de una misma empresa las cuadrillas y los procesos constructivos no varían significativamente, los autores desarrollaron dentro del software herramientas que permiten almacenar las partidas con sus respectivos análisis de precios unitarios.

ARAMBI | Partidas

PARTIDAS

Elemento...

Cod_Partida	nombreElemento	nombrePartida	und	Costo Materiales	Costo MO	Costo Equipo	CostoSubContr
109	Muro Anclado	Concreto 210 kg/cm2	m3	271.52	7.6	0.8	
110	Muro Anclado	Encofrado y desencofrado	kg	14.83	28.62	0.07	
111	Muro Anclado	Acero Corugado fy = 4200	kg	2.29	0	0	
112	Muro Anclado	Curado con aditivo	m2	0.02	1.82	0	
113	Solado	Concreto fc = 100 kg/cm2	m3	13.79	0.66	0	
114	Viga de Cimentacion	Concreto fc = 210 kg/cm para Viga de Cimentación	m3	271.52	10.85	0.63	
115	Viga de Cimentacion	Encofrado y desencofrado	m2	8.72	15.16	1	
116	Viga de Cimentacion	Acero Corugado fy = 4200	kg	2.24	0	0	
117	Zapata	Concreto 210 kg/cm2	m3	271.52	10.85	0.63	
118	Zapata	Encofrado y desencofrado	m2	7.37	32	0.9	
119	Zapata	Acero Corugado fy = 4200	kg	2.24	0	0	

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Nombre: Encofrado y desencofrado
Rendimiento: 29.8 kg/Día

MO: 28.62
Materiales: 14.83

Equipo: 0.07
Sub-Contrata: 16.7

Recurso	Tipo	und	Cuadrilla	Cantidad	Precio
Capataz	Mano de Obra	hh	0.1	0.0269	23.08
Operario	Mano de Obra	hh	3	0.8054	19.39
Oficial	Mano de Obra	hh	2	0.5369	15.91
Peon	Mano de Obra	hh	1	0.2685	14.3
Alambre Negro N°8	Materiales	kg	1	0.932	2.14
Clavos para madera con cabeza 3 pulgadas	Materiales	kg	1	0.206	1.82
Clavos para madera con cabeza 4 pulgadas	Materiales	kg	1	0.244	2.56
Desmoldante	Materiales	gal	1	0.31	17.07
Madera base 2x12x11	Materiales	ud	1	0.0006	84.10

Fig. 3-24 Interfaz de ARAMBI para creación de partidas.

3.5.1.1. Recursos

3.5.1.1.1. Mano de Obra

La mano de obra de un proyecto consta con los siguientes haberes:

- Remuneración básica,
- Remuneración por vacaciones anuales,
- Derecho a jornal dominical,
- Bonificación por escolaridad,
- Bonificación unificada en construcción (BUC),
- Bonificación por movilidad,
- Descuento por jubilación en Oficina Nacional de Pensiones (ONP) o Administrador de Fondo de Pensiones (AFP),
- Descuento por beneficios sociales de recreación Conafovicer,
- Descuento por afiliación sindical,
- Aporte en Seguro de Salud Essalud,

- Gratificación por fiestas patrias y navidad,
- Liquidación de beneficios debido compensación por tiempos de servicios,
- Seguro contra todo riesgo SCTR.

TABLA DE SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES						
PLIEGO NACIONAL 2016 - 2017						
(Del 01.06.2016 al 31.05.2017)						
OPERARIO				Indemnizac.		vacaciones
Jornal	61.40 *	6 días	368.40	diario	9.21	6.14
Jornal Dominical	10.23 *	6 días	61.40	semanal	55.26	36.84
BUC 32 %	19.65 *	6 días	117.89			
Bonif. Por Movilidad	7.20 *	6 días	43.20			
Total Salarios				Fiest. Patri.		Fiest. Navid.
590.89				diario	11.70	16.37
Descuento ONP 13%				mensual	350.86	491.20
Descuento CONAF. 2%				Total	2456.00	2456.00
Pago Neto Semanal				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
511.09						
OFICIAL				Indemnizac.		vacaciones
Jornal	50.30 *	6 días	301.80	diario	7.55	5.03
Jornal Dominical	8.38 *	6 días	50.30	semanal	45.27	30.18
BUC 30 %	15.09 *	6 días	90.54			
Bonif. Por Movilidad	7.20 *	6 días	43.20			
Total Salarios				Fiest. Patri.		Fiest. Navid.
485.84				diario	9.58	13.41
Descuento ONP 13%				mensual	287.43	402.40
Descuento CONAF. 2%				Total	2012.00	2012.00
Pago Neto Semanal				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
421.25						
PEON				Indemnizac.		vacaciones
Jornal	44.90 *	6 días	269.40	diario	6.74	4.49
Jornal Dominical	7.48 *	6 días	44.90	semanal	40.41	26.94
BUC 30 %	13.47 *	6 días	80.82			
Bonif. Por Movilidad	7.20 *	6 días	43.20			
Total Salarios				Gratific.		Fiest. Patri.
438.32				diario	8.55	11.97
Descuento ONP 13%				mensual	256.57	359.20
Descuento CONAF. 2%				Total	1796.00	1796.00
Pago Neto Semanal				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
380.67						
Asignación Escolar por un hijo				HORAS EXTRAS		
	Diario	Mensual	Simples	60%	100%	Indemniz.
OPERARIO	5.12	153.50	7.68	12.28	15.35	1.15
OFICIAL	4.19	125.75	6.29	10.06	12.58	0.94
PEON	3.74	112.25	5.61	8.98	11.23	0.84

Tabla 2. Salarios y beneficios sociales.

Fuente: CAPECO

Es necesario mencionar que la remuneración de los trabajadores varía con la política de la empresa y la experiencia del personal.

3.5.1.1.2. Materiales

El precio de los materiales varía según los siguientes factores:

- Ubicación de proveedores.
- Ubicación de la materia prima.
- Accesibilidad al proyecto
- Negociación con proveedores.

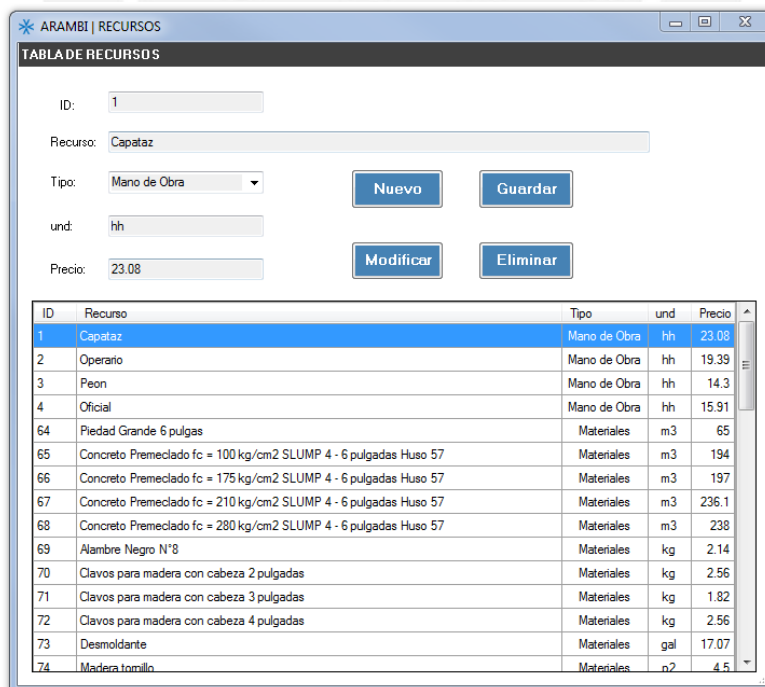
3.5.1.1.3. Equipo y herramientas

Los precios de equipos y herramientas cubren los gastos de vida útil, gastos administrativos y rentabilidad. Para estimar el precio de maquinaria se estima con la premisa que la duración de vida útil es de 10000 Horas repartidas en 5 años (Loayza et all, 2012).

3.5.1.1.4. Subcontrata

El cálculo de la subcontrata está en función de la negociación entre la contratista y el subcontratista en función a la cantidad de trabajo o la cantidad de tiempo siendo este el caso del encofrado.

Para actualizar de manera constante el precio de los recursos, el software presenta una interfaz conectada a la base de datos de precios que puede ser modificada.



The screenshot shows the ARAMBI RECURSOS software interface. At the top, there is a title bar with the text "ARAMBI | RECURSOS". Below the title bar, the main window is titled "TABLA DE RECURSOS". The interface includes a form for adding or editing resources with the following fields: ID (1), Recurso (Capataz), Tipo (Mano de Obra), und (hh), and Precio (23.08). There are four buttons: "Nuevo", "Guardar", "Modificar", and "Eliminar". Below the form is a table with the following data:

ID	Recurso	Tipo	und	Precio
1	Capataz	Mano de Obra	hh	23.08
2	Operario	Mano de Obra	hh	19.39
3	Peon	Mano de Obra	hh	14.3
4	Oficial	Mano de Obra	hh	15.91
64	Piedad Grande 6 pulgas	Materiales	m3	65
65	Concreto Premeclado fc = 100 kg/cm2 SLUMP 4 - 6 pulgadas Huso 57	Materiales	m3	194
66	Concreto Premeclado fc = 175 kg/cm2 SLUMP 4 - 6 pulgadas Huso 57	Materiales	m3	197
67	Concreto Premeclado fc = 210 kg/cm2 SLUMP 4 - 6 pulgadas Huso 57	Materiales	m3	236.1
68	Concreto Premeclado fc = 280 kg/cm2 SLUMP 4 - 6 pulgadas Huso 57	Materiales	m3	238
69	Alambre Negro N°8	Materiales	kg	2.14
70	Clavos para madera con cabeza 2 pulgadas	Materiales	kg	2.56
71	Clavos para madera con cabeza 3 pulgadas	Materiales	kg	1.82
72	Clavos para madera con cabeza 4 pulgadas	Materiales	kg	2.56
73	Desmoldante	Materiales	gal	17.07
74	Madera tomillo	Materiales	m2	4.5

Fig. 3-25 Interfaz de ARAMBI para los recursos.

3.5.2. Presupuesto

Para realizar el presupuesto, el usuario tiene la capacidad de agregar partidas a su estructura en función al WBS que se desarrolló previamente y relacionarlas con los elementos de Revit mediante condicionales. Además, el usuario tiene la opción de guardar esta estructura para futuros proyectos.

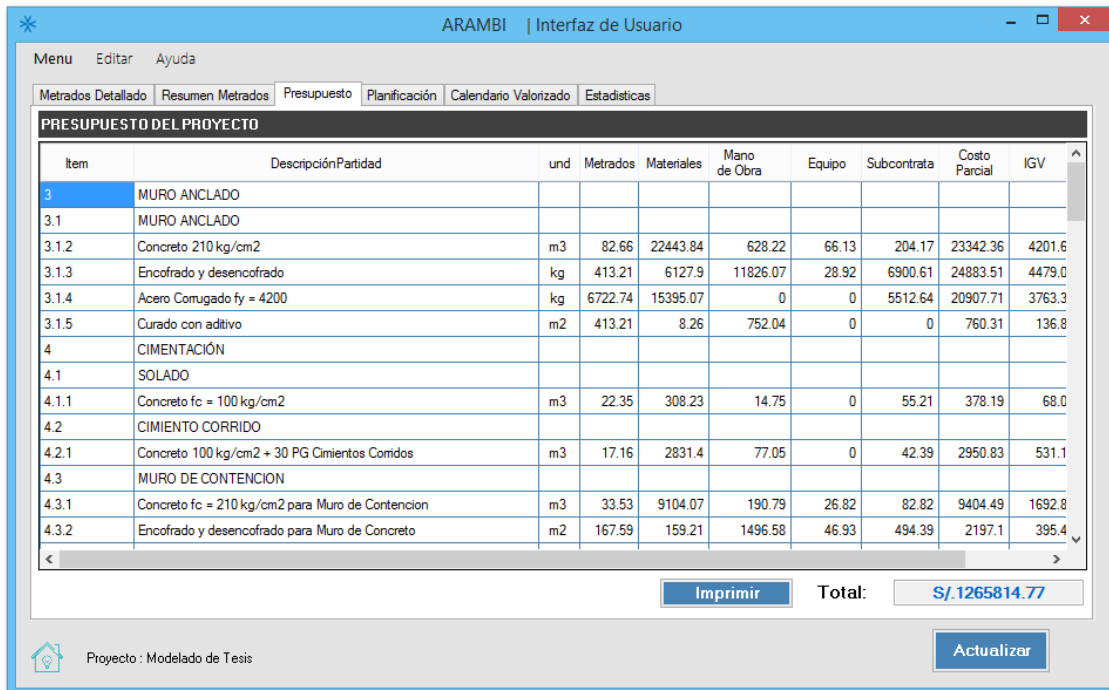


Fig. 3-26 Interfaz de ARAMBI para el presupuesto.

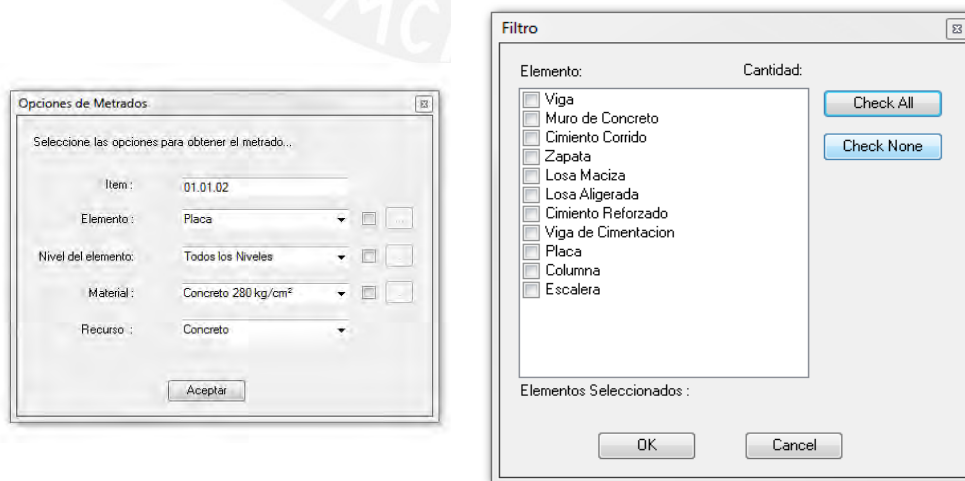
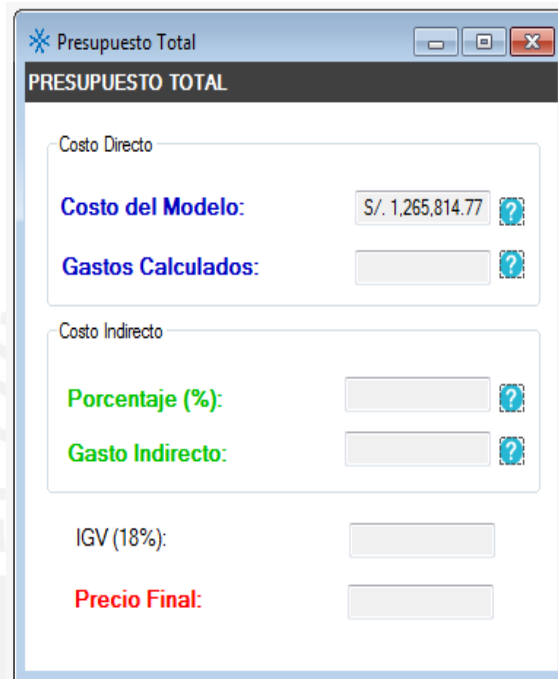


Fig. 3-27 Interfaz de ARAMBI sobre opciones de metrado y filtros.

Una de las limitaciones que tiene el software referente a la obtención del presupuesto es que no se puede presupuestar las partidas que no han sido modeladas. Por ejemplo, las partidas de obras provisionales. Es por ello que se creó un interfaz final que permite obtener el costo final del proyecto.



The screenshot shows a software window titled "Presupuesto Total" with a dark header bar containing the text "PRESUPUESTO TOTAL". The main content area is divided into sections for cost calculation. Under "Costo Directo", there are two rows: "Costo del Modelo:" with a text box containing "S/. 1,265,814.77" and a help icon, and "Gastos Calculados:" with an empty text box and a help icon. Under "Costo Indirecto", there are two rows: "Porcentaje (%):" with an empty text box and a help icon, and "Gasto Indirecto:" with an empty text box and a help icon. Below these sections are two more rows: "IGV (18%):" with an empty text box, and "Precio Final:" with an empty text box. The window has standard Windows-style window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

Fig. 3-28 Obtención del Costo total del proyecto.

Además de obtener el presupuesto del proyecto podemos obtener estadísticas de la incidencia en el costo total del proyecto de los recursos.

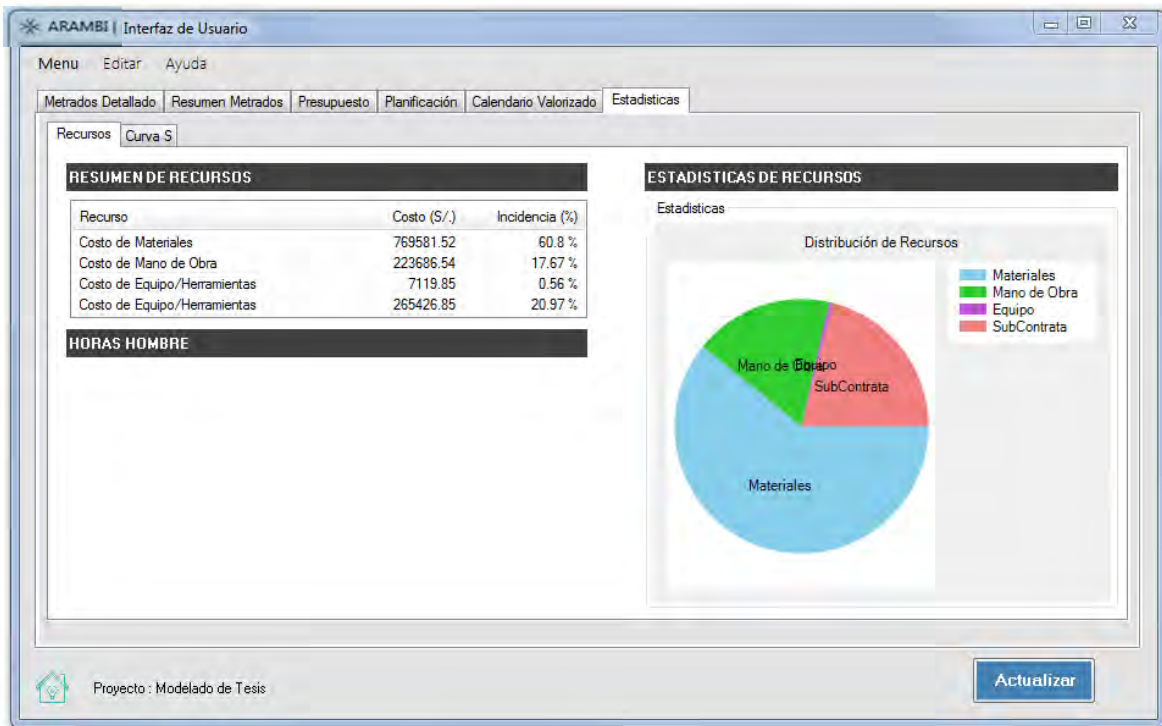


Fig. 3-29 Interfaz de ARAMBI sobre estadísticas de los recursos.

3.6. Calendario Valorizado

3.6.1. Calendario Valorizado de recursos

Luego de desarrollar el tren de actividades, se asigna la información de tiempos a cada uno de los elementos a través de condicionales (Nivel del elemento, Elemento y Sector). La importación de toda esta información y posterior asignación de valores a cada elemento se ejecuta mediante un add-in que permite que el usuario pueda obtener de manera automática.

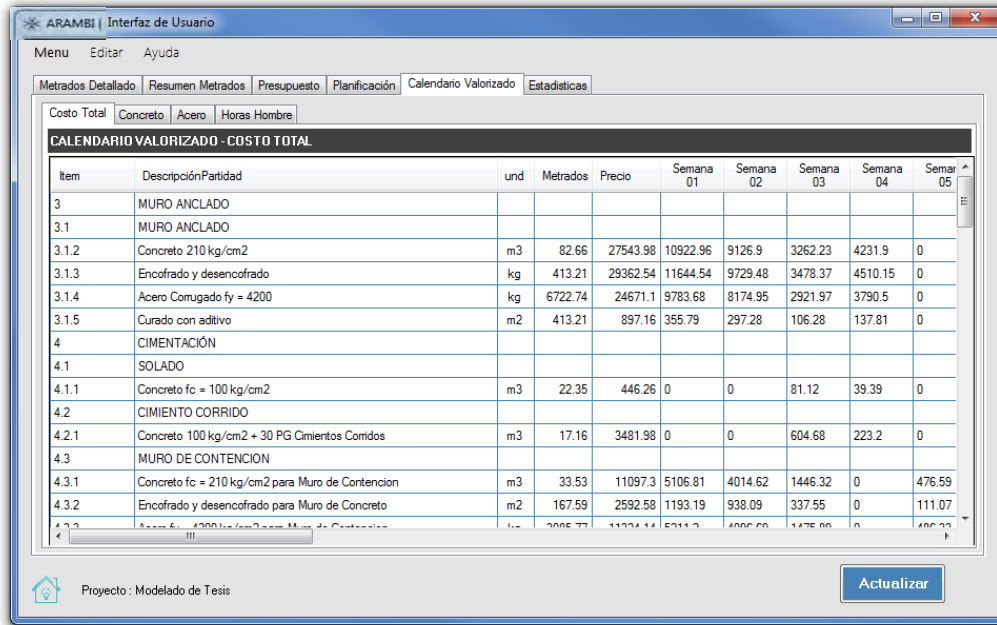


Fig. 3-30 Interfaz de ARAMBI para el calendario valorizado.

Además de Obtener el calendario valorizado, el usuario tiene la capacidad de obtener de manera automática la curva S base para un futuro control del proyecto y toma de decisiones. Además de la curva "s" se puede obtener la curva de vaciado de concreto, colocación de acero y horas Hombre.

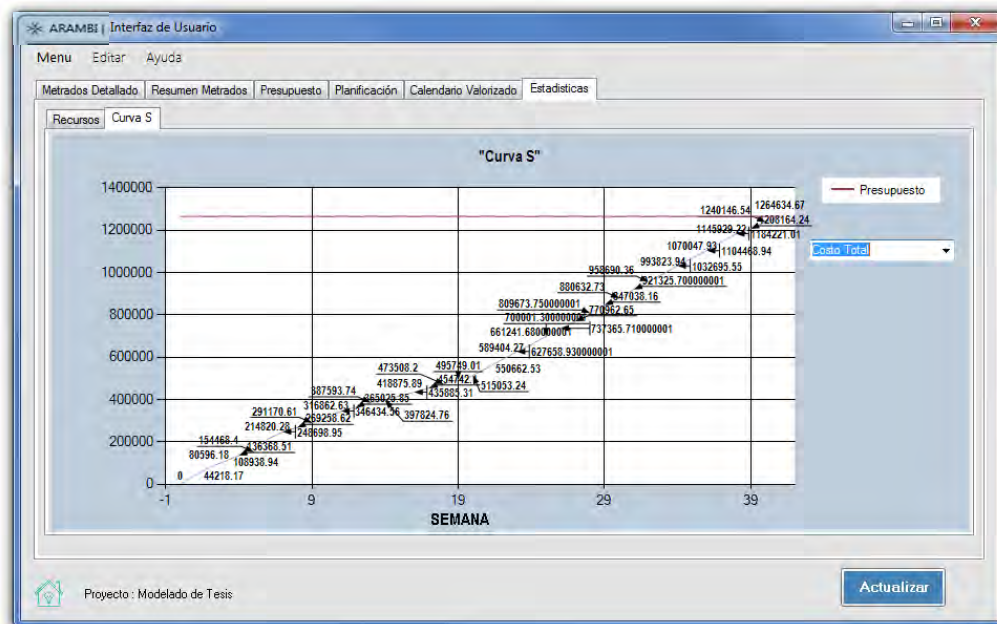


Fig. 3-31 Interfaz de ARAMBI para la curva S.

3.7. Simulación 4D

A partir de generar la planificación (semanal) del proyecto, se puede aprovechar la información dentro del parámetro “semana”. Esta información puede ser utilizada para la generación automática de elementos en el software Navisworks. La selección automática en Navisworks se logra mediante la creación de reglas lógicas. Estas reglas crean sets como se muestra en la siguiente imagen.

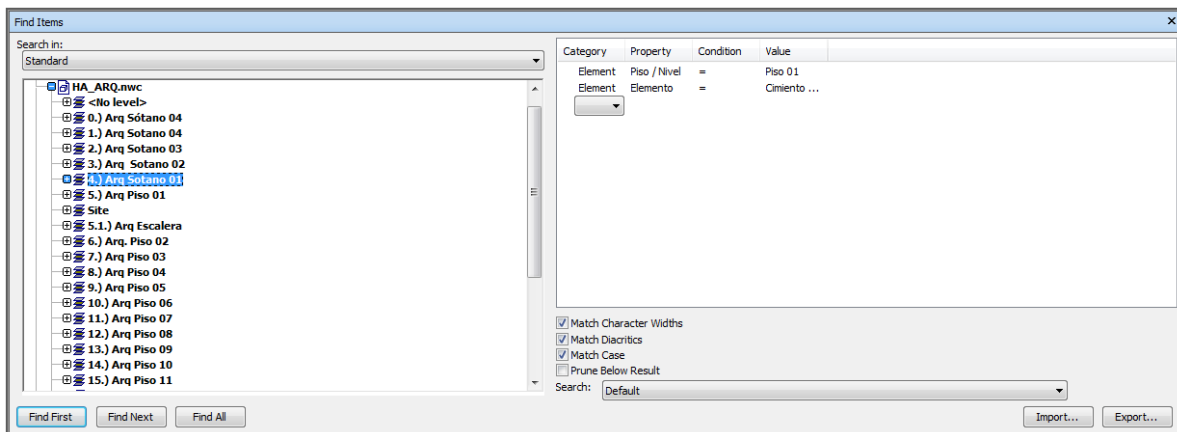


Fig. 3-32 Creación de reglas lógicas en Navisworks.

Los sets obtenidos pueden ser exportados y ser utilizados en otro proyecto mediante un archivo *.xml. Estos archivos pueden ser generados conociendo a fondo la estructura del archivo. A partir de esta estructura los tesisistas crearon un script en Dynamo para generar de manera automática la estructura de un archivo que permite seleccionar elementos según el parámetro “Semana”.


```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
2 <exchange xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://download.autodesk.com/us/navi
3 <selectionsets>
4 <selectionset name="Frente 1 - Sotano 01 - H - S1">
5 <findspec mode="all" disjoint="0">
6 <conditions>
7 <condition test="equals" flags="26">
8 <category>
9 <name internal="LcRevitData">Element</name>
10 </category>
11 <property>
12 <name internal="revit_Sector">Sector</name>
13 </property>
14 <value>
15 <data type="wstring">S1</data>
16 </value>
17 </condition>
18 <condition test="equals" flags="26">
19 <category>
20 <name internal="LcRevitData">Element</name>
21 </category>
22 <property>
23 <name internal="revit_Nivel del Elemento">Nivel del Elemento</name>
24 </property>
25 <value>
26 <data type="wstring">Sotano 01</data>
27 </value>
28 </condition>
29 <condition test="equals" flags="26">
30 <category>
31 <name internal="LcRevitData">Element</name>
32 </category>
33 </property>

```

Fig. 3-33 Código para la creación de los sets.

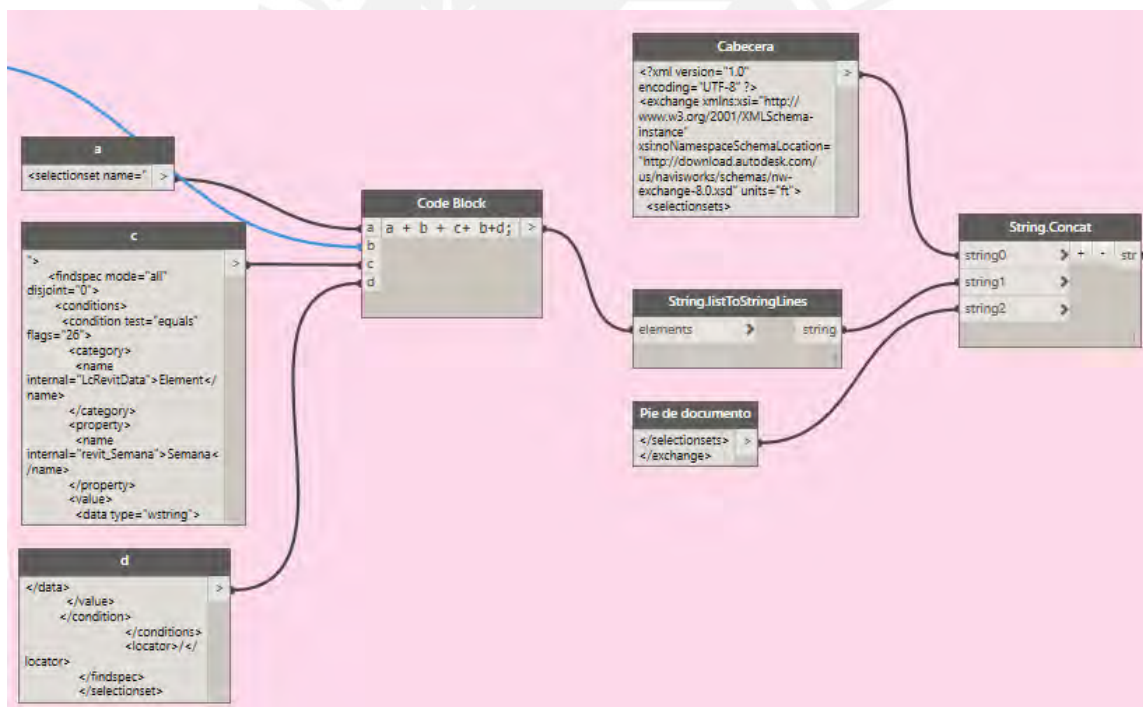


Fig. 3-34 Desarrollo del script de sets en Dynamo.

A partir del archivo se puede generar los sets de manera automática dentro del entorno de navisworks. En navisworks se puede crear una simulación sencilla y agregar tareas por cada sets creado. Para finalizar la simulación para su posterior análisis es necesario dar un intervalo de tiempo equitativo para cada set.

CAPITULO 4: CASO DE ESTUDIO

4.1. Definición del Proyecto

El proyecto, Quinta Arrieta, está ubicado en el distrito de Barranco-Perú. Quinta Arrieta es un edificio multifamiliar desarrollado por la empresa inmobiliaria “Inversiones Vicca Verde”. Es un proyecto de un área de 510 m² que cuenta con dos niveles de sótanos (Estacionamientos y Depósitos) y seis pisos superiores más azotea. Dada la geometría de terreno (10 x 51 m²) la empresa de arquitectura decidió dividir el proyecto en tres torres. Cada nivel cuenta con tres departamentos y áreas para el tránsito de personas. Las áreas totales construidas de los niveles suman la cantidad de 2971,90 m².



Fig. 4-1 Maqueta arquitectónica de Quinta Arrieta.

Se realizó la definición del proyecto identificando las principales condiciones del proyecto.

A. Objetivo del proyecto:

El objetivo principal del proyecto es cumplir con los plazos de entrega. El cliente, Inversiones Vicca Verde, tiene que respetar los plazos de entrega de los departamentos de acuerdo con las fechas del contrato. La fecha de inicio del proyecto está planificada para el día 15 de marzo de 2016 con fecha de finalización el día 18 de agosto del mismo año. Dada esta premisa del objetivo del proyecto es recomendable realizar una planificación para cumplir con los plazos acordados.

B. Factores geográficos

El proyecto está ubicado en el Jr. Carlos Arrieta 244-248, en el distrito de Barranco, Lima, Perú. Es por esta avenida que se realizará el transporte tanto de materiales como de maquinaria.



Fig. 4-2 Acceso al Proyecto.

C. Limitaciones Legales

La Municipalidad de Barranco permite un horario laboral para la finalización de actividades de construcción a las 18:30 pm. No hubo Limitaciones por parte de la municipalidad.

D. Complejidad del proyecto

La principal complejidad del proyecto es la geometría. Al contar con un terreno tan angosto la capacidad de distribución de áreas para obras provisionales y de acopio de materiales se convierte en una restricción.

E. Involucrados

Los involucrados detectados en este proyecto fueron:

- Usuarios Finales.
- Empresa Constructora
- Empresas subcontratistas
- Cliente (Inversiones Vicca Verde)
- Proyectistas
- Vecinos
- Municipalidad de Barranco

F. Responsabilidades

Se definieron las responsabilidades individuales y comunes con el objetivo de cumplir con los plazos establecidos.

4.1.1. Alcance del proyecto

Según el objetivo del cliente, Inversiones Vicca Verde, el proyecto debe cumplir con los requerimientos del plazo según acordado con el cliente sin tener repercusiones en la calidad ni el costo final del proyecto. El contratista encargado de la construcción del casco estructural deberá finalizar la construcción de los dos niveles de sótanos y seis niveles más azotea.

Las partidas de acabados arquitectónicas del proyecto serán ejecutadas por diversos subcontratistas que serán gestionados por Inversiones Vicca Verde. Para la correcta ejecución de los trabajos de arquitectura es necesario que se cuente con tres meses antes de la entrega de departamentos.

El contratista de casco estructural se compromete a ejecutar todas las partidas dentro del presupuesto contractual y dejar un ambiente óptimo para que se realice de manera adecuada los trabajos de arquitectura.

4.1.2. Work BreakDown Structure

Se decidió dividir el proyecto en cinco paquetes globales para la ejecución del proyecto. Esta estructura trata de generar un orden para la gestión del costo

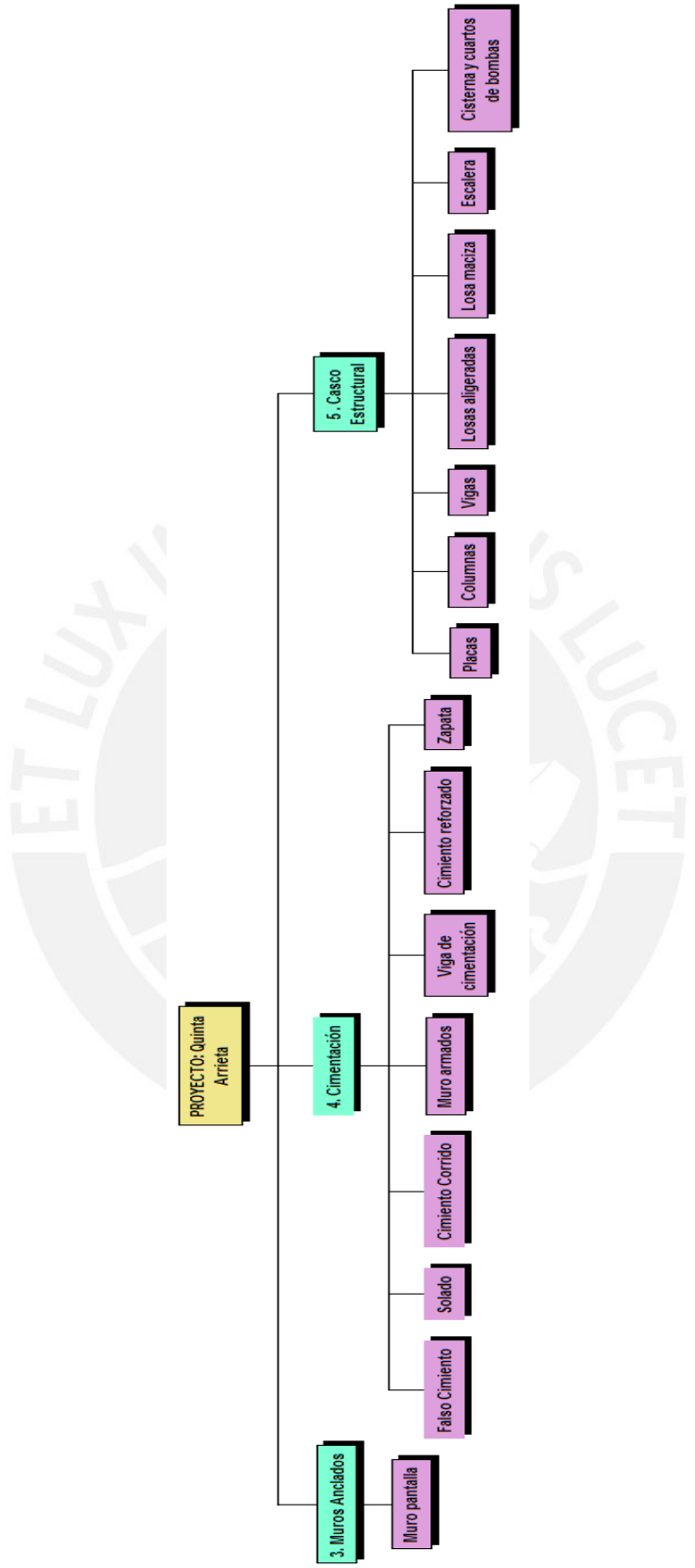


Fig. 4-3 Work BreakDown Structure del proyecto Quinta Arrieta.

4.2. Modelado de Revit.

A continuación, se muestran las consideraciones técnicas que se tuvieron en cuenta al momento de realizar el modelado en Autodesk Revit.

Modelado de Columna

Con el objetivo de utilizar el modelo para sectorización y respetar el proceso constructivo (contrario a lo que propone la norma nacional de reglamento de metros) las columnas fueron modeladas en dos partes. La primera parte de la columna fue modelada desde el nivel de losa hasta la base de la viga mayor peraltada o la losa en el caso de que no existiera viga. La segunda parte de la columna corresponde al pequeño “nudo” faltante.

Las placas tienen los mismos criterios que las columnas. Ambos elementos fueron modelados con la categoría “Structural Columns”.

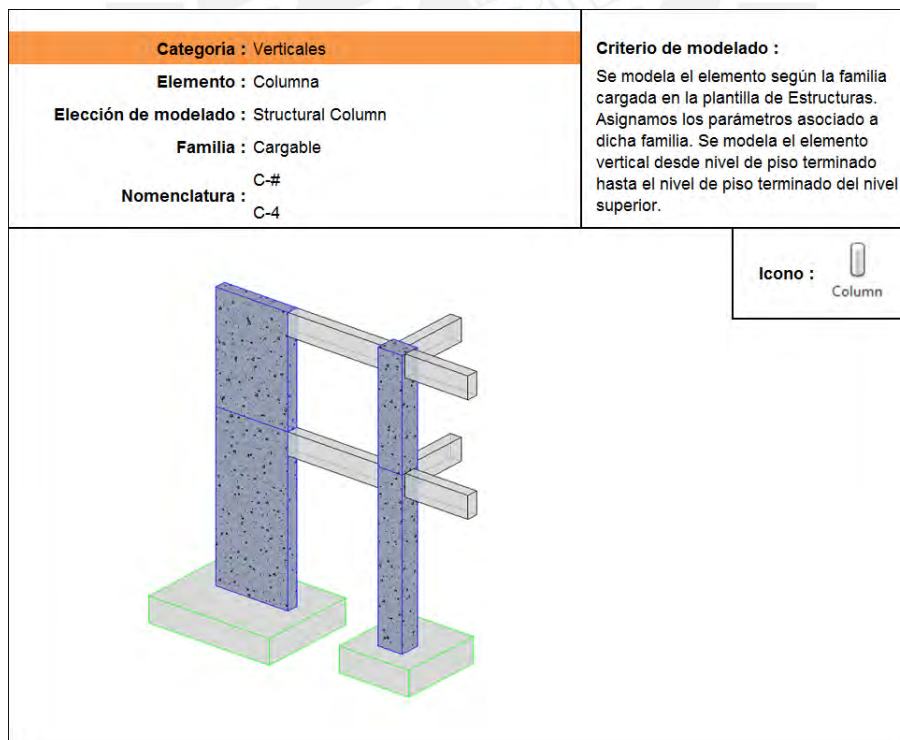


Fig. 4-4 Criterio de modelado de columna

Modelado de Losas

En el momento de modelar losas, todas fueron modeladas como “Floor”. Pero para poder diferenciar entre losas aligeradas y losas macizas se utilizó el parámetro “Elemento” donde se le asignaba el texto “Aligerada” y “Maciza” para que pueda ser filtrada y utilizada para cuantificar los materiales. Una de las recomendaciones que brinda Graña y Montero en su Manual de Estándares BIM es que las losas deben ser modeladas por paños, es decir entre vigas.

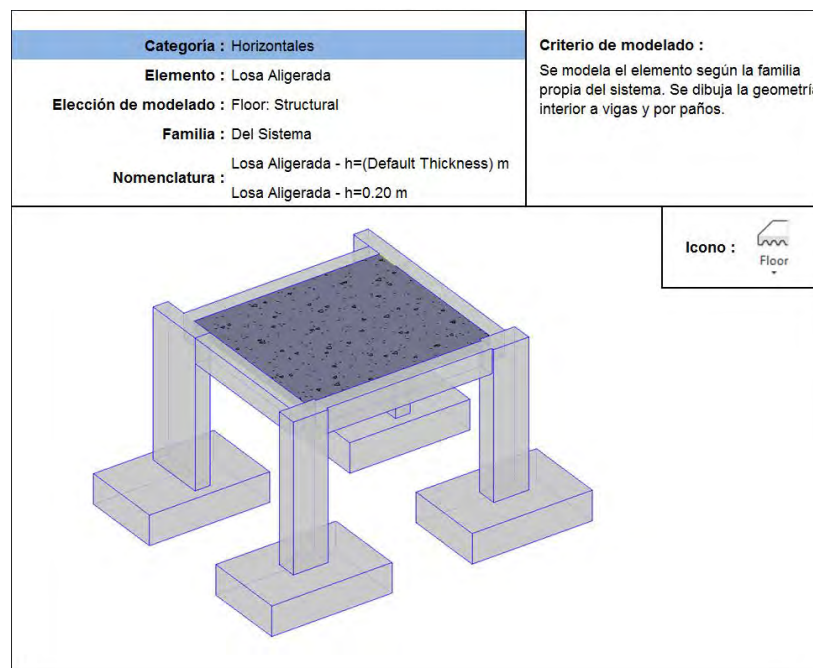


Fig. 4-5 Criterio de modelado de losas.

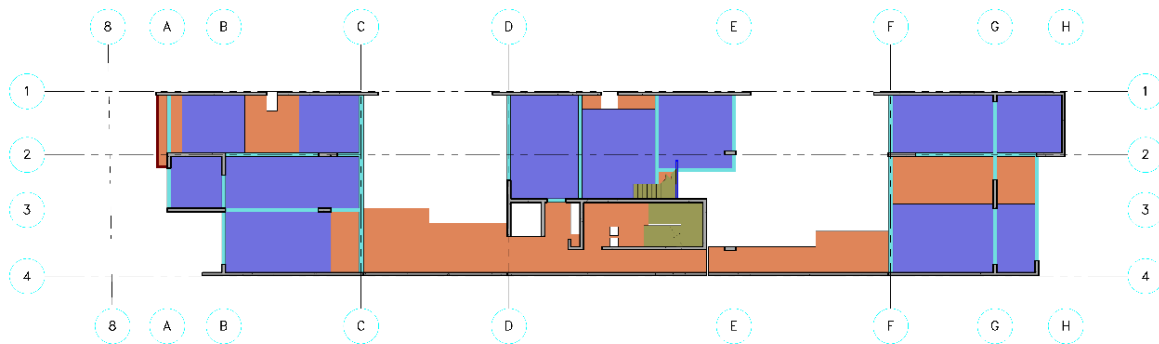


Fig. 4-6 Distinción entre losas aligeradas y macizas.

Recomendaciones

1. El trabajo sincronizado con un archivo central tiene muchas ventajas solo si se tienen bien definidas las responsabilidades de cada participante.
2. Definir de manera exacta niveles de detalle para no generar esfuerzo innecesario a la hora de modelar.
3. Al momento de auditar un modelo se debe tener en cuenta que muchos de los modelos existentes deben ser descartados y volver a modelar desde cero.
4. La utilización de filtros para visualizar los detalles de los elementos es una ayuda para las reuniones de conformidad en el post-modelado con el fin de poder detectar los elementos por colores.
5. El uso de parámetros compartidos cuando ya se tiene experiencia en modelos anteriores resulta prácticamente necesario ya que la creación de parámetros de proyecto resulta un costo en tiempo elevado.
6. Trabajar con sub-disciplinas es una ayuda importante al momento de modelar instalaciones ya que nos permite trabajar en espacios menos saturados.
7. Tener una reunión interna dentro de la empresa para la mejora continua y la creación de nuevas plantillas por especialidades.

4.3. Metrados

Para ciertas partidas como el encofrado de zapatas fue necesario utilizar la herramienta "Paint" para pintar las caras que estaban en contacto contra terreno. Si bien pintar las caras para descontar áreas es un trabajo que no se puede automatizar porque se tiene que analizar las condiciones del proyecto y por lo tanto toma tiempo, es necesario descontar dichas áreas porque repercute en las partidas.

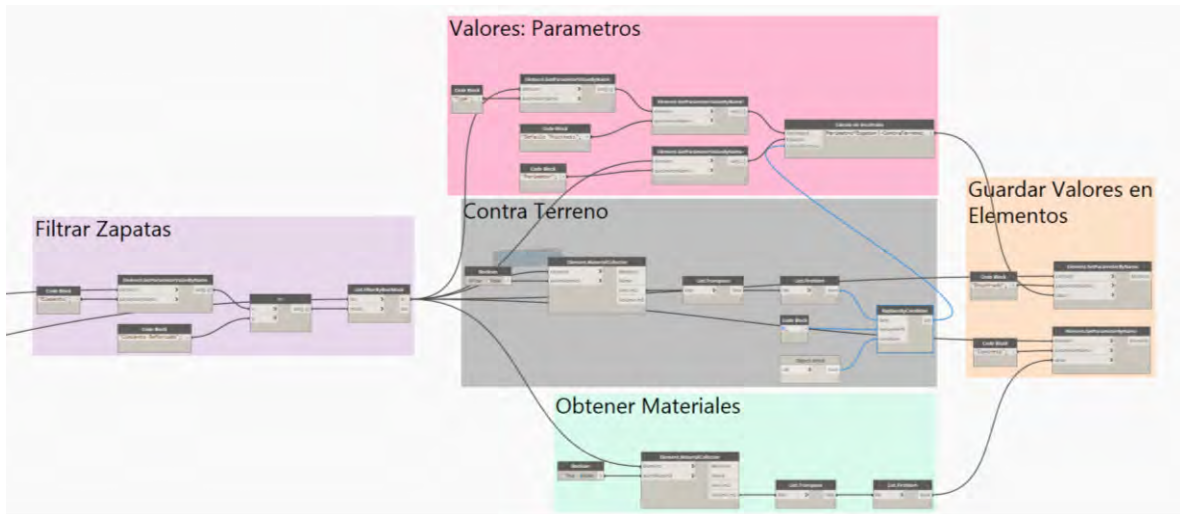


Fig. 4-7 Scripts para obtención de encofrado de zapatas.

Por otro lado, hay muchos valores que deben ser calculados a partir de condicionales u operaciones lógicas. Un ejemplo claro es el concreto dentro de una losa aligerada. Dynamo te permite aplicar fórmulas según valores como se muestra en la siguiente imagen:

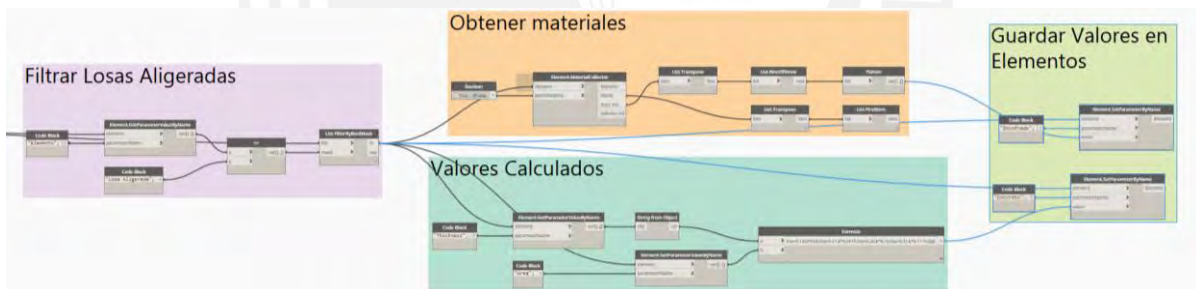


Fig. 4-8 Scripts para obtención de concreto de losas aligeradas.

Para los metrados de acero se consideró utilizar los ratios de un proyecto (Madre Selva) con características muy similares al proyecto de caso de estudio. Además, se realizó pruebas de modelado de acero de algunos elementos para verificar que los ratios utilizados tengan valores aproximados a los reales.

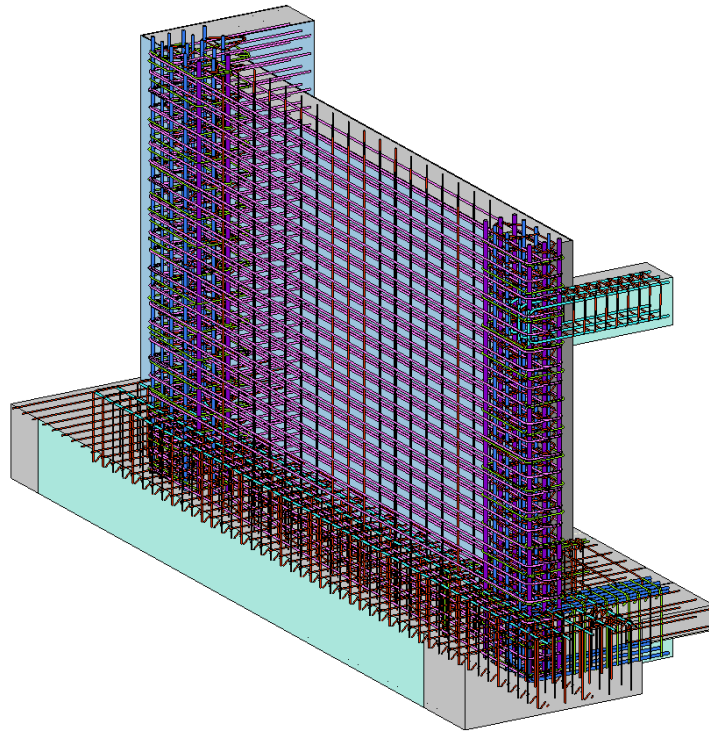


Fig. 4-9 Modelado de acero.

Al finalizar el modelado se realizó una auditoria de la calidad al modelo en base al formato de Graña y Montero que presenta la tesis del Ingeniero Diego Fuentes. El resultado de la auditoria se adjunta dentro de los anexos.

Resumen de Metrados

En función del WBS se hace un listado de las partidas que contempla cada elemento. A partir del listado de partidas es necesario identificar aquellas que podrán ser cuantificadas desde el modelo. En el siguiente grafico se muestra de color rojo las partidas que no se pudo obtener desde el modelo y de color verde aquellas que se obtuvieron del modelo.

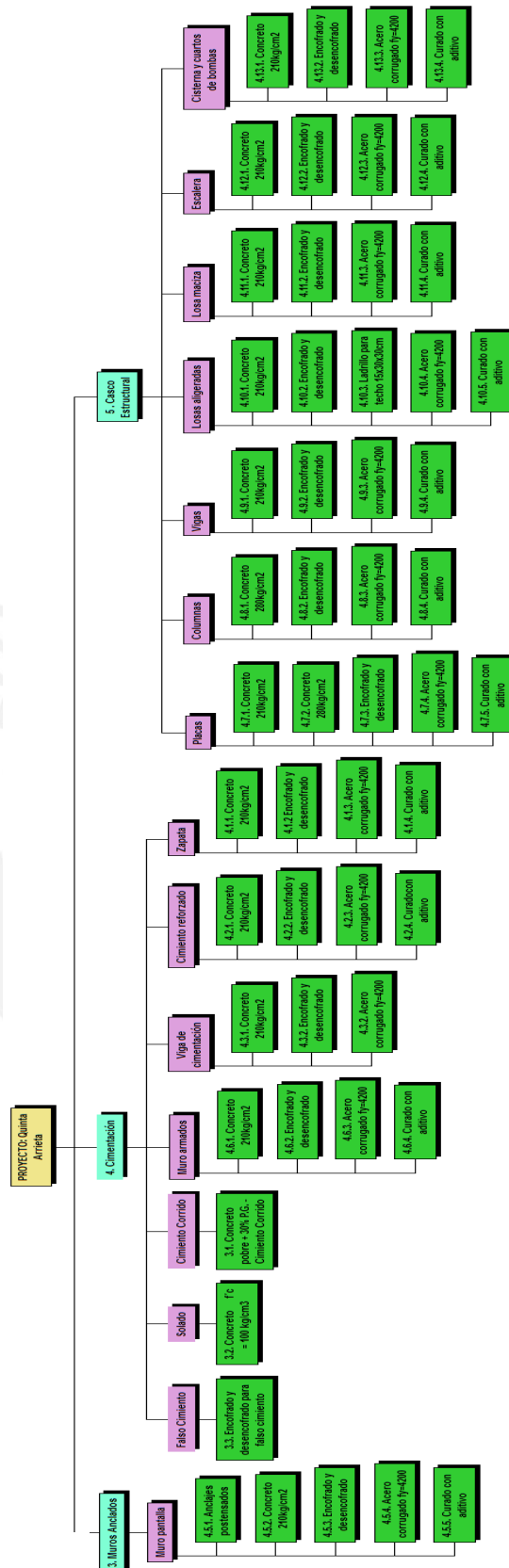


Fig. 4-10 WBS para obtención de metrados.

4.4. Planeamiento del proyecto

El cliente, Inversiones Vicca Verde, define como fecha de inicio de proyecto el 15 de marzo del 2016 y como fecha máxima de finalización del casco estructural para el día 30 octubre del 2016. Dadas las fechas del cliente se concluye que el proyecto tiene una duración máxima de 7.5 meses. A partir de este dato se procede a planificar y programar todas las actividades del proyecto.

A. Planificación

Se respeta los paquetes generales del WBS planteado en la etapa de definición del proyecto por lo tanto tenemos las siguientes actividades:

- Encofrado de elementos
- Acero de Elementos
- Concreto de elementos
- Curado de elementos

B. Programación

De manera general se hizo la secuencia de las actividades como se muestra en el siguiente flujo:

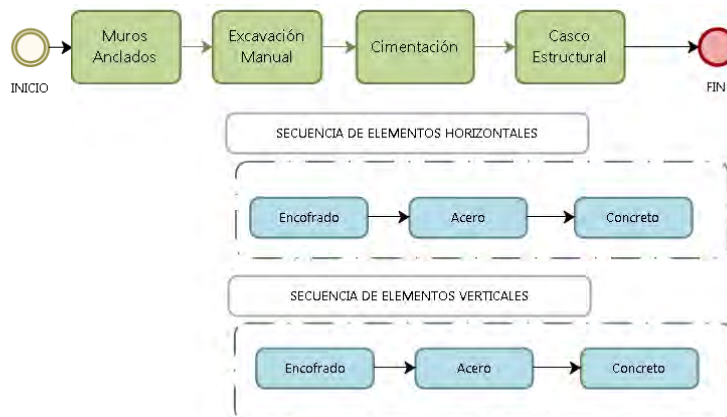


Fig. 4-11 Secuencia de actividades.

C. Organización

Para organizar las tareas del proyecto se propuso analizar tres opciones de posibles arreglos (sectorización) por nivel. Para la elección de la sectorización se utilizó criterios por parte de autores con el fin de elegir la mejor sectorización.

Los factores que se analizaron fueron las siguientes:

1. Similitud de cantidad de encofrado entre sectores (Vertical y Horizontal).
2. Similitud de cantidad de concreto entre sectores (Vertical y Horizontal).
3. Similitud en la geometría del encofrado por piso.
4. Flujo continuo de construcción.

En las siguientes imágenes se muestra la sectorización realizada a la cimentación.

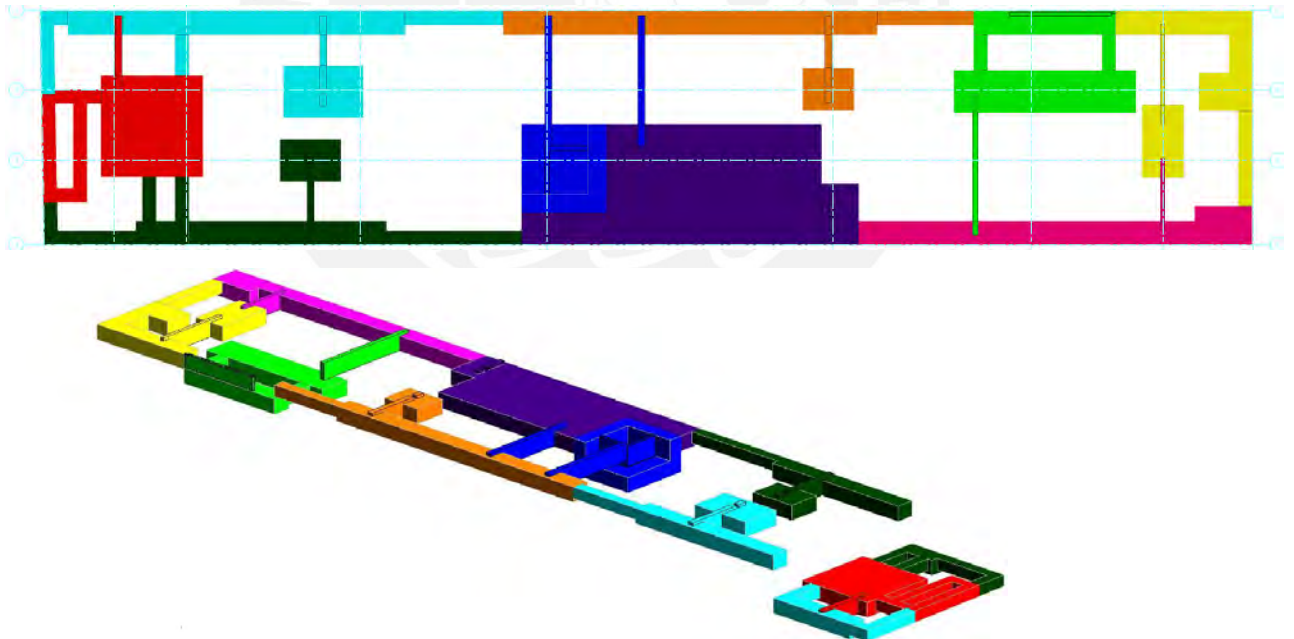


Fig. 4-12 Sectorización de la cimentación.

En las siguientes imágenes se muestra la sectorización del piso típico (Piso 02 – Piso 06) del proyecto.

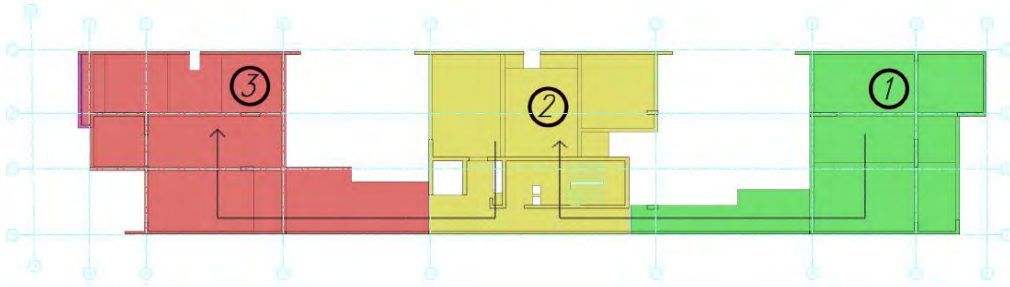


Fig. 4-13 Sectorización del piso típico.

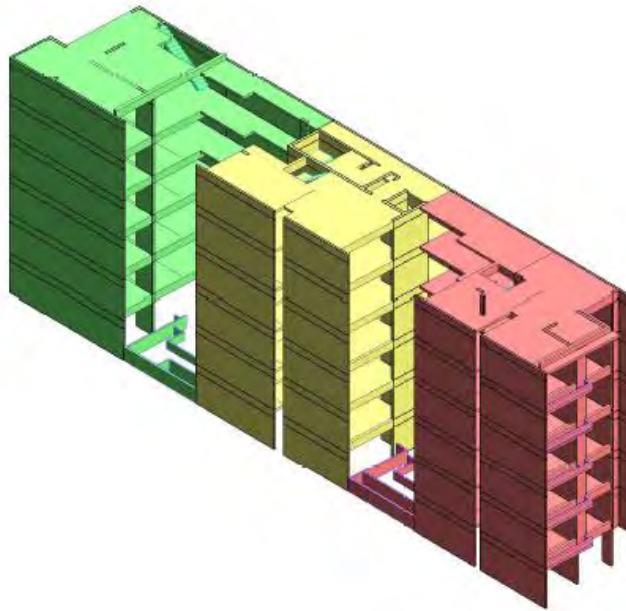


Fig. 4-14 Modelo 3D de la sectorización del piso típico.

D. Duración de Actividades

Para estimar la duración de actividades fue necesario analizar la composición de las cuadrillas y los métodos constructivos. Para lograr una estimación más exacta se analizó los rendimientos que se obtuvieron del proyecto Madre Selva (Proyecto con similares características). En función a los rendimientos y al metrado a ejecutar por actividad se obtuvo la duración.

E. Tren de Actividades

Para elaborar un correcto tren de actividades los autores decidieron realizarlo de manera manual en el programa desarrollado que permite al usuario ingresar la fecha de inicio del proyecto y su duración. A partir de generar el interfaz, el usuario podrá crear su tren de actividades ingresando el sector dentro del día cuando se realizan sus actividades.

El calendario considera sábado y domingo como días no laborables. Esto se debe a que el sábado es un día de buffer para completar las actividades que no se llegaron a completar durante la semana.

Al finalizar la etapa de creación se puede enlazar las fechas con los elementos dentro del modelo mediante condicionales. Por ello, las condicionales van en función al nivel del elemento, sector y la secuencia de vaciado (Horizontal o Vertical). Con el enlace de los elementos se logra guardar los siguientes parámetros:

- Fecha de Inicio
- Fecha de Fin
- Semana
- Mes

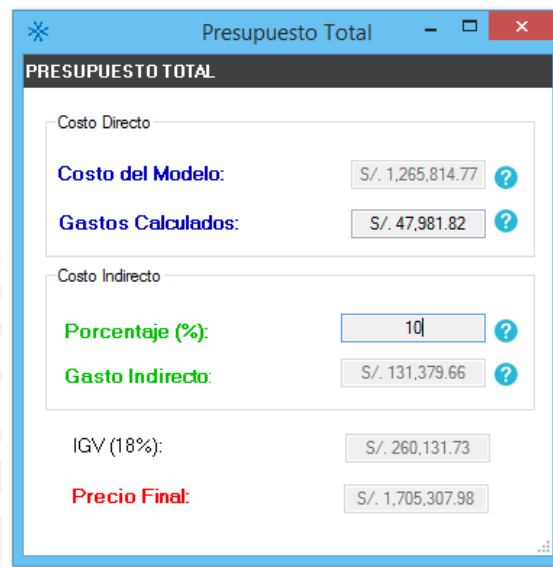
Luego de realizar el tren de actividades se detectó que la duración del proyecto (Sin interrupción ajenas a la planificación) tendría una duración de 4.5 meses. Se tendría una holgura de 3 meses según las condiciones del cliente.

4.5. Presupuesto

Se realizaron los análisis de precios unitarios (APU) a partir del rendimiento de las cuadrillas y procedimientos constructivos (Materiales, Equipo y Subcontrata). Estos análisis de precios unitarios pueden ser modificados por el usuario a través

de un interfaz sencillo y muy intuitivos, similar al usado por el software S10. Todo el análisis realizado por el usuario se guarda en una base de datos (Microsoft Sql Server).

Junto con el presupuesto se obtuvieron estadísticas como el porcentaje que cada elemento representa para el proyecto.



The screenshot shows a software window titled "Presupuesto Total" with a blue header bar. The main content area is titled "PRESUPUESTO TOTAL" and is divided into sections for "Costo Directo" and "Costo Indirecto".

Costo Directo	
Costo del Modelo:	S/. 1,265,814.77
Gastos Calculados:	S/. 47,981.82

Costo Indirecto	
Porcentaje (%):	10
Gasto Indirecto:	S/. 131,379.66

IGV (18%):	S/. 260,131.73
Precio Final:	S/. 1,705,307.98

Fig. 4-15 Costo total del caso de estudio

4.6. Calendario Valorizado

A partir de la asignación de fechas en el proceso de creación del tren de actividades y la asignación de costos se creó el calendario valorizado.

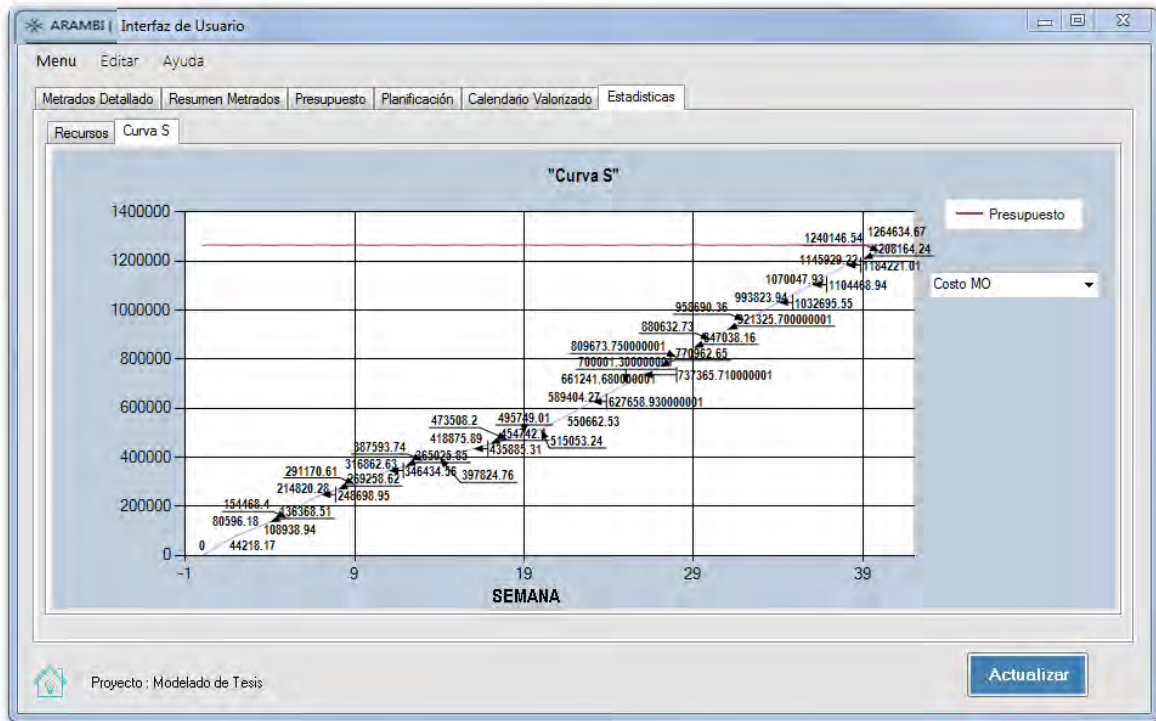


Fig. 4-16 Curva S obtenida.

4.7. Resultados de entrevista

Los autores vieron la necesidad de adquirir opiniones de un grupo de profesionales dedicados al área de licitación y presupuesto con el fin de obtener comentarios acerca del uso de la tecnología en el Perú, comprobar la utilidad del add-in desarrollada y reunir información de la aceptación de usos de tecnologías BIM para la creación del presupuesto y calendario valorizado en proyectos de construcción. Para que la entrevista tenga credibilidad los ingenieros a entrevistar pertenecieron a distintas empresas.

Los autores tuvieron dos alternativas para presentar el funcionamiento del add-in, uno en una página web y el otro en un manual. El objetivo es que la presentación sea dinámica y fácil de entender. Por ello, se decidió presentarlo mediante una página web ya que es mejor visualizar que leer un manual.

La presentación consiste en mostrar videos en una página web creado por los autores, en la cual se observa los pasos para la obtención de metrados, creación

del presupuesto, sectorización, tren de actividades, calendario valorizado, entre otros. Esta presentación se realizó a tres ingenieros del área de presupuestos de tres diferentes empresas.

4.7.1. Resultados de las entrevistas

La entrevista fue realizada a tres ingenieros pertenecientes al área de licitación y presupuestos de importantes empresas del mercado peruano. A continuación, se describirá el cargo, la empresa y la experiencia de cada uno de ellos.

El primer encuestado, Jaime Salinas Cruz, tiene el cargo de subjefe del área de presupuesto y licitaciones de Besalco S.A. Esta es una empresa chilena con más de 70 años en el rubro de la construcción, la cual se dedica a la construcción de edificaciones, proyectos de retail, proyectos de infraestructura y minería. El encuestado tiene aproximadamente 5 años de experiencia en el área de presupuesto y licitaciones.

El segundo encuestado, Juan Carlos Blas Ortega, tiene el cargo ingeniero de presupuesto de la empresa Tecnología de Materiales S.A. TDM es una empresa dedicada a la tecnología de materiales. El encuestado tiene 3 años de experiencia en el área de presupuesto de proyectos de infraestructura.

El tercer encuestado, Rómulo Terrazos Salinas, tiene el puesto de jefe de desarrollo tecnológico en la empresa Besco S.A.C. El área de desarrollo tecnológico incluye el área de presupuesto para licitación de la empresa mencionada. El encuestado tiene aproximadamente 6 años de experiencia en proyectos inmobiliarios.

Los resultados de las encuestas realizadas se presentan en la siguiente tabla:

PREGUNTA	ENCUESTADO 01	ENCUESTADO 02	ENCUESTADO 03
¿El interfaz del software les pareció amigable?	Sí, es intuitivo y la manera de usar el software ayuda en poder realizar el presupuesto paso a paso, sin perder algún proceso para lograr el objetivo.	El Interfaz es muy amigable.	El interfaz me pareció práctico y fácil de usar, debido a que se ha optimizado los pasos previos de cada actividad, con comandos directos enfocados a resultados específicos.
¿Cree usted que las empresas peruanas serían capaces de arriesgarse a nuevas tecnologías como el programa mostrado, modelo paramétrico 5D? ¿Por qué?	Sí, con lo cambiante que son las herramientas tecnológicas y la necesidad de obtener más información para el análisis de los proyectos, se busca herramientas que ayuden a obtener la data de manera más eficiente. Las empresas buscan lo que le genere mayor rentabilidad para los negocios y si hay herramientas que generen menos gasto de hora hombre, de todas maneras, lo adquirirán.	Es un poco complicado, debido a la alta inversión en licencias y personal calificado que toma elaborar una propuesta económica. Hasta ahora solo lo he visto en constructoras TOP del mercado, teniendo en cuenta que las propuestas se ganan casi en un 100% por el precio y no por alguna innovación que propongas; los grandes clientes no suelen tomar en cuenta esto último.	Sí, creo que las empresas peruanas arriesgarían a nuevas tecnologías, debido a que el sector construcción está en constante cambio, y estos cambios vienen acompañados de la tecnología. Una empresa debe buscar la innovación tecnológica, para poder optimizar los tiempos de cálculo, hacer eficiente el trabajo, y brindar una mejor información. Con estas nuevas herramientas, se diferenciará del sector construcción y así poder posicionarse como el mejor en su sector.
¿Genera valor el uso de modelos paramétricos 3D y que éste esté enlazado directamente con un modelo 5D? ¿Por qué?	Sí, poder presupuestar los proyectos observando el modelo en 3D ayuda a identificar todos los recursos que se necesitan para la elaboración del presupuesto. Además,	Sí, evitaría estar exportando información hacia otros programas. Esto reduciría el tiempo de elaboración de una propuesta y la cantidad de	Por supuesto, debido a que genera una trazabilidad en la información de los modelos y así poder tener un modelo paramétrico con toda la información necesaria para iniciar un proyecto. Es muy importante poder tener este enlace ya

	<p>obteniendo data de tiempo ayuda a costear las partidas que están directamente relacionadas con la duración del proyecto.</p>	<p>personal a cargo de su elaboración. Generaría más valor aún si se desarrolla como software libre, en especial con pequeñas y medianas empresas que no pueden solventar el uso de programas como AutoCad, Revit, Project y S10.</p>	<p>que así genera mayor eficiencia al buscar resultados de cada elemento o actividad.</p>
<p>¿Indicarías que los datos obtenidos por nuevas tecnologías tal como el programa, modelo paramétrico 5D, son confiables? ¿Por qué?</p>	<p>Como todo software, es una herramienta, la persona que la opera debe ser capaz de identificar los posibles errores en la obtención de la data. Si ingresas la información correcta al software, sin dejar nada suelto; entonces los resultados deben ser confiables. Creo que es una herramienta útil que agiliza la elaboración del presupuesto, todo depende de la persona que lo opere.</p>	<p>Es difícil responder eso en este momento, tendría que utilizar el programa y compararlo con los resultados obtenidos en obra.</p> <p>No debería tener problemas para la construcción del casco en un edificio multifamiliar.</p>	<p>La confiabilidad se basa en la mínima ausencia de errores, por lo tanto, no podría indicar que los datos obtenidos con el programa sean confiables, debido a que se necesitaría una mayor estadística de los resultados obtenidos, teniendo dos posibles causas de errores, el mal uso del programa por parte del usuario, y el cálculo erróneo que pueda generar el programa.</p>
<p>¿De acuerdo a lo presentado, las tecnologías, como este software, son más eficaces y óptimas que la manera tradicional para realizar la gestión de costos (metrados, presupuesto y calendario valorizado)? ¿Por qué?</p>	<p>Si, pues nos ahorra el tiempo en repetir los procesos para la obtención de los metrados, APU's y el cronograma del proyecto. Con un solo ingreso de la información podemos obtener los tres a la vez.</p>	<p>Al parecer sí, para un edificio multifamiliar con plantas típicas.</p>	<p>Correcto, debido a que reduce las actividades que se necesitaría para obtener los resultados, si es que se hiciera de la manera tradicional.</p>

<p>¿Recomendarías el uso de nuevas tecnologías como este software, en su trabajo? ¿Por qué?</p>	<p>Si, para la etapa de licitaciones es excelente, se elabora los presupuestos en poco tiempo y obteniendo datos que para la etapa de construcción sirve.</p> <p>Además, se puede ver que el programa puede ser fácilmente auditable, guarda la trazabilidad de la elaboración del proyecto.</p>	<p>Sí, porque se avanzaría bastante rápido con los metrados, se tendría listo una vez culminado los planos. Metrar puede tomar 2 semanas del plazo de licitación, es muy común iniciar la elaboración de la propuesta sin contar con metrados, debido a lo corto del plazo. El BIM ayuda bastante en detectar errores e incompatibilidades entre las otras especialidades.</p>	<p>Si lo recomendaría, debido a que este programa mejora el rendimiento del usuario final (que es el objetivo principal), además, este programa como cualquier otro, podría evolucionar a un mejor nivel, pudiendo engranar con los distintos programas que se usan en el mercado, teniendo quizás así una nueva herramienta tecnológica (BIM) en el mercado peruano.</p>
<p>¿Qué tecnologías utilizas actualmente para el modelado BIM?</p>	<p>Revit, Navisworks</p>	<p>No utilizo actualmente</p>	<p>Revit y Navisworks</p>
<p>¿Qué software utiliza actualmente para generar su presupuesto y calendario valorizado?</p>	<p>S10, MS Project y Excel</p>	<p>S10, MS Project y Excel</p>	<p>S10, MS Project y Excel, Revit</p>

Tabla 3. Resultados de encuesta.

4.7.2. Comentarios de las entrevistas

Según lo mencionado anteriormente por los entrevistados, el add-in desarrollado cuenta con un interfaz amigable, práctico y fácil de usar, debido a que se ha optimizado los pasos previos de cada actividad, con comandos directos enfocados a objetivos específicos. Además, mencionan que las empresas deben adaptarse y aceptar cualquier innovación tecnológica con el fin de buscar rentabilidad y mejorar el rendimiento de los miembros del equipo. Sin embargo, resaltan la

necesidad de contar con personas capacitadas y especializadas en el dominio de nuevas tecnologías con el fin de que los resultados sean confiables y de esta manera reducir el margen de error.

Cabe mencionar que los entrevistados resaltan que es mejor experimentar con nuevas tecnologías que reducen los procesos y actividades que se necesitaría para obtener los resultados, si es que se hiciera de la manera tradicional. Por ello, recomiendan el uso de nuevas tecnologías, en edificaciones multifamiliares, con el fin de diferenciarse del sector construcción y así poder posicionarse como el mejor en su rubro. Ya que las tecnologías que gobiernan el mercado peruano para el modelamiento en 3D, planificación y costos son el Revit, Navisworks y S10.



CAPITULO 5: LECCIONES APRENDIDAS Y CONCLUSIONES

BIM permite obtener metrados de una manera más exacta si se tiene bien definidos los procesos y se tiene un estándar de modelado. Esto significa que durante el proceso de modelado los involucrados deben tener claro la utilidad del modelo, lo cual implica contar con un equipo capacitado en el uso de software y un equipo de análisis para la verificación de resultados.

El enlace de los elementos de un modelo BIM con información de costos se puede lograr fácilmente con el uso de programas que trabajen con una base de datos. En la tesis se usó el manejo de una base de datos con un servidor propio dentro de una computadora, pero esto se puede extender a una organización con un servidor empresarial donde se pueda manejar de manera óptima los recursos y sus precios. Es necesario mencionar que existen múltiples formas de conectar esta base de datos de costos con los elementos de un modelo BIM como es el caso de trabajar con ODBC o convertir el modelo en un formato IFC de manera que se puedan trabajar modelos de diferentes software.

Una de las limitaciones de la presente tesis es presupuestar y controlar en el tiempo las partidas de elementos no tangibles como es el caso de los costos indirectos. Si bien es cierto hay herramientas actuales que permiten agregar estos costos de manera manual pero no permite ser controlado de manera interactiva con el modelo del proyecto.

Durante el proceso de realización de caso de estudio se tuvo muchas limitaciones basadas en los recursos de personal y el tiempo. Durante la etapa de licitación los proyectos deben ser presupuestados en plazos muy ajustados y es complicado elaborar un proyecto BIM cumpliendo esos plazos. Para poder cumplir esos plazos fue necesario modificar el plan de gestión de la data obtenida del modelo. La creación de la herramienta fue un punto a favor ya que equilibró el tiempo total de la creación del presupuesto y calendario valorizado disminuyendo drásticamente la

administración de la información, lo cual permitió al equipo tener el tiempo necesario para desarrollar un trabajo de modelado mejor.

La parte fundamental para poder crear un modelo que permita obtener información correcta de estimación de costos es la correcta asignación de valores en parámetros o cajas de información y respetando los criterios constructivos.

Una de las limitaciones del mercado es que ninguna empresa peruana ofrece obtener metrados de las especialidades de arquitectura e instalaciones. Esto se debe fundamentalmente por el nivel de detalle que es necesario para cuantificar estas partidas.

El metrado de acero mediante el uso de ratios es una herramienta eficaz cuando el plazo es muy corto y no se puede llegar a cumplir si se llega a modelar a detalle el acero de cada elemento. Hay empresas en el mercado que ofrecen el metrado exacto de acero con sus respectivos detalles, pero con plazos muy holgados que solo sirven durante la ejecución del proyecto.

La simulación virtual del proceso constructivo del proyecto permitió tener una visualización general y acertada de la programación planteada del proyecto. Estas simulaciones son de gran ayuda para tener una base para la etapa de planificación detallada (Look Ahead) durante la ejecución.

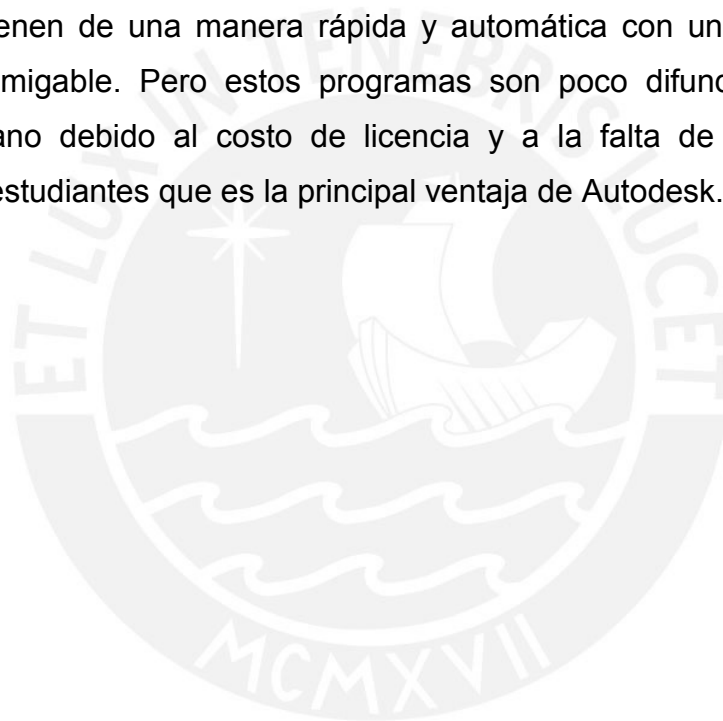
Contar con elementos en tres dimensiones de elementos paramétricos permite crear un ambiente óptimo al momento de verificar los resultados. Estos parámetros establecen reglas de relaciones con los elementos cambiando totalmente el análisis de resultados al ser comparados con la forma tradicional con planos en CAD.

La generación de filtros y plantillas de visualización resultó ser una de las herramientas más usadas durante la creación del modelo. Filtros de elementos, filtros por niveles y sistemas de clasificación ayudó a generar un espacio de trabajo más organizado donde el modelador podía activar y desactivar distintos

conjuntos de objetos. Esto hizo posible que se reduzca en un 30% las HH necesarias.

Según los resultados de las encuestas la preocupación principal del área de presupuesto es la poca cantidad de personal capacitado para el manejo de software BIM.

Durante el proceso de búsqueda de información se encontró que existen otros programas como VICO office para la gestión de costos. Dichos software tienen la capacidad de ofrecer dentro de su plataforma, la gestión y planificación de costos la cual se obtienen de una manera rápida y automática con un interfaz para el usuario más amigable. Pero estos programas son poco difundidos dentro del mercado peruano debido al costo de licencia y a la falta de ofrecimiento de licencias para estudiantes que es la principal ventaja de Autodesk.



Bibliografía

1. Autodesk. (2015). *Que es BIM*. Recuperado de <http://www.autodesk.com/solutions/building-information-modeling/overview>
2. Autodesk. (2017). *Qex Quantificaciones Express*. Recuperado de <https://apps.autodesk.com/RVT/es/Detail/Index?id=8720783835968913916&appLang=es&os=Win64>
3. Bounduel, Mathias. (2016). *Bim workflow for mechanical ventilation design*.
4. Gamarra, Rodolfo. (2006). *Curso de capacitacion para costos y Presupuestos*. Moquegua: Perú.
5. Kensek, K. (2014). *Integration of Environmental Sensors with BIM: case studies Using Arduino, Dynamo, and the Revit API*. Informes de la Construcción, 66(536), p.e044.
6. Kron, Z. (2013). *Autodesk University - Dynamo: Visual Programming for Design*.
7. Loayza, Juan y Hernandez Alex. (2012). *Plan Integral, Control, Construcción y Análisis Técnico Ejecutado en un Centro Comercial Mall en Arequipa*. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima.
8. McNamara, Andy. (2016). *A methodological approach to support building life cycle analysis - an example touse revit-apis* (tesis de maestria). National University of Ireland, Irlanda.
9. Moreno, Jorge. (2016). *Implementación del sistema s10 en la empresa Criera Ecuador S.A.* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito.
10. National Institute of Building Sciences. (2009). *National Building Information Modelling Standard*. EEUU: National Institute of Building Sciences.
11. Picó, Coloma. (2008). *Introducción de la tecnología BIM*.
12. Picó, Coloma (2011). *Tecnología BIM per al disseny arquitectonic* (tesis doctoral). Univ. Politècnica de Catalunya, España.

13. Presto. (2017). *Qué es Presto*. Recuperado de <http://www.rib-software.es/presto.html>
14. Project Management Institute. (2013). *PMBOK Project Management Body of Knowledge*. Pennsylvania: USA: Fifth Ed.
15. Roldan, M., Martin, N. y De la Torre Cantero, J. (2012). *TECNOLOGÍA BIM: Del dibujo literal al dibujoparamétrico*.
16. Schiffer, Stefan. (1998). *Visuelle Programmierung: Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten*. München: Addison-Wesley.
17. Sgambelluri, M. (2015). *Simply Complex: WHAT IS DYNAMO?* Recuperado de <http://therevitcomplex.blogspot.co.uk/2015/01/what-is-dynamo.html>
18. Spin Soluciones en Ingeniería. (2017). *Qué es DYNAMO en BIM*. Recuperado de <http://spiningenieros.com/actualidad-bim/que-es-dynamo-en-bim/>
19. S10peru. (2017). *Software/Presupuestos*. Recuperado de <http://www.s10peru.com/presupuestos.html>
20. Murguia y Brioso (2017) Using “Choosing by Advantages” and 4D Models to Select the Best Construction-Flow Option in a Residential Building. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817330990>
21. Tjell, Janni. (2010). *Building Information Modeling (BIM) - in Design Detailing with Focus on Interior Wall Systems (tesis de maestría)*. University of California Berkeley, California.
22. Vico software. (2017). *Vico Office Suite*. Recuperado de <http://www.vicosoftware.com/products/Vico-Office>
23. Vogt, T. (2016). *Current application of graphical programming in the design phase of a BIM project: Development opportunities and future scenarios with 'Dynamo'* (tesis de maestría). University of Northumbria at Newcastle, Inglaterra.
24. Ulloa, Karem y Salinas José. (2013). *Mejoras en la implementación de BIM en los procesos de diseño y construcción de la empresa marcan* (tesis de maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

25. U.S. General Services Administration. (2007). *BIM Guide Series*.

