

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM
en un proyecto constructivo**

Trabajo Final de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Irene Campos Salazar

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano, MBA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

la utilización del presente trabajo en la Universidad de
Cecilia Restrepo, a la vez, divulgador



Director: Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano, MBA.



Asesor: Ing. Erick Mata Abdelnour, Ph.D.

Robert Anglin Fonseca.

Asesor: Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc.



Estudiante: Irene Campos Salazar

Fecha: 2019, mayo, 10

La suscrita, Irene Campos Salazar, cédula 5-0394-0950, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B11404**, manifiesta que es autora del Trabajo Final de Graduación **Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo**, bajo la Dirección del **MBA. Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta Ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

A mi mamá Elvira, por el tiempo que le robé.

A mi papá Rigo, por creer que soy valiente.

A mi mamá, mi papá y mi tía Marta por su apoyo infinito e incondicional.

A mis hermanos: Alex, Rigo, Bernal y Marcos, por su fe en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi director y asesores los ingenieros Gustavo Ruiz, Erick Mata y Robert Anglin por su colaboración en este trabajo.

Al Ing. Rodrigo Romero por su guía, apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A Eduardo, por su amor, paciencia y apoyo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	1
1.1.1. Problema específico	1
1.1.2. Importancia	2
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Delimitación del problema.....	4
1.3.1. Alcances	4
1.3.2. Limitaciones.....	5
1.4. Metodología.....	6
1.4.1. Etapa 1: Investigación teórica.....	6
1.4.2. Etapa 2: Desarrollo de Guía para la Creación del Modelo BIM 5D	6
1.4.3. Etapa 3: Aplicación del modelo 5D al proyecto constructivo real	8
1.4.4. Etapa 4: Comprobación de funcionamiento de la guía de implementación del modelo 5D	8
1.4.5. Etapa 5: Comparación del modelo 5D con la forma tradicional.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Building Information Modelling (BIM).....	9
2.2. Modelo 5D.....	10
2.3. Estructura de Desglose de Trabajo (EDT).....	11

2.4.	Unifomat.....	11
2.5.	Masterformat.....	12
2.6.	Base de datos.....	13
2.7.	Obra gris.....	13
2.8.	Requisitos de elaboración de un modelo 3D para utilizarlo en modelo 5D.....	13
2.9.	Requisitos de revisión de un modelo 3D para utilizarlo en un modelo 5D	17
2.10.	Forma tradicional de presupuestar	21
2.11.	Indicador de gestión	21
2.12.	Modelado del acero de refuerzo	22
CAPÍTULO 3. GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA QUINTA DIMENSIÓN DEL BIM		24
3.1.	Asignación de códigos únicos	25
3.2.	Publicación del modelo 3D a Vico desde Revit.....	28
3.3.	Procedimiento de cuantificación en Vico.....	29
3.4.	Procedimiento de estimación en WinEst	32
3.4.1.	Creación de un documento nuevo en WinEst con base de datos	32
3.4.2.	Actualización del modelo en los diferentes programas.....	35
3.4.3.	Exportación de cantidades de Vico a WinEst	36
3.4.4.	Establecimiento de enlaces entre Vico y WinEst.....	38
3.4.5.	Estimación en WinEst.....	41
3.5.	Diagrama de flujo de Guía BIM 5D.....	42
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE LA GUÍA AL EDIFICIO DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO REAL		44
.....		44
4.1.	Descripción del proyecto constructivo real	44
4.2.	Resultados obtenidos de cuantificación de cantidades en Vico.....	44
4.3.	Resultados obtenidos de estimación de costos en WinEst	52
4.3.1.	Resultados obtenidos de estimación de áreas y volúmenes en WinEst.....	52
4.3.2.	Resultados obtenidos de estimación costos en WinEst	56
4.4.	Comprobación de funcionamiento de guía de implementación.....	59

4.4.1.	Verificación de inclusión de elementos de obra gris	59
4.4.2.	Revisión de precisión de la estimación mediante BIM 5D.....	60
CAPÍTULO 5. COMPARACIÓN DEL MODELO 5D CON LA FORMA TRADICIONAL DE PRESUPUESTAR		62
5.1.	Productos obtenidos mediante forma tradicional de presupuestar.....	62
5.1.1.	Productos obtenidos del proceso de cuantificación.....	62
5.1.2.	Productos obtenidos del proceso de estimación.....	62
5.2.	Productos obtenidos del modelo 5D	67
5.2.1.	Productos obtenidos del proceso de cuantificación.....	67
5.2.2.	Productos obtenidos del proceso de estimación.....	70
5.3.	Ventajas de presupuestar de forma tradicional	75
5.4.	Ventajas de presupuestar con el modelo 5D	75
5.5.	Desventajas de presupuestar de forma tradicional	77
5.6.	Desventajas de presupuestar con el modelo 5D	77
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
6.1.	Conclusiones	78
6.2.	Recomendaciones	79
FUENTES DE CONSULTA.....		81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de metodología utilizado en el trabajo final de graduación: Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo.	7
Figura 2. Diagrama de composición del BIM	10
Figura 3. Guía de modelado de columnas.	15
Figura 4. Guía de modelado vigas.	15
Figura 5. Guía para modelado de losas.	16
Figura 6. Guía de modelado de paredes o muros	16
Figura 7. Columna modelada de manera que traspasa la losa de entrepiso.	17
Figura 8. Columna ubicada debajo de losa luego de realizarse la corrección.	18
Figura 9. Muros de concreto, modelados de manera tal que traspasan la losa de entrepiso.	18
Figura 10. Muros de concreto no traspasan el entrepiso, luego de realizar la corrección.	19
Figura 11. Capitel modelado de manera que atraviesa la losa de entrepiso.	19
Figura 12. Capitel no atraviesa la losa de entrepiso como producto de la corrección realizada	20
Figura 13. Acercamiento de columna y muro en la que se observa una interferencia.	20
Figura 14. Acercamiento de columna y muro sin interferencia	20
Figura 15. Ejemplo de lista de acero de refuerzo como guía de fabricación de armadura	23
Figura 16. Diagrama de flujo de implementación de programas.	25
Figura 17. Menú Propiedades de la columna C21 en Revit	26
Figura 18. Ventana de Propiedades de tipo de columna C21	27
Figura 19. Ventana de selección de código de montaje.	27
Figura 20. Ventana de propiedades con el Código de montaje actualizado.	27
Figura 21. Ventana llamada <i>My Dashboard</i> donde se ubican los proyectos creados en Vico	29
Figura 22. Ventana para publicar el modelo desde Revit a Vico	29
Figura 23. Apertura de un proyecto en Vico.	30
Figura 24. Menú 00 - Vico Office	31
Figura 25. Ventana <i>Document Controller</i> para activación del modelo 3D en Vico.	31
Figura 26. Menú horizontal en la parte superior de la interfaz de Vico.	31
Figura 27. Selección de elementos que se desea cuantificar	31
Figura 28. Cuantificación de los elementos del modelo en Vico.	32
Figura 29. Ubicación del botón "Add" en la interfaz de WinEst.	33

Figura 30. Selección de elemento vigas según <i>Uniformat</i>	33
Figura 31. Elección de concreto y bombeo para las vigas.....	34
Figura 32. Componentes a definir de las vigas	34
Figura 33. Vigas y sus componentes provenientes de la base de datos de WinEst.....	35
Figura 34. Ventana Document Controller en la que está activada la versión V13 del modelo	36
Figura 35. Ventana <i>Document Controller</i>	36
Figura 36. Ventana de vista de WinEst en Vico	37
Figura 37. Menú Acciones de WinEst.....	37
Figura 38. Ventanas <i>Takeoff Manager</i> y <i>WinEst Takeoff Palette</i>	37
Figura 39. Volumen de concreto y área de superficie enlazados entre las ventanas <i>Takeoff Manager</i> y <i>WinEst Takeoff Palette</i>	38
Figura 40. Mensaje de enlace guardado	39
Figura 41. Reporte de enlaces guardados.....	40
Figura 42. Cantidades de componentes de vigas en la ventana WinEst View de Vico	40
Figura 43. Cantidades de componentes de vigas en WinEst	40
Figura 44. Tabla de estimación de costos en WinEst de vigas de entrepiso.....	41
Figura 45. Menú principal de interfaz de WinEst.....	42
Figura 46. Ventana de elección de filtros de información	42
Figura 47. Tabla resumen de estimación total de costos en WinEst.....	42
Figura 48. Diagrama de flujo de Guía BIM 5D	43
Figura 49. Modelo 3D de Revit del Edificio 1 del proyecto constructivo real	44
Figura 50. Tabla resumen de cuantificación de los elementos existentes en el modelo 3D	45
Figura 51. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las vigas de entrepiso.....	46
Figura 52. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las vigas de fundación	46
Figura 53. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las columnas.....	47
Figura 54. Tabla de datos geométricos y dimensionales de los entrepisos de concreto postensado.....	47
Figura 55. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las losas flotantes	48
Figura 56. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las placas aisladas de fundación	48
Figura 57. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las placas corridas de fundación	49
Figura 58. Tabla de datos geométricos y dimensionales del contrapiso	49

Figura 59. Tabla de datos geométricos y dimensionales de los muros internos de concreto	50
Figura 60. Tabla de datos geométricos y dimensionales de los muros de retención de concreto.....	50
Figura 61. Tabla de datos geométricos y dimensionales del muro no estructural de mampostería	51
Figura 62. Tabla de datos geométricos y dimensionales del entrepiso de losa densa	51
Figura 63. Tabla resumen de cantidades de áreas o volúmenes de concreto para cada elemento, en WinEst	52
Figura 64. Ventana de WinEst para elección del tipo de concreto requerido para el contrapiso	53
Figura 65. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las placas aisladas de fundación	53
Figura 66. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las placas corridas de fundación	53
Figura 67. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las vigas de fundación.....	54
Figura 68. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las losas flotantes.....	54
Figura 69. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las columnas.....	54
Figura 70. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a los entrepisos de concreto postensado	54
Figura 71. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las vigas de entrepiso	55
Figura 72. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a los muros de concreto	55
Figura 73. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a la pared de mampostería no estructural.....	55
Figura 74. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a los muros de retención de concreto	55
Figura 75. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente al contrapiso	55
Figura 76. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente al entrepiso de losa densa	56

Figura 77. Resultado de estimación de costos de placas aisladas mediante BIM 5D.....	56
Figura 78. Resultado de estimación de costos de placas corridas mediante BIM 5D.....	57
Figura 79. Resultado de estimación de costos de vigas de fundación mediante BIM 5D ..	57
Figura 80. Resultado de estimación de contrapiso mediante BIM 5D.....	57
Figura 81. Resultado de estimación de costos de losa de fundación mediante BIM 5D....	57
Figura 82. Resultado de estimación de muros de retención de concreto mediante BIM 5D	57
Figura 83. Resultado de estimación de costos de muros de concreto mediante BIM 5D ..	58
Figura 84. Resultado de estimación de costos de columnas mediante BIM 5D	58
Figura 85. Resultado de estimación de costos de vigas de entrepiso mediante BIM 5D...	58
Figura 86. Resultado de estimación de costos de entrepisos postensados mediante BIM 5D	58
Figura 87. Resultado de estimación de costos de pared de mampostería no estructural mediante BIM 5D	58
Figura 88. Resultado de estimación de costos de losa densa mediante BIM 5D.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de códigos <i>Unifomat</i> utilizados en el Trabajo Final de Graduación..	28
Cuadro 2. Resumen de costos estimados según elemento y costo total mediante BIM 5D	59
Cuadro 3. Comparación de costos por metro cuadrado de diferentes edificios	60
Cuadro 4. Extracto de hoja de cálculo utilizada por el equipo de presupuesto.....	62
Cuadro 5. Resumen de cantidades de obra gris obtenidas mediante la forma tradicional de presupuestar.	63
Cuadro 6. Valores de volumen de columnas y muros de concreto por separado calculados de forma tradicional.	63
Cuadro 7. Resumen de estimación de costos de placas aisladas mediante forma tradicional	63
Cuadro 8. Resumen de estimación de costos de placas corridas mediante forma tradicional	64
Cuadro 9. Resumen de estimación de costos de vigas de fundación mediante forma tradicional	64
Cuadro 10. Resumen de estimación de costos de losa de fundación mediante forma tradicional	64
Cuadro 11. Resumen de estimación de costos de muros de retención mediante forma tradicional	65
Cuadro 12. Resumen de estimación de costos de muros y columnas mediante forma tradicional	65
Cuadro 13. Resumen de estimación de costos de contrapiso mediante forma tradicional	65
Cuadro 14. Resumen de estimación de costos de vigas de entrepiso mediante forma tradicional	66
Cuadro 15. Resumen de estimación de costos de losas de entrepiso postensado mediante forma tradicional.....	66
Cuadro 16. Resumen de estimación de costos de pared de mampostería mediante forma tradicional	66
Cuadro 17. Resumen de estimación de costos de losa densa de entrepiso mediante forma tradicional	67
Cuadro 18. Resumen de costos por elemento y costo total estimados por forma tradicional	67
Cuadro 19. Resumen de cantidades de obra gris obtenidas mediante el modelo BIM.	68

Cuadro 20. Valores de volumen de columnas y muros de concreto por separado calculados con la guía BIM 5D.....	68
Cuadro 21. Comparación de los valores de volumen de columnas y muros entre las 2 metodologías.....	68
Cuadro 22. Comparación entre las áreas y los volúmenes obtenidos por la forma tradicional y la metodología BIM 5D.....	70
Cuadro 23. Resumen de estimación de costos de placas aisladas mediante guía BIM 5D	70
Cuadro 24. Resumen de estimación de costos de placas corridas mediante guía BIM 5D	71
Cuadro 25. Resumen de estimación de costos de vigas de fundación mediante guía BIM 5D	71
Cuadro 26. Resumen de estimación de costos de losa de fundación mediante guía BIM 5D	71
Cuadro 27. Resumen de estimación de costos de muros de retención mediante guía BIM 5D	72
Cuadro 28. Resumen de estimación de costos de muros y columnas mediante guía BIM 5D	72
Cuadro 29. Resumen de estimación de costos de vigas de entrepiso mediante guía BIM 5D	72
Cuadro 30. Resumen de estimación de costos de contrapiso mediante guía BIM 5D.....	73
Cuadro 31. Resumen de estimación de costos de losas de entrepiso postensado mediante guía BIM 5D	73
Cuadro 32. Resumen de estimación de costos de losa densa de entrepiso mediante guía BIM 5D	73
Cuadro 33. Resumen de estimación de costos de pared de mampostería mediante guía BIM 5D	74
Cuadro 34. Resumen de costos por elemento y costo total estimados por guía BIM 5D ..	74
Cuadro 35. Tiempos invertidos en actividades de guía BIM 5D y tiempo total de estimación.....	75

Campos Salazar, Irene.

Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo.

Trabajo final de graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

I. Campos S., 2019

xii, 83; ils. col. – 29 refs.

RESUMEN

Se propuso desarrollar una guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (5D) de un proyecto constructivo, mediante la utilización del Modelado de Información de la Construcción (BIM).

El desarrollo de la guía se llevó a cabo en 5 etapas, la primera estuvo constituida por una investigación teórica de estudios BIM a nivel internacional. En la segunda etapa se desarrolló la guía para la creación del modelo BIM 5D. En la tercera etapa se aplicó la guía a un modelo existente de un proyecto real y en la cuarta etapa se comprobó el funcionamiento. Por último, en la quinta etapa se hizo una comparación entre los productos obtenidos por la guía BIM 5D y los productos obtenidos mediante la forma tradicional de presupuestar.

Se determinó con el estudio que la guía BIM 5D es un proceso más eficiente que la forma tradicional de presupuestar pues lleva a cabo la cuantificación de cantidades de elementos y materiales en menos tiempo. También es un proceso más preciso pues el costo estimado por metro cuadrado de obra gris es más cercano al del proyecto constructivo real. La diferencia que hace que la guía BIM 5D sea más eficiente y precisa que la forma tradicional es la cuantificación de elementos y materiales hecha en el modelo 5D y no la estimación de costos. Los productos generados por el modelo BIM 5D pueden utilizarse en otras etapas del proyecto constructivo y no solo en diseño y pre-construcción.

BIM; MODELO 5D; UNIFORMAT; MASTERFORMAT; CUANTIFICACIÓN; ESTIMACIÓN DE COSTOS.

Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano, MBA.

Escuela de Ingeniería Civil

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

1.1.1. Problema específico

El Modelado de Información de la Construcción (BIM, por sus siglas en inglés), se puede definir como la gestión de la información del diseño de una obra a lo largo de su ciclo de vida, es decir desde su diseño conceptual hasta su administración (Enshassi & AbuHamra, 2016). Según Wang citado en Enshassi y AbuHamra (2016), este ciclo se divide en 5 aplicaciones llamadas dimensiones, donde la primera de ellas es 3D, que se refiere al ámbito espacial de la obra al modelar la altura, el largo y el ancho de los elementos que la componen. La segunda es 4D que asocia el modelo 3D con el cronograma de ejecución de actividades. La tercera es 5D, la cual engloba el modelo 3D y/o 4D y los costos ligados a las actividades, lo que permite realizar la estimación de costos. La cuarta aplicación es 6D que conecta la 5D con la realidad del sitio de construcción y permite conocer la localización y elevación exactas de cada elemento, aunque otros autores como Herrera (2017) y Morales (2017) asocian esta dimensión con la sostenibilidad del proyecto. Finalmente, la última aplicación es la 7D que monitorea las instalaciones a lo largo de su ciclo de vida.

No obstante, según Notariano (2015) la utilización de BIM se limita, comúnmente, al modelado en 3D de la obra a construir y deja de lado las demás aplicaciones. En el caso de la poca implementación de la aplicación 5D se debe a que, no se tiene suficiente información pública en el país sobre cómo ejecutarla de la mejor manera, por ejemplo, se tienen problemas a la hora de establecer conexiones entre BIM y los programas de estimación de costos. Y este problema se da ya que cada empresa que utiliza 5D de BIM lo hace de manera privada e independiente, es decir no comparte sus avances y hallazgos públicamente.

Este no es problema característico de Costa Rica, también sucede en otros países. Por ejemplo, en Estados Unidos de América existen muchos métodos para vincular las cantidades del modelo con los programas de estimación de costos, sin embargo, cada empresa determina su propio método de forma que este sea el que mejor se amolde a su situación y por lo tanto no existe un estándar que toda la industria pueda seguir (Reinhardt, 2010).

Por tanto, hacía falta una investigación en este campo que ayude con el proceso de aprendizaje en materia del uso de la aplicación, con el fin de beneficiar a toda la industria constructora. Por esta razón, en este trabajo final de graduación se elaboró una guía que

le permita al usuario de BIM implementar la quinta dimensión, lo que implica extraer datos del modelo 3D y enlazar esa información a un programa de estimación de costos, para tener como resultado la estimación de costos de la obra gris del proyecto. Además, la aplicación permitiría que en caso de que ocurran cambios en el diseño del modelo 3D, la estimación de costos pueda actualizarse. En fin, lo que se buscaba es que el usuario pudiera obtener mayor provecho del modelo BIM y no solo la visualización 3D.

1.1.2. Importancia

Todos los proyectos constructivos requieren de la estimación de costos, esto permite tener en cuenta los gastos en los que incurrirá la constructora en materiales, mano de obra, equipo, entre otros, según sea la actividad, lo cual tiene como resultado la elaboración del presupuesto del proyecto que responde a una estimación del costo aproximado de la obra total.

La metodología BIM permite la estimación de costos a partir del modelo 3D y su conexión con uno o varios programas de estimación de costos, tal vínculo tendrá como resultado el modelo 5D de BIM. Con esto es posible obtener retroalimentación sobre el costo de la obra más rápidamente y que el diseñador pueda ajustarse al presupuesto determinado por el propietario, ya que se pueden hacer modificaciones en el diseño y ver los cambios ocasionados en los costos.

Es necesario realizar investigaciones que permitan descubrir y aprovechar las funciones de la tecnología 5D de BIM ya que, además, la aplicación 5D de BIM promueve la interoperabilidad ya que permite una mejor interacción entre las disciplinas implicadas en el proyecto constructivo lo que tiene como resultado que las diferentes partes aporten sus recomendaciones y observaciones acerca del proceso de construcción. Además, un aporte como este, promueve el aumento de la integración de un modelo, ya que es un paso más en el aprovechamiento de este para su utilización en las demás dimensiones del BIM.

En este trabajo se generó una guía que permite al usuario de BIM crear un modelo 5D del proyecto constructivo, mediante la manipulación de la información disponible del modelo 3D y la estimación de costos. Se espera que la guía sea un aporte al área de la construcción y un valor agregado para el especialista en el uso de BIM, ya que en Costa Rica no existe una metodología como tal ni una interpretación de los principios de la aplicación 5D, en manos del uso público.

1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

En el ámbito nacional se han hecho investigaciones sobre las cualidades de la tecnología BIM, entre ellas se pueden mencionar algunos de los trabajos finales de graduación de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, por ejemplo: "Modelado de Información de Edificios como herramienta en la programación de obra y mejoramiento de la constructibilidad" de Leonardo Chonkan Líos (2016), "Modelado de un edificio habitacional utilizando la herramienta BIM para la cuantificación de elementos de construcción" de Luis González Navarro (2015) e "Implementación del Modelado de Información de la Edificación (BIM) para detectar diferencias entre diseños de profesionales y facilitar el proceso constructivo" de Aisha Vargas Siles (2015).

A pesar de que el uso de BIM no es una práctica común, sí ha habido una creciente adopción en el uso de esta tecnología por empresas constructoras y, en lo que concierne a este trabajo, un aumento de interés por el modelado 5D. Lo anterior es parte de la creciente investigación sobre el modelado 5D, como por ejemplo lo que expone Lin (2013) en su tesis, la cual básicamente tenía como objetivo elaborar un estudio piloto para crear un pronóstico de flujo de caja usando la tecnología 5D de BIM y compararlo contra un flujo de caja ya planeado, lo que tuvo como conclusión que el pronóstico de flujo de caja alcanzado en BIM era más preciso.

Además, el interés por la implementación de BIM trasciende continentes, como en el caso del artículo publicado por los profesores Enshassi y AbuHamra (2016) de la Universidad Islámica de Gaza, en el cual concluyen que se recomienda la educación y formación entre ingenieros y arquitectos con el fin de aumentar la concientización y el interés en BIM. También recomiendan a Universidades y Colegios de Ingenieros promover la adopción de BIM al impartir cursos y talleres acerca de las funciones de BIM y su aplicación en la construcción.

Por otro lado, la tesis de Baker et al (2012) utilizó el Modelado de Información de la Construcción para revisar la constructibilidad de un Centro de Recreación en Massachusetts (Estados Unidos de América) y para desarrollar un modelo 5D de las fundaciones, la estructura y la fachada.

La tesis de maestría de Alsharqawi (2016) trata sobre el uso de la tecnología 5D del Modelado de Información de la Construcción en una estrategia de planificación de costos en la fase de licitación, donde los resultados a partir de un caso de estudio sugieren que la planificación de costos con el modelo 5D de BIM genera ventajas en el proceso de licitación

a partir de una mejor visualización del modelo del edificio, una temprana identificación de riesgos, estimación de costos más precisa y rápida, y mayor colaboración entre el grupo de trabajo del proyecto.

Todos los trabajos antes mencionados son prueba de un creciente interés en investigar los alcances de BIM por parte de la industria de la construcción y la necesidad que esta tiene por su implementación, donde también es el caso de instituciones académicas relacionadas al área de la construcción y el diseño.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (5D) de un proyecto constructivo con el fin de sistematizar el proceso de cálculo del costo, mediante la utilización del Modelado de Información de la Construcción (BIM).

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Definir enlaces entre los programas Revit, Vico y WinEst mediante la asignación de nomenclatura *Uniformat* a cada elemento.
- b) Comprobar el funcionamiento correcto de la guía de implementación del Modelo 5D a partir de su aplicación en el proyecto constructivo real.
- c) Comparar la guía propuesta con la forma tradicional de presupuestar sin BIM, mediante el uso de indicadores de gestión.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Alcances

A pesar de que BIM permite modelar un proyecto constructivo hasta la séptima dimensión, este estudio solo abarcó hasta la quinta y para esta es que se hizo la guía de implementación para el usuario de BIM.

Este trabajo partió de un modelo 3D (existente) de un edificio de un proyecto constructivo real, por lo tanto, la guía será aplicable específicamente a edificaciones similares, aunque no se descarta su utilidad en otro tipo de proyectos constructivos. Además, el modelado 5D abarcó solamente las actividades de obra gris ya que esta constituye la mayor parte del

total del proyecto y porque según Romero (2018), la mayoría de las empresas constructoras, que realizan proyectos similares al que en este caso se estudia, solo ejecutan la obra gris mientras que las demás áreas de proyecto son subcontratadas por un monto fijo el cual no genera diferencia alguna en la estimación de costos de la empresa.

No se modeló el acero de refuerzo de los elementos de obra gris pues constituye una gran cantidad de tiempo y esfuerzo que en realidad no aporta mayor beneficio en la realización de la quinta dimensión del BIM. Las razones que dieron pie a esta decisión se explican más adelante en el Marco teórico.

La guía planteada tiene como fin dirigir al usuario de BIM paso a paso en la puesta en práctica de un modelo 5D de BIM, es decir que le sea posible integrar el modelo 3D y los costos asociados a las actividades del proyecto, por consiguiente, estimar los costos de la obra y darle seguimiento mediante indicadores de gestión.

Asimismo, con la estimación de los costos a partir de la guía y los indicadores de gestión se comprobó el funcionamiento correcto de la guía.

Por otro lado, se hizo una comparación entre la estimación de costos elaborada con la guía propuesta y un presupuesto hecho por el método tradicional, con el fin de identificar las diferencias entre los productos obtenidos de cada proceso.

Cabe aclarar que el modelo 3D del edificio fue desarrollado con el programa Revit de *Autodesk*. Por su parte, la cuantificación de elementos y la estimación de costos (5D) se llevaron a cabo en los programas Vico y WinEst, respectivamente.

1.3.2. Limitaciones

Este estudio presentó como limitante el hecho de que en el país no había información pública referente a la implementación de modelos 5D de BIM, puesto que los trabajos finales de graduación que se han elaborado abarcan temas como programación (modelo 4D), identificación de incompatibilidades, cuantificación de elementos de la construcción y detección de diferencias entre diseños de profesionales. Esta se consideró una restricción puesto que no fue posible comparar resultados obtenidos, sin embargo, la falta de información se contrarrestó con la búsqueda de datos y resultados obtenidos en investigaciones internacionales.

Para llevar a cabo la implementación del 5D BIM se realizó una pasantía en una empresa constructora reconocida por su alto desempeño en la utilización de la metodología BIM, la

cual puso a disposición el modelo 3D, la nomenclatura *Uniformat* y *Masterformat* y los *softwares* utilizados. Por lo tanto, se tuvo como limitante el hecho de no poder explorar los alcances de otros programas similares. Además, los procedimientos que se detallan en los siguientes apartados corresponden a los que deben seguirse en los programas antes mencionados. Sin embargo, cabe aclarar que en otros programas semejantes se siguen procedimientos similares.

1.4. Metodología

En la

Figura 1 se muestra el esquema de metodología que se siguió en este estudio. Esta se dividió en las siguientes 5 etapas.

1.4.1. Etapa 1: Investigación teórica

Esta etapa tuvo 2 fines, primero generar una base de conocimiento acerca de los estudios que se han hecho sobre BIM internacionalmente. Esta información se obtuvo a partir del estudio de material bibliográfico diverso sobre el tema que incluye informes de grado y posgrado, artículos de revistas de investigación y actas de conferencias de las áreas de ingeniería civil, arquitectura, entre otros.

El segundo fin que tuvo esta etapa era la realización de un análisis del alcance que tienen los diferentes tipos de software de estimación de costos acerca de la interacción de estos programas con el modelo 3D del BIM y cómo alcanzar el modelo 5D. Con el objetivo de elegir los *softwares* de estimación de costos, en este caso los elegidos fueron Vico y WinEst.

1.4.2. Etapa 2: Desarrollo de Guía para la Creación del Modelo BIM 5D

En esta etapa se crea la guía BIM 5D en donde se asignan códigos únicos a los elementos del modelo 3D a partir de la nomenclatura de *Uniformat* y *Masterformat*, con el fin de que, en los diferentes programas utilizados, los elementos puedan ser reconocidos bajo un nombre exclusivo que permita conocer los materiales (y sus cantidades) de cada elemento en estudio. Asimismo, si la actividad tiene un código único asignado y sufre un cambio de dimensión este se verá reflejado en los demás programas a partir de la importación del modelo 3D.

En esta etapa también se explica el procedimiento para exportar el modelo 3D desde Revit a Vico y la cuantificación de elementos en este último.

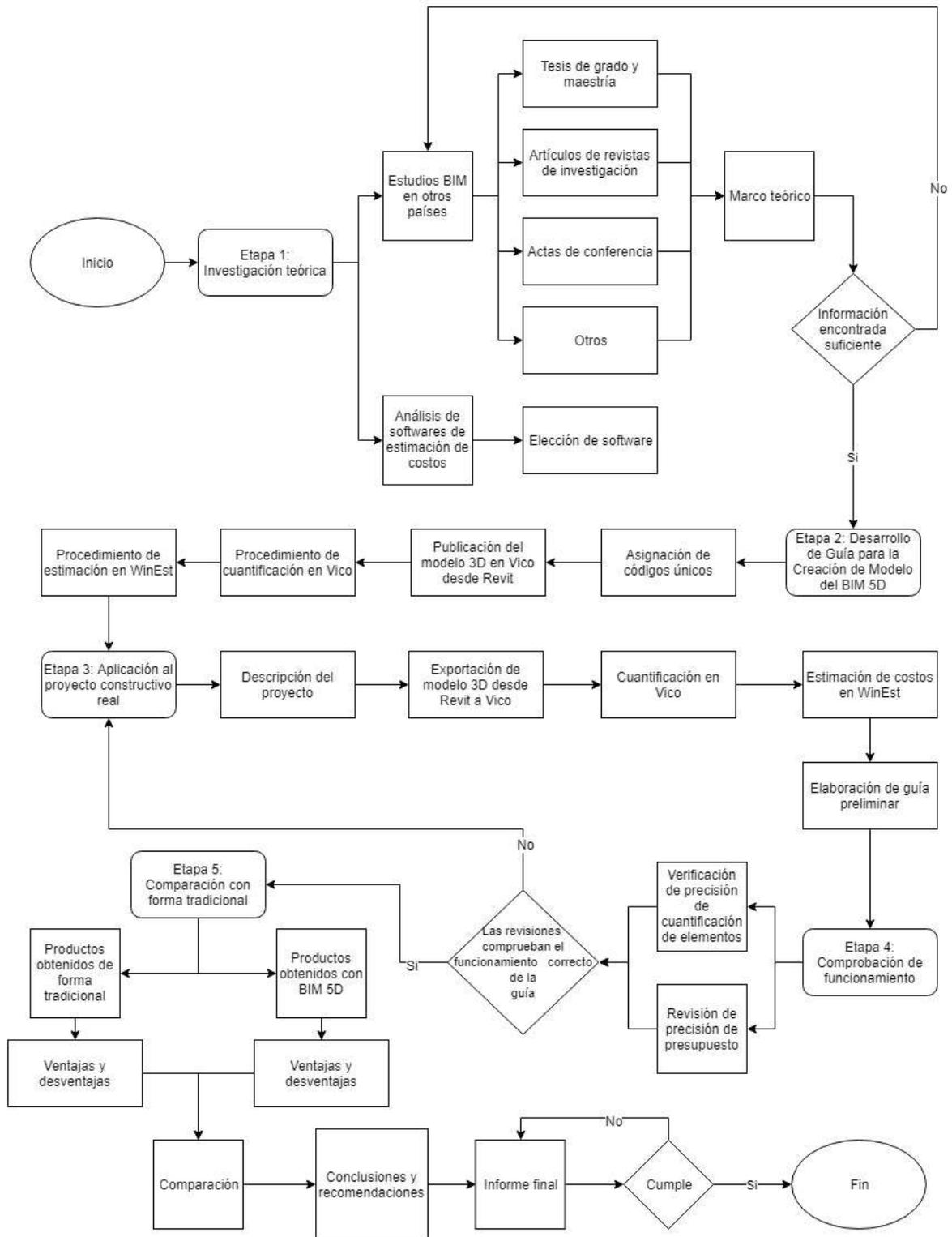


Figura 1. Esquema de metodología utilizado en el trabajo final de graduación: Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo.

Además, se explica cómo se debe estimar los costos de los materiales en WinEst a partir de la base de datos que este posee y la información generada en los programas anteriores.

1.4.3. Etapa 3: Aplicación del modelo 5D al proyecto constructivo real

Se inicia esta etapa con una descripción del proyecto real en el que se aplicó el modelo 5D propuesto en este trabajo. Posteriormente, los procedimientos explicados en la Etapa 2 son aplicados específicamente al edificio perteneciente al proyecto constructivo real y se explican los resultados obtenidos tras este proceso.

Finalmente, se construye una guía preliminar del proceso a seguir para implementar el modelo 5D.

1.4.4. Etapa 4: Comprobación de funcionamiento de la guía de implementación del modelo 5D

Para comprobar que la guía es acertada se revisaron 2 aspectos del modelo. El primero fue verificar si el presupuesto era preciso al examinar que se tomaron en cuenta todas las actividades de obra gris, es decir que el procedimiento planteado por la guía no dejó por fuera ningún elemento de la obra gris. Esta verificación se llevó a cabo mediante un recuento manual de los elementos tomados en cuenta en la guía y su comparación con los elementos incluidos en la definición de "obra gris".

El segundo aspecto fue revisar que el costo por metro cuadrado de obra gris obtenido tras la estimación de costos estuviera dentro del rango aceptado para un proyecto de ese tipo.

Solamente después de comprobar el funcionamiento correcto de estos aspectos se habrá comprobado que la guía es acertada y se podrá continuar con la etapa siguiente, de lo contrario se tendrá que volver a la Etapa 3.

1.4.5. Etapa 5: Comparación del modelo 5D con la forma tradicional

En esta etapa se describieron los productos obtenidos de cada proceso y se explicaron las ventajas y desventajas de la guía de implementación del modelo 5D contra la forma tradicional de generación del presupuesto sin BIM. Esta comparación se hizo mediante la utilización de indicadores de gestión, los cuales permitieron identificar diferencias entre la guía y el método tradicional. Además, se hizo la comparación de importancia del aporte de los productos obtenidos al proyecto en general y en sus fases posteriores a la estimación de costos y elaboración de presupuesto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Es importante la implementación de tecnologías como el modelado 5D de BIM que permitan la planificación de los costos, la cual de acuerdo con Alsharqawi (2016) es uno de los estados críticos en el planeamiento de la construcción. Según Baker et al (2012), una de las razones de su importancia recae en el hecho de que se ha tenido evidencia de la capacidad que tiene BIM de mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción.

La utilización de BIM se ha convertido en una necesidad ya que cada vez los proyectos se vuelven más complejos y cuando se trata de tomar decisiones con rapidez el modelo facilita a las partes una mejor comprensión de cuáles son los temas en juego mediante la visualización de las cinco dimensiones como un todo.

De acuerdo con Enshassi y AbuHamra (2016) ya que BIM controla el tiempo, la operación y el costo de mantenimiento, este se puede catalogar como el futuro de la construcción y la gestión de las edificaciones a largo plazo.

A continuación, se definen algunos conceptos que se considera necesario conocer de antemano.

2.1. Building Information Modelling (BIM)

Eastman et al (2011) lo definen como "Una tecnología de modelado y un conjunto asociado de procesos para producir, comunicar, y analizar modelos de construcción. Los modelos de construcción se caracterizan por tener:

- Componentes de obras representados con objetos digitales que contienen atributos de gráficos e información computable que los identifican con las aplicaciones de software, así como reglas paramétricas que les permiten ser manipulados de manera inteligente;
- componentes que incluyen información que describen cómo se comportan, según sea necesario para análisis y procesos de trabajo, por ejemplo, análisis de cuantificación, especificación y energía;
- información consistente y no redundante tal que los cambios en los datos de los elementos se representen en todas las vistas del componente y el conjunto del que forma parte;

- información coordinada tal que todas las vistas de un modelo estén representadas de forma coordinada.”

Cabe destacar que el Modelado de Información de la Construcción, conocido como BIM por su acrónimo en inglés, es un método de trabajo y no un paquete de software (Ter Maaten, 2015). De hecho, BIM también se define como “Conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual” (PlanBIM, 2019).

En la Figura 2 se muestra una representación gráfica de esta definición, donde en el caso de este Trabajo Final de Graduación (TFG) la teoría de presupuestación es la metodología, *Uniformat* y *Masterformat* son los estándares y, Revit, Vico y WinEst son los *softwares* utilizados.

No obstante, este TFG se enfoca principalmente en la implementación de los *softwares* antes mencionados.

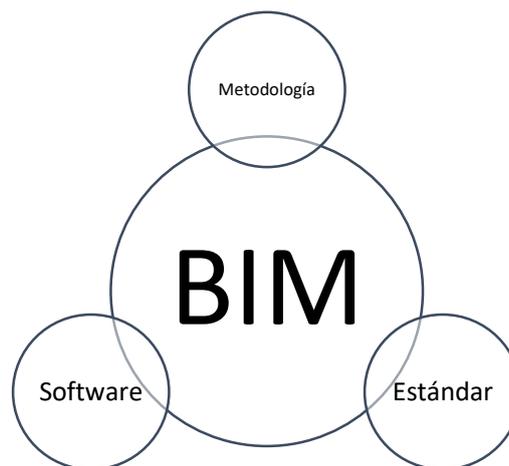


Figura 2. Diagrama de composición del BIM

Como se explicó anteriormente, de las cinco dimensiones que posee BIM este TFG se dedicó a la denominada quinta dimensión (5D), la cual se define a continuación.

2.2. Modelo 5D

El modelo 5D es la unión del modelo 3D y la estimación de costos (Enshassi & AbuHamra, 2016). Es decir, la combinación del modelo 3D y los costos asociados a los materiales de este. Sin embargo, según Eastman et al (2011) aunque los modelos BIM proveen una adecuada cuantificación de elementos no son un reemplazo del presupuesto, ya que la

presupuestación no solo toma en cuenta la cuantificación de los elementos y sus costos, sino también otros aspectos como dificultades de acceso al proyecto, salarios de los trabajadores, entre otros, cuya identificación automática no es posible realizarla con herramientas BIM.

Por lo tanto, la cuantificación de elementos y su estimación de costos (productos del modelo 5D BIM) posteriormente son de gran ayuda en la elaboración del presupuesto final, informes financieros del modelo de acuerdo al cronograma y una mejor precisión de la estimación (Kamardeen, 2010). Además, se puede utilizar en otras fases del proyecto como, por ejemplo: construcción. Esto es posible gracias a la manera en la que la información generada es organizada en el modelo. Cabe mencionar que en este proyecto la organización corresponde a una EDT, que se define a continuación.

2.3. Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)

Antes de realizar un presupuesto es recomendable dividir el alcance del proyecto en paquetes de trabajo, o en otras palabras hacer una EDT (WBS, por sus siglas en inglés), que según el PMI (2013) se define como el resultado de dividir un proyecto en actividades de forma lógica ya que de esta manera pueden administrarse mejor. De forma tal que las tareas sean divididas y subdivididas hasta alcanzar un nivel de manejabilidad apropiada. Como ejemplo de una EDT se pueden mencionar la de las cimentaciones, las cuales se dividirán en placas aisladas y corridas, estas a su vez se subdividirán en volumen de concreto, cantidad de varillas de acero de refuerzo y área de formaleta, los cuales son paquetes que se pueden administrar mejor ya que son cuantificables.

A la EDT se le puede agregar una nomenclatura, es decir, asignar un código a cada actividad y/o material. Algunas de las nomenclaturas más utilizadas en el área de la construcción son *Uniformat* y *Masterformat*, que se definen en los siguientes apartados.

2.4. Uniformat

Uniformat es un método utilizado para organizar la información de la construcción publicado por el Instituto de Especificaciones de la Construcción (CSI) y Especificaciones de Construcción de Canadá (CSC). Organiza la información basada en elementos funcionales, o en partes de una instalación caracterizada por sus funciones, sin tomar en cuenta los materiales o los procesos para generarlos. Posee 5 niveles de división, las categorías en el primer nivel corresponden a: subestructura (A), exterior (denominado como *Shell* en inglés)

(B), interiores (C), servicios (D), equipo y mobiliario (E), construcción especial y demolición (F) y sitio de construcción (G). El nivel 2 es en el que se subdividen las categorías del primer nivel, por ejemplo, la subestructura (A) puede dividirse en fundaciones (A10) y construcción de sótano (A20). El tercer nivel es en el que subdividen las subcategorías del nivel 2, un ejemplo sería la subdivisión de las fundaciones en cimentación normal (A1010) y cimentación especial (A1020). Similarmente, el nivel 4 es en el que se dividen las categorías del nivel 3, como ejemplo se tiene la subdivisión de las cimentaciones estándar en placas corridas (A1010.10) y placas aisladas (A1010.30). El nivel 5 corresponde a la subdivisión del nivel 4 y su estructura consiste en agregar un punto y dos letras mayúsculas a este nivel. Cabe aclarar, que la asignación de las dos letras mayúsculas queda a libre criterio de la empresa que esté implementando esta codificación (CSI, 2018). En el caso de este trabajo final de graduación se utilizó la nomenclatura del nivel 5 de la empresa donde se realizó la pasantía.

La importancia de la utilización de esta nomenclatura recae en la estandarización que esta genera, ya que permite que los elementos sean reconocidos por cualquier persona que esté familiarizada con el uso de *Uniformat*. Sumado a esto, los códigos pueden utilizarse en diferentes *softwares* de manera que funcionan como una conexión entre un elemento y su información en otro programa. Esto facilita la actualización automática de cambios, por ejemplo, si se cambia la cantidad de placas de fundación en el modelo 3D en Revit, al exportar el modelo modificado a Vico se actualizará la cuantificación de placas de fundación que correspondería al cambio en el modelo 3D.

Posteriormente en WinEst se agregan los materiales que componen los elementos, a partir de las bases de datos que ya han sido incluidas en el programa (por la empresa), que a su vez contienen los códigos de *Masterformat*.

2.5. Masterformat

Masterformat es una lista estándar de especificaciones para requisitos, materiales y actividades de la construcción. Posee 50 divisiones y cada una de ellas está compuesta por hasta 4 niveles, cada nivel se identifica por un par de números. Por ejemplo, el código 03 00 00 indica la división: Concreto. Asimismo, el código 03 30 00 indica que, en la división de Concreto, la subdivisión 30 corresponde al Concreto colado en sitio. Por otro lado, un ejemplo de código hasta el nivel 3 sería 03 39 23, el cual indica que en la división de Concreto y específicamente en la subdivisión Curado (39), se tiene la subdivisión 23 que

corresponde al Curado con membrana. Mientras que en el nivel 4 del código se tiene 03 39 23.13, donde el .13 corresponde a la membrana de compuesto químico.

Por tanto, cada tipo de elemento identificado con un código *Uniformat* estará compuesto por materiales y/o actividades que a su vez estarán identificados con el correspondiente código *Masterformat*.

Como se mencionó anteriormente los materiales y actividades ya han sido incluidos en la base de datos de WinEst, por parte de la empresa.

2.6. Base de datos

Una base de datos es un conjunto de informaciones que está organizado y estructurado de un modo específico para que sea simple y rápido de manejar y analizar. Es decir, está ordenada de manera que tal que el usuario pueda tener acceso a la información de forma sencilla, a diferencia de que la información estuviera almacenada sin ningún tipo de organización (Pérez & Gardey, 2017).

En el caso de este proyecto, se trabaja con la base de datos que tiene la empresa almacenada en el programa WinEst. Esta incluye los ensambles identificados con el correspondiente código de *Uniformat*, actividades y materiales identificados con el código de *Masterformat* y sus precios, fórmulas para cálculo de materiales, tablas de unidades, condiciones e imágenes.

2.7. Obra gris

Es la etapa del proyecto en el que las actividades están ligadas a la construcción de elementos que contienen y/o involucran materiales como cemento, arena, piedra, morteros, acero de refuerzo y formaletas (Del Valle, 2008).

Tal y como se mencionó anteriormente, en este proyecto solamente se abarcan los costos de obra gris, la cual incluye los siguientes elementos: fundaciones, columnas, contrapiso, losas de entrepiso, vigas y muros.

2.8. Requisitos de elaboración de un modelo 3D para utilizarlo en modelo 5D

Según Romero (2018), no todos los modelos 3D son aplicables para utilizarlos en un modelo 5D, por lo que se espera que los modelos 3D sean desarrollados desde su concepción para

cumplir un objetivo final determinado, que en este caso sería utilizarlo para el modelo 5D. La importancia recae en que el modelo debe realizarse tal y cómo el proyecto será construido y evitar que los programas calculen un volumen de concreto 2 veces. Para esto deben cumplirse ciertos requisitos, que se detallan a continuación:

- Los elementos deben ser modelados de manera que sean cuantificables, es decir, que se pueda obtener información de ellos como el volumen y tipos de materiales. Por esta razón, cabe aclarar que no es recomendable utilizar modelos genéricos de Revit.
- Se debe modelar siguiendo el orden lógico de construcción, por ejemplo, modelar las fundaciones antes que las columnas.
- Se debe procurar que los modelos tengan suficiente información, por ejemplo, si se indica que el elemento es de concreto debe especificarse su resistencia.
- Los modelos deben realizarse por separado para cada disciplina, es decir, un modelo del diseño estructural, un modelo del diseño arquitectónico, un modelo del diseño eléctrico, entre otros. Esto porque un modelo que contenga todas las disciplinas resultaría muy difícil de manipular en un solo archivo. Esta es una de las razones por las cuales es importante la codificación de los elementos pues como se mencionó anteriormente los códigos funcionan como conexiones entre los elementos y su información en distintos *softwares*.
- Los elementos deben modelarse seccionados, por ejemplo, si se tiene una columna igual en cada piso de un edificio y en la misma posición (en el eje x y el eje y) esta no debe modelarse como una columna continua de piso a techo sino como elementos separados para cada nivel.
- Según Yun y Kim (2013), los siguientes elementos deben modelarse geoméricamente siguiendo ciertas recomendaciones:
 - Columnas: La altura debe modelarse desde la parte superior de la losa del nivel correspondiente a la parte inferior de la losa del piso siguiente, como se muestra en la Figura 3.

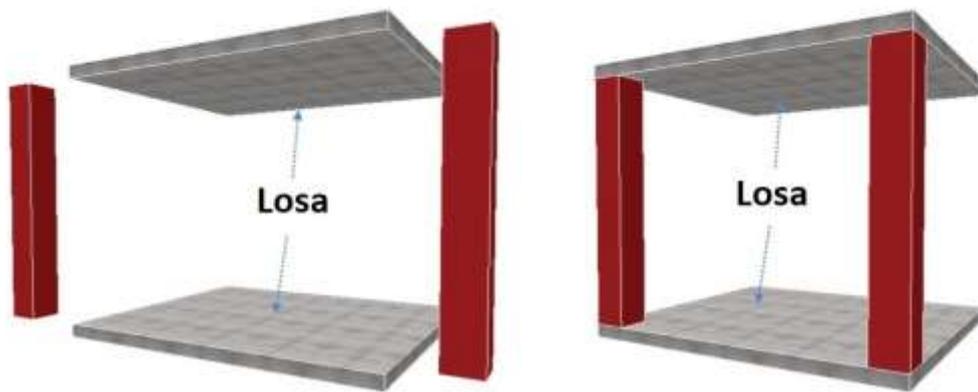


Figura 3. Guía de modelado de columnas.
Fuente: Yun & Kim, 2013.
Modificado por Campos.

- Vigas: Para modelar la altura de la viga se resta el espesor de la losa a la altura original de la viga. En el caso de la longitud de la viga, esta se toma como la distancia entre las caras interiores de la columna, como se presenta en la Figura 4.

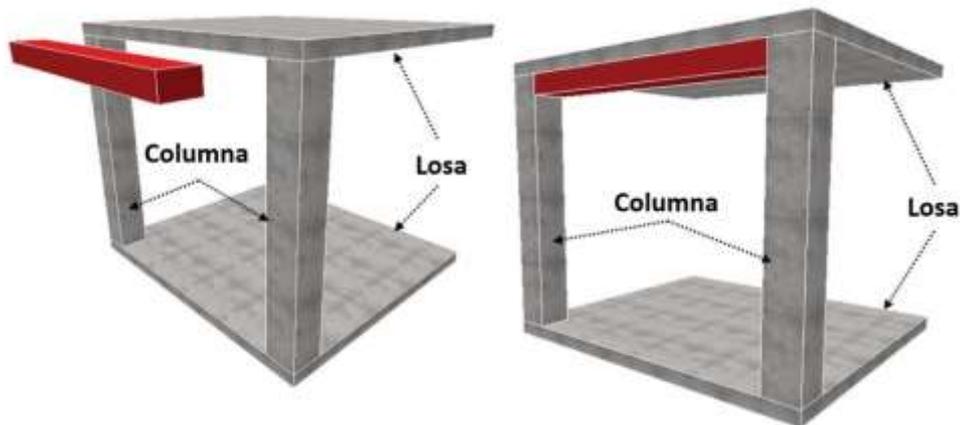


Figura 4. Guía de modelado vigas.
Fuente: Yun & Kim, 2013.
Modificado por Campos.

- Losas: Estas se modelan de manera que se proyecta el espesor de diseño de la losa sobre toda el área de piso y sin olvidar cual es la parte de la losa que se superpone con la viga. En la Figura 5 se muestra un ejemplo.

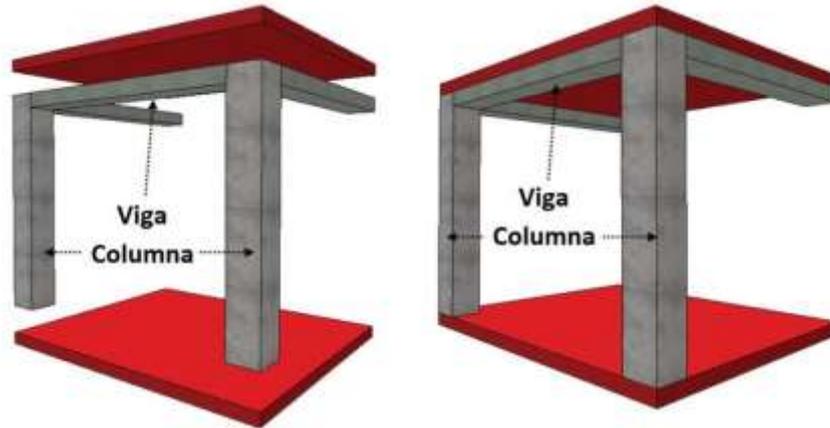


Figura 5. Guía para modelado de losas.
Fuente: Yun & Kim, 2013.
Modificado por Campos.

- Muros o paredes: Se modelan de forma tal que la longitud se toma como la distancia entre columnas, y la altura como la distancia entre la parte superior de la losa del nivel correspondiente y la parte inferior de la viga del nivel superior. En la Figura 6 se muestra un ejemplo.

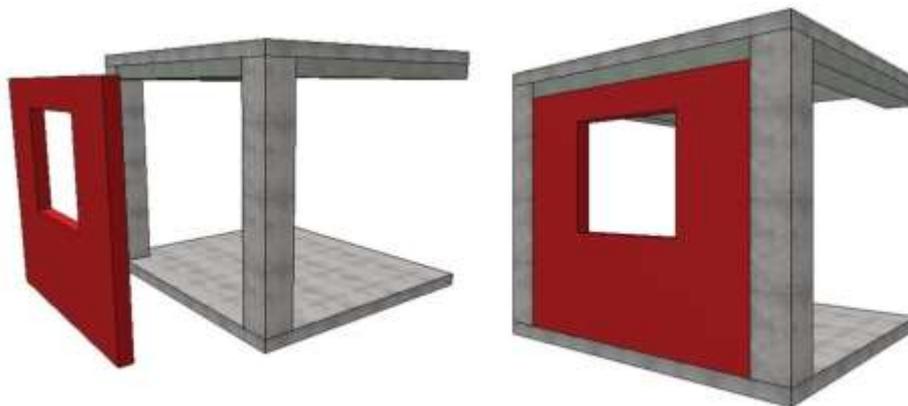


Figura 6. Guía de modelado de paredes o muros
Fuente: Yun & Kim, 2013.

- A nivel de clasificación de información es importante que en el modelo 3D en Revit cada Familia se use para modelar lo que le corresponde, por ejemplo, que las losas de entrepiso se modelen en la familia de "Pisos" y no en la familia de "Fundaciones".

2.9. Requisitos de revisión de un modelo 3D para utilizarlo en un modelo 5D

En el caso de este trabajo final de graduación se partió de un modelo 3D (existente) para la implementación del 5D, por lo tanto, se tuvo que verificar si los elementos fueron modelados según las recomendaciones descritas en el apartado 2.8. y en caso contrario, realizar ciertas modificaciones.

En los casos donde los elementos se atraviesan unos a otros y no es posible visualizarlos fácilmente en el modelo 3D, se puede realizar una comprobación de interferencias. Para esto en Revit se debe seleccionar la pestaña *Colaborar*, elegir el menú *Coordinar*, en este escoger la opción *Comprobación de interferencias* y posteriormente elegir la opción *Ejecutar comprobación de interferencias*. Se despliega una ventana donde se deben marcar las casillas de los elementos a los cuales se quiere verificar si tienen interferencias y dar click en aceptar. El programa emitirá un informe de interferencias, que al seleccionar el nombre del elemento se mostrarán en color naranja los elementos que se atraviesan el uno al otro.

A continuación, se muestran algunos de los cambios que se hicieron para adecuar el modelo para la implementación 5D y el procedimiento seguido para llevarlos a cabo. Cabe aclarar que este procedimiento es el que corresponde para Revit, sin embargo, los demás programas de modelado 3D tienen funciones similares y siguen procedimientos semejantes.

- Tal y como puede observarse en la Figura 7 la columna traspasa la losa, contrario a lo que se recomienda. Para solucionarlo, se debe seleccionar la columna y en el menú *Modificar pilar* elegir la opción *Enlazar parte superior/base*, posteriormente en *Enlazar pilar* elegir *Parte superior* y, por último, seleccionar la losa. Este proceso permite que la columna se reubique y quede por debajo de la parte inferior de la losa, tal y como se puede observar en la Figura 8.

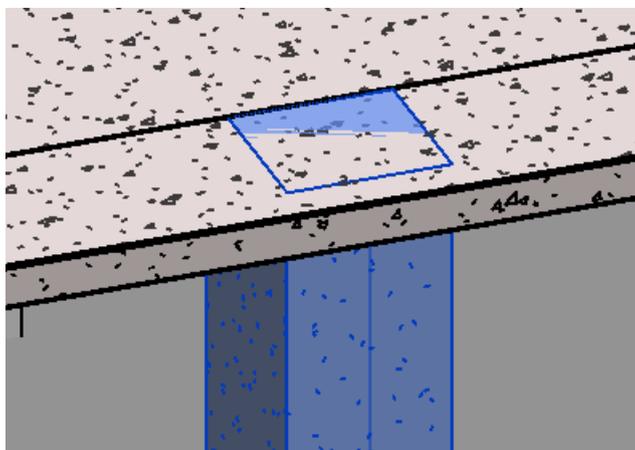


Figura 7. Columna modelada de manera que traspasa la losa de entepiso.

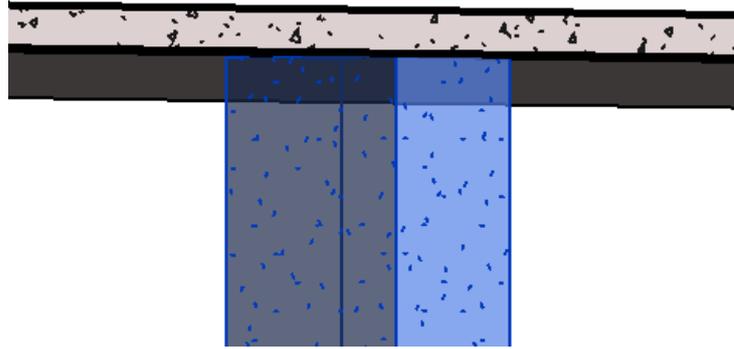


Figura 8. Columna ubicada debajo de losa luego de realizarse la corrección.

- El procedimiento descrito en el punto anterior también tuvo que seguirse para algunos muros ya que también atravesaban la losa, estos se pueden observar en la Figura 9, donde los muros se distinguen por tener la superficie en color rojo. En la Figura 10 se muestra como los muros ya no son visibles en la superficie de la losa.
- En la Figura 11 se observa como el capitel (en color rojo) atraviesa la losa de entre piso, contrario a lo que se recomienda, que es que la parte superior del capitel se ubique por debajo de la parte inferior de la losa. Ya que tal y como se encuentra en la Figura 11 ocasionaría que el volumen indicado entre los 2 elementos se cuantifique 2 veces. Para solucionar esto se debe elegir la opción *Alinear* en el menú *Modificar*, dar click en la parte superior del capitel y posteriormente en la parte inferior de la losa, lo que da como resultado lo mostrado en la Figura 12.

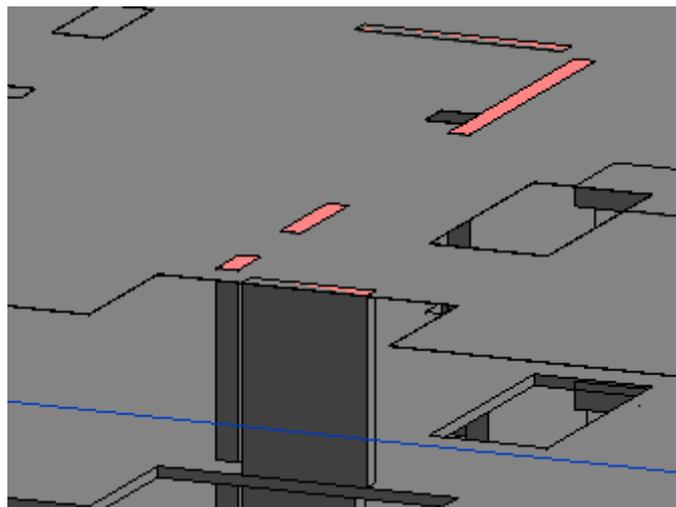


Figura 9. Muros de concreto, modelados de manera tal que traspasan la losa de entrepiso.

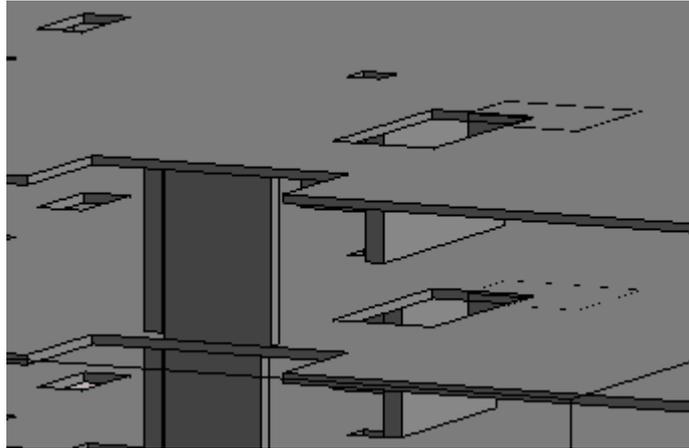


Figura 10. Muros de concreto no traspasan el entepiso, luego de realizar la corrección.

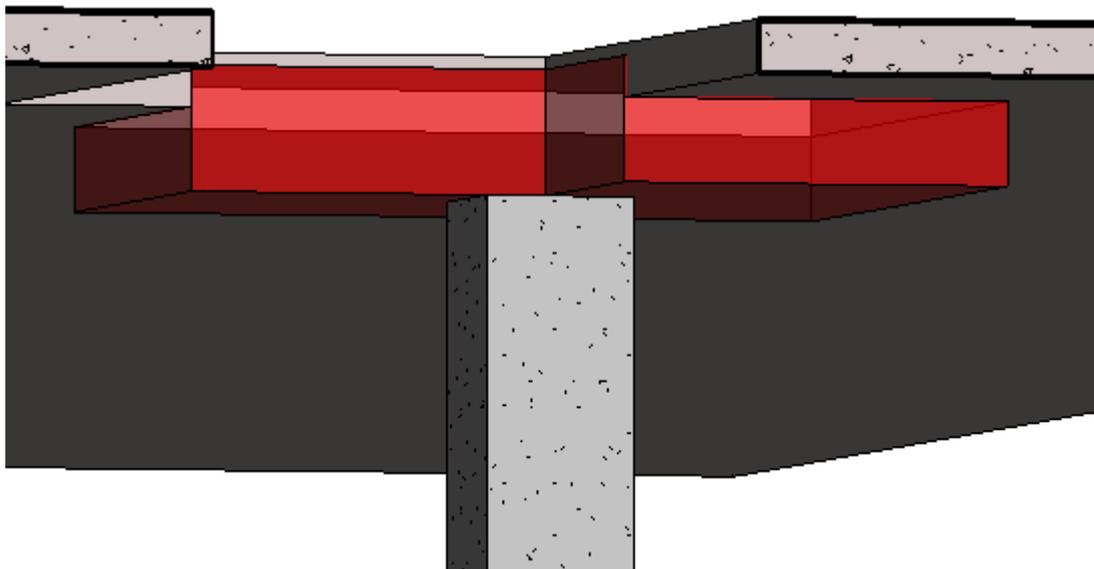


Figura 11. Capitel modelado de manera que atraviesa la losa de entepiso

- En la Figura 13 se muestra un acercamiento de una columna (en color amarillo) y un muro (en color gris) donde se puede notar una intersección (señalada por el rectángulo de color verde) entre estos 2 elementos que puede llevar a una cuantificación errónea de las cantidades de concreto. Para solucionar este problema se debe seguir un procedimiento similar al descrito en el punto anterior, a diferencia de que las superficies que deben alinearse son las laterales que definen la intersección mostrada. En la Figura 14 ya no se visualiza la intersección entre los elementos, por lo tanto el problema fue resuelto.

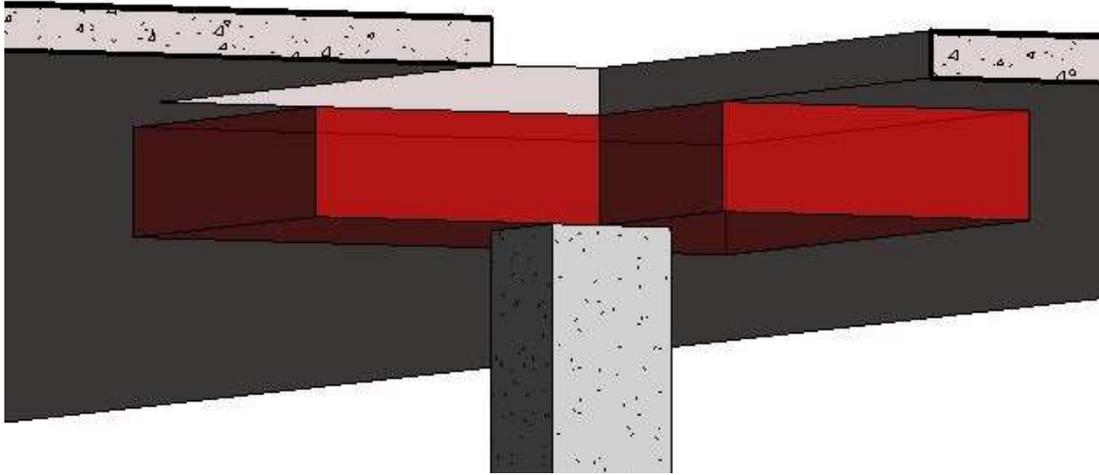


Figura 12. Capitel no atraviesa la losa de entrepiso como producto de la corrección realizada

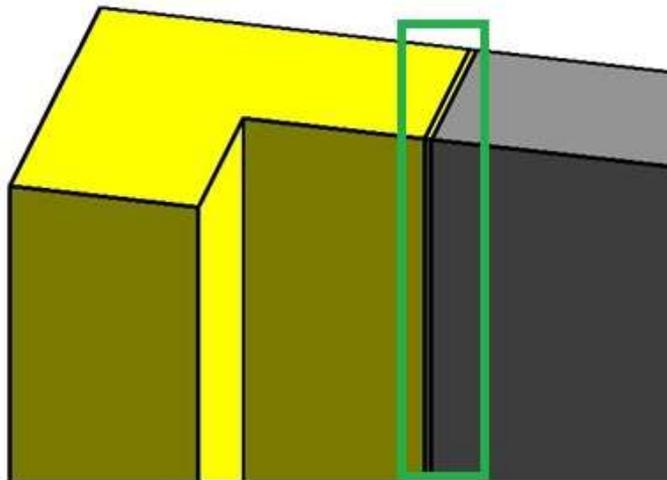


Figura 13. Acercamiento de columna y muro en la que se observa una interferencia

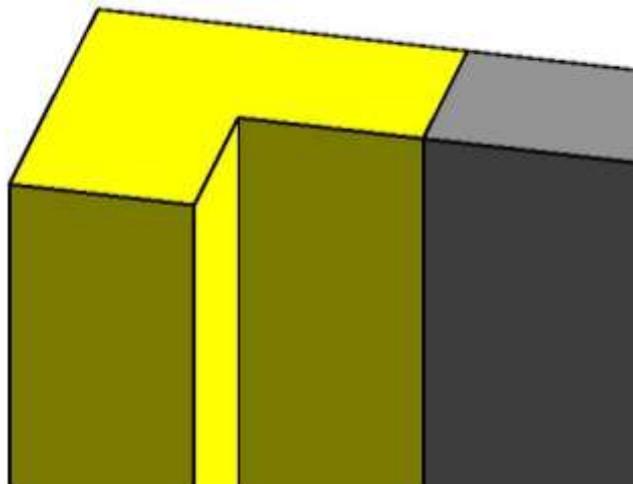


Figura 14. Acercamiento de columna y muro sin interferencia

2.10. Forma tradicional de presupuestar

Para poder hacer una comparación entre la guía propuesta y la forma tradicional de presupuestar es necesario describir esta última.

De acuerdo con Porras et al (2014), el cálculo del presupuesto se utiliza en la mayoría de organizaciones y, como es de esperarse, el área de la construcción donde se maneja altas cifras de dinero, no es la excepción. Este se hace por medio de la cuantificación de elementos con ayuda de los planos constructivos, a partir de esta se estiman los costos de materiales, la mano de obra, el equipo, el transporte y otros elementos de la construcción determinados por el diseño y los estudios. Tiene como resultado final predecir el costo del proyecto.

El proceso de presupuestar consiste usualmente en introducir las cantidades de los elementos en una hoja de cálculo de un programa como Microsoft Excel, donde además se asignan costos unitarios a los materiales. Los costos de mano de obra y equipo dependen de la cantidad de elementos a construir y de las fórmulas de rendimiento asociada a los trabajadores y el equipo.

Para comparar la metodología BIM 5D con la forma tradicional de presupuestar se necesitan indicadores de gestión, los cuales se definen a continuación.

2.11. Indicador de gestión

Los indicadores de gestión son parámetros que muestran los efectos de las decisiones que se han tomado durante la gestión de un proyecto. Lo que buscan es generar información que funcione como base en la toma de decisiones a futuro para mejorar la situación actual del proyecto. Además, permite conocer la eficiencia real, si el proyecto está siendo exitoso o no, o si está cumpliendo con los objetivos propuestos. Es decir, los indicadores de gestión se utilizan para evaluar el desempeño y los resultados del proyecto (Definición.de, s.f.).

En este trabajo se utilizaron como indicadores de gestión los siguientes:

- Tiempo de ejecución del presupuesto: Se comparará el tiempo (en número de horas o minutos) que se invierte en la realización de un presupuesto tradicional con el tiempo invertido al crear un presupuesto con BIM (Modelo 5D), de forma tal que el proceso que resulte en menos tiempo será el más eficiente.
- Diferencia con respecto al costo del proyecto real: Se comparará el costo por metro cuadrado de la obra gris del proyecto según el resultado generado tras la aplicación

de la guía 5D con el costo real por metro cuadrado de la obra gris del proyecto en cuestión y otros proyectos similares. Asimismo, se comparará el costo por metro cuadrado de la obra gris del proyecto según el presupuesto tradicional con el costo real por metro cuadrado del proyecto. Por lo que el costo que se aproxime más al real determinará el presupuesto más preciso.

Se consideraron estos indicadores puesto que el tiempo de ejecución y el costo eran 2 productos que podían obtenerse de las 2 metodologías de manera que sería posible hacer las respectivas comparaciones.

Además, inicialmente se pretendía considerar los costos de implementación de la metodología como otro indicador de gestión. Sin embargo, este se descartó pues se consideró como una intromisión en la gestión de la empresa constructora.

2.12. Modelado del acero de refuerzo

A nivel estructural las barras de acero son parte esencial del concreto armado, pues cumplen la función de soportar las fuerzas de tensión que por sí solo el concreto se considera débil de soportar.

Por otro lado, a la hora de realizar el modelo estructural 3D de un edificio es posible incluir el acero estructural tal y cómo es detallado por el diseñador, sin embargo, esto se traduce en largas horas de trabajo y esfuerzo. Por ejemplo, en un trabajo final de graduación realizado anteriormente (Chonkan, 2016) se establece que el modelado del acero de refuerzo constituyó un 79% del tiempo de modelado de obra gris, siendo la actividad que requirió más tiempo.

Según Johansson y Jonasson (2011), el verdadero beneficio de modelar el acero de refuerzo se obtiene cuando el modelo será utilizado para crear listas del acero de refuerzo como la que se muestra en la Figura 15, que sirven como guía para la fabricación de las armaduras de los elementos de concreto.

Y aun así, según Romero (2018), es más probable que este procedimiento solo se lleve a cabo en caso de que los elementos sean diseñados con secciones transversales variables o en el caso de que el diseño de un elemento difiera mucho de uno de la misma naturaleza, por ejemplo que los diseños de las columnas sean muy distintos entre sí. Este no es el caso del proyecto que se estudia en este trabajo final de graduación donde los elementos tienen secciones transversales de área constante.

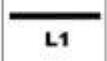
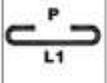
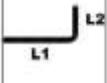
Figura	Figura	Descripción	# Var	Grado	Cantidad	Lote/colad	Ubicación	Elemento	Posición	Peso Line
C		15 x 200 x 15	5	60	3		LC-1	A, 7-B	-	10.71
B		250	5	60	231		BASTONES	-	7, B-E	896.28
A		72 x 52 12P	4	60	50		IMPALME COLUMN	TIPO-1	7-A	135.18
G		72 12P	4	60	50		IMPALME COLUMN	TIPO-1	7-A	47.71
L		40 x 645	8	60	5		IMPALME COLUMN	TIPO-1	7-A	136.08

Figura 15. Ejemplo de lista de acero de refuerzo como guía de fabricación de armadura
Fuente: Abonos Agro, 2017.

Además, en muchas ocasiones la empresa constructora no necesita incluir el acero en el modelo 3D pues subcontrata el corte y armadura de este por un monto establecido y calcula una densidad en términos de kilogramos de acero de refuerzo por metro cúbico de concreto (kg/m^3) para compararlo con la densidad que reporta la empresa encargada del corte y armadura a partir del diseño estructural, de esta manera se puede verificar que el monto acordado es el adecuado. Para lo cual no hace falta modelar el acero, pues solo sería utilizable en la etapa de estimación de costos y no en la etapa fabricación de armadura.

Es por estas razones y porque el alcance de este TFG se limita a la estimación de costos que el modelado del acero de refuerzo no es incluido en su desarrollo ni en los procedimientos de cuantificación de elementos y estimación de costos del proyecto en estudio.

CAPÍTULO 3. GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA QUINTA DIMENSIÓN DEL BIM

En este capítulo se plasma la guía de implementación del modelo 5D ya que describe los procedimientos para: asignar códigos únicos a los elementos del modelo 3D a partir de la nomenclatura de *Uniformat* y *Masterformat*, publicar el modelo 3D desde Revit a Vico, realizar la cuantificación de elementos en Vico, crear un documento nuevo en WinEst con base de datos, exportar cantidades de Vico a WinEst, establecer enlaces entre Vico y WinEst, actualizar el modelo en los diferentes programas y estimar en WinEst.

Como se mencionó anteriormente en la sección de Limitaciones, en este trabajo final de graduación se utilizan los programas Revit, Vico y WinEst porque son los empleados en la empresa constructora donde se realizó la pasantía. Además, los procedimientos que se detallan en este capítulo corresponden a los que deben seguirse en estos *softwares*. Aunque, cabe aclarar que en otros programas semejantes se siguen procedimientos similares.

Seguidamente se hace una introducción a los programas utilizados.

- Revit 2019: Es un *software* de la empresa Autodesk que fue creado para su utilización en la metodología BIM, posee características para el diseño arquitectónico, estructural, mecánico y eléctrico. En él es posible crear modelos 3D de los elementos que componen un edificio y sus instalaciones, obtener planos en 2D de esos modelos, importar y exportar información desde y hacia otros programas y trabajar colaborativamente con otros diseñadores de otras disciplinas del proyecto (Autodesk, 2019). Es uno de los programas BIM más utilizados en el mundo, por ejemplo, en España se realizó una encuesta entre los años 2016 y 2017 que concluyó que este era el programa más utilizado en ese país para modelado 3D en la metodología BIM (Esarte, 2018). En este trabajo se utiliza para visualizar, revisar y exportar el modelo 3D.
- Vico Office 2018: Es un programa de la empresa Construsoft que permite importar modelos 3D, detectar cambios entre diferentes versiones del mismo modelo, realizar actualizaciones automáticas cuando se generen cambios en el modelo, ejecutar cuantificaciones de elementos, crear presupuestos, planificar la obra y hacer simulaciones 4D (Construsoft, 2019). En este trabajo se utiliza para cuantificar los elementos, sus respectivas áreas y volúmenes y establecer la conexión con el programa WinEst.

- WinEst 2018: Es un software de la empresa Trimble que se utiliza para la cuantificación de elementos y la estimación costos, y que permite albergar una base de datos de costos de mercado para posteriormente utilizarla en la estimación (Trimble, 2019). En este trabajo se utiliza para la estimación de costos por medio del uso de la base de datos (generada por la empresa constructora) y la cuantificación importada desde Vico.

En la Figura 16 se muestra una representación gráfica del orden en que deben utilizarse los 3 programas, este proceso será explicado en las siguientes secciones de este capítulo. Cabe aclarar que, Vico y WinEst se utilizan en conjunto porque con el primero no es posible utilizar una base de datos y el segundo no tiene la capacidad de importar un modelo 3D, por lo que Vico funciona como un enlace entre Revit y WinEst.

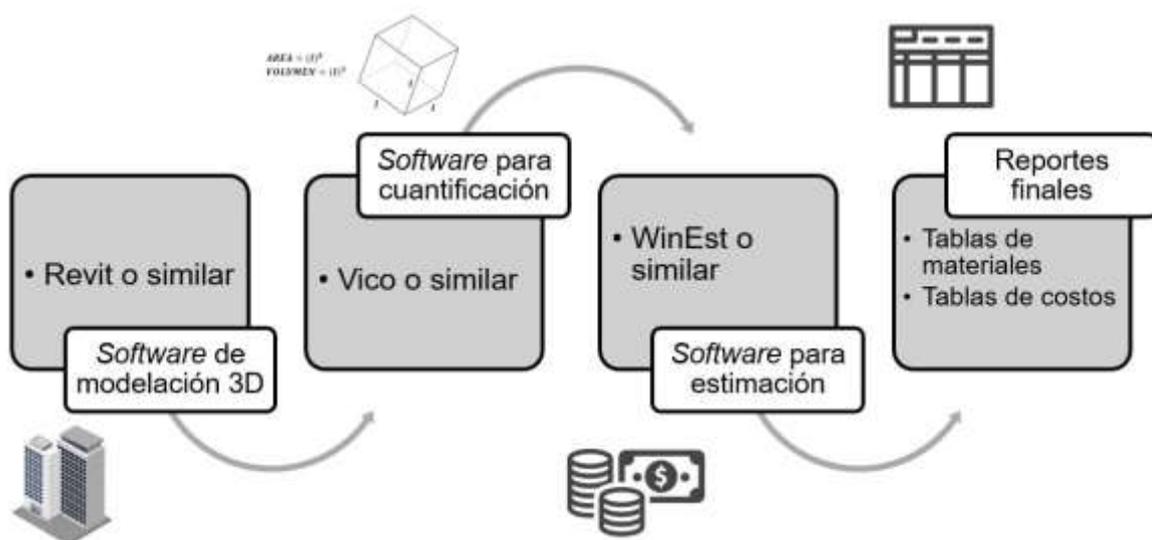


Figura 16. Diagrama de flujo de implementación de programas

3.1. Asignación de códigos únicos

Como se mencionó anteriormente se asignaron códigos de *Unifomat* a las familias de elementos con el fin de que estos tuvieran una misma identificación en los 3 programas que funcionara como un enlace entre ellos.

Por defecto Revit posee un archivo de texto llamado "UnifomatClassifications" en el que se encuentran los códigos, sin embargo, se encuentra en inglés y en una de las versiones iniciales publicadas por el CSI. Como es un archivo de texto, este se puede modificar

manualmente, es decir actualizar los códigos al formato más reciente (publicado en el año 2010) y en español; y posteriormente volverlo a cargar en el programa.

Para volver a cargar el archivo se debe seleccionar la pestaña *Gestionar*, en *Configuración adicional* elegir *Código de montaje* y en la ventana que se despliega dar click en *Volver a cargar*.

El procedimiento para incluir el código en la información del tipo de elemento se explica a continuación, en donde se toma como ejemplo la columna C21.

En el modelo se selecciona la columna y en el menú de *Propiedades*, mostrado en la Figura 17 se elige la opción *Editar tipo* (indicado en color verde), en la ventana (Figura 18) que se despliega se elige el parámetro "Código de montaje" (indicado en color verde) y en la casilla a su derecha se presiona el botón identificado con "...", se despliega una nueva ventana (Figura 19) donde se debe elegir el código correspondiente, en este caso el B1010.10.CO, finalmente se selecciona el botón de *Aceptar*.

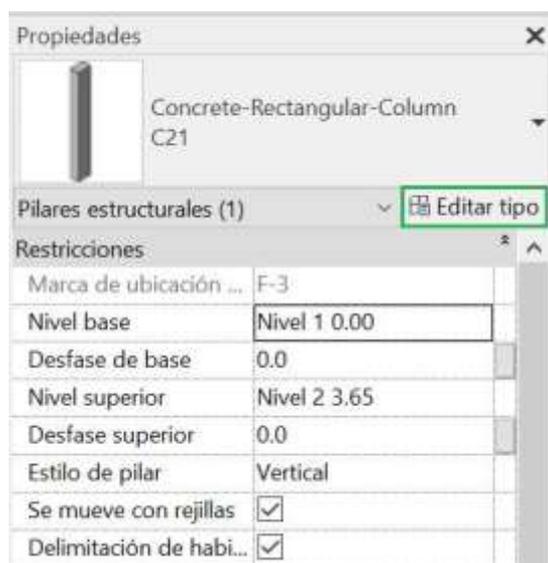


Figura 17. Menú Propiedades de la columna C21 en Revit

En la Figura 20 se puede observar como el código seleccionado aparece en la casilla correspondiente, indicado en color verde. Para todas las columnas que tenga como *Nombre de tipo* "C21" se guardará este código. Para los demás tipos de columnas se deberá seguir el mismo procedimiento. Asimismo, para los demás elementos en el modelo.



Figura 18. Ventana de Propiedades de tipo de columna C21

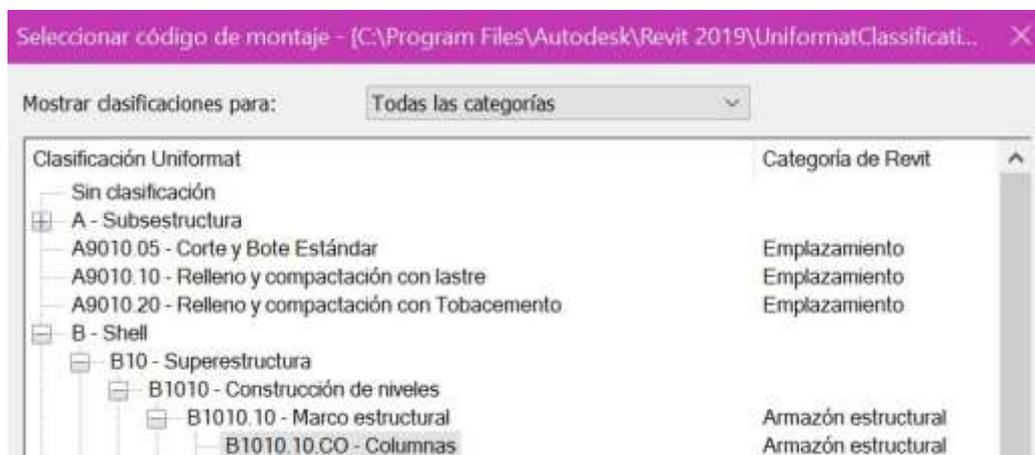


Figura 19. Ventana de selección de código de montaje

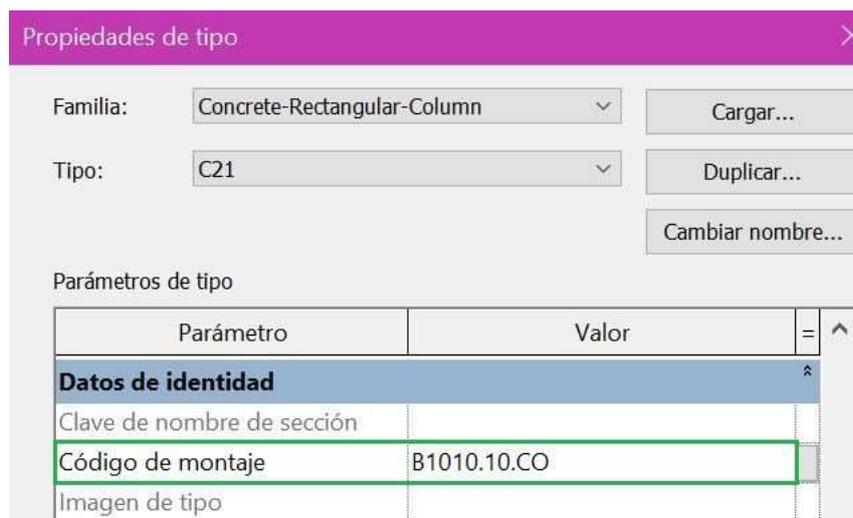


Figura 20. Ventana de propiedades con el Código de montaje actualizado

En la Cuadro 1 se muestra un resumen de los códigos *Uniformat* utilizados en este Trabajo Final de Graduación.

Cuadro 1. Resumen de códigos *Uniformat* utilizados en el Trabajo Final de Graduación

Elemento	Código <i>Uniformat</i>
Placa corrida	A1010.10
Placa aislada	A1010.30.PL
Losa flotante	A1020.30
Viga de fundación	A1020.80
Muro de retención de concreto	A2010.10.MC
Losa de piso (Contrapiso)	A4010.10
Vigas de concreto	B1010.10.VI
Columnas de concreto	B1010.10.CO
Muros de concreto	B1010.10.MC
Entrepiso postensado	B1010.20.PO
Entrepiso de losa densa	B1010.20.LD
Pared de mampostería no estructural	B2010.20.PM

3.2. Publicación del modelo 3D a Vico desde Revit

La publicación o exportación del modelo 3D desde Revit a Vico se hace con el fin de poder cuantificar las cantidades de los elementos que el modelo posee. Además, Vico funciona como un enlace entre Revit y WinEst, porque este último no tiene la capacidad de importar modelos. Sin embargo, si es posible exportar las cantidades obtenidas en Vico a WinEst.

Para publicar el modelo lo primero que se debe hacer es crear un proyecto nuevo en Vico, para esto debe seleccionarse la opción *Proyecto nuevo* en la parte superior izquierda de la interfaz del programa, a causa de esto en la ventana *My Dashboard* aparecerá una casilla en blanco debajo de *Project Name* donde se debe escribir el nombre del proyecto nuevo, tal y como se observa en la Figura 21 donde se introdujo el nombre "Tesis" al proyecto nuevo.

Ahora en Revit, en la pestaña *Complementos* se selecciona *Publicar a Vico Office* en el menú de *Herramientas externas*. Se despliega una ventana como la mostrada en la Figura 22 donde se debe seleccionar el nombre del modelo creado en Vico y dar click en *Create new Model* (indicado en color verde) y luego seleccionar *Publish* (indicado en color morado). Revit comenzará a publicar el modelo en Vico.

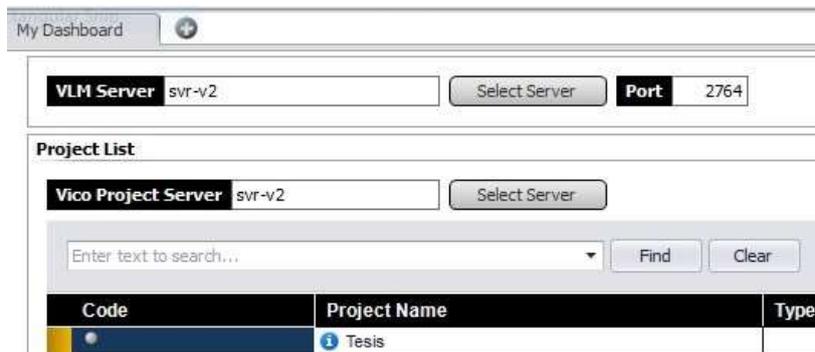


Figura 21. Ventana llamada *My Dashboard* donde se ubican los proyectos creados en Vico

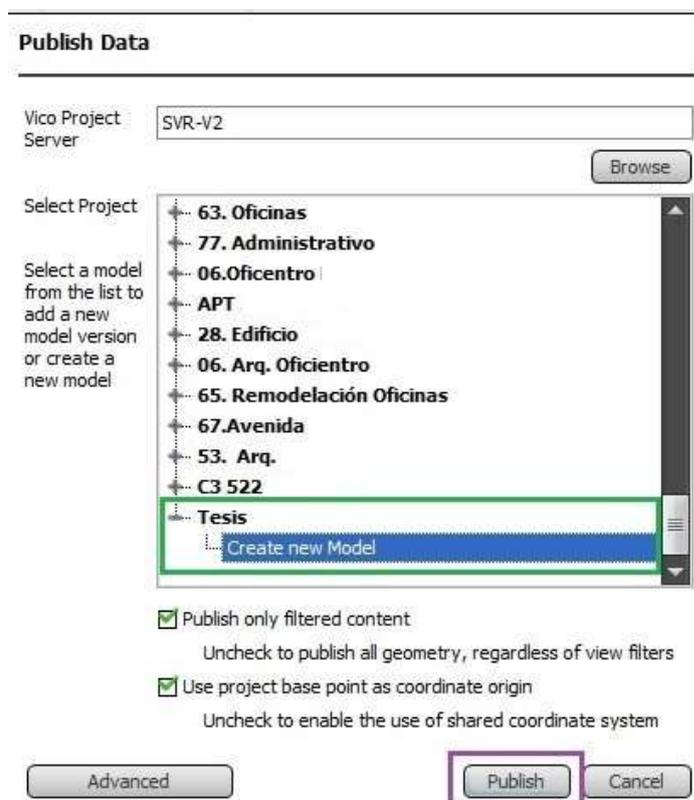


Figura 22. Ventana para publicar el modelo desde Revit a Vico

3.3. Procedimiento de cuantificación en Vico

Para empezar la cuantificación se debe seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Abrir el proyecto en Vico, para esto se debe buscar en *My Dashboard* (Figura 23) el nombre con el que se creó el proyecto, en este caso "Tesis" (indicado en color verde).
- 2) Seleccionar el proyecto (se notará que está seleccionado porque debajo de *Code* se mostrará un cuadro en color amarillo).
- 3) Dar click en el botón *Open*, indicado en color morado.

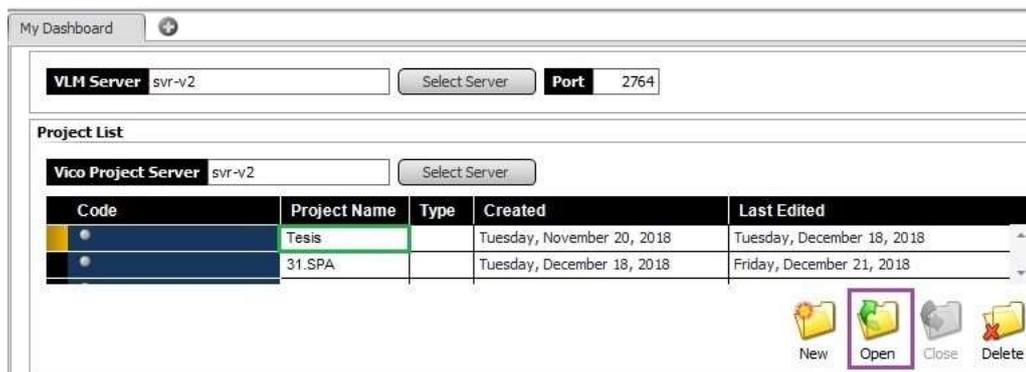


Figura 23. Apertura de un proyecto en Vico

- 4) Escoger la opción *Document Control* (indicado en color verde) en el apartado 2 *Vico for Design* del menú *00 – Vico Office* (Figura 24), esto abre la ventana *Document Controller* (Figura 25).
- 5) Dar click sobre el botón "+" a la par de "3D Models" en la columna *Name*.
- 6) Dar click derecho sobre "V1" (indicado en color morado), allí aparecerán todas las versiones del modelo 3D que han sido exportadas al documento "Tesis".
- 7) Escoger la opción *Activated selected*. Tras unos segundos se activará el modelo 3D.
- 8) Elegir *Takeoff & Estimate* (indicado en color morado) en el apartado 3 *Vico for Cost* del menú *00 – Vico Office* (Figura 24) para acceder a la cuantificación de elementos que genera Vico.
- 9) Dar click sobre la opción *TOI Builder* en el menú horizontal ubicado en la parte superior del programa (Figura 26).
- 10) En la ventana que se abre, ordenar las cantidades por *Assembly code* que es el código *Unifomat* asignado previamente.
- 11) Seleccionar todos los elementos que se quieren cuantificar tal y cómo se muestra en la Figura 27. Y elegir la opción *Quantify Selected* (indicado en color morado) en la Figura 26. Esto cuantificará las dimensiones, áreas y volúmenes de los elementos.

En la Figura 28 se muestra el listado de elementos, donde se puede observar que llevan por nombre (*Name*) el código *Unifomat* asignado en Revit.

Una vez realizada la cuantificación se puede iniciar la estimación en WinEst. Tal procedimiento se detalla en la siguiente sección.

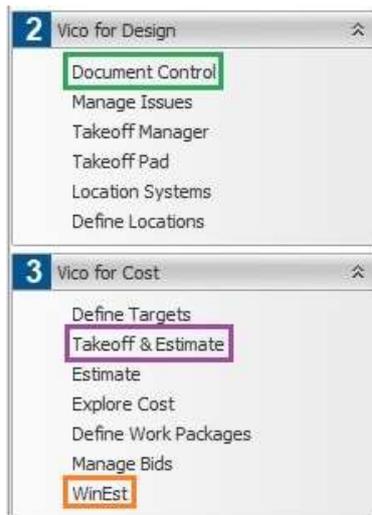


Figura 24. Menú 00 - Vico Office



Figura 25. Ventana *Document Controller* para activación del modelo 3D en Vico



Figura 26. Menú horizontal en la parte superior de la interfaz de Vico

	Info	Code	Name	Type	Cost Me	Task Me	Count
+			B1010.10.VI		No	No	20
+			A1020.80		No	No	99
+			B1010.10.CO		No	No	439
+			B1010.20.PO		No	No	44
+			A1020.30		No	No	2
+			A1010.30.PL		No	No	54
+			A1010.10		No	No	25
+			A4010.10		No	No	3
+			B1010.20.LD		No	No	2
+			B1010.10.MC		No	No	103
+			A2010.10.MC		No	No	22
+			B2010.20.PM		No	No	4
+			UNASSIGNED-BEAM_RECTANGULAR		No	No	3398

Figura 27. Selección de elementos que se desea cuantificar

Takeoff & Estimate						
	Inf	Code	Name	Type	Count	
+			B1010.10.VI		20	
+			A1020.80		99	
+			B1010.10.EA		3161	
+			B10		108	
+			B1020.10.ME		108	
+			B1010.10.CO		440	
+			B1010.20.PO		44	
+			A1020.30		2	
+			A1010.30.PL		54	
+			A1010.10		25	
+			A4010.10		4	
+			B1010.50		2	
+			B1080.10.ME		21	
+			B1010.10.MC		103	
+			A2010.10.MC		22	
+			B2010.20.PM		4	

Figura 28. Cuantificación de los elementos del modelo en Vico

3.4. Procedimiento de estimación en WinEst

Cabe aclarar que en los procedimientos que serán explicados en las siguientes secciones y en donde se deba elegir un elemento del modelo 3D para hacer estimaciones, se tomarán como ejemplo las vigas para ilustrar el proceso. Esos mismos procedimientos se deben seguir para los demás elementos del proyecto como paredes, entresijos, columnas, entre otros.

3.4.1. Creación de un documento nuevo en WinEst con base de datos

Lo primero que debe llevarse a cabo es la creación de un documento nuevo en WinEst, en el que se agregarán los elementos y componentes necesarios para el proyecto que se encuentran en la base de datos. Para crearlo se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) En WinEst, elegir la opción *New* en el menú *File*.
- 2) Dar click en el botón *Add*, el cual se muestra en la Figura 29 indicado en color verde. Esto permite agregar elementos de la base de datos al documento nuevo.
- 3) En la ventana desplegada, que corresponde al buscador de la base de datos, elegir el elemento que se quiere agregar. En este caso como ejemplo se agregan las Vigas, eligiendo la correspondiente nomenclatura de cada nivel de *Uniformat* (Figura 30) Posteriormente dar click en *Add item*.

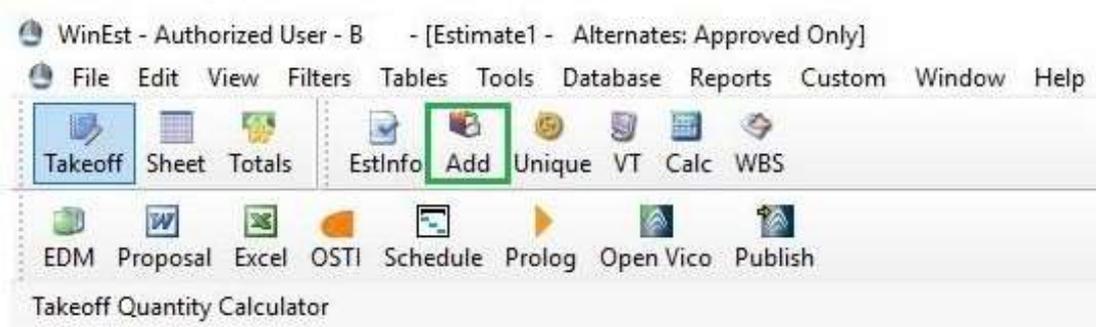


Figura 29. Ubicación del botón "Add" en la interfaz de WinEst

- 4) Elegir los valores para cada variable según las opciones mostradas en la ventana desplegada. Estas opciones se mostrarán una vez que se de click sobre el espacio en blanco, donde debe digitarse el número correspondiente a la opción que se pretende elegir. Por ejemplo, en la Figura 31 se eligió "Concreto f'c 210" y "Concreto bombeado estacionario", identificados con los números 2 y 1, respectivamente. Luego se da click en *Accept*.
- 5) Definir las características de los componentes de la viga. Los cuales se muestran en la Figura 32 y posteriormente dar click en *Pick*. Una vez definidos todos los componentes dar click en *Finish*.

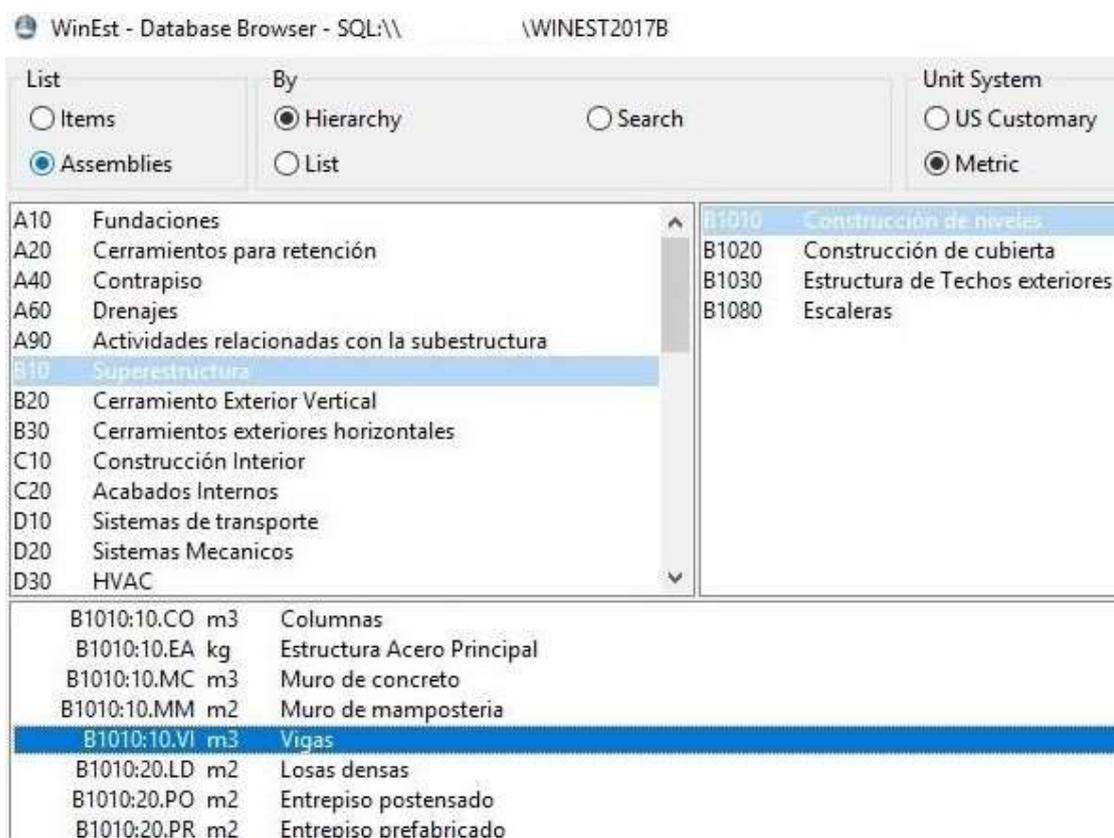


Figura 30. Selección de elemento vigas según *Uniformat*

Specification Variables		Variables Choices	
Concreto	<input type="text" value="2"/>	1	Concreto f'c 175 o menor
Bombeo de concreto	<input type="text"/>	2	Concreto f'c 210
		3	Concreto f'c 245
		4	Concreto f'c 280
		5	Concreto f'c 350
		6	Concreto f'c 420
		7	Concreto f'c 210 autocompactante

Specification Variables		Variables Choices	
Concreto	<input type="text" value="2"/>	1	Concreto bombeado estacionario
Bombeo de concreto	<input type="text" value="1"/>	2	Concreto bombeado telescopico

Figura 31. Elección de concreto y bombeo para las vigas

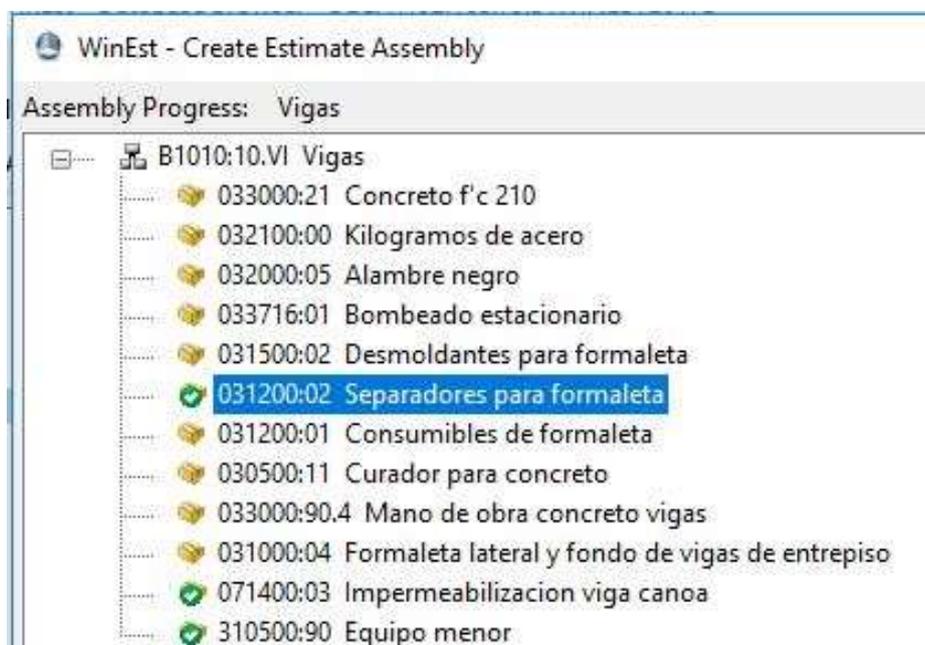


Figura 32. Componentes a definir de las vigas

- 6) Se deben seguir los mismos pasos del 3 al 5 para agregar los demás elementos requeridos, por ejemplo: columnas, contrapiso y entepisos. Por último, dar click en *Accept*.

En la Figura 33 se observa lo que se tiene como resultado tras agregar las vigas siguiendo el procedimiento anterior. Donde en color azul e identificado con el código *Uniformat* se muestra el elemento y en color negro e identificado con el código *Masterformat* se encuentran sus componentes. Además, nótese que en la columna denominada *Qty* (cantidad) no se tiene ningún valor, pues no se ha exportado la cuantificación.

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	10.VI	Vigas		m3
033000	21	Concreto f'c 210		m3
032100	00	Kilogramos de acero		kg
032000	05	Alambre negro		kg
033716	01	Bombeado estacionario		m3
031500	02	Desmoldantes para formaleta		m2
031200	02	Separadores para formaleta		m2
031200	01	Consumibles de formaleta		m2
030500	11	Curador para concreto		m2
033000	90.4	Mano de obra concreto vigas		m3
031000	04	Formaleta lateral y fondo de vigas de entepiso		m2
071400	03	Impermeabilizacion viga canoa		m2
310500	90	Equipo menor		ea
		[End Assembly: Vigas]		

Figura 33. Vigas y sus componentes provenientes de la base de datos de WinEst

3.4.2. Actualización del modelo en los diferentes programas

Como es sabido, el proceso de diseño de un proyecto no es completamente lineal. Incluso en algunas ocasiones se convierte en un proceso iterativo en el que se dan muchos cambios a lo largo de su creación por lo que el modelo 3D de Revit sufre modificaciones que afectan la cuantificación y por consiguiente la estimación.

Es decir, si se realizan cambios en el modelo 3D de Revit entonces debe actualizarse el modelo en Vico. Para poder llevar a cabo esto se debe publicar nuevamente el modelo 3D desde Revit, tal y como se explica en la sección 3.2 de este Trabajo Final de Graduación. La nueva publicación crea una nueva versión del proyecto en Vico, la cual debe ser activada con el fin de que Vico acceda a las modificaciones realizadas en el modelo 3D.

Para activar la versión se debe elegir en Vico el menú *00 - Vico Office* (Figura 24) y en la sección *2 Vico for Design* se debe seleccionar *Document Control* (indicado en color verde), lo que abrirá la ventana *Document Controller* que se muestra en la Figura 34 en la que se puede observar que debajo de *Document Name* se encuentra el nombre del archivo de Revit, en este caso "Oficentro", indicado en color verde. Además, en *Versions* se muestran las versiones del modelo que han sido publicadas, donde el punto gris (indicado en color morado) en la casilla denota que es la versión V13 la que está activa.

Para activar la versión V14 se debe dar click derecho sobre la casilla V14 y elegir la opción *Activated Selected*. En la Figura 35 se puede observar que el punto gris se encuentra en la

casilla de la versión V14 (indicado en color verde) por lo tanto esa es la que se encuentra activa.



Figura 34. Ventana Document Controller en la que está activada la versión V13 del modelo

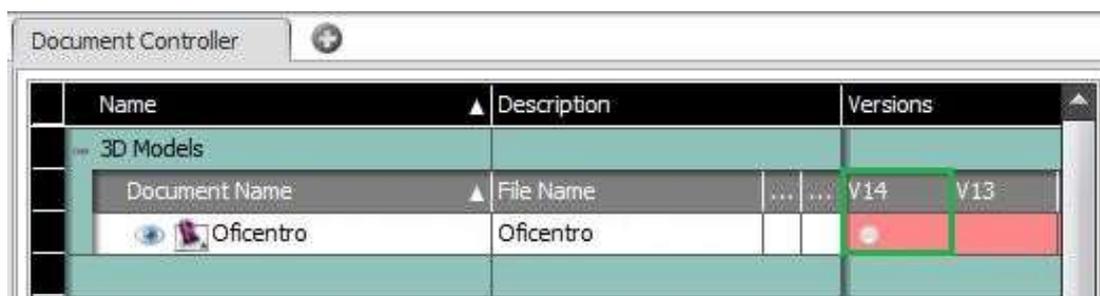


Figura 35. Ventana Document Controller

3.4.3. Exportación de cantidades de Vico a WinEst

Para exportar las cantidades que Vico ha calculado a partir de la sustracción de información de Revit (Sección 3.3) a WinEst se debe seguir el siguiente procedimiento.

- 1) Abrir documento de WinEst desde Vico.

En el menú 00 – Vico Office (Figura 24), en el apartado 3 *Vico for Cost* se elige *WinEst* (indicado en color anaranjado) lo que lleva a que en la pantalla se muestren 3 ventanas: Vista 3D del modelo (*3D View*), la tabla de elementos cuantificados (*Takeoff Manager*) y la Vista de WinEst (*WinEst View*, Figura 36). Esta última aparece en blanco, por lo que se debe dar click sobre ella y posteriormente en el menú *WinEst Actions* (Figura 37) ubicado en la parte superior de la interfaz del programa, dar click sobre *Open Current Estimate* (indicado en color verde) que significa "Abrir la estimación actual". Esta se refiere al documento creado en la sección 3.4.1.

- 2) Asignar las cantidades de *Takeoff Manager* a *WinEst Takeoff Palette*.

Seleccionar *WinEst Takeoff Palette* ubicado al final del lado derecho de la pantalla para abrir la ventana del mismo nombre. En la ventana *Takeoff Manager* (Figura 38) dar click sobre el símbolo "+" (después del click pasa a ser un símbolo "-", este se observa indicado en color verde), ubicado a la izquierda del código *Uniformat* del elemento que se desea estimar

en este caso "B1010.10.VI" (vigas). En la ventana *WinEst Takeoff Palette* (Figura 38) se encuentran algunas fórmulas de cuantificación que han sido introducidas previamente, en la primera fila se muestra "Volumen de concreto", indicado en color morado. Para calcular el volumen de concreto de las vigas se debe dar click sobre *Net Volume* (indicado en color anaranjado) en la ventana *Takeoff Manager* y sin soltar el botón arrastrar el valor hasta la casilla *Volumen de concreto* de la ventana *WinEst Takeoff Palette* y soltar el botón del *mouse* allí.

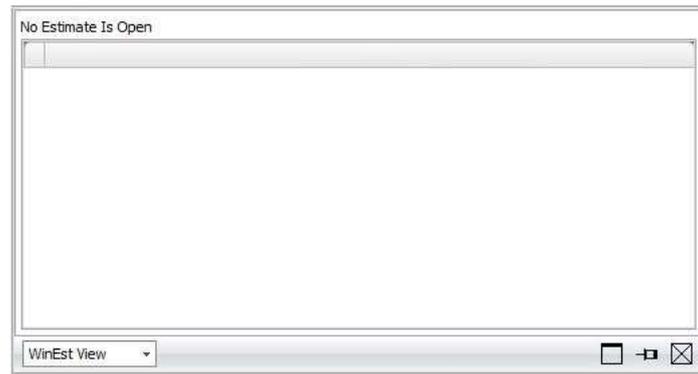


Figura 36. Ventana de vista de WinEst en Vico



Figura 37. Menú Acciones de WinEst

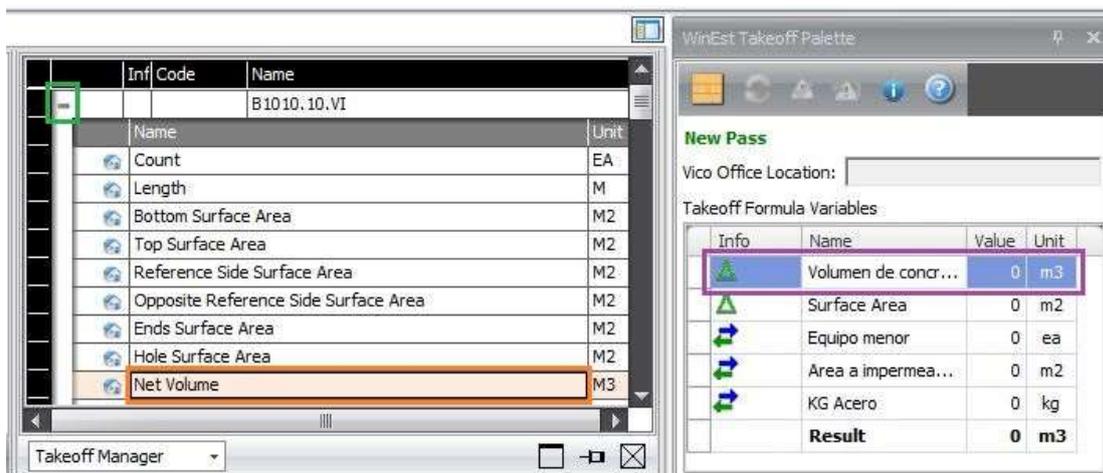


Figura 38. Ventanas *Takeoff Manager* y *WinEst Takeoff Palette*

Se debe seguir un procedimiento similar para calcular el área de superficie (*Surface Area*) que posteriormente será utilizada para calcular el área de formaleta. Con la única diferencia que se debe seleccionar al mismo tiempo los valores *Bottom Surface Area*, *Reference Side Surface Area* y *Opposite Reference Side Surface Area* que corresponden a área de la superficie del fondo, área de la superficie del lado de referencia y área de la superficie del lado opuesto al lado de referencia, respectivamente.

Una vez realizado este paso se establece una conexión entre los valores de las 2 ventanas, que se identifica con un símbolo de casa (indicado en color verde) ubicado a la izquierda del nombre de la variable; a la derecha se muestra el valor calculado, tal y como se muestra en la Figura 39.

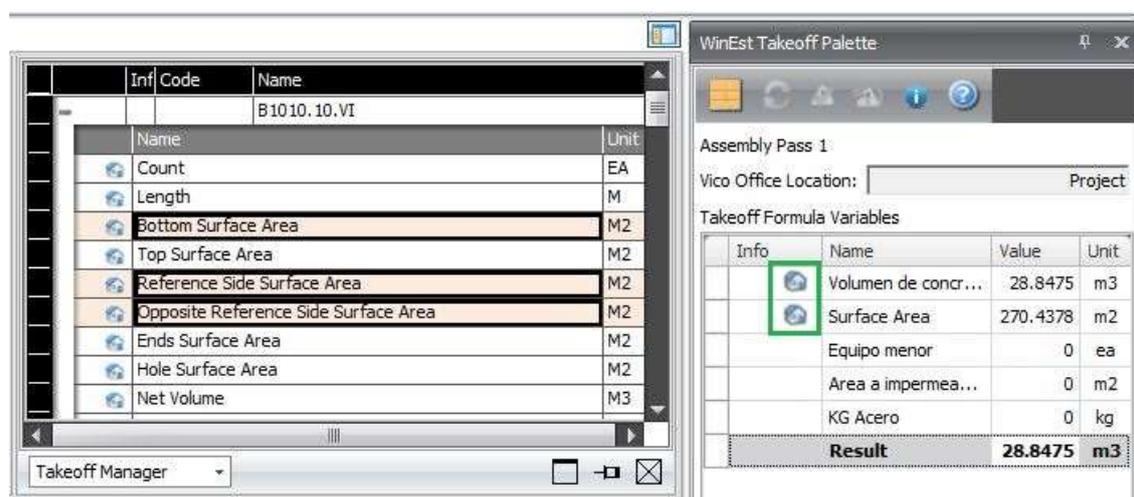


Figura 39. Volumen de concreto y área de superficie enlazados entre las ventanas *Takeoff Manager* y *WinEst Takeoff Palette*

3.4.4. Establecimiento de enlaces entre Vico y WinEst

Los valores del modelo en Vico ya han sido exportados a WinEst, sin embargo, en esta sección se explicará cómo establecer enlaces o mapeos que permitan que las cantidades de Vico identificadas con un código *Uniformat* específico estén ligadas a elementos de WinEst con el mismo código en el proyecto en el que se esté trabajando y en proyectos posteriores.

Se debe tomar en cuenta que la ventana *Takeoff Manager* pertenece a Vico y la ventana *WinEst View* representa a WinEst. Para establecer los enlaces entre los programas se deben seguir los siguientes pasos.

- 1) Seleccionar "B1010.10.VI" en *Takeoff Manager*.

- 2) Dar click sobre la fila correspondiente a Vigas en *WinEst View*.
- 3) En el menú *WinEst Actions* (Figura 37) ubicado en la parte superior de la interfaz del programa, seleccionar el botón *Save Mapping* (indicado en color morado). Como resultado se desplegará la ventana mostrada en la Figura 40, la cual indica que el enlace entre el ítem "B1010.10.VI" de Vico y el ensamble "B1010.10.VI" de WinEst ha sido guardado o mapeado.



Figura 40. Mensaje de enlace guardado

Para verificar los enlaces que ya han sido mapeados se debe elegir *Manage Mapping* (indicado en color anaranjado) en el menú *WinEst Actions* (Figura 37), lo que desplegará la ventana mostrada en la Figura 41, donde se pueden observar todos los enlaces creados.

Posteriormente se debe dar click en el botón *Update to Estimate* en la ventana WinEst Takeoff Palette para actualizar la estimación en todas las ventanas incluyendo *WinEst View*, por lo que las cantidades serán transmitidas inmediatamente al documento de *WinEst*. Al comparar la tabla en *WinEst View* mostrada en la Figura 42 con la tabla del archivo de *WinEst* mostrada en la Figura 43 se puede notar que es la misma, pues ya existe una conexión establecida entre los programas.

Es importante mencionar que los enlaces mapeados se guardarán como un archivo XML en la carpeta de WinEstimator bajo el nombre "vico", por tanto, funcionarán cuando se actualice el proyecto o incluso cuando se creen otros proyectos que contengan los códigos *Uniformat*. Por consiguiente, los mapeos solo deben realizarse una vez, a menos que se quieran cambiar los códigos o nombres de los elementos.



Figura 41. Reporte de enlaces guardados

	Info	Status	CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
1			B1010	10.VI	Vigas	28.8	m3
2			033000	21	Concreto f'c 210	28.8	m3
3			032100	00	Kilogramos de acero		kg
4			032000	05	Alambre negro		kg
5			033716	01	Bombeado estacionario	28.8	m3
6			031500	02	Desmoldantes para formaleta	270.4	m2
7			031200	02	Separadores para formaleta	270.4	m2
8			031200	01	Consumibles de formaleta	270.4	m2
9			030500	11	Curador para concreto	270.4	m2
10			033000	90.4	Mano de obra concreto vigas	28.8	m3
11			031000	04	Formaleta lateral y fondo de vigas de entrepiso	270.4	m2
12			071400	03	Impemeabilizacion viga canoa		m2
13			310500	90	Equipo menor		ea
14					(End Assembly: Vigas)		

Figura 42. Cantidades de componentes de vigas en la ventana WinEst View de Vico

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	10.VI	Vigas	28.8	m3
033000	42	Concreto f'c 420	28.8	m3
033716	01	Bombeado estacionario	28.8	m3
031500	02	Desmoldantes para formaleta	276.6	m2
031200	01	[2x] Consumibles de formaleta	553.3	m2
030500	11	Curador para concreto	276.6	m2
031000	04	Formaleta lateral y fondo de vigas de entre	276.6	m2

Figura 43. Cantidades de componentes de vigas en WinEst

3.4.5. Estimación en WinEst

En esta sección se explica el procedimiento que se debe seguir para obtener una estimación de costos en WinEst. En la sección 3.4.1. "Creación de un documento nuevo en WinEst con base de datos" se explicó el procedimiento para incorporar los elementos que se quieren incluir en la estimación de costos y como incluir los materiales desde la base de datos.

Como la base de datos incluye los costos por unidad de cada material entonces el costo total del elemento se calcula automáticamente y se presenta junto a la información de cuantificación, los costos correspondientes a las vigas se muestran en la Figura 44 (continuación de la Figura 43), donde en color azul se muestran los valores que corresponden a las vigas en general y en color negro los valores que corresponden a cada material o equipo. Por ejemplo, en este caso el costo total de las vigas sería de \$14 964, que es el valor que se encuentra en color azul en la primera fila de la columna *Grand total*.

Lab Total	Mat \$/Unit	Mat Waste	Mat Unit	Mat Qty	Mat Price	Mat Total	Equip \$/Unit	Equip Total	Total \$/Unit	Grand Total
4,429	249.23					7,190	115.98	3,346	518.74	14,964
	140.01	3	m3	29.71	135.93	4,039	4.08	118	144.09	4,157
			m3				16.00	462	16.00	462
	0.30		m2	276.64	0.30	83			0.30	83
	3.20		m2	553.28	3.20	1,770			3.20	1,770
	1.09		m2	276.64	1.09	302			1.09	302
4,429	10.00		m2	276.64	10.00	2,766	10.00	2,766	36.01	9,962

Figura 44. Tabla de estimación de costos en WinEst de vigas de entripiso

Para acceder al costo total estimado por el programa se debe seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Crear un filtro, para lo cual se selecciona la opción *Sheet* (indicado en color verde en la Figura 45) en el menú ubicado en la parte superior del programa.
- 2) Posteriormente elegir la opción *Filters* (indicado en color morado en la Figura 45), tras esto se desplegará la ventana *Choose Filter* (Figura 46) que permite elegir el tipo de filtro.
- 3) En la ventana (Figura 46) se elige la opción *Assemblies – Summary* (resaltado en color azul) y se da click en el botón *Ok* (indicado en color azul).

El resultado de este procedimiento se muestra en la Figura 47 que presenta un resumen de los costos según el elemento y la estimación total que suma todos los costos de los elementos.



Figura 45. Menú principal de interfaz de WinEst

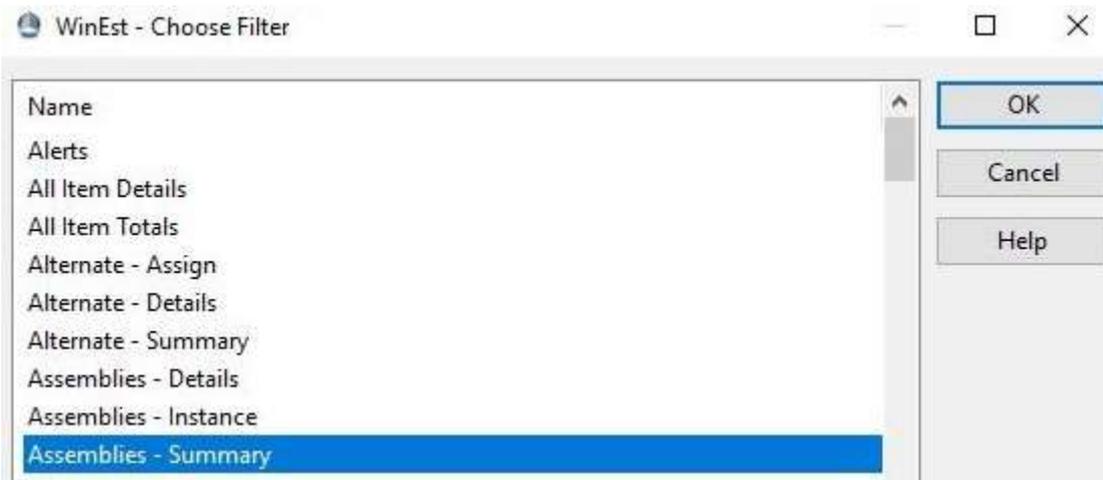


Figura 46. Ventana de elección de filtros de información

Assembly Name	Takeoff Qty	Unit	Labor Total	Mat Total	Subs Total	Equip Total	Total \$/Unit	Grand Total
Placa corrida	146.4	m3	2,101.44	64,792.98		1,413.92	466.73	68,308.34
Columnas	410.0	m3	39,260.11	78,509.32		29,552.26	359.35	147,321.68
Muro de concreto	355.7	m3	38,476.71	95,389.12		30,677.56	462.54	164,543.39
Vigas	28.8	m3	4,429.00	8,960.29		3,345.59	580.12	16,734.89
Losas densas	144.2	m2	1,390.80	7,113.15		3,157.90	80.87	11,661.85
Pared de mamposteria no estructural	18.8	m2		364.88			19.37	364.88
Entrepiso postensado	13,270.9	m2	19,906.26	433,967.89	53,083.37	79,724.41	44.21	586,681.94
Losa Flotante	562.6	m3	2,870.15	72,505.96		11,177.89	153.84	86,554.00
Placa aislada	373.5	m3	4,677.76	48,824.81		9,123.74	167.66	62,626.32
Viga de fundacion	97.5	m3	8,360.85	15,340.79		7,185.07	316.87	30,886.70
Grand Total			121,473.09	825,769.19	53,083.37	175,358.34		1,175,683.99

Figura 47. Tabla resumen de estimación total de costos en WinEst

3.5. Diagrama de flujo de Guía BIM 5D

En la Figura 48 se presenta un diagrama de flujo que resume los procedimientos detallados en las primeras 4 secciones de este capítulo.

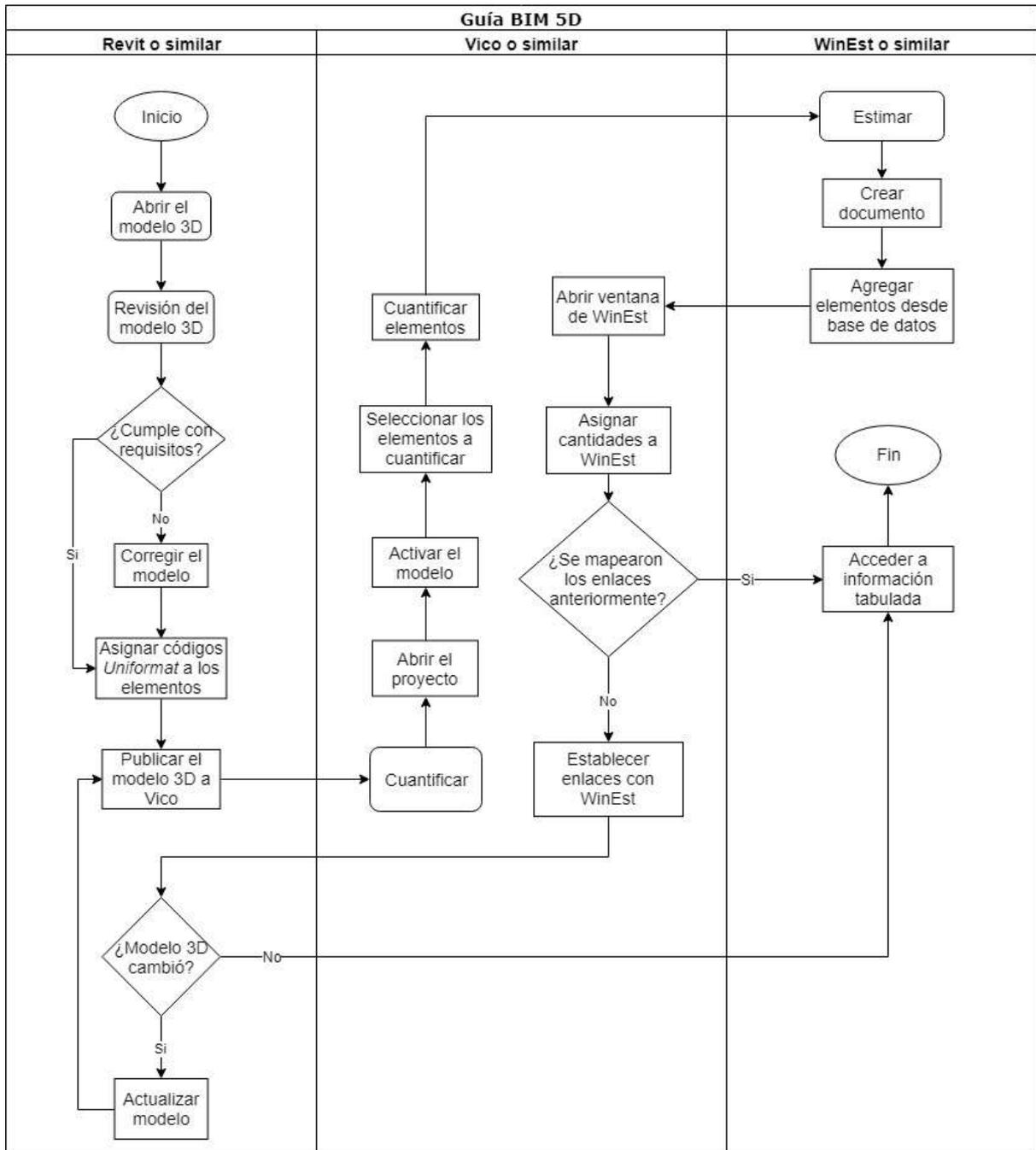


Figura 48. Diagrama de flujo de Guía BIM 5D

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE LA GUÍA AL EDIFICIO DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO REAL

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la guía BIM 5D, desarrollada en el Capítulo 3 y resumida en la Figura 48, al modelo 3D del Edificio del proyecto constructivo real.

4.1. Descripción del proyecto constructivo real

La Figura 49 muestra el modelo 3D de Revit utilizado en este Trabajo Final de Graduación, el cual corresponde al del Edificio 1 de un proyecto constructivo real, que ya ha sido construido.

Este edificio de oficinas posee 1 sótano, 5 niveles y la azotea. La obra gris está compuesta por entrepisos de losas de concreto con acero postensado; y contrapiso, columnas, vigas, muros y cimientos de concreto reforzado. Además, las columnas en la azotea, la estructura de techo, los volúmenes arquitectónicos y las escaleras son metálicas.

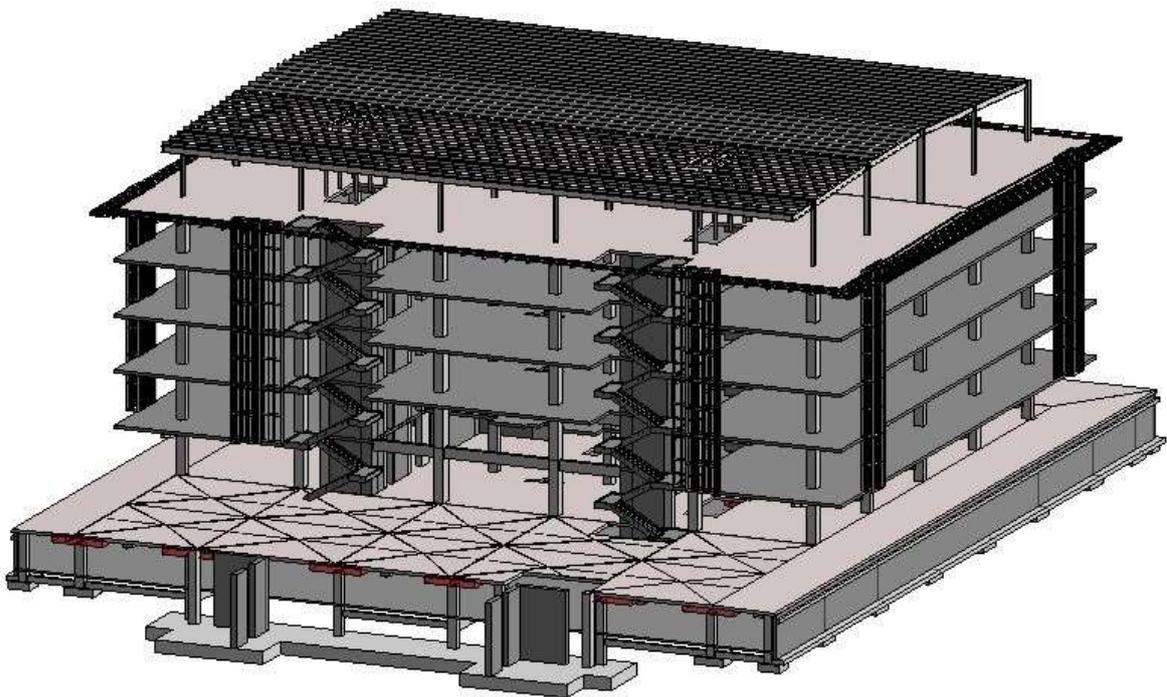


Figura 49. Modelo 3D de Revit del Edificio 1 del proyecto constructivo real

4.2. Resultados obtenidos de cuantificación de cantidades en Vico

Para iniciar, se parte de que los códigos *Uniformat* ya han sido asignados tal y como se explicó en la sección 3.1.

Tras seguir el "Procedimiento de cuantificación en Vico" (sección 3.3) se obtiene como resultado la Figura 50, donde en la columna *Name* (nombre) se encuentran los códigos *Uniformat* con los que cada elemento es identificado, en la columna *Type* (tipo) se observan las representaciones en tres dimensiones del elemento y en la columna *Count* (cuenta) se muestran las cantidades totales de unidades para cada elemento.

	Info	Code	Name	Type	Count
+			B 10 10. 10.VI		20
+			A 10 20.80		99
+			B 10 10. 10.CO		440
+			B 10 10. 20.PO		44
+			A 10 20. 30		2
+			A 10 10. 30.PL		54
+			A 10 10. 10		25
+			A 40 10. 10		4
+			B 10 10. 10.MC		103
+			A 20 10. 10.MC		22
+			B 20 10. 20.PM		4
+			B 10 10. 20.LD		2

Figura 50. Tabla resumen de cuantificación de los elementos existentes en el modelo 3D

Además, en la Figura anterior se puede observar que para cada elemento se encuentra un botón identificado con el signo "+" en la primera columna de izquierda a derecha. Al seleccionarlo se desprenden más filas de información sobre las cantidades de cada elemento en específico.

Desde la Figura 51 hasta la Figura 62 se muestran los datos geométricos y dimensionales obtenidos por Vico desde Revit para cada elemento. En orden descendente aparecen los datos totales de: cuenta (*Count*), longitud (*Length*), área de superficie inferior (*Bottom Surface Area*), área de superficie superior (*Top Surface Area*), área de superficie lateral de referencia (*Reference Side Surface Area*), área de superficie lateral opuesta a la de referencia (*Reference Side Surface Area*) y volumen neto (*Net volume*), por mencionar los más importantes. Estas cantidades son las que serán exportadas a WinEst mediante el procedimiento explicado en la sección 3.4.3. "Exportación de cantidades de Vico a WinEst".

Info	Code	Name	Type	Count
		B 1010. 10.VI		20
Name	Unit	Project		
 Count	EA	20.00		
 Length	M	342.07		
 Bottom Surface Area	M2	71.87		
 Top Surface Area	M2	67.88		
 Reference Side Surface Area	M2	106.30		
 Opposite Reference Side Surface Area	M2	106.74		
 Ends Surface Area	M2	27.27		
 Hole Surface Area	M2	0.00		
 Net Volume	M3	28.85		
 Gross Volume	M3	28.85		
 Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00		
 Joint Vertical Surface Area	M2	0.00		
 Piece Count	EA	20.00		
 Piece Length	M	342.07		
 CAD_Count	EA	20.00		
 CAD_Length	M	342.07		
 CAD_Volume	M3	28.87		

Figura 51. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las vigas de entepiso

Info	Code	Name	Type	Count
		A 1020.80		99
Name	Unit	Project		
 Count	EA	99.00		
 Length	M	671.47		
 Bottom Surface Area	M2	173.15		
 Top Surface Area	M2	174.59		
 Reference Side Surface Area	M2	351.60		
 Opposite Reference Side Surface Area	M2	349.14		
 Ends Surface Area	M2	41.56		
 Hole Surface Area	M2	0.00		
 Net Volume	M3	97.48		
 Gross Volume	M3	97.48		
 Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00		
 Joint Vertical Surface Area	M2	0.00		
 Piece Count	EA	99.00		
 Piece Length	M	671.47		
 CAD_Count	EA	99.00		
 CAD_Length	M	671.47		
 CAD_Volume	M3	97.48		

Figura 52. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las vigas de fundación

		B1010.10.CO	440
Name	Unit	Project	
Count	EA	440.00	
Height	M	1,205.38	
Vertical Surface Area	M2	2,874.64	
Top Surface Area	M2	150.06	
Bottom Surface Area	M2	148.53	
Hole Surface Area	M2	0.00	
Net Volume	M3	409.97	
Gross Volume	M3	409.97	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	440.00	
Piece Height	M	1,205.38	
CAD_Count	EA	440.00	
CAD_Length	M	1,257.90	
CAD_Volume	M3	409.97	

Figura 53. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las columnas

		B1010.20.PO	44
Name	Unit	Project	
Count	EA	44.00	
Edge Perimeter	M	2,423.13	
Hole Count	EA	37.00	
Hole Perimeter	M	283.50	
Net Bottom Surface Area	M2	13,270.84	
Net Top Surface Area	M2	13,270.92	
Edge Surface Area	M2	479.11	
Hole Surface Area	M2	154.35	
Net Volume	M3	2,648.82	
Gross Volume	M3	2,679.69	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	44.00	
Edge Length	M	2,423.13	
Joint Length	M	0.00	
Hole Edge Length	M	283.50	
Hole Joint Length	M	0.00	
CAD_Count	EA	44.00	
CAD_Volume	M3	2,648.86	

Figura 54. Tabla de datos geométricos y dimensionales de los entrepisos de concreto postensado

		A1020.30	2
Name	Unit	Project	
Count	EA	2.00	
Edge Perimeter	M	217.60	
Hole Count	EA	1.00	
Hole Perimeter	M	74.20	
Net Bottom Surface Area	M2	661.90	
Net Top Surface Area	M2	661.90	
Edge Surface Area	M2	184.96	
Hole Surface Area	M2	122.50	
Net Volume	M3	562.62	
Gross Volume	M3	666.74	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	2.00	
Edge Length	M	217.60	
Joint Length	M	0.00	
Hole Edge Length	M	74.20	
Hole Joint Length	M	0.00	
CAD_Count	EA	2.00	
CAD_Volume	M3	562.62	

Figura 55. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las losas flotantes

		A1010.30.PL	54
Name	Unit	Project	
Count	EA	54.00	
Edge Perimeter	M	577.40	
Hole Count	EA	0.00	
Hole Perimeter	M	0.00	
Net Bottom Surface Area	M2	492.64	
Net Top Surface Area	M2	492.64	
Edge Surface Area	M2	393.42	
Hole Surface Area	M2	0.00	
Net Volume	M3	373.52	
Gross Volume	M3	373.52	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	54.00	
Edge Length	M	577.40	
Joint Length	M	0.00	
Hole Edge Length	M	0.00	
Hole Joint Length	M	0.00	
CAD_Count	EA	54.00	
CAD_Volume	M3	373.52	

Figura 56. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las placas aisladas de fundación

		A10 10.10	25
Name	Unit	Project	
Count	EA	25.00	
Edge Perimeter	M	435.71	
Hole Count	EA	0.00	
Hole Perimeter	M	0.00	
Net Bottom Surface Area	M2	235.69	
Net Top Surface Area	M2	235.69	
Edge Surface Area	M2	176.74	
Hole Surface Area	M2	0.00	
Net Volume	M3	146.36	
Gross Volume	M3	146.36	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	25.00	
Edge Length	M	435.71	
Joint Length	M	0.00	
Hole Edge Length	M	0.00	
Hole Joint Length	M	0.00	
CAD_Count	EA	25.00	
CAD_Volume	M3	146.36	

Figura 57. Tabla de datos geométricos y dimensionales de las placas corridas de fundación

		A40 10.10	4
Name	Unit	Project	
Count	EA	4.00	
Edge Perimeter	M	308.14	
Hole Count	EA	2.00	
Hole Perimeter	M	28.32	
Net Bottom Surface Area	M2	3,297.82	
Net Top Surface Area	M2	3,297.82	
Edge Surface Area	M2	34.14	
Hole Surface Area	M2	22.14	
Net Volume	M3	390.10	
Gross Volume	M3	392.76	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	4.00	
Edge Length	M	308.14	
Joint Length	M	0.00	
Hole Edge Length	M	28.32	
Hole Joint Length	M	0.00	
CAD_Count	EA	4.00	
CAD_Volume	M3	390.11	

Figura 58. Tabla de datos geométricos y dimensionales del contrapiso

		B 10 10. 10.MC	103
Name	Unit	Project	
Count	EA	103.00	
Length	M	304.51	
Net Reference Side Surface Area	M2	942.89	
Net Opposite Reference Side Surface Area	M2	942.86	
Top Surface Area	M2	111.54	
Bottom Surface Area	M2	111.54	
Ends Surface Area	M2	244.83	
Reference Side Opening Surface Area	M2	0.00	
Opposite Reference Side Opening Surface Area	M2	0.00	
Net Volume	M3	355.74	
Gross Volume	M3	355.74	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	103.00	
Piece Length	M	304.51	
CAD_Count	EA	103.00	
CAD_Length	M	304.51	
CAD_Volume	M3	355.74	

Figura 59. Tabla de datos geométricos y dimensionales de los muros internos de concreto

		A20 10. 10.MC	22
Name	Unit	Project	
Count	EA	22.00	
Length	M	175.52	
Net Reference Side Surface Area	M2	515.37	
Net Opposite Reference Side Surface Area	M2	516.00	
Top Surface Area	M2	35.08	
Bottom Surface Area	M2	35.08	
Ends Surface Area	M2	26.38	
Reference Side Opening Surface Area	M2	0.00	
Opposite Reference Side Opening Surface Area	M2	0.00	
Net Volume	M3	103.05	
Gross Volume	M3	103.05	
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00	
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00	
Piece Count	EA	22.00	
Piece Length	M	175.52	
CAD_Count	EA	22.00	
CAD_Length	M	175.52	
CAD_Volume	M3	103.14	

Figura 60. Tabla de datos geométricos y dimensionales de los muros de retención de concreto

		B20 10. 20.PM		4
Name	Unit	Project		
Count	EA	4.00		
Length	M	7.18		
Net Reference Side Surface Area	M2	18.84		
Net Opposite Reference Side Surface Area	M2	18.51		
Top Surface Area	M2	1.07		
Bottom Surface Area	M2	1.07		
Ends Surface Area	M2	3.12		
Reference Side Opening Surface Area	M2	0.00		
Opposite Reference Side Opening Surface Area	M2	0.00		
Net Volume	M3	2.78		
Gross Volume	M3	2.78		
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00		
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00		
Piece Count	EA	4.00		
Piece Length	M	7.18		
CAD_Count	EA	4.00		
CAD_Length	M	7.18		
CAD_Volume	M3	2.80		

Figura 61. Tabla de datos geométricos y dimensionales del muro no estructural de mampostería

		B10 10. 20.LD		2
Name	Unit	Project		
Count	EA	2.00		
Edge Perimeter	M	81.27		
Hole Count	EA	0.00		
Hole Perimeter	M	0.00		
Net Bottom Surface Area	M2	136.56		
Net Top Surface Area	M2	136.62		
Edge Surface Area	M2	15.55		
Hole Surface Area	M2	0.00		
Net Volume	M3	31.84		
Gross Volume	M3	31.84		
Joint Horizontal Surface Area	M2	0.00		
Joint Vertical Surface Area	M2	0.00		
Piece Count	EA	2.00		
Edge Length	M	81.27		
Joint Length	M	0.00		
Hole Edge Length	M	0.00		
Hole Joint Length	M	0.00		
CAD_Count	EA	2.00		
CAD_Volume	M3	31.84		

Figura 62. Tabla de datos geométricos y dimensionales del entrepiso de losa densa

4.3. Resultados obtenidos de estimación de costos en WinEst

4.3.1. Resultados obtenidos de estimación de áreas y volúmenes en WinEst

Mediante el procedimiento explicado en la sección 3.4.3 se exportaron (desde Vico hacia WinEst) las cantidades mostradas en las figuras de la sección anterior. En la Figura 63 se muestra el resumen de cantidades, según el elemento, en WinEst. En el caso del contrapiso, el entrepiso postensado y el entrepiso de losa densa, se presenta el área en metros cuadrados (m²) de lo que debe cubrirse en concreto. En el caso de la pared de mampostería no estructural se reporta el área en metros cuadrados (m²) de lo que debe cubrirse con bloques de mampostería. Para los demás elementos se reporta el volumen de concreto en metros cúbicos (m³).

		CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit	Unit
*+	1	A1010	30.PA	Placa aislada	373.5	m3	m3
	2			(End Assembly: Placa aislada)			
*+	3	A1010	10	Placa corrida	146.4	m3	m3
	4			(End Assembly: Placa corrida)			
*+	5	A1020	40	Viga de fundacion	97.5	m3	m3
	6			(End Assembly: Viga de fundacion)			
*+	7	A1020	30	Losa Flotante	562.6	m3	m3
	8			(End Assembly: Losa Flotante)			
*+	9	A4010	10	Contrapiso	3,297.8	m2	m2
	10			(End Assembly: Contrapiso)			
*+	11	B1010	10.CO	Columnas	410.0	m3	m3
	12			(End Assembly: Columnas)			
*+	13	B1010	20.PO	Entrepiso postensado	13,270.9	m2	m2
	14			(End Assembly: Entrepiso postensado)			
*+	15	B1010	10.VI	Vigas	28.8	m3	m3
	16			(End Assembly: Vigas)			
*+	17	B1010	10.MC	Muro de concreto	355.7	m3	m3
	18			(End Assembly: Muro de concreto)			
*+	19	A2010	10.MC	Muro de retención de concreto	103.1	m3	m3
	20			(End Assembly: Muro de retención de concreto)			
*+	21	B2010	20.PM	Pared de mamposteria no estructural	18.8	m2	m2
	22			(End Assembly: Pared de mamposteria no estructural)			
*+	23	B1010	20.LD	Losas densas	136.6	m2	m2

Figura 63. Tabla resumen de cantidades de áreas o volúmenes de concreto para cada elemento, en WinEst

Como puede observarse en la figura anterior para cada elemento se encuentra un botón identificado con el signo "+" en la primera columna de izquierda a derecha. Tras seleccionarlo se despliegan más filas de información sobre las cantidades y materiales de cada elemento en específico. Para obtener estos datos en WinEst se siguió el procedimiento explicado en la sección 3.4.1. (a partir del punto 3), en donde se eligieron de la base de datos los materiales y características correspondientes a lo especificado en planos o lo requerido para su construcción. Por ejemplo, en la Figura 64 se introdujo el número 2 en

la celda a la derecha de "Concreto" (indicado en color verde), lo que implica que se eligió el concreto de resistencia 210 kg/cm², en el caso del contrapiso.

Desde la Figura 65 hasta la Figura 76 se muestran los datos obtenidos por WinEst desde Vico para cada elemento.

The image shows two screenshots of the WinEst software interface. The top screenshot shows the 'Specification Variables' section with 'Concreto' set to '2' and 'Bombeo de concreto' set to an empty field. The 'Variables Choices' list includes: 1 Concreto f'c 175 o menor, 2 Concreto f'c 210 (highlighted), 3 Concreto f'c 245, 4 Concreto f'c 280, 5 Concreto f'c 350, 6 Concreto f'c 420, and 7 Concreto f'c 210 autocompactante. The bottom screenshot shows 'Concreto' set to '2' and 'Bombeo de concreto' set to '1'. The 'Variables Choices' list includes: 1 Concreto bombeado estacionario (highlighted) and 2 Concreto bombeado telescopico.

Figura 64. Ventana de WinEst para elección del tipo de concreto requerido para el contrapiso

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
A1010	30.PA	Placa aislada	373.5	m3
033000	28	Concreto f'c 280	373.5	m3
033716	01	Bombeado estacionario	373.5	m3
031200	01	Consumibles de formaleta	393.4	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	393.4	m2
030500	11	Curador para concreto	393.4	m2
031000	01	Formaletas Placas Corridas y Aisladas	393.4	m2

Figura 65. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las placas aisladas de fundación

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
A1010	10	Placa corrida	146.4	m3
033000	28	Concreto f'c 280	146.4	m3
033716	01	Bombeado estacionario		m3
031200	01	Consumibles de formaleta	176.7	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	176.7	m2
030500	11	Curador para concreto	176.7	m2
031000	01	Formaletas Placas Corridas y Aisladas	176.7	m2

Figura 66. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las placas corridas de fundación

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
A1020	40	Viga de fundacion	97.5	m3
033000	28	Concreto f'c 280	97.5	m3
033716	01	Bombeado estacionario	97.5	m3
031200	01	Consumibles de formaleta	703.2	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	703.2	m2
030500	11	Curador para concreto	703.2	m2
031000	01	Formaletas Placas Corridas y Aisladas	703.2	m2

Figura 67. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las vigas de fundación

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
A1020	30	Losa Flotante	562.6	m3
033000	28	Concreto f'c 280	562.6	m3
033716	01	Bombeado estacionario	562.6	m3
031200	01	Consumibles de formaleta	185.0	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	185.0	m2
030500	11	Curador para concreto	185.0	m2
031000	09	Formaleta lateral de losas	217.6	lnm

Figura 68. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las losas flotantes

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	10.CO	Columnas	410.0	m3
033000	28	Concreto f'c 280	410.0	m3
033716	01	Bombeado estacionario	410.0	m3
030500	11	Curador para concreto	2,874.1	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	2,874.1	m2
031200	01	Consumibles de formaleta	2,874.1	m2
031000	02	Formaleta lateral columnas	2,874.1	m2

Figura 69. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las columnas

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	20.PO	Entrepiso postensado	13,270.9	m2
033000	42	[2x] Concreto f'c 420	2,648.8	m3
033716	01	Bombeado estacionario	2,648.8	m3
030500	13	Colocacion y acabado de concreto	13,270.8	m2
030500	11	Curador para concreto	13,750.0	m2
031200	01	Consumibles de formaleta	13,750.0	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	13,750.0	m2
031113	01	Apuntalamiento de entrepiso	13,270.8	m2

Figura 70. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a los entrepisos de concreto postensado

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	10.VI	Vigas	28.8	m3
033000	42	Concreto f'c 420	28.8	m3
033716	01	Bombeado estacionario	28.8	m3
031500	02	Desmoldantes para formaleta	276.6	m2
031200	01	[2x] Consumibles de formaleta	553.3	m2
030500	11	Curador para concreto	276.6	m2
031000	04	Formaleta lateral y fondo de vigas de entre	276.6	m2

Figura 71. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a las vigas de entripiso

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	10.MC	Muro de concreto	355.7	m3
033000	28	Concreto f'c 280	355.7	m3
033716	01	Bombeado estacionario	355.7	m3
031500	02	Desmoldantes para formaleta	1,885.7	m2
030500	11	Curador para concreto	1,885.7	m2
031200	01	Consumibles de formaleta	1,885.7	m2
031000	03	Formaleta lateral de muros	1,885.7	m2

Figura 72. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a los muros de concreto

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B2010	20.PM	Pared de mamposteria no estructural	18.8	m2
042000	15	Bloques de concreto de 15 cm	18.8	m2
040516	07	Concreto de relleno de mamposteria	0.5	m3
040513	08	Mortero de pega de mamposteria	0.3	m3

Figura 73. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a la pared de mampostería no estructural

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
A2010	10.MC	Muro de retención de concreto	103.1	m3
033000	28	Concreto f'c 280	103.1	m3
033716	01	Bombeado estacionario	103.1	m3
031500	02	Desmoldantes para formaleta	1,031.4	m2
030500	11	Curador para concreto	1,031.4	m2
031200	01	Consumibles de formaleta	1,031.4	m2
031000	03	Formaleta lateral de muros	1,031.4	m2
334633	01	Tubo de drenaje	175.5	lnm
334623	16	Grava para drenaje	63.2	m3

Figura 74. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente a los muros de retención de concreto

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
A4010	10	Contrapiso	3,297.8	m2
033000	21	Concreto f'c 210	390.1	m3

Figura 75. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente al contrapiso

CSI	Item Code	Item Description	Qty	Unit
B1010	20.LD	Losas densas	136.6	m2
033000	42	Concreto f'c 420	31.8	m3
033716	01	Bombeado estacionario	31.8	m3
031000	07	Formaleta fondo de losas	136.6	m2
031500	02	Desmoldantes para formaleta	136.6	m2
031200	01	Consumibles de formaleta	136.6	m2
030500	11	Curador para concreto	136.6	m2
031000	50	Apuntalamiento de formaletas	12.7	m2

Figura 76. Datos de áreas y volúmenes de materiales y equipo correspondiente al entrepiso de losa densa

4.3.2. Resultados obtenidos de estimación costos en WinEst

Mediante la ejecución del procedimiento explicado en la sección 3.4. "Procedimiento de estimación en WinEst" se obtuvo la estimación de costos para cada elemento. Estos resultados se presentan desde la Figura 77 hasta la Figura 88.

Cabe mencionar, que los materiales, el equipo (formaleta y bombeo de concreto) y los subcontratos (colocación y acabado de concreto) escogidos de la base de datos y por tanto incluidos en la estimación de cada elemento, son los que coinciden con los tomados en cuenta en el presupuesto realizado mediante la forma tradicional por la empresa constructora. Además, los costos por unidad de cada material, equipo y subcontrato que posee la base de datos son los mismos que los utilizados en la estimación de forma tradicional. Asimismo, un 3% de desperdicio de concreto fue tomado en cuenta en ambos casos. Todas estas consideraciones se hicieron con el fin de que la comparación entre las 2 metodologías tuviera menos variables entre sí.

Como se mencionó anteriormente de la Figura 77 a la Figura 88 se presentan los resultados de estimación según el elemento, cada una posee 5 columnas cuyos encabezados se denominan: *Item description*, *Takeoff Qty*, *Unit*, *Mat total* y *Equip total*. Estos se traducen al español como: Descripción del ítem, Cantidad, Unidad, Costo total de material (en dólares) y Costo total de equipo (en dólares), respectivamente.

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Placa aislada	374	m3	47,170.47	9,706.01
Concreto f'c 280	374	m3	45,065.67	
Bombeado estacionario	374	m3		5,976.38
Consumibles de formaleta	393	m2	1,573.68	
Desmoldantes para formaleta	393	m2	118.03	
Curador para concreto	393	m2	413.09	
Formaletas Placas Corridas y Aisladas	393	m2		3,729.62

Figura 77. Resultado de estimación de costos de placas aisladas mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Placa corrida	146	m3	18,603.32	1,675.50
Concreto f'c 280	146	m3	17,657.75	
Bombeado estacionario		m3		
Consumibles de formaleta	177	m2	706.96	
Desmoldantes para formaleta	177	m2	53.02	
Curador para concreto	177	m2	185.58	
Formaletas Placas Corridas y Aisladas	177	m2		1,675.50

Figura 78. Resultado de estimación de costos de placas corridas mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Viga de fundacion	97	m3	15,522.40	8,225.78
Concreto f'c 280	97	m3	11,760.37	
Bombeado estacionario	97	m3		1,559.60
Consumibles de formaleta	703	m2	2,812.73	
Desmoldantes para formaleta	703	m2	210.95	
Curador para concreto	703	m2	738.34	
Formaletas Placas Corridas y Aisladas	703	m2		6,666.17

Figura 79. Resultado de estimación de costos de vigas de fundación mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total
Contrapiso	3,298	m2	44,460.44
Concreto f'c 210	390	m3	44,460.44

Figura 80. Resultado de estimación de contrapiso mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Losa Flotante	563	m3	70,932.18	11,064.73
Concreto f'c 280	563	m3	67,879.79	
Bombeado estacionario	563	m3		9,001.88
Consumibles de formaleta	185	m2	739.84	
Desmoldantes para formaleta	185	m2	55.49	
Curador para concreto	185	m2	194.21	
Formaleta lateral de losas	218	lnm	2,062.86	2,062.86

Figura 81. Resultado de estimación de costos de losa de fundación mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Muro de retención de concreto	103	m3	30,835.86	11,426.21
Concreto f'c 280	103	m3	12,433.15	
Bombeado estacionario	103	m3		1,648.82
Desmoldantes para formaleta	1,031	m2	309.41	
Curador para concreto	1,031	m2	1,082.94	
Consumibles de formaleta	1,031	m2	4,125.48	
Formaleta lateral de muros	1,031	m2	9,777.39	9,777.39
Tubo de drenaje	176	lnm	877.60	
Grava para drenaje	63	m3	2,229.88	

Figura 82. Resultado de estimación de muros de retención de concreto mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Muro de concreto	356	m3	70,885.55	23,568.67
Concreto f'c 280	356	m3	42,919.99	
Bombeado estacionario	356	m3		5,691.84
Desmoldantes para formaleta	1,886	m2	565.72	
Curador para concreto	1,886	m2	1,980.03	
Consumibles de formaleta	1,886	m2	7,542.97	
Formaleta lateral de muros	1,886	m2	17,876.84	17,876.84

Figura 83. Resultado de estimación de costos de muros de concreto mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Columnas	410	m3	92,085.68	33,805.92
Concreto f'c 280	410	m3	49,462.88	
Bombeado estacionario	410	m3		6,559.52
Curador para concreto	2,874	m2	3,017.80	
Desmoldantes para formaleta	2,874	m2	862.23	
Consumibles de formaleta	2,874	m2	11,496.37	
Formaleta lateral columnas	2,874	m2	27,246.40	27,246.40

Figura 84. Resultado de estimación de costos de columnas mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Vigas	29	m3	9,130.36	3,201.74
Concreto f'c 420	29	m3	3,921.24	117.64
Bombeado estacionario	29	m3		461.56
Desmoldantes para formaleta	277	m2	82.99	
[2x] Consumibles de formaleta	553	m2	2,213.12	
Curador para concreto	277	m2	290.47	
Formaleta lateral y fondo de vigas de entrepiso	277	m2	2,622.54	2,622.54

Figura 85. Resultado de estimación de costos de vigas de entrepiso mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Subs Total	Equip Total
Entrepiso postensado	13,271	m2	433,616.23	53,083.37	79,724.41
[2x] Concreto f'c 420	2,649	m3	360,053.99		10,801.62
Bombeado estacionario	2,649	m3			42,381.11
Colocacion y acabado de concreto	13,271	m2		53,083.37	
Curador para concreto	13,750	m2	14,437.45		
Consumibles de formaleta	13,750	m2	54,999.80		
Desmoldantes para formaleta	13,750	m2	4,124.99		
Apuntalamiento de entrepiso	13,271	m2			26,541.69

Figura 86. Resultado de estimación de costos de entrepisos postensados mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total
Pared de mampostería no estructural	19	m2	314.96
Bloques de concreto de 15 cm	19	m2	182.16
Concreto de relleno de mampostería	1	m3	71.32
Mortero de pega de mampostería	0	m3	61.48

Figura 87. Resultado de estimación de costos de pared de mampostería no estructural mediante BIM 5D

Item Description	Takeoff Qty	Unit	Mat Total	Equip Total
Losas densas	137	m2	7,790.49	1,948.32
Concreto f'c 420	32	m3	4,328.65	129.86
Bombeado estacionario	32	m3		509.52
Formaleta fondo de losas	137	m2	2,731.23	1,294.60
Desmoldantes para formaleta	137	m2	40.97	
Consumibles de formaleta	137	m2	546.25	
Curador para concreto	137	m2	143.39	
Apuntalamiento de formaletas	13	m2		14.34

Figura 88. Resultado de estimación de costos de losa densa mediante BIM 5D

Por último, el Cuadro 2 presenta un resumen de los costos según el elemento y el costo total estimado mediante la metodología BIM 5D.

Cuadro 2. Resumen de costos estimados según elemento y costo total mediante BIM 5D

Elemento	Costo
Placas aisladas	\$ 56 876,47
Placas corridas	\$ 20 278,81
Vigas de fundación	\$ 23 748,16
Losa de fundación	\$ 79 934,07
Muros de retención	\$ 32 486,67
Muros + columnas de concreto	\$ 164 968,93
Vigas de entrepiso	\$ 9 652,65
Contrapiso	\$ 44 460,44
Entrepiso postensado	\$ 554 101,34
Entrepiso losa densa	\$ 6 898,83
Pared de mampostería	\$ 314,96
Estimación de costo total con BIM 5D	\$ 983 721,33

4.4. Comprobación de funcionamiento de guía de implementación

En esta sección se revisan 2 aspectos del modelo. El primero consiste en la verificación del presupuesto por medio del recuento manual de los elementos de obra gris tomados en cuenta y el segundo aspecto consiste en la verificación de que el costo por metro cuadrado de obra gris obtenido tras la estimación de costos esté dentro del rango aceptado para un proyecto constructivo como el que se encuentra en estudio.

4.4.1. Verificación de inclusión de elementos de obra gris

Como se mencionó en el Marco teórico la obra gris incluye: fundaciones, columnas, contrapiso, losas de entrepiso, vigas y muros. Es posible verificar que la metodología BIM 5D empleada en este trabajo final de graduación permite incluir todos los elementos de obra gris antes mencionados, pues en la Figura 63 se puede observar la lista de elementos que se incluyeron en este proyecto. Cabe destacar que esto fue posible gracias a la

identificación de los elementos por medio de los códigos *Unifomat* correspondientes, pues Vico contabiliza y agrupa todos los elementos según su código, por tanto, si algún elemento no hubiera sido identificado previamente no habría sido incluido en la cuantificación. Es decir, al seguir el estándar de codificación *Unifomat* se tiene certeza de que se incluyen todos los elementos del proyecto y en este caso particular todos los elementos de obra gris.

En este proyecto se incluyó:

- Fundaciones: Placas aisladas, placas corridas, losas flotantes y vigas de fundación.
- Contrapiso.
- Entrepisos: de concreto postensado y de losa densa.
- Vigas de entrepiso.
- Muros de concreto: internos y de retención.
- Muros de mampostería: no estructurales.

Por lo tanto, se incluyeron todos los elementos que forman parte de la obra gris.

4.4.2. Revisión de precisión de la estimación mediante BIM 5D

Para revisar la precisión de la estimación obtenida a partir de la metodología BIM 5D se compara el costo por metro cuadrado (m²) del edificio en estudio con el costo por metro cuadrado de obra gris de otros edificios construidos por la misma empresa constructora. Estos costos se muestran en el Cuadro 3 y no incluyen: costos de acero, equipo menor, mano de obra y subcontratos. Además, también se muestra el porcentaje de diferencia de cada costo por m² con respecto al costo por m² real del edificio en estudio.

Cuadro 3. Comparación de costos por metro cuadrado de diferentes edificios

Edificio	Costo por m²	Diferencia
De uso mixto	\$ 86,97	-4%
De oficinas	\$ 97,20	-16%
De uso comercial	\$ 99,47	-19%
Edificio en estudio por BIM 5D	\$ 74,13	11%
Edificio en estudio por FT	\$ 73,02	12%
Edificio en estudio real	\$ 83,45	0%

Fuente: Empresa constructora, 2018.

Modificado por: Campos, I.

Se puede observar que el costo por metro cuadrado de obra gris obtenido se encuentra en el orden de magnitud de los demás costos, aunque un poco por debajo. Estas fluctuaciones en los costos se deben a que estos dependen de la calidad y/o especificaciones de los materiales, pues no siempre se requieren los mismos. Con respecto al costo real del edificio en estudio, este difiere del obtenido por el BIM 5D y por la forma tradicional (FT) porque en la estimación previa a la construcción no se toman en cuenta algunos costos como: los generados por el desperdicio, por cambios en el diseño, por órdenes de cambio, por ingenierías de valor, entre otros. No obstante, se puede verificar que el costo por metro cuadrado más cercano al real es el obtenido por la metodología BIM 5D pues este es un proceso más minucioso en la cuantificación.

CAPÍTULO 5. COMPARACIÓN DEL MODELO 5D CON LA FORMA TRADICIONAL DE PRESUPUESTAR

En este capítulo se hace una comparación entre los productos obtenidos mediante la forma tradicional de presupuestar y la guía propuesta en este TFG, con el fin de identificar las diferencias entre las 2 metodologías.

5.1. Productos obtenidos mediante forma tradicional de presupuestar

5.1.1. Productos obtenidos del proceso de cuantificación

En el Cuadro 4 se muestra un extracto de la Hoja de Cálculo utilizada por el equipo de presupuesto, de la empresa donde se realizó la pasantía, para calcular las cantidades de las vigas de entepiso mediante la forma tradicional. Donde midieron de manera manual las dimensiones de los elementos directamente de los planos y posteriormente en una Hoja de Cálculo estimaron las cantidades requeridas de concreto. Como resultado se tuvo el Cuadro 5 que muestra el resumen de las cantidades obtenidas de los elementos de obra gris del Edificio en estudio.

Como puede observarse en el Cuadro 5 las cantidades de columnas y muros de concreto se muestran unidas, la razón por la cual se presentan de esta manera se abarcará más adelante cuando se comparen los resultados de las 2 metodologías. No obstante, con el fin de realizar otro tipo de comparación también se presentan los valores que inicialmente se tenían de volumen de columnas y muros por separado, estos son los que se exponen en el Cuadro 6.

Cuadro 4. Extracto de hoja de cálculo utilizada por el equipo de presupuesto.

	Concreto				
Elemento	Cantidad	Longitud	Ancho	Alto	Volumen
N+0,00m					
VE1	1,00	8,35	0,40	0,55	1,84

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

5.1.2. Productos obtenidos del proceso de estimación

En esta sección se presentan los costos estimados por el equipo de presupuesto de la empresa constructora, los cuales fueron calculados siguiendo la metodología tradicional, como se mencionó anteriormente. Estos costos se muestran de forma tabulada desde el Cuadro 7 hasta el Cuadro 17.

Cuadro 5. Resumen de cantidades de obra gris obtenidas mediante la forma tradicional de presupuestar.

Elemento	Volumen (m³)	Área (m²)
Placas aisladas	373,50	
Placas corridas	150,92	
Vigas de fundación	95,40	
Losa de fundación	566,88	
Contrapiso		3105,10
Columnas + muros de concreto	750,63	
Entrepiso postensado		13402,90
Vigas	27,70	
Muro de mampostería no estructural		17,16
Muros retención de concreto	114,54	
Entrepiso losa densa	30,78	123,11

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 6. Valores de volumen de columnas y muros de concreto por separado calculados de forma tradicional.

Elemento	Volumen (m³)
Columnas	386,78
Muros de concreto (internos)	478,96

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 7. Resumen de estimación de costos de placas aisladas mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Placas aisladas				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	384,73	m ³	\$ 120,65	\$ 46 417,64
Bombeo estacionario	192,36	m ³	\$ 16,00	\$ 3 077,84
Consumible de formaleta	393,42	m ²	\$ 4,00	\$ 1 573,68
Desmoldante para formaleta	393,42	m ²	\$ 0,30	\$ 118,03
Curador para concreto	393,42	m ²	\$ 1,05	\$ 413,09
Formaleta para placa	373,52	m ²	\$ 9,48	\$ 3 541,01
Costo total				\$ 55 141,28

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 8. Resumen de estimación de costos de placas corridas mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Placas corridas				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	155,44	m ³	\$ 120,65	\$ 18 754,23
Consumible de formaleta	175,64	m ²	\$ 4,00	\$ 702,56
Desmoldante para formaleta	175,64	m ²	\$ 0,30	\$ 52,69
Curador para concreto	175,64	m ²	\$ 1,05	\$ 184,42
Formaleta para placa	175,64	m ²	\$ 9,48	\$ 1 665,07
Costo total				\$ 21 358,97

Fuente: Empresa constructora, 2018.

Modificado por: Campos, I.

Cuadro 9. Resumen de estimación de costos de vigas de fundación mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Vigas de fundación				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	98,23	m ³	\$ 120,65	\$ 11 851,32
Bombeo estacionario	49,11	m ³	\$ 16,00	\$ 785,83
Consumible de formaleta	884,07	m ²	\$ 4,00	\$ 3 536,28
Desmoldante para formaleta	884,07	m ²	\$ 0,30	\$ 265,22
Curador para concreto	884,07	m ²	\$ 1,05	\$ 928,27
Formaleta para placa	884,07	m ²	\$ 9,48	\$ 8 380,99
Costo total				\$ 25 747,92

Fuente: Empresa constructora, 2018.

Modificado por: Campos, I.

Cuadro 10. Resumen de estimación de costos de losa de fundación mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Losa de fundación				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	583,89	m ³	\$ 120,65	\$ 70 446,14
Bombeo estacionario	291,94	m ³	\$ 16,00	\$ 4 671,11
Consumible de formaleta	248,40	m ²	\$ 4,00	\$ 993,62
Desmoldante para formaleta	248,40	m ²	\$ 0,30	\$ 74,52
Curador para concreto	248,40	m ²	\$ 1,05	\$ 260,82
Formaleta lateral	248,40	m ²	\$ 9,48	\$ 2 354,87
Costo total				\$ 78 801,08

Fuente: Empresa constructora, 2018.

Modificado por: Campos, I.

Cuadro 11. Resumen de estimación de costos de muros de retención mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Muros de retención				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	117,98	m ³	\$ 120,65	\$ 14 234,32
Bombeo estacionario	58,99	m ³	\$ 16,00	\$ 943,84
Consumible de formaleta	1188,01	m ²	\$ 4,00	\$ 4 752,04
Desmoldante para formaleta	1188,01	m ²	\$ 0,30	\$ 356,40
Curador para concreto	1188,01	m ²	\$ 1,05	\$ 1 247,41
Formaleta lateral	1188,01	m ²	\$ 9,48	\$ 11 262,33
Tubo de drenaje	159,56	ml	\$ 5,00	\$ 797,80
Grava de drenaje	57,44	m ²	\$ 35,29	\$ 2 027,11
Costo total				\$ 35 621,26

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 12. Resumen de estimación de costos de muros y columnas mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Muros de concreto internos + Columnas				
Concreto f'c 280 kg/m ²	773,15	m ³	\$ 120,65	\$ 93 280,41
Bombeo estacionario	386,57	m ³	\$ 16,00	\$ 6 185,19
Consumible de formaleta	4335,25	m ²	\$ 4,00	\$ 17 341,00
Desmoldante para formaleta	4335,25	m ²	\$ 0,30	\$ 1 300,57
Curador para concreto	4335,25	m ²	\$ 1,05	\$ 4 552,01
Formaleta lateral	4335,25	m ²	\$ 9,48	\$ 41 098,16
Costo total				\$ 163 757,35

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 13. Resumen de estimación de costos de contrapiso mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Contrapiso				
Concreto f'c 210 kg/cm ²	383,90	m ³	\$ 113,97	\$ 43 753,45
Costo total				\$ 43 753,45

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 14. Resumen de estimación de costos de vigas de entrepiso mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Vigas de entrepiso				
Concreto f'c 420 kg/cm ²	28,48	m ³	\$ 135,93	\$ 3 871,46
Bombeo estacionario	27,65	m ³	\$ 16,00	\$ 442,43
Consumible de formaleta	254,73	m ²	\$ 4,00	\$ 1 018,92
Desmoldante para formaleta	254,73	m ²	\$ 0,30	\$ 76,42
Curador para concreto	254,73	m ²	\$ 1,05	\$ 267,47
Formaleta lateral y fondo	254,73	m ²	\$ 9,48	\$ 2 414,84
Costo total				\$ 8 091,53

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 15. Resumen de estimación de costos de losas de entrepiso postensado mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Losa de entrepiso postensado				
Concreto f'c 420 kg/cm ²	2685,85	m ³	\$ 135,93	\$ 365 087,22
Bombeo estacionario	2685,85	m ³	\$ 16,00	\$ 42 973,56
Consumible de formaleta	13269,37	m ²	\$ 4,00	\$ 53 077,49
Desmoldante para formaleta	13269,37	m ²	\$ 0,30	\$ 3 980,81
Curador para concreto	13269,37	m ²	\$ 1,05	\$ 13 932,84
Colocación y acabado de concreto	13402,90	m ²	\$ 3,27	\$ 43 864,04
Apuntalamiento de entrepiso	13402,90	m ²	\$ 1,13	\$ 15 145,28
Costo total				\$ 538 061,23

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 16. Resumen de estimación de costos de pared de mampostería mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Pared de mampostería no estructural				
Bloque de concreto de 15 cm	17,16	m ²	\$ 9,67	\$ 165,94
Concreto de relleno	0,50	m ³	\$ 130,56	\$ 64,97
Mortero de pega	0,29	m ³	\$ 192,00	\$ 56,01
Costo total				\$ 286,92

Fuente: Empresa constructora, 2018.
Modificado por: Campos, I.

Cuadro 17. Resumen de estimación de costos de losa densa de entrepiso mediante forma tradicional

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Losa de entrepiso densa				
Concreto f'c 420 kg/cm ²	31,70	m ³	\$ 135,93	\$ 4 309,09
Bombeo estacionario	31,70	m ³	\$ 16,00	\$ 507,21
Consumible de formaleta	123,11	m ²	\$ 4,00	\$ 492,44
Desmoldante para formaleta	123,11	m ²	\$ 0,30	\$ 36,93
Curador para concreto	123,11	m ²	\$ 1,05	\$ 129,27
Formaleta de fondo	123,11	m ²	\$ 20,00	\$ 2 462,20
Apuntalamiento de formaleta	123,11	m ²	\$ 1,13	\$ 139,11
Costo total				\$ 8 076,26

Fuente: Empresa constructora, 2018.

Modificado por: Campos, I.

En el Cuadro 18 se resumen los costos por elemento y se presenta el costo total estimado mediante la forma tradicional.

Cuadro 18. Resumen de costos por elemento y costo total estimados por forma tradicional

Elemento	Costo
Placas aisladas	\$ 55 141,28
Placas corridas	\$ 21 358,97
Vigas de fundación	\$ 25 747,92
Losa de fundación	\$ 78 801,08
Muros de retención	\$ 35 621,26
Muros + columnas de concreto	\$ 163 757,35
Vigas de entrepiso	\$ 8 091,53
Contrapiso	\$ 43 753,45
Entrepiso postensado	\$ 538 061,23
Entrepiso losa densa	\$ 8 076,26
Pared de mampostería	\$ 286,92
Estimación de costo total con FT	\$ 978 697,26

5.2. Productos obtenidos del modelo 5D

5.2.1. *Productos obtenidos del proceso de cuantificación*

En el Cuadro 19 se muestran los valores de área y volumen de concreto que se extrajeron del modelo mediante los procedimientos explicados en el Capítulo 3. En este Cuadro también se presentan los valores de columnas y muros de concreto sumados.

Cuadro 19. Resumen de cantidades de obra gris obtenidas mediante el modelo BIM.

Elemento	Volumen (m³)	Área (m²)
Placas aisladas	373,5	
Placas corridas	146,4	
Vigas de fundación	97,5	
Losa de fundación	562,6	
Contrapiso	390,1	3297,8
Columnas + muros de concreto	765,7	
Entrepiso postensado	2648,8	13270,9
Vigas	28,8	
Muro de mampostería no estructural		18,8
Muros retención de concreto	103,1	
Entrepiso losa densa	33,1	123,11

En el Cuadro 20 se presentan los valores de las columnas y muros por separado y en el Cuadro 21 se muestran los valores del Cuadro 6 y del Cuadro 20, con la finalidad de que sea más fácil notar las diferencias entre valores.

Cuadro 20. Valores de volumen de columnas y muros de concreto por separado calculados con la guía BIM 5D.

Elemento	Volumen (m³)
Columnas	410,0
Muros de concreto (internos)	355,7

En el Cuadro 21 se muestran las diferencias que existen entre los valores obtenidos por la forma tradicional (FT) y los valores obtenidos mediante la guía (5D), en este se observa que la diferencia de 123,26 m³ en los muros es muy grande pues de la forma tradicional se está obteniendo un 35% más de lo que se obtiene por la guía BIM 5D.

Cuadro 21. Comparación de los valores de volumen de columnas y muros entre las 2 metodologías.

Elemento	FT	5D	Diferencia (m³)	Porcentaje de diferencia
	Volumen (m³)			
Columnas	386,78	410,00	-23,22	-6%
Muros de concreto (internos)	478,96	355,70	123,26	35%
Total	865,74	765,70	100,04	29%

Al realizar el análisis se hizo evidente que debía haber un error por lo cual se revisó cómo se habían obtenido los 2 valores con el fin de encontrar la causa de una diferencia tan grande entre ellos.

Tras una investigación se encontró que en la cuantificación mediante la forma tradicional las columnas que en el modelo 3D se encuentran en los bordes de los muros no habían sido contadas como columnas, sino como una parte más del muro. Además, como en el modelo 3D estas habían sido identificadas con el código "B1010.10.CO" (código *Unifomat* para las columnas) entonces en la cuantificación de la guía BIM 5D si habían sido tomadas en cuenta como columnas. Sin embargo, el volumen que no se había tomado en cuenta en las columnas no alcanzaba para explicar la diferencia de más que había en los muros por lo que se siguió revisando la Hoja de Cálculo correspondiente a Muros, donde se encontró que además de que las columnas en los bordes habían sido tomadas en cuenta como parte del muro se habían calculado también por aparte como columnas individuales y se habían sumado los 2 valores. Por lo que, las columnas en los bordes se habían contabilizado 2 veces al total de muros internos.

Para hacer una mejor comparación entre las cuantificaciones de cada metodología entonces se le restó a la cantidad total reportada de muros internos (de la metodología FT) el valor de las columnas en el borde que habían sido calculadas aparte. Sin embargo, en los valores de muros seguía siendo incluido el valor de esas mismas columnas, pero como parte del muro, lo que era difícil de restar a menos que nuevamente se midieran de manera manual todos los muros. Por lo que se decidió sumar ese valor de muros (el que toma en cuenta las columnas en el borde como parte del muro) con el valor de las columnas individuales (las que se no se encuentran unidas a muros) y comparar ese valor con la suma de muros y columnas obtenido a partir de la guía BIM 5D, razón por la cual estos valores se presentan sumados en el Cuadro 5 y en el Cuadro 19.

El Cuadro 22 une la información del Cuadro 5 y del Cuadro 19, además incluye el porcentaje de diferencia entre los valores obtenidos por las 2 metodologías. El signo positivo en el porcentaje significa que la cantidad obtenido por la forma tradicional (FT) es mayor que la cantidad extraída del modelo 3D por medio de la guía (5D). Por ejemplo, de la forma tradicional se estimó un 3% más del volumen de las placas corridas estimado por la metodología BIM 5D. Mientras que en el cálculo del volumen de las vigas de fundación se estimó un 2% menos que lo estimado por la guía BIM 5D.

Cuadro 22. Comparación entre las áreas y los volúmenes obtenidos por la forma tradicional y la metodología BIM 5D.

Elemento	FT	5D	Diferencia	Porcentaje de diferencia
	Volumen (m ³)			
Placas aisladas	373,50	373,50	0,00	0%
Placas corridas	150,92	146,40	4,52	3%
Vigas de fundación	95,40	97,50	-2,10	-2%
Losa de fundación	566,88	562,60	4,28	1%
Columnas + muros de concreto	766,08	765,70	0,38	0%
Vigas	27,70	28,80	-1,10	-4%
Muros retención de concreto	114,54	103,10	11,44	10%
Total	2095,02	2077,60	17,42	8%
Elemento	Área (m ²)		Diferencia	Porcentaje de diferencia
Contrapiso	3105,1	3297,80	-192,70	-6%
Entrepiso postensado	13402,90	13270,90	132,00	1%
Muro de mampostería no estructural	17,16	18,80	-1,64	-10%
Entrepiso losa densa	123,11	136,60	-13,49	-11%
Total	16648,27	16724,10	-75,83	-26%

5.2.2. Productos obtenidos del proceso de estimación

En esta sección se muestran los costos obtenidos tras el proceso de estimación empleado por la guía BIM 5D, estos son los mostrados a partir del Cuadro 23 y hasta el Cuadro 33.

Cuadro 23. Resumen de estimación de costos de placas aisladas mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Placas aisladas				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	374,00	m ³	\$ 120,65	\$ 45 065,67
Bombeado estacionario	374,00	m ³	\$ 16,00	\$ 5 976,38
Consumibles de formaleta	393,00	m ²	\$ 4,00	\$ 1 573,68
Desmoldante para formaleta	393,00	m ²	\$ 0,30	\$ 118,03
Curador para concreto	393,00	m ²	\$ 1,05	\$ 413,09
Formaletas Placas Corridas y Aisladas	393,00	m ²	\$ 9,48	\$ 3 729,62
Costo total				\$ 56 876,47

Cuadro 24. Resumen de estimación de costos de placas corridas mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Placas corridas				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	146	m ³	120,65	\$ 17 657,75
Consumibles de formaleta	177	m ²	4,00	\$ 706,96
Desmoldante para formaleta	177	m ²	0,30	\$ 53,02
Curador para concreto	177	m ²	1,05	\$ 185,58
Formaletas Placas Corridas y Aisladas	177	m ²	9,48	\$ 1 675,50
Costo total				\$ 20 278,81

Cuadro 25. Resumen de estimación de costos de vigas de fundación mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Vigas de fundación				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	97	m ³	\$120,65	\$ 11 760,37
Bombeado estacionario	97	m ³	\$ 16,00	\$ 1 559,60
Consumibles de formaleta	703	m ²	\$ 4,00	\$ 2 812,73
Desmoldante para formaleta	703	m ²	\$ 0,30	\$ 210,95
Curador para concreto	703	m ²	\$ 1,05	\$ 738,34
Formaletas Placas Corridas y Aisladas	703	m ²	\$ 9,48	\$ 6 666,17
Costo total				\$ 23 748,16

Cuadro 26. Resumen de estimación de costos de losa de fundación mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Losa de fundación				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	563	m ³	\$120,65	\$ 67 879,79
Bombeado estacionario	563	m ³	\$ 16,00	\$ 9 001,88
Consumibles de formaleta	185	m ²	\$ 4,00	\$ 739,84
Desmoldante para formaleta	185	m ²	\$ 0,30	\$ 55,49
Curador para concreto	185	m ²	\$ 1,05	\$ 194,21
Formaleta lateral de losas	218	ml	\$ 9,48	\$ 2 062,86
Costo total				\$ 79 934,07

Cuadro 27. Resumen de estimación de costos de muros de retención mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Muros de retención				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	103	m ³	\$120,65	\$ 12 433,15
Bombeado estacionario	103	m ³	\$ 16,00	\$ 1 648,82
Desmoldante para formaleta	1031	m ²	\$ 0,30	\$ 309,41
Curador para concreto	1031	m ²	\$ 1,05	\$ 1 082,94
Consumibles de formaleta	1031	m ²	\$ 4,00	\$ 4 125,48
Formaleta lateral de muros	1031	m ²	\$ 9,48	\$ 9 779,39
Tubo de drenaje	176	ml	\$ 5,00	\$ 877,60
Grava para drenaje	63	m ³	\$ 35,29	\$ 2 229,88
Costo total				\$ 32 486,67

Cuadro 28. Resumen de estimación de costos de muros y columnas mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Muros de concreto + columnas				
Concreto f'c 280 kg/cm ²	766	m ³	\$120,65	\$ 86 382,87
Bombeado estacionario	766	m ³	\$ 16,00	\$ 12 251,36
Desmoldante para formaleta	4760	m ²	\$ 0,30	\$ 1 427,95
Curador para concreto	4760	m ²	\$ 1,05	\$ 4 997,83
Consumibles de formaleta	4760	m ²	\$ 4,00	\$ 19 039,34
Formaleta lateral de muros	4760	m ²	\$ 9,48	\$ 40 869,58
Costo total				\$ 164 968,93

Cuadro 29. Resumen de estimación de costos de vigas de entrepiso mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Vigas de entrepiso				
Concreto f'c 420 kg/cm ²	29	m ³	\$135,93	\$ 3 941,97
Bombeado estacionario	29	m ³	\$ 16,00	\$ 461,56
Desmoldante para formaleta	277	m ²	\$ 0,30	\$ 82,99
[2x] Consumibles de formaleta	553	m ²	\$ 4,00	\$ 2 213,12
Curador para concreto	277	m ²	\$ 1,05	\$ 290,47
Formaleta lateral y fondo de vigas	277	m ²	\$ 9,48	\$ 2 662,54
Costo total				\$ 9 652,65

Cuadro 30. Resumen de estimación de costos de contrapiso mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Contrapiso				
Concreto f'c 210 kg/cm ²	390	m ³	\$113,97	\$ 44 460,44
Costo total				\$ 44 460,44

Cuadro 31. Resumen de estimación de costos de losas de entrepiso postensado mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Losa de entrepiso postensado				
Concreto f'c 420 kg/cm ²	2649	m ³	\$135,93	\$ 360 078,57
Bombeado estacionario	2649	m ³	\$ 16,00	\$ 42 381,11
Colocación y acabado de concreto	13271	m ²	\$ 4,00	\$ 53 083,37
Curador para concreto	13750	m ²	\$ 1,05	\$ 14 437,45
Consumibles de formaleta	13750	m ²	\$ 4,00	\$ 54 999,80
Desmoldante para formaleta	13750	m ²	\$ 0,30	\$ 4 124,99
Apuntalamiento de entrepiso	13271	m ²	\$ 3,50	\$ 14 996,05
Costo total				\$ 544 101,34

Cuadro 32. Resumen de estimación de costos de losa densa de entrepiso mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Losa de entrepiso densa				
Concreto f'c 420 kg/cm ²	32	m ³	\$135,93	\$ 4 349,76
Bombeado estacionario	32	m ³	\$ 16,00	\$ 509,52
Formaleta fondo de losas	137	m ²	\$ 9,48	\$ 1 294,60
Desmoldante para formaleta	137	m ²	\$ 0,30	\$ 40,97
Consumibles de formaleta	137	m ²	\$ 4,00	\$ 546,25
Curador para concreto	137	m ²	\$ 1,05	\$ 143,39
Apuntalamiento de formaletas	13	m ²	\$ 3,50	\$ 14,34
Costo total				\$ 6 898,83

Cuadro 33. Resumen de estimación de costos de pared de mampostería mediante guía BIM 5D

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Pared de mampostería no estructural				
Bloques de concreto de 15 cm	19	m ²	\$ 9,67	\$ 182,16
Concreto de relleno de mampostería	0,5	m ³	\$130,56	\$ 71,32
Mortero de pega de mampostería	0,29	m ³	\$192,00	\$ 61,48
Costo total				\$ 314,96

En el Cuadro 34 se resumen los costos por elemento y se presenta el costo total estimado mediante la guía BIM 5D.

Cuadro 34. Resumen de costos por elemento y costo total estimados por guía BIM 5D

Elemento	Costo
Placas aisladas	\$ 56 876,47
Placas corridas	\$ 20 278,81
Vigas de fundación	\$ 23 748,16
Losa de fundación	\$ 79 934,07
Muros de retención	\$ 32 486,67
Muros + columnas de concreto	\$ 164 968,93
Vigas de entrepiso	\$ 9 652,65
Contrapiso	\$ 44 460,44
Entrepiso postensado	\$ 544 101,34
Entrepiso losa densa	\$ 6 898,83
Pared de mampostería	\$ 314,96
Estimación de costo total con BIM 5D	\$ 983 721,33

Con el fin de llevar a cabo una comparación entre los tiempos invertidos en cada una de las metodologías, se volvió a realizar todo el procedimiento explicado en el Capítulo 3 a excepción de la sección 3.4.3. "Establecimiento de enlaces entre Vico y WinEst" ya que solo tiene que realizarse la primera vez que se emplee la guía. Además, se parte del hecho de que el modelo 3D ya ha sido elaborado y que en su confección se tomaron en cuenta los "Requisitos de elaboración de un modelo 3D para utilizarlo en modelo 5D" explicados en la sección 2.8. En el Cuadro 35 se muestran los tiempos invertidos en cada actividad y el tiempo total del proceso.

Cuadro 35. Tiempos invertidos en actividades de guía BIM 5D y tiempo total de estimación

Actividad	Tiempo (mm:ss)
Asignación de códigos	26:30
Publicación a Vico	04:57
Cuantificación a Vico	09:21
Crear documento en WinEst	06:22
Exportación de Vico a WinEst	01:07
Asignación de cantidades	04:16
Estimación en WinEst	00:28
Tiempo total	53:01

5.3. Ventajas de presupuestar de forma tradicional

La principal ventaja que se puede mencionar es que es un proceso conocido en la industria de la construcción, lo que facilita encontrar personal capacitado para llevar a cabo la tarea.

Otra ventaja es que es una metodología fácil de aprender, pues las fórmulas matemáticas utilizadas se estudian muy temprano en el proceso educativo de cualquier persona, por ejemplo, las fórmulas para obtener el área y el volumen de un elemento se aprenden en educación primaria y secundaria.

Además, el método necesita de muy poco para ser implementado, ya que únicamente requiere de los planos y un programa de hojas de cálculo para poderse efectuar. Tampoco requiere un *software* o equipo sofisticado, ni un modelo 3D.

5.4. Ventajas de presupuestar con el modelo 5D

La principal ventaja radica en que la metodología hace que se disminuya considerablemente el tiempo invertido en cuantificación de elementos, ya que, según el equipo de presupuesto de la empresa constructora, una sola persona duraría 1 semana en la cuantificación a partir de los planos en 2D (forma tradicional) y en la inclusión de estas cantidades en una Hoja de cálculo, mientras que con el modelo 5D se durarían aproximadamente 53 minutos tal y cómo se muestra en el Cuadro 35.

Cabe aclarar, que a los 2 métodos se les debe sumar 1 semana más, que según el equipo de presupuesto es lo que se tarda cuantificando y estimando todas aquellas actividades que no se incluyen en el modelo 3D como por ejemplo movimiento de tierras y cuantificación de acero de refuerzo.

Otra ventaja es que es muy simple corregir errores, por ejemplo, en cuantificación si se cambian las dimensiones de uno o varios elementos solamente debe modificarse el modelo y realizar de nuevo el proceso de exportación del modelo a Vico y actualización del modelo en este último, proceso que tardará menos de 53 min.

Además, los productos obtenidos a partir de un modelo 5D pueden utilizarse en otras etapas del proyecto y no solo en la estimación de costos. Por ejemplo, en construcción, ya que un modelo 3D que incluya el acero de refuerzo puede generar una tabla que se utilice como guía de fabricación de la armadura, como se mencionó en la sección 2.11. Mientras que con la forma tradicional esto no podría alcanzarse sin hacer un proceso aparte de despiece de acero.

Otro ejemplo de que los productos generados por la guía BIM 5D se pueden utilizar en otras etapas sería la capacidad de generar curvas de mano de obra y flujos de caja. Las primeras se pueden construir a partir de las cantidades de los elementos y la ayuda de un *software* de programación como Schedule Planner (trabaja en conjunto con Vico) de Trimble, donde es posible crear un cronograma, separar el edificio en zonas de trabajo, asignar el recurso humano a esas zonas y, por tanto, crear cuadrillas. A partir de esto el programa genera la curva de mano de obra, la cual se puede modificar para encontrar la manera de que el flujo de trabajadores sea constante. Los segundos se pueden construir con ayuda de programas como el antes mencionado, a partir de la estimación de costos de materiales, mano de obra, equipo y subcontratos y el cronograma.

Otra ventaja es que cuando se trabaja con modelos 3D de distintas disciplinas de la ingeniería es posible detectar interferencias entre ellos en la etapa de pre-construcción, lo que es prácticamente imposible de encontrar si se trabajara solamente con los planos en 2D y que se traduciría en problemas que se deben resolver en la etapa de construcción.

Además, se considera como ventaja que en la cuantificación no hay lugar al error humano, puesto que si el modelo ha sido elaborado correctamente las cantidades se calcularán de manera exacta de forma automática.

Por último, es una ventaja contar con la ayuda de una base de datos que contiene costos ligados directamente a los materiales, equipo, mano de obra y subcontratos. Pues en la estimación estos se asignan de manera automática y el personal encargado se ahorra el proceso de buscar estos costos y asignarlos a los diferentes elementos.

5.5. Desventajas de presupuestar de forma tradicional

Se considera como desventaja que es un proceso lento ya que la cuantificación es básicamente manual. Porque, como se mencionó anteriormente, se puede durar una semana en este proceso mientras que con la metodología BIM 5D se pueden tardar 53 minutos.

Otra desventaja es que como la cuantificación se hace de manera manual se da cabida al error humano. Por ejemplo, en la sección 5.2.1. "Productos obtenidos del proceso de cuantificación" se explicó que se había encontrado un error en la cuantificación hecha por la forma tradicional, donde se obtuvo aproximadamente 100 m³ más de concreto debido a que se había calculado dos veces el volumen de las columnas en el borde de los muros.

Además, el uso de simplificaciones en ocasiones puede considerarse como una desventaja porque puede afectar de gran manera las cantidades obtenidas. Por ejemplo, en el Cuadro 22 se puede observar que en el entrepiso de losa densa se calculó un 11% menos de área con respecto a lo calculado con la metodología BIM 5D, esto se debe a que esta losa era inclinada y cuando se hizo la cuantificación mediante la forma tradicional se decidió ignorar el efecto del ángulo de inclinación en el largo de la losa y tomarla como plana, lo que se tradujo en un área menor a la real.

5.6. Desventajas de presupuestar con el modelo 5D

La principal desventaja de este proceso es que se necesita personal capacitado para llevarlo a cabo, por lo que se debe buscar personal que tenga conocimientos en el tema o bien, invertir en la capacitación del personal con el que se cuenta.

Otra desventaja es que la metodología depende del uso de *softwares* especializados con lo que comúnmente no se cuenta en la empresa. Por lo que se debe invertir en la compra de estos programas.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se elaboró la guía de implementación de la quinta dimensión del BIM (guía BIM 5D) que comprende el Capítulo 3 y se resume en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 48. Esta permite al lector implementar paso a paso la metodología.
- Se logró definir enlaces entre los programas Revit, Vico y WinEst mediante la asignación de códigos *Uniformat* a las fundaciones, muros, columnas, vigas, losas de entrepiso y contrapiso. Estos permitieron que el flujo de información entre programas fuera el adecuado ya que al transferir la información del modelo 3D a Vico y WinEst se obtuvo la cuantificación de elementos y la estimación de costos, respectivamente.
- Se comprobó el funcionamiento de la guía BIM 5D a partir de su aplicación en el edificio del proyecto constructivo real ya que se logró aplicar a todos los elementos de obra gris y obtener un costo por metro cuadrado en el orden de magnitud de proyectos constructivos reales similares.
- Se logró comparar la guía de implementación de la quinta dimensión del BIM con la forma tradicional de presupuestar mediante el uso de indicadores de gestión como el tiempo de ejecución de la metodología y la diferencia con respecto al costo real. Con respecto al tiempo se obtuvo que mediante la implementación de la guía BIM 5D se tuvo una duración de 53 minutos más una semana, mientras que por la forma tradicional se tuvo una duración de 2 semanas. Por lo tanto, el proceso más eficiente es el que emplea la metodología BIM 5D pues es el que dura menos tiempo. En el caso de la diferencia de costos por metro cuadrado de obra gris se obtuvo que el más cercano era el obtenido por la guía BIM 5D ya que esta es más minuciosa y sus resultados son más próximos a la realidad, por lo que el proceso más preciso es la metodología BIM 5D.
- Se incluyeron requisitos de revisión del modelo 3D para que el usuario los tome en cuenta antes de implementar la guía propuesta.
- La implementación de la guía BIM 5D requiere que el modelo 3D haya sido concebido desde el inicio para este fin pues esto facilita los procesos de cuantificación y estimación.

- Lo que marca realmente una diferencia entre las dos metodologías es el proceso de cuantificación empleado por la metodología BIM 5D y no el proceso de estimación, pues este último depende del primero y además forma parte de otro proceso que se lleva a cabo en los 2 métodos y que siempre necesitará del recurso humano capaz de tomar decisiones con criterio basado en la experiencia. Este otro proceso es el que lleva a cabo el equipo de presupuestación que calcula volúmenes de movimientos de tierra y densidades de acero, recopila información histórica y de mercado de los diferentes precios de los recursos, toma decisiones en pro de la economía del proyecto por medio de ingenierías de valor, asigna porcentajes de desperdicio y utilidad, entre otras actividades y decisiones que solo puede tomar un equipo experimentado.
- La metodología BIM 5D es simple de implementar una vez se haya capacitado el personal ya que cuenta con procesos automatizados que solo deben realizarse una vez, como el mapeo de enlaces entre programas.
- La parte de la metodología BIM 5D de asignación de códigos *Uniformat* consume un 50% del tiempo de ejecución, lo que la convierte en la actividad en la que más tiempo se invierte.
- El proceso de cuantificación empleado por la metodología BIM 5D es mejor que el utilizado en la forma tradicional ya que extrae las cantidades y calcula las dimensiones de los elementos de manera exacta, sin dejar cabida a la generación de resultados incorrectos ocasionados por errores del ser humano o simplificaciones.
- Los productos generados por la metodología BIM pueden utilizarse en otras etapas del proyecto como ejecución y no solo en las etapas de diseño y pre-construcción, como por ejemplo generar tablas que se utilicen como guía de fabricación de la armadura y la capacidad de generar curvas de mano de obra y flujos de caja.

6.2. Recomendaciones

- Elaborar y revisar el modelo 3D siguiendo los requisitos mencionados en este trabajo final de graduación, de manera que este sea concebido desde el inicio para su utilización en la quinta dimensión.

- Realizar un trabajo final de graduación en el que se modele el acero de refuerzo con el fin de evaluar su aporte al proceso de fabricación de armaduras y su posible contribución a otras etapas de un proyecto constructivo.
- Elaborar un trabajo final de graduación que tenga como producto la generación de curvas de mano de obra a partir de la cuantificación de elementos y la zonificación del frente de trabajo.
- Incorporar la enseñanza y adopción de la metodología BIM en la carrera de Ingeniería Civil desde cursos iniciales, pues su utilización se encuentra en crecimiento y en algunos años será de utilización común por lo que los estudiantes deberán salir al ejercer profesional con estos conocimientos.

FUENTES DE CONSULTA

- Aceros Abonos Agro (2017). Producción de ferralla. San José, Costa Rica.
- Alsharqawi, Y. (2016). Cost Planning Strategy in Bidding Stage Using 5D BIM. Tesis de Maestría. Eastern Mediterranean University, Chipre del Norte.
- Autodesk. (2019). Revit. Autodesk. Extraído el 11 de marzo, 2019 de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/overview>
- Baker, C., Beliveau, A., Sylvia, N., & Williams, M. (2012). Construction management through 5D Building Information Modeling with alternative design considerations. Proyecto de Graduación. Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, USA.
- Chonkan, L. (2016). Modelado de Información de Edificios como herramienta en la programación de obra y mejoramiento de la constructibilidad. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Construsoft. Vico Office. Construsoft. Extraído el 11 de marzo, 2019 de <https://www.construsoft.es/software-bim/vico-office/>
- CSI. (2018). UniFormat. CSI Resources. Extraído el 23 de octubre, 2018 de <https://www.csiresources.org/practice/standards/uniformat>
- Definición.de. (s.f.). Definición de Indicador de Gestión. Definición. Extraído el 23 de octubre, 2018 de <https://definicion.de/indicador-de-gestion/>
- Del Valle, L. (2008). Diseño de un sistema de control de costos para la construcción de casas en serie para un proyecto inmobiliario. Trabajo de graduación por el grado de Ingeniería Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Empresa constructora (2018). Información variada sobre presupuesto hecho de forma tradicional de edificio en estudio. San José, Costa Rica.
- Enshassi, A., & AbuHamra, L. (2016). An investigation of building information modelling functions in the Palestinian construction industry [Versión electrónica]. *Ingeniería de Construcción*, 127-138.

- Esarte, A. (2018). Software BIM más utilizado en España: Autodesk Revit. Espacio BIM. Extraído el 11 de marzo, 2019 de <https://www.espaciobim.com/software-bim-mas-utilizado-espana-autodesk-revit/>
- González, L. (2015). Modelado de un edificio habitacional utilizando la herramienta BIM para la cuantificación de elementos de la construcción. Trabajo final de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Herrera, E. (2017). Criterios para la sostenibilidad del proyecto de estructuras: análisis del ciclo de vida con BIM. Trabajo Fin de Grado en Arquitectura, Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Johansson, M., & Jonasson, E. (2011). Potential improvements of the reinforcement process by implementation of BIM. Tesis de maestría. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- Kamardeen, I. (2010). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. *Vigésima sexta Conferencia Anual de la Asociación de Investigadores en Gestión de la Construcción*, (págs. 281-289). Leeds, Reino Unido.
- Lin, M. (2013). Innovative Generation in Cost Management through BIM Environment. Tesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Science, Department of Civil and Architectural Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, China.
- Morales, F. (2017). BIM6D – La sexta dimensión del BIM: BIM aplicado a la eficiencia energética [Versión electrónica]. *Obras Urbanas nº62*, 26-31.
- Notariano, C., Torres, C., & Isatto, E. (2015). Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção [Versión electrónica]. *Ambiente Construído*, 79-96.
- Pérez, J., & Gardey, A. (2017). Definición de Base de Datos. Definición. Extraído el 23 de octubre, 2018 de <https://definicion.de/base-de-datos/>
- PlanBIM. (2019). Qué es BIM. PlanBIM. Extraído el 8 de marzo, 2019 de PlanBIM: <https://planbim.cl/bim/>
- Porras, H., Sánchez, O., Galvis, J., Jaimez, N., & Castañeda, K. (2014). Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción

de estructuras en concreto reforzado [Versión electrónica]. *Ingeniería y Tecnología*, 240-249.

Project Management Institute. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK®)*. Quinta edición. Pensilvania, E.E.U.U.

Reinhardt, J. (2010). *The Contractor's Guide to BIM: Use Cases of BIM for General Contractors*. BIM Forum.

Romero, R. (Comunicación personal, Setiembre 12, 2018). BIM 5D.

Ter Maaten, J.-P. (2015). BIM's Horizon. Master thesis for Construction Management and Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, Países Bajos.

Trimble. (2019). *WinEst*. Trimble. Extraído el 11 de marzo, 2019 de <https://gc.trimble.com/product/winest>

Vargas, A. (2015). Implementación del Modelado de Información de la Edificación (BIM) para detectar diferencias entre diseños de profesionales y facilitar el proceso constructivo. Tesis de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Yun, S., & Kim, S. (2013). Basic research on BIM-based quantity take-off guidelines. *Architectural Research*, Vol. 15, No. 2, 103 - 109.