

Control de Obra del Proyecto Edificio de Laboratorios de Ingeniería Mecánica, con Base en la Metodología del Valor Ganado y la Implementación de Building Information Modeling.

JUAN SEBASTIAN CARRILLO GUZMAN

Trabajo de Grado para Optar al título de Ingeniero Civil

Director

GUILLERMO MEJIA AGUILAR

PhD. Gerencia de proyectos de construccion

Codirectora

KAREN MILADY CASTAÑEDA PARRA

Ingeniera civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

A mi abuela Magaly Paez por darme sabiduría y fortaleza para enfrentar este camino.

A mis padres Orlando Carrillo y Fernanda Guzman por ser el motor de mi vida, por su formación ejemplar, su apoyo constante y su esfuerzo.

A mi tia Sandra Carrillo por sus consejos y el apoyo incondicional que me ha brindado.

A mi hermana Ana sofia Carrillo y mi prima Manuela Lizcano por ser una razón para seguir adelante.

A mi abuelo Orlando carrillo y a mi amiga Daniela Rangel por ser los Ángeles de la guarda que han servido de compañía y guía, que desde el cielo no me desampararon en este camino, siendo una razón para ser mejor cada día, gracias por tanta alegría.

A mi novia Maria Juliana Chacon, por su comprensión, compañía, apoyo e incondicionalidad.

A mis compañeros de carrera que con su apoyo me ayudaron a enfrentar todos los obstáculos en mi formación académica.

A todos mis amigos por su amistad incondicional.

Juan Sebastian Carrillo Guzman

Agradecimientos

Agradezco al director del proyecto Ing. Ph.D. Guillermo Mejía Aguilar y al grupo de investigación de Geomatica por su colaboración, apoyo y seguimiento durante el proceso del proyecto. A el area de planta física de la Universidad Industrial de Santander, a los contratistas de la empresa Ingecon y la interventoria del proyecto AGP-CEAS por facilitar la información requerida en el proceso de investigación.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Objetivos.....	20
1.1 Objetivo General.....	20
1.2 Objetivos Específicos.....	20
2. Marco teórico	21
2.1 Control de obra	21
2.2 Viabilidad e implementació del BIM.....	21
2.3 Metodologia del valor ganado en la construccion	23
3. Metodología	25
3.1 Caso de estudio	25
3.2 Formatos de registro de informacion	26
3.3 Forma de medicion de los items controlados en obra.....	27
3.4 BIM y control de obra.....	28
3.5 Seguimiento de obra por medio de la Metodologia del Valor Ganado	30
3.6 Informe de obra.....	36
4 Analisis de resultados.....	39
4.1 Curva “S” y su analisis	39

4.2 Evolucion de varianzas en el proyecto	40
4.3 Desempeño de los indices en el proyecto	41
4.4 Evolucion del TCPI.	42
4.5 Evolucion del VAC.....	43
4.6 Avance de la construccion	44
5 Observaciones	45
6 Conclusiones.....	46
Referencias bibliográficas.....	50
Apéndices	52

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Valores de la curva S en el noveno mes</i>	30
Tabla 2 <i>Desempeños de SV y CV.</i>	31
Tabla 3 Desempeños del VAC.....	32
Tabla 4 Valores de las varianzas en el noveno mes.....	32
Tabla 5 Desempeños de los índices.	33
Tabla 6 Valores de los índices en el noveno mes.	33
Tabla 7 Estimaciones en el noveno mes.	35
Tabla 8	36
Tabla 9 Comparación de cantidades entre modelo BIM y cantidades medidas en obra del mes 9.	36
Tabla 10 Comparación de cantidades actas de pago y cantidades medidas en obra hasta el mes 9.	37
Tabla 11 Cantidad de acero de refuerzo del mes 9.	38
Tabla 12 Cantidad de refuerzo hasta el mes 9.	38
Tabla 13 Progreso de obra al finalizar la 9 fase de obra.	44

Lista de Figuras

Figura 1. Generar un proyecto con BIM y sin BIM. Extraido de Lou, J., Xu, J., & Wang, K. (2017).	23
Figura 2. Modelo en Revit de la edificación. Fuente: Grupo de investigación Geomatica.	25
Figura 3. Imagen aérea posterior a la fundicion de la placa N+0.00 del módulo 1. Fuente: dron del grupo de investigación Geomatica.....	29
Figura 4. Nube de puntos generada con el scanner la fase inicial del proyecto. Fuente: scanner laser del grupo de investigación Geomatica	29
Figura 5. Imagen tomada con un UAV en la fase 5 de la construccion.Fuente: UAV del grupo de investigación Geomatica.....	29
Figura 6. Curva S de los 9 primeros meses de la construcción de la obra. Fuente: Autor. (Ver Anexo 65 y 70).....	39
Figura 7. El CV, el SV en los primeros 9 meses de la construcción de la obra. Fuente: Autor. .	40
Figura 8. El CPI y SPI en los primeros 9 meses de la construcción de la obra. Fuente: Autoria propia.	41
Figura 9. Desempeño del TPCI. Fuente: Autoria propia.	42
Figura 10. Desempeño del VAC. Fuente: Autor.....	43

Lista de Apéndices

(Ver apéndices 68, 69, 70 en la carpeta anexos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Apéndice 1. <i>Tabla de grupo 1</i>	52
Apéndice 2. <i>Tabla grupo 2</i>	54
Apéndice 3. <i>Tabla de grupo 3</i>	55
Apéndice 4. <i>Tabla de grupo 4</i>	56
Apéndice 5. <i>Concreto de 3000 psi para vigas de cimentación</i>	57
Apéndice 6. <i>Concreto de 3000 psi para zapatas</i>	58
Apéndice 7. <i>Concreto de 4000 psi para muros de contención</i>	59
Apéndice 8. <i>Concreto de 4000 Psi para pantallas</i>	60
Apéndice 9. <i>Concreto de 3000 psi para columnas</i>	61
Apéndice 10. <i>Concreto de 3000 psi para placa aligerada con casetón de icopor, espesor 60 cm</i>	62
Apéndice 11. <i>Placa de contrapiso de e=10cm</i>	64
Apéndice 12. <i>Placa de contrapiso de e=20cm</i>	64
Apéndice 13. <i>Concreto de 4000 Psi plastico de baja permeabilidad para tanque de agua</i>	65
Apéndice 14. <i>Escalera tipo 1 en concreto de 3000 psi</i>	67
Apéndice 15. <i>Escalera tipo 2 en concreto de 3000 psi</i>	68
Apéndice 16. <i>Escalera tipo 3 en concreto de 3000 psi</i>	69
Apéndice 17. <i>Escalera tipo 4 en concreto de 3000 psi</i>	70

Apéndice 18. <i>Placa en concreto reforzado de 3000 psi para acceso rampa de discapacitados y parqueadero, incluye acabado escobrado y ratonado, espesor 10 cm.</i>	71
Apéndice 19 <i>Mampostería H-15.</i>	72
Apéndice 20. <i>Mampostería H-12.</i>	73
Apéndice 21. <i>Estuco y pintura Vinilo tipo 1 aplicada a tres (3) manos para muros interiores.</i>	74
Apéndice 22. <i>Friso muros internos.</i>	76
Apéndice 23. <i>Columnetas de confinamiento en concreto de 3000 psi reforzado.</i>	77
Apéndice 24. <i>Comparación de cantidades acumuladas de ítems medidos con los modelados en el modelo BIM.</i>	79
Apéndice 25. <i>Colaboración en obra 1.</i>	81
Apéndice 26. <i>Colaboración en obra 2.</i>	82
Apéndice 27. <i>Colaboración en obra 3.</i>	83
Apéndice 28. <i>Fase 1 de construcción.</i>	84
Apéndice 29. <i>Fase 2 en Revit.</i>	85
Apéndice 30. <i>Fase 3 en Revit.</i>	85
Apéndice 31. <i>Fase 4 en Revit.</i>	86
Apéndice 32. <i>Fase 5 en Revit.</i>	86
Apéndice 33. <i>Fase 6 en Revit.</i>	87
Apéndice 34. <i>Fase 7 en Revit.</i>	87
Apéndice 35. <i>Fase 8 en Revit.</i>	88
Apéndice 36. <i>Fase 9 en Revit.</i>	88
Apéndice 37. <i>Tablas correspondientes a índices y varianzas presentes en el proyecto por parte del EVM.</i>	89

Apéndice 38. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 2.....	91
Apéndice 39. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 3.....	92
Apéndice 40. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 4.....	93
Apéndice 41. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 5.....	94
Apéndice 42. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 6.....	95
Apéndice 43. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 7.....	96
Apéndice 44. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 8.....	97
Apéndice 45. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 9.....	98
Apéndice 46. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 1.....	99
Apéndice 47. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 2.....	99
Apéndice 48. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 3.....	100

Apéndice 49. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 4.....	101
Apéndice 50. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 5.....	102
Apéndice 51. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 6.....	103
Apéndice 52. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 7.....	104
Apéndice 53. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 8.....	105
Apéndice 54. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 9.....	106
Apéndice 55. Cantidades de acero de refuerzo del corte 2.	107
Apéndice 56. Cantidades de acero de refuerzo del corte 3.	108
Apéndice 57. Cantidades de acero de refuerzo del corte 4.	109
Apéndice 58. Cantidades de acero de refuerzo del corte 5.	110
Apéndice 59. Cantidades de acero de refuerzo del corte 6.	111
Apéndice 60. Cantidades de acero de refuerzo del corte 7.	112
Apéndice 61. Cantidades de acero de refuerzo del corte 8.	113
Apéndice 62. Cantidades de acero de refuerzo del corte 9.	114
Apéndice 63. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra acumulado.....	115
Apéndice 64. Cantidades de acero de refuerzo acumulado.	117

Apéndice 65. Curva S.	118
Apéndice 66. Obras complementarias.	119
Apéndice 67. Problemas del proyecto.	122
Apéndice 68. Archivo de Excel 2016 donde se podra encontrar las cantidades de los materiales en general usados en la construcción.	131
Apéndice 69. Archivo de Excel 2016 donde se podra encontrar las cantidades de acero usadas en la obra.	131
Apéndice 70. Archivo de Excel 2016 donde se podra encontrar toda la metodologia del valor ganado.	131

Resumen

TITULO: CONTROL DE OBRA DEL PROYECTO EDIFICIO DE LABORATORIOS DE INGENIERIA MECANICA, CON BASE EN LA METODOLOGIA DEL VALOR GANADO Y LA IMPLEMENTACION DEL BUILDING INFORMATION MODELING.*

AUTORES: JUAN SEBASTIAN CARRILLO GUZMAN **

PALABRAS CLAVES: Construccion, Metodologias de Gestion, Control, Gestion, BIM, Valor Ganado, Presupuesto, Atraso, Items, Avances, Cronograma.

En la actualidad la industria de la construcción se ha vinculado con el avance tecnológico que se vive en nuestra época, generando progreso en todas las ramas de la ingeniería civil, pero la existencia de países como Colombia que su desarrollo no ha sido adecuado aun sabiendo que el futuro de la infraestructura nacional radica en: las tecnologías que han facilitado el trabajo del hombre haciendo mas rápidos los procesos como lo hace el Building Information Modeling (BIM) y las nuevas metodologías de gestión que generan una alta precisión en el control de las construcciones como lo hace el método del valor ganado (EV). Por estas razones se llevo a cabo un estudio en la construcción del *edificio de laboratorios de ingeniería mecánica*, ubicado en la universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, en el cual, se realizaron mediciones del avance obra y se controlo la construcción por medio de la metodología del valor ganado con ayuda de herramientas BIM para así poder demostrar la eficiencia de estos avances en la gestión de la construcción por medio de agrupaciones correctas de los ítems del proyecto, una metodología sencilla para cuantificar ítems y una forma simple de informar lo que sucede en la construcción en un instante determinado con el fin de evitar atrasos en el cronograma y sobrecostos en el presupuesto.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Codirectora: Karen Milady Castañeda Parra.

Abstract

TITLE: CONTROL IN THE CONSTRUCTION PROJECT OF MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY BUILDING, BASED ON THE METHODOLOGY OF EARNED VALUE AND THE IMPLEMENTATION OF BUILDING INFORMATION MODELING.*

AUTHORS: JUAN SEBASTIAN CARRILLO GUZMAN**

KEY WORDS: Construction, management methodology, Control, management, BIM, Earned value, Budget, delay, Items, advance, Schedule.

In the present, the construction industry has done a link with the technological advance that we live in our time, generating some progress in all branches of civil engineering, but exist many countries like Colombia that its development isn't the appropriate even knowing that the future of the national infrastructure lie in the technologies that have facilitate the human work making faster many process like the building information modeling (BIM) do and in the other hand we got the newest methodologies of management that help the control of the construction with high accuracy like method of the earned value (EV) do. For this reason, a study was carried out in the construction of the building of mechanical engineering laboratories, located in Industrial university of Santander, Bucaramanga, Colombia, in which we made measurements of the construction progress and control by the method of the earned value with the help of the BIM, with the purpose of demonstrate the efficiency of these advances in management of the construction through the correct association of the items projects, an easy methodology of items measurement and a simple way to make advice of what is happening in real time in construction site with the objective of avoid delay in the schedule and waste in the budget.

* Bachelor thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Codirectora: Karen Milady Castañeda Parra.

Introducción

En la actualidad la mayoría de la población se ha relacionado paulatinamente con el avance tecnológico que se está viviendo (Aladag, Demirdögen, & Isik, 2016), sumado a esto, se ha experimentado un fenómeno de optimización de los procesos o la facilidad para desenvolverse en un entorno dinámico, el cual ha logrado dar sencillez y control a la humanidad de las situaciones cotidianas. La industria de la construcción no es ajena a este fenómeno, por lo contrario, se ha visto impulsada gracias a las tecnologías y nuevas metodologías que optimizan su desarrollo, restándole complejidad a las actividades y procesos que la componen (Czemplik, 2014; K. Knutsin, C.J.Schexneyder, 2009). En este ámbito de mejoramiento de la industria constructiva es donde hay que remarcar la necesidad de estos avances tecnológicos y metodológicos, que mejoran y facilitan procesos presentes en las construcciones, tales como: control y supervisión en obra (Abbas, Din, & Farooqui, 2016; Tauriainen, Marttinen, Dave, & Koskela, 2016).

En Latinoamérica y para ser más precisos en Colombia es evidente la falta de tecnificación y de avances en nuevas metodologías relacionadas con el área de construcción debido a la desconfianza que existe frente a las técnicas novedosas, aun así con el paso del tiempo esto ha venido cambiando, por esta razón, el sector de mayor crecimiento económico del país es este (Buzeta, 2017; Vargas, 2015), ahora bien, en los últimos años nuevas tecnologías han optimizado, pero no en una gran medida el sector de la construcción, debido a la implementación del Building Information Modeling (BIM) y el mejoramiento en técnicas de gestión de proyectos como lo es el método del valor ganado (Abbas et al., 2016; Tauriainen et al., 2016), no obstante estas técnicas y métodos no han generado aceptación en nuestro territorio debido al conformismo que existe con

las actividades y procesos usados en la actualidad en gran parte nuestro país (Contreras & José, 2007).

El negocio de la construcción es algo más que levantar una estructura, porque el problema no es el tipo de construcción, ni el sistema constructivo en sí mismo, sino el poder dirigir, encausar o gestionar los procesos que se generan a partir de todos los recursos (humano, temporal y material) que giran en torno a un proyecto. (Vargas, 2015) Estos recursos deben controlarse y monitorearse periódicamente, para eso algunas instituciones y empresas han adoptado metodologías estandarizadas como lo es el método del valor ganado (Fuentes, 2016), el cual reúne el alcance, los costos y una programación medida para generar una imagen del estado del proyecto en la fecha que se desee controlar (Czemplik, 2014).

La pregunta que se desea responder en el desarrollo de la investigación es: ¿Cómo y de qué forma se puede plantear una metodología practica y sencilla para el control de proyectos de construcción, basándose en el método del valor ganado y la implementación de tecnologías de Building Information Modeling?, para responder a la pregunta se asistió de forma diaria a la construcción del *edificio de laboratorios de ingeniería mecánica* con el fin de obtener la mayor cantidad de información disponible de su avance, pues fue necesario generar una metodología practica y así por medio del método del valor ganado un informe mensual el cual reflejo el estado temporal y monetario del proyecto con respecto a las fechas de corte (PMI, 2013), por otra parte se hizo un paralelo entre la información reunida en campo y los datos generados en el modelo 3D para detectar variaciones en las cantidades presupuestadas, dichas diferencias fueron

modificaciones necesarias en un modelo 3D existente generado por el grupo de investigación de Geomatica en el software Revit de Autodesk.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer una metodología práctica y sencilla para el control de proyectos de construcción con base en el método del valor ganado y la implementación de las tecnologías building information modeling.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las variables y procesos más representativos, resultados de una metodología práctica, para el control de un proyecto de construcción a partir del método del valor ganado.
- Definir una metodología sencilla para cuantificar o agrupar las actividades más relevantes en la medición del avance de obra de un proyecto de construcción con la ayuda del building information modeling.
- Detallar de manera rápida y ágil el control que se lleva en la construcción del eficio de laboratorios de ingeniería mecánica por medio del método del valor ganado.

2. Marco teórico

2.1 Control de obra

El correcto control y monitoreo de los recursos en obra, es parte primordial de cualquier proyecto de construcción, debido a que, con el seguimiento que se brinda y la revisión de actividades que se genera, se tiende a ir corroborando y reprogramando cada una de las actividades, buscando alcanzar las metas propuestas en el tiempo estimado, aun habiendo imprevistos y cambios que generen retrasos temporales (Forbes, L.H , Ahmed, 2011; Pérez Cervantes, 2004).

Por otra parte, la supervisión tiene que ser constante en manos del ingeniero que la ejerza, pues él es el encargado de detectar si la obra se aproxima o se desvía de su meta final, razón por la cual se debe advertir de forma clara y ágil si realmente se lleva o no un progreso adecuado en la construcción, por lo tanto, un buen sistema de control y monitoreo comunicara cada uno de los aspectos que generen atrasos o problemas, buscando siempre el bienestar del proyecto constructivo.

2.2 Viabilidad e implementació del BIM

El Building Information Modeling es una tecnología reciente que puede ser usada de forma eficiente como herramienta para brindar información visual, como parámetros de diseño y datos importantes del proyecto por medio de un modelo 3D (Zhang, Zhang, & Ma, 2013). Esta forma emergente de información está impulsando el sector de la construcción a comparación de décadas anteriores, debido a que antes no había la posibilidad de visualización que provee las tecnologías

BIM, esto quiere decir que problemáticas que antes afectaban en costes y tiempo, como los errores cometidos en campo, la dificultad o falta de entendimiento en planos, podrán ahora ser previstos y evitados por la claridad que brinda la modelación de las edificaciones con todos sus componentes, ya sean hidrosanitarios, mecánicos o arquitectónicos (Cao, Li, Wang, & Huang, 2017).

El BIM al ser una herramienta muy amplia y variable no solo presenta características de visualización del proyecto constructivo si no que también es usado para mejorar el comportamiento del edificio a través de su vida útil, basado en esto la tecnología BIM puede desempeñarse en un rango muy amplio de actividades como integración del diseño, la construcción, optimización, evaluación de riesgos, estimación de costos, comunicación, coordinación, incremento del costo en diseños, productividad, calidad, seguridad, sostenibilidad y eficiencia energética, administración de proyectos, y administración de las infraestructuras (Aladag et al., 2016).

Es de suma importancia que en Colombia se empiece a entender y a darse cuenta de el avance global que esta teniendo la industria de la construcción al ir de la mano con el Building Information Modeling y comenzar a seguir el ejemplo de países desarrollados como lo son los emiratos árabes unidos en donde recientemente, el municipio de Dubái se convirtió en la primera autoridad en ordenar el uso de herramientas BIM en sus construcciones, debido a que el nuevo enfoque de la construcción se compone de la eliminación de los desperdicios y lo ineficiente para mejor la calidad y la rentabilidad del sector (Mehran, 2016).

Diseñar por medio de herramientas BIM es completamente diferente a como se realiza con software como AutoCAD, por que no solamente se dibuja en 2D, por el contrario, en los diseños

se construye objetos realistas en 3D (Vysotskiy, Makarov, Zolotova, & Tuchkevich, 2015), por esa razón el BIM puede ser considerado como la evolución del CAD y además su implementación contribuirá a hacer mas eficiente la industria de la construcción aumentan la colaboración entre los diferentes participantes del proyecto, disminuyendo choques y trabajo repetitivo (Migilinskas, Popov, Juocevicius, & Ustinovichius, 2013), por lo tanto las tecnologías BIM pueden considerar como un medio para compartir e intercambiar información en el cual se genera un control de calidad (Lou, Xu, & Wang, 2017), puesto que en un proyecto siempre existirá un flujo complejo de información durante su vida útil (Masood, Kharal, & Nasir, 2014).

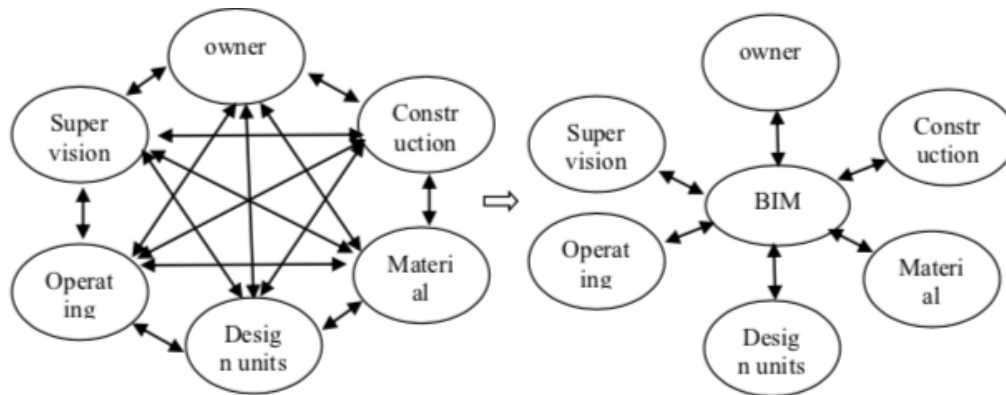


Figura 1. Generar un proyecto con BIM y sin BIM. Extraído de Lou, J., Xu, J., & Wang, K. (2017).

2.3 Metodología del valor ganado en la construcción

Las herramientas de control son usadas comúnmente en la industria de la construcción, desafortunadamente muchos proyectos avanzan con sobrecostos y con retrasos en sus cronogramas, lo cual da clara evidencia de que algo anda mal con nuestro sistema de control de proyectos (Abas Naderpour, 2011), pues siempre ha existido la dificultad de conseguir respuestas sobre el real

progreso de las construcciones por sus complejidad y dinamismo en el ámbito de la ingeniería civil (Czemplik, 2014), por lo tanto es recomendado como standard global el uso del EVM para el mejoramiento de las actividades de control.

El método del valor ganado es considerado por el Project Management Institute (PMI) como una herramienta de gestión, de planificación y supervisión de proyectos que relaciona la programación inicial de obra o presupuesto con la ejecución realizada, facilitando de una forma eficiente el control que se puede lograr a partir de la comparación generada de lo planificado, lo ejecutado y lo pagado en el proyecto, a su vez, estas comparaciones se pueden reflejar de forma sencilla en un gráfico llamado *curva S* el cual nos brindara las varianzas y los índices que existen entre las tres actividades comparadas, las cuales nos indican que tan bien o mal se encuentra el progreso del proyecto hablando de dinero y de tiempo (Fuentes, 2016; PMI, 2013). Esta metodología es sumamente productiva en el ámbito de la construcción debido a que puede dar a conocer no solamente las situaciones actuales del proyecto y la eficiencia en su ejecución como se mencionó anteriormente, sino que también se puede predecir la evolución del mismo en base al trabajo desarrollado (Lacouture, 2015; Navarro, 2006).

La aplicación del EVM* requiere del control total de los datos del proyecto, por lo tanto el ingeniero residente deberá tener conocimiento de todos los trabajos o actividades criticas que existen en la obra para poder organizar el personal y los recursos, de esta manera en el momento en que la metodología arroje una imagen negativa del progreso de la construcción él deberá tomar las decisión mas optimas para que el progreso de la obra no se ralentice (Czemplik, 2014).

* Method of earned value

3. Metodología

3.1 Caso de estudio

Laboratorios de Ingeniería mecánica es un edificio universitario ubicado en el campus central de la Universidad Industrial de Santander en la ciudad de Bucaramanga (Colombia), localizado en la carrera 27 con calle 9. Este a su vez cuenta con 8 niveles de los cuales 2 son sótanos, el primero está conformado por laboratorios académicos y el segundo aloja los tanques de agua, también posee un cuarto de máquinas ubicado en el piso 5 para el mantenimiento de los elevadores, por otro lado, el primer, segundo y tercer nivel están conformados por aulas de clase, laboratorios, oficinas y baños. La edificación presenta una estructura con sistema de pórticos con algunos muros estructurales, además posee muros de contención en ambos sótanos (Figura 2).

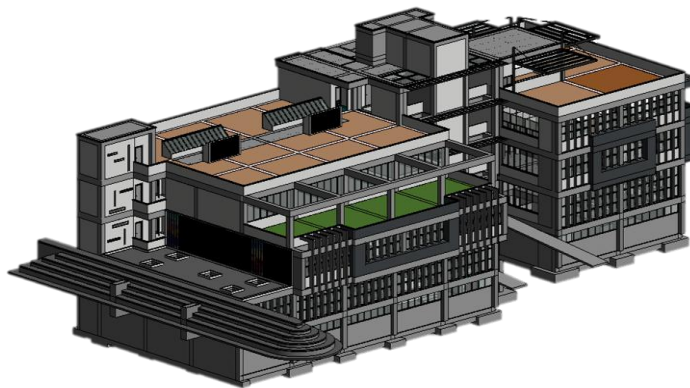


Figura 2. Modelo en Revit de la edificación. Fuente: Grupo de investigación Geomatica.

3.2 Formatos de registro de informacion

Con la información técnica de la construcción se buscó identificar las variables y los procesos que se pudieran controlar dentro del alcance de este proyecto investigativo, que es del 45% de la obra, este porcentaje tuvo elementos tales como los componentes de la estructura, la mampostería y todo lo correspondiente al gasto de cemento, entre otros. Por lo tanto, fue necesario diseñar un formato para el almacenamiento de registros en campo en donde se evidencie las cantidades de material y el tiempo en el que se hayan ejecutando dichas cantidades.(Anexo 68-69)

Aparte se decidió reunir en 4 grupos las actividades controladas debido a su complejidad de gestión en obra, pues también era necesario comparar las cantidades haciendo un paralelo con lo que se cuantificó y lo que estaba en el modelo BIM de la edificación.(Anexo 70)

3.2.1 Primer agrupación de actividades. Este grupo estuvo constituido por los ítems que se midieron directamente en campo con instrumentos de medición láser, flexómetros, drones y tecnología UAV, además se llevó un registro fotográfico diario para saber con exactitud la fecha en la que se desarrolló cierta actividad.
(Anexo 1)

3.2.2 Segunda agrupación de actividad. Este grupo estuvo conformado por elementos que su control en obra fue llevado a cabo por medios fotográficos y por mediciones

mensuales, por otro lado, se asumió que los datos de estas actividades se iban a agrupar únicamente en el último día de cada corte de obra. (Anexo 2)

3.2.3 Tercer agrupación de actividad. Estuvo conformado por elementos que su control en obra fuese dificultoso, por lo tanto, se tuvo en cuenta las cantidades obtenidas en planos y las cantidades de las actas de pago que se conocían de cada mes para su respectivo control, además por medios fotográficos se aseguro que estas actividades se estuviesen llevando a cabo en campo, por otro lado, se asumió que los datos de estos ítems se iban a agrupar únicamente en el último día de cada corte de obra. (Anexo 3)

3.2.4 Cuarto grupo de actividades. Este grupo se conformo por los capítulos generales que por complejidad del control en obra fueron controlados con respecto a las cantidades reportadas en las actas de pago, se asumió que los datos de los gastos mensuales presentes en las actas de pago se ubicarían en la estructura desintegrada de trabajo de forma distribuida en cada mes, ósea la cantidad total pagada en cada corte de obra por Capitulo se dividió por el numero de semanas o días que tenia cada mes. (Anexo 4)

3.3 Forma de medicion de los items controlados en obra

El acceso a la obra fue diario por 9 meses para lograr obtener información detallada de los elementos fundidos en concreto y las demás actividades que se controlaron, para esto fue necesario

tener acceso a equipos e información del grupo de investigación Geomatica el cual, por medio de varios dispositivos electrónicos como drones, UAV, scanner láser y cámaras de alta resolución, registraron pruebas de los gastos ejecutados en obra y de las actividades que allí se realizaron en tiempo real. (Anexos 5-23)

3.4 BIM y control de obra

El modelo BIM elaborado en Revit Autodesk del edificio por el grupo de investigación Geomatica fue de suma ayuda al momento de corroborar información registrada en el lugar de la construcción, debido a que las medidas usadas en la metodología del valor ganado y los informes generados debían ser precisos para generar confianza de lo que se estaba haciendo, por esta razón se logro obtener un promedio de 2.7% del error de los datos medidos en comparación con los proyectados en BIM. (Ver Figura 1) (Ver Anexo 24)

Revit además permitió definir diferentes fases de construcción clasificando los elementos de acuerdo con el proceso constructivo realizado, también facilito el cálculo de cantidades de obra gracias un conjunto de herramientas, que permiten automatizar el proceso y obtener resultados con alta precisión.

Con el modelo BIM 3D elaborado en el software Revit fue posible detectar interferencias e inconsistencias existentes entre los elementos del proyecto, así mismo se estableció un apoyo directo en obra en el momento de saber grandes cantidades de concreto para fundir y evitar desperdicios o material faltante. (Ver Anexo 25-27)



Figura 3. Imagen aérea posterior a la fundición de la placa N+0.00 del módulo 1. Fuente: dron del grupo de investigación Geomatica

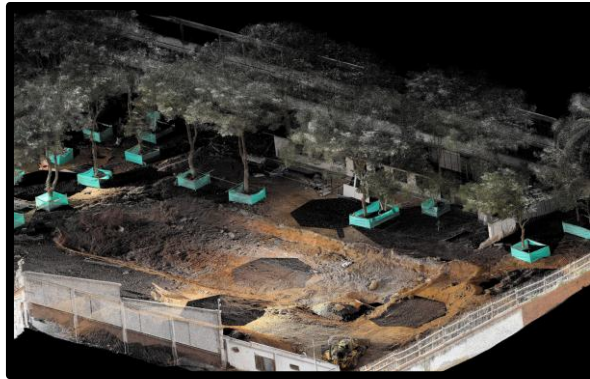


Figura 4. Nube de puntos generada con el scanner la fase inicial del proyecto. Fuente: scanner laser del grupo de investigación Geomatica



Figura 5. Imagen tomada con un UAV en la fase 5 de la construcción. Fuente: UAV del grupo de investigación Geomatica.

3.5 Seguimiento de obra por medio de la Metodología del Valor Ganado

El Valor Ganado es una técnica de gestión de proyectos que permitió medir el rendimiento de costos y de tiempo de este proyecto a través del presupuesto y del calendario de ejecución, comparando las cantidades de trabajo completado contra las cantidades de trabajo presupuestado (PMI, 2013).

3.5.1 Curva “S”. La curva S es una gráfica que va de la mano con el valor ganado, la cual nos dio una idea del gasto de dinero contra el tiempo de funcionamiento de la obra, este gráfico contiene 3 pilares fundamentales:

- El valor planificado (PV): Son las cantidades presentes en el presupuesto.
- El costo real (AC): Son las cantidades presentes en las actas de pago.
- El valor ganado (EV): Es lo que realmente se esta produciendo en obra.

Estos valores se graficaron contra el tiempo para lograr obtener 3 curvas que nos dieron claridad sobre cómo se encontraba el proyecto hablando de tiempos y costos, debido a que fue posible calcular varianzas e índices que nos dieron una imagen en el avance de obra. (Ver Tabla 1)

Tabla 1
Valores de la curva S en el noveno mes.

Corte	9
EV	\$ 5,848,078,050.80
PV	\$ 7,066,251,346.81
AC	\$ 7,842,279,916.00

3.5.2 Varianza de costos (CV). Posterior a la obtención del AC, EV y PV se calculaba el monto del déficit o superávit presupuestario en un momento dado de la construcción y si la desviación era negativa significaba que se habían gastado más de lo que se debería, mientras que si era positiva todo lo contrario. (Anexo 37)

$$(1) CV = EV - AC$$

3.5.3 Varianza en la programación (SV). Fue la medida que se calculaba para saber si el proyecto estaba adelantado o retrasado en relación con la fecha de entrega planificada, en un determinado momento y si la desviación era negativa quería decir que existía un retraso con respecto al cronograma, mientras que si era positiva todo lo contrario (PMI, 2013).

$$(2) CV = EV - PV$$

Tabla 2
Desempeños de SV y CV.

		<i>Tiempo</i>		
		<i>SV>1</i>	<i>SV=0</i>	<i>SV<1</i>
<i>Costo</i>	<i>CV>1</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>
		<i>costo</i>	<i>costo</i>	<i>costo</i>
	<i>CV=0</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>
		<i>costo</i>	<i>costo</i>	<i>costo</i>
	<i>CV<1</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>
		<i>costo</i>	<i>costo</i>	<i>costo</i>

Nota: Verde: bueno; Negro: Normal; Rojo: malo

3.5.4 Variación a la conclusión (VAC). Esta proyección fue la encargada de evidenciar el monto del déficit o superávit presupuestario, expresada como la diferencia entre

el presupuesto al concluir y la estimación al concluir, o sea la diferencia estimada en costo a la conclusión del proyecto (PMI, 2013).(Anexo 37)

$$(3) VAC = BAC - EAC$$

Tabla 3
Desempeños del VAC.

Estado	Descripción
Positivo	Por debajo del costo planificado.
Negativo	Por encima del costo planificado.
Neutro	Igual al costo planificado.

Fuente: Adaptada de PMI, 2013

Tabla 4
Valores de las varianzas en el noveno mes.

Corte	9
CV	-\$1,994,201,865
SV	-\$1,218,173,296
VAC	-\$4,632,211,241

3.5.5 Índice de rendimiento de costos (CPI). Fue la medida de la eficiencia en costos de los recursos presupuestados. Ya estudiando los resultados, un CPI de 1,0 significaba que el proyecto estaba exactamente en el presupuesto y que el trabajo realizado hasta el momento era exactamente igual al costo hasta la fecha. Otros valores mostraban el porcentaje de los costos que habían sobrepasado o que no habían alcanzado la cantidad presupuestada para el trabajo realizado (PMI, 2013). (Anexo 37)

$$(4) CPI = EV/AC$$

3.5.6 Índice de rendimiento de programa (SPI). Este índice de rendimiento fue usado en la medición de la eficiencia del cronograma. Un SPI de 1,0 significaba que el proyecto se ajustaba exactamente al cronograma y que el trabajo realizado hasta el momento coincidía exactamente con el trabajo planificado hasta la fecha. Otros valores mostraban el porcentaje de los costos que habían sobrepasado o que no habían alcanzado la cantidad presupuestada para el trabajo realizado (PMI, 2013).

$$(5) SPI = EV/PV$$

Tabla 5
Desempeños de los índices.

		<i>Tiempo</i>		
		<i>SPI>1</i>	<i>SPI=0</i>	<i>SPI<1</i>
<i>Costo</i>	<i>CPI>1</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>
		<i>costo</i>	<i>costo</i>	<i>costo</i>
	<i>CPI=0</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>
		<i>costo</i>	<i>costo</i>	<i>costo</i>
	<i>CPI<1</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>	<i>tiempo</i>
		<i>costo</i>	<i>costo</i>	<i>costo</i>

Nota: Verde: bueno; Negro: Normal; Rojo: malo

Tabla 6
Valores de los índices en el noveno mes.

Corte	9
CPI	0.745711466
SPI	0.827606855

3.5.7 Estimación a la conclusión (EAC). Se estimo el costo total previsto de completar todo el trabajo, expresado como la suma del costo real a la fecha y la estimación hasta la conclusión.

Se asumió que el CPI se iba a mantener constante por el resto del proyecto y se usó la siguiente ecuación:

$$(6)EAC = BAC/CPI$$

Sin embargo, si el trabajo futuro se fuese a realizar según la tasa planificada, se deberá utilizar:

$$(7)EAC = AC + BAC - EV$$

Y si tanto CPI como SPI tuviesen influencia sobre el trabajo restante, usar:

$$(8)EAC = AC \left[\frac{BAC - EV}{CPI * SPI} \right]$$

Donde el BAC, es el valor de la totalidad del trabajo planificado o la línea base de costos del proyecto, el cual equivale en este proyecto a \$13,584,147,804 que vendría siendo el costo total planeado de la obra sin los costos administrativos, utilidades e imprevistos (PMI, 2013).

3.5.8 Estimación hasta la conclusión (ETC). Fue el costo previsto para terminar todo el trabajo restante del proyecto, pero para su uso se debía asumir que el trabajo

avanzo de acuerdo con el plan, por eso el costo para completar el trabajo restante se pudo calcular mediante la utilización de:

$$(9) ETC = EAC - AC$$

3.5.9 Índice de desempeño del trabajo por completar (TCPI). Fue la medida del desempeño del costo que se debió alcanzar con los recursos restantes a fin de cumplir con un objetivo de gestión especificado, expresada como la tasa entre el costo para culminar el trabajo pendiente y el presupuesto restante. La eficiencia que debió ser preciso mantener para cumplir el plan se calculó con la siguiente fórmula.

$$(10) TCPI = \left[\frac{BAC - EV}{BAC - AC} \right]$$

El valor de este índice dependerá de si es mayor a 1, menor que 1 o igual a 1, porque será más difícil de completar, más fácil de completar o se completará como estaba estipulado la obra, respectivamente (PMI, 2013).

Tabla 7
Estimaciones en el noveno mes.

Corte	9
EAC	\$10,374,079,129
ETC	\$18,216,359,045
TCPI	1.81

3.6 Informe de obra

El objetivo del informe era el de mantener a la oficina de Dirección de planta física de la Universidad Industrial de Santander al tanto del control que se iba a estar llevando de la construcción del edificio de laboratorios de ingeniería mecánica, con el fin de que los encargados de la planeación del proyecto tuvieran mas claridad sobre las fases de ejecución del mismo. (Ver Anexo 28-36)

3.6.1 Cantidades de obra por fases. Las cantidades de obra se tabularon con el fin de lograr hacer una fácil comparación, primero entre las a actas de pago y lo medido, y segundo entre las cantidades en Revit y lo medido en obra. (Ver Anexos 38-64)

Tabla 8

Comparación de cantidades entre modelo BIM y cantidades medidas en obra del mes 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Revit
M. Contención	M3	2.95	3
Contrapiso 10cm	M2	331.06	320.56
Contrapiso 20cm	M2	82.4	92.90
Escalera E1	UN	3	3
Escalera E4	UN	1	1
Friso interno	M2	2089.48	2102.66
Estuco	M2	1082.92	1103.74
H-15	M2	1013.02	994.46
H-12	M2	14.38	22.61
Rampa	M2	63.84	57.77
Columnetas	ML	443.75	443.75

Fuente: Autoria propia con adaptación de información de Geomatica.

Tabla 9

Comparación de cantidades entre las actas de pago y cantidades medidas en obra del mes 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
M. Contención	M3	2.95	-
Contrapiso 10cm	M2	331.06	-
Contrapiso 20cm	M2	82.4	-
Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
Escalera E1	UN	3	-
Escalera E4	UN	1	-
Friso interno	M2	2089.48	-
Estuco	M2	1082.92	-
H-15	M2	1013.02	-
H-12	M2	14.38	-
Rampa	M2	63.84	-
Columnetas	ML	443.75	-

Fuente: Autor y contratistas del proyecto.

Tabla 10

Comparación de cantidades actas de pago y cantidades medidas en obra hasta el mes 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
V.de cimentación	M3	166.83	157.79
Zapata	M3	349.99	318.54
Pantalla	M3	241.05	288.36
M. Contención	M3	209.74	211.84
Contrapiso 10cm	M2	631.36	623.10
Contrapiso 20cm	M2	1187.34	1175.95
Tanques de agua	M3	76.70	75.01
Placa de entrepiso	M2	7759.07	7018.36
Columnas	M3	282.196	242.79
Escalera E1	UN	6	6
Escalera E2	UN	4	4
Escalera E3	UN	4	4
Escalera E4	UN	3	4
Friso interno	M2	7391.43	6328.57
Estuco	M2	4389.07	6000
H-15	M2	4974.83	4029.80
H-12	M2	219.36	375
Rampa	M2	63.84	190
Columnetas	ML	2657.24	2499.29

Fuente: Contratistas del proyecto y autor.

Tabla 11

Cantidad de acero de refuerzo del mes 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida
M. Contención	kg	308.39
Contrapiso 10cm	kg	1139.95
Contrapiso 20cm	kg	1235.06
Escalera E1	kg	2425.47
Escalera E4	kg	823.53
Rampa	kg	449.72

Fuente: Autor y grupo de investigación de Geomatica.

Tabla 12

Cantidad de refuerzo hasta el mes 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida
V.de cimentación	kg	22982.82
Zapata	kg	13321.21
Pantalla	kg	63047.18
M. Contención	kg	19283.44
Contrapiso 10cm	kg	2249.91
Contrapiso 20cm	kg	15747.54
Tanques de agua	kg	7593.93
Placa de entrepiso	kg	216310.30
Columnas	kg	19283.44
Escalera E1	kg	4872.19
Escalera E2	kg	1346.13
Escalera E3	kg	685.26
Escalera E4	kg	2321.42
Rampa	kg	449.72
Malla electrosoldada	kg	53170.22

Fuente: Autor y grupo de investigación de Geomatica.

4 Análisis de resultados

4.1 Curva “S” y su análisis

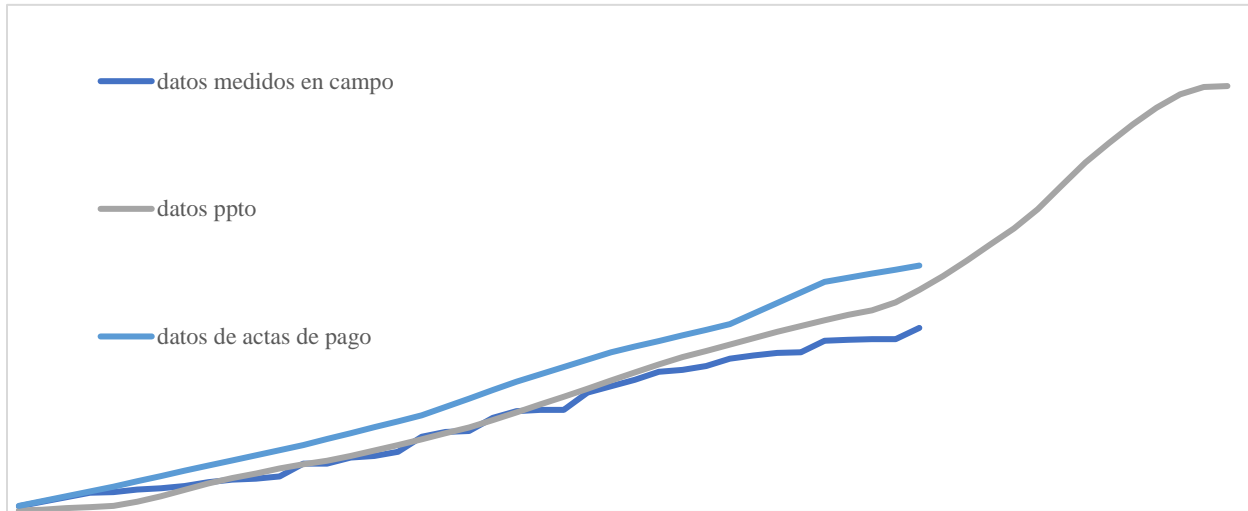


Figura 6. Curva S de los 9 primeros meses de la construcción de la obra. (Ver Anexo 65 y 70)

Como se puede observar en la *Figura 6*, la curva de “datos de actas de pago” se mantuvo arriba de la curva de los “datos medidos en campo” y de la curva de presupuesto, esto se debió a que en las actas de pago fueron incluidos todos los imprevistos que la obra tuvo hasta el noveno mes, los cuales generaron un sobre costo en lo que se llevaba de la construcción con respecto a las otras dos curvas, por otro lado, es notable que la curva EV o la correspondiente a los datos medidos en campo siempre trato de seguir con la misma tendencia de la curva PV que es la presupuestada y aunque no fueron completamente iguales, esta situación dio evidencia de que en la construcción se trato de seguir el cronograma de actividades, pero por costos la obra no coincidió con las actas de pago debido a la cantidad de actividades imprevistas.(Ver Anexo 66 y 70)

4.2 Evolución de varianzas en el proyecto

El su avance proyecto siempre tuvo muchos contra tiempos (Anexo 67 y 70), algunos se solucionaron rápidamente, pero hubo otros que no, afectando de forma permanente la realización a tiempo de las actividades y el gasto oportuno de dinero a la hora de pagar como se puede evidenciar en la gráfica de varianzas. (Ver Figura 7)

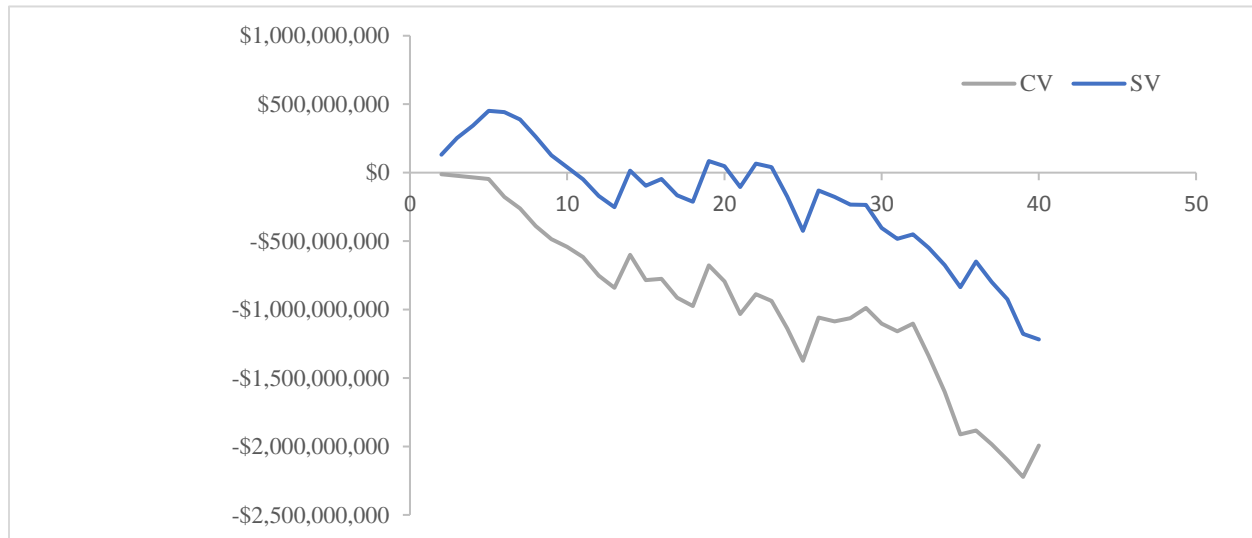


Figura 7. El CV, el SV en los primeros 9 meses de la construcción de la obra.

En la anterior figura se observa que el comportamiento de la curva SV al principio entre las semanas primera y cuarta mostro una evolución positiva debido al rápido avance en la construcción con respecto al programa de obra, puesto a que la variación en el cronograma siempre fue mayor a cero, a partir de esto, la obra entro en un periodo de retraso hasta la semana doce, posiblemente por unos contratiempos ocasionados por las fuertes lluvias de ese periodo, por mano de obra ineficiente, por retrasos en la estabilización de un talud o por una demolición de unos edificios aledaños que iba acompañada de una remoción de tierra, seguido de esto, se evidencio un periodo de altibajos hasta la semana veintitrés donde se logró ver el esfuerzo de tratar de estabilizar el avance de la construcción cumpliendo con el cronograma, al finalizar las labores de control de

obra, esta contaba con un atraso evidenciado en el SV de \$1,218,173,296 y en el CV de \$1,994,201,865 en el noveno mes, cabe recalcar que la variación del costo siempre tuvo una tendencia a la baja desde el comienzo de la obra, esto quiso decir que el sobre costo siempre estuvo presente durante las 40 semanas que se hizo seguimiento.

4.3 Desempeño de los índices en el proyecto

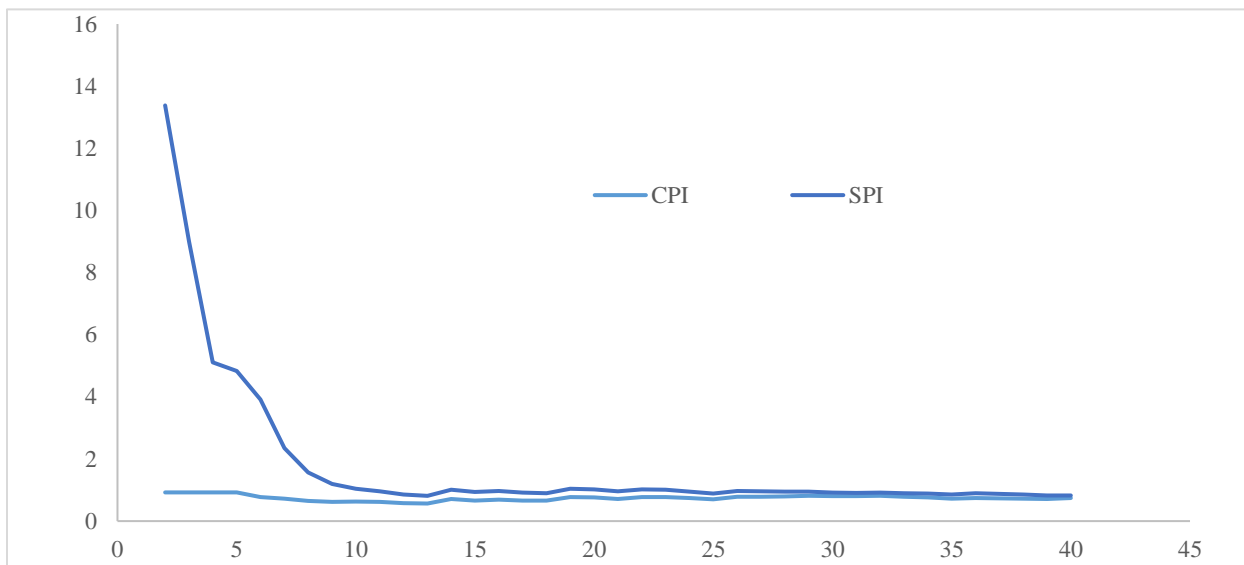


Figura 8. El CPI y SPI en los primeros 9 meses de la construcción de la obra.

En la *Figura 8* se pudo observar un comportamiento constante a comparación de la *Grafica 2* debido a la similitud en la mayoría de sus datos, sobre todo en la curva CPI y aunque su tendencia fuera aparentemente uniforme esto no quería decir que indicó un buen resultado, pues en las 40 semanas este índice se mantuvo por debajo de 1,0 mostrando que el costo de la obra estuvo por encima del costo planificado, por otro lado la curva SPI inicialmente indicó buenos valores por las 10 primeras semanas, pero siempre en constante disminución, posterior a esta tendencia a la baja este indicador se estabilizó siguiendo un curso muy parecido al de la curva CPI e indicando que la

obra estaba un poco atrasada con respecto al cronograma, pues esta estuvo de la décima a la cuarentava semana por debajo de 1,0 pero con un valor muy aproximado a este de 0.924 en promedio.

4.4 Evolucion del TCPI.

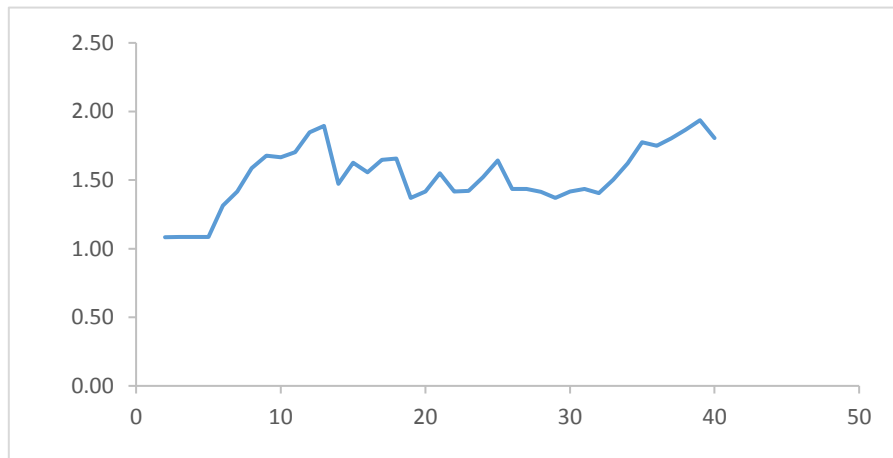


Figura 9. Desempeño del TPCI.

Esta curva con una tendencia errática era la encargada de reflejar la dificultad que iba a tener el proyecto para su finalización total, por un lado la curva debería mantenerse por debajo de 1,0 o por lo menos en 1,0 para que indicara que el proyecto se iba terminar más fácil o en lo planificado, pero como se puede observar en la *Figura 9* los resultados siempre estuvieron indicando que iba haber dificultad con respecto al dinero y tiempo asignado a la obra puesto que todos los resultados fueron superiores a 1 durante las 40 semanas.

4.5 Evolucion del VAC

En el momento de querer hacer proyecciones el EAC y el BAC fueron valores primordiales debido a que el primero se encargó de dar una estimación del valor total de la obra y el segundo fue el valor total del presupuesto, además la comparación de ambos valores generó una diferencia estimada que arrojaría el monto del déficit o superávit que iba a existir en la obra en el momento de su culminación.

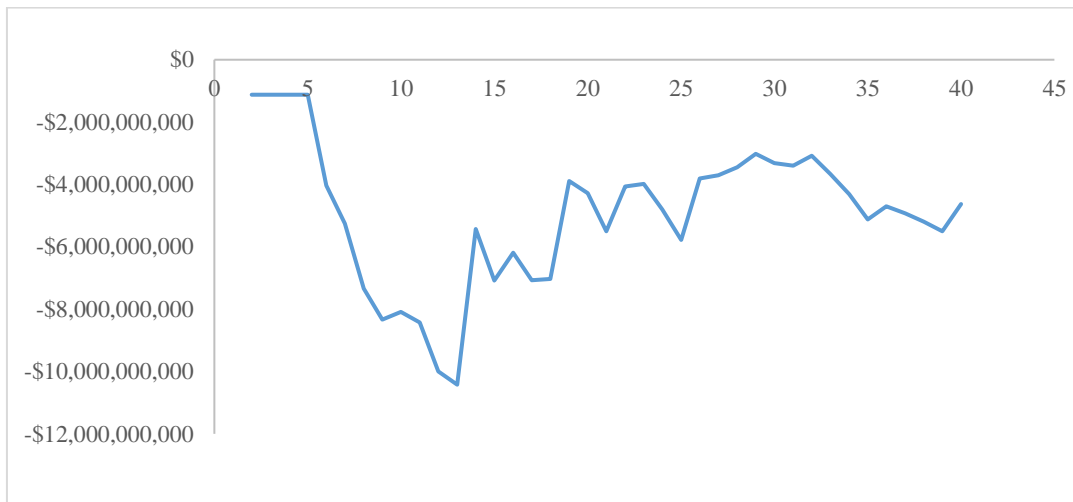


Figura 10. Desempeño del VAC.

En la novena fase de obra, la correspondiente entre los días 10 de septiembre y 10 de octubre el VAC era de -\$4,632,211,241 indicando que esta iba a ser la diferencia en dinero necesaria para culminar el proyecto. Al ser un valor negativo demostró que el EAC iba a estar por encima del BAC por el sobrecosto generado y por los atrasos experimentados en obra. La evolución del VAC también fue usada para calcular una proyección de la cantidad de días que se pensaba iban a ser necesarios para alcanzar el EAC. Para calcular el número de días de atraso se usó una regla de 3.

$$(11) \text{Atraso} = \left[\frac{VAC * 365}{BAC} \right] - 365$$

La cual nos dio una proyección de los días de más que iba tener el proyecto los cuales iban a ser 124.37, cabe resaltar que esta aproximación se calculo con valores registrados hasta el corte del 10 de octubre, por esta razón es posible que esta cantidad de tiempo disminuya o aumente según la actividad en la construcción.

4.6 Avance de la construcción

En el proceso de la obra se decidió medir de diferentes maneras para comparar sus resultados y a su vez usar los valores para ver la cantidad porcentual de tiempo, dinero y materiales faltantes para terminar el proyecto.

Tabla 13

Progreso de obra al finalizar la 9 fase de obra.

Progreso	Avance
% PV	52.02%
% EV	43.05%
% AC	57.43%
% Tiempo	75%

Fuente: Autor, Geomatica y contratistas vinculados al proyecto.

4.6.1 Costo previsto para terminar todo el edificio de laboratorios de ingeniería

mecánica. Con la información registrada en campo, junto a la extraída de las actas de pago y lo planeado se logro proyectar que en el corte comprendido entre septiembre 10 y octubre 10, se obtuvo la suposición de que si en la obra no hubieran imprevistos, el ETC sería igual \$7,736,069,753 y suponiendo de que en la obra siguieran existiendo imprevistos se tendría un ETC de \$10,374,079,129.

Los resultados anteriores mostraban el progreso de la construcción con respecto a las 3 actividades fundamentales del valor ganado PV, EV y AC, a su vez también indica el progreso con respecto al tiempo total del proyecto el cual era de 12 meses.

5 Observaciones

Los archivos provenientes de la planeación del proyecto tenían varias inconsistencias que generaron atrasos en todas las actividades presentes en la materialización de la obra, por una parte algunas de estas inconsistencias tenían que ver con la estructura desintegrada de trabajo, la cual no estaba discretizada en su totalidad, debido a que existían actividades que pudieron haberse planeado de forma correcta, como lo fueron los contra pisos, pues en planos existían dos espesores y solo se tuvo en cuenta el de 10 [cm] para la planeación, dejando al contra piso de 20 [cm] fuera del presupuesto y del programa de actividades, (Anexo 67) además el programa de obra tenía unas diferencias claras con respecto a los ítems que estaban presente en el presupuesto del proyecto, debido a que ambos debían tener las mismas actividades o por lo menos tener presente todo lo que se iba a desarrollar en la obra para que se materializara en el tiempo estipulado, del mismo modo habían ítems que no fueron planeados y debieron considerarse como obras complementarias logrando afectar el presupuesto de la obra, por otro lado el programa de la construcción tuvo tres cambios durante la construcción del edificio, primero se manejo una EDT total, segundo se modifico el anterior EDT y posterior a esto se hicieron 3 EDT* correspondientes a cada modulo

* Estructura Desintegrada de Trabajo

de la edificación, por consiguiente las modificaciones generaron problemáticas internas en la obra por los malentendidos que estas crearon. (Anexo 67)

Como es debido, la responsabilidad de la constructora radicaba en realizar cada una de las actividades en el tiempo pensado para lograr un buen proyecto, pero como la mayoría de las obras de construcción, esta también tuvo varios imprevistos y cambios en obra que debían ser necesarios para culminarla, por lo tanto, fue necesario más dinero y tiempo, lo cual afectó todo el avance de la obra. Algunos de estos imprevistos fueron condiciones climáticas adversas como lluvias intensas, demoliciones de edificaciones aledañas a la obra y unas construcciones de estabilidad de taludes para darle seguridad a la obra. (Anexo 67)

6 Conclusiones

Este Proyecto tuvo como principio la implementación de una metodología práctica y sencilla para el control en proyectos de construcción, con la cual se pudo concluir la eficiencia que se tiene al basarse en EVM y la implementación del BIM en la materialización *del edificio de laboratorios de ingeniería Mecánica* de la Universidad Industrial de Santander (Colombia), donde se concluyó que:

Con la implementación de una metodología sencilla usada para cuantificar actividades se logró obtener registros en obra correspondientes a los ítems de los grupos 1 y 2, evidenciando la exactitud de las medidas tomadas en campo, gracias a las comparaciones hechas con los datos generados en el modelo BIM los cuales alcanzaron entre estos registros un error promedio de 2,7%,

a su vez esta precisión genero aceptación de los contratistas y la interventoria de obra, quienes requirieron varias veces de los datos del modelo 3D y los medidos en campo para comparar con sus cantidades del proyecto y así evidenciar si eran exactas a las cantidades gastadas, así mismo notaron la facilidad que brindaba el software Revit en el calculo de cantidades y decidieron hacer uso de esta herramienta BIM para tener valores aproximados de la cantidad de concreto que requerían para sus fundiciones y así no generar desperdicios. (Anexo 25-27)

Gracias a la identificación de variables y procesos mas representativos se logro dar una adecuada implementación del EVM, generando una panorámica de lo que fue la realidad de la obra, indicando que en el transcurso de su avance iba a existir un constante sobre costo que podría alcanzar los \$4,632,211,241 en el caso de que surgieran mas imprevistos, por otro lado el aumento del precio de la obra vendría acompañado de un retraso de 124.37 días, ósea que la duración de la obra pasaría de tener 365 días a 489.37 días y que su costo aumentaría de \$13,584,147,804 a \$18,216,359,045.

El ágil control que se ejerció de manera rápida en la construcción del *edificio de laboratorios de ingeniería mecánica* fue necesario para evidenciar que las obras complementarias fueron responsables de encabezar el aumento del precio en las actas de pago de \$1,994,201,865 por encima del valor medido en obra, además de generar una varianza entre los valores registrados en campo y el presupuesto de \$1,218,173,296, logrando dejar en evidencia la no tan buena planeación del proyecto, la cual omitió varias actividades que se tenían que construir en obra, las cuales al momento de su realización generaron sobrecostos.

Una buena planeación debe ser primordial en la construcción para evitar situaciones que se presenciaron en el proyecto estudiado, debido a que desde el principio hubo discrepancias e información faltante en los documentos como el presupuesto y el cronograma de actividades (WBS). Estos documentos deben ser producto de un plan exhaustivo de verificación para que no se presenten obras complementarias o imprevistos que alteren el alcance y el gasto de dinero de la obra.

Es de suma importancia resaltar que la estructura de actividades no fue la apropiada en este proyecto, además de tener 2 cambios en el transcurso de la obra, fue la causante de varios inconvenientes, debido a que era poco práctica en la agrupación de ítems y no era clara para las actividades de control y seguimiento, por esta razón cabe resaltar que la guía de un proyecto es su programa de actividades (WBS) la cual debe ser concisa y práctica para llevar una buena gestión y un óptimo control de la construcción.

La construcción nacional tiene todas las metodologías y tecnologías necesarias para desempeñarse de una mejor forma evitando inconvenientes y optimizando al máximo el seguimiento de los procesos constructivos, pero se logró evidenciar en la práctica que aun teniendo la ayuda de software como Revit y métodos como el del valor ganado se prefiere seguir usando los mismos procesos que se realizan convencionalmente.

Se logró observar a través del avance del proyecto investigativo, que los datos y los resultados obtenidos lograron corroborar que el control de obra con la implementación de la metodología del valor ganado y la colaboración del BIM generan una aceptación total en el ámbito constructivo,

debido a los beneficios que estos presentan dando claridad en términos monetarios y temporales del estado de los proyectos constructivos en tiempo real y con proyecciones a futuro.

Referencias Bibliográficas

- Abbas, A., Din, Z. U., & Farooqui, R. (2016). Integration of BIM in Construction Management Education: An Overview of Pakistani Engineering Universities. *Procedia Engineering*, 145, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.034>
- Abas Naderpour, M. M. (2011). Improving Construction Management of an Educational Center by Applying Earned Value Technique. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, (pp. 1945-1952). Tehran,Iran.
- Aladag, H., Demirdögen, G., & Isik, Z. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. *Procedia Engineering*, 161, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.520>
- Buzeta, R. (2017). Metodología del valor ganado. Bucaramanga,Colombia.
- Cao, D., Li, H., Wang, G., & Huang, T. (2017). Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projectsAn empirical study in China. *International Journal of Project Management*, 35(4), 658–669. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.02.002>
- Contreras, C., & José, E. (2007). De Control De Gestión Basado En La Técnica Del Valor Ganado: Presentación De Un Nuevo Estimador De Tiempo De Término De Proyectos En Ejecución. Retrieved from <http://www.tesis.uchile.cl/handle/2250/111272>
- Czemplik, A. (2014). Application of earned value method to progress control of construction projects. *Procedia Engineering*, 91(TFoCE), 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.087>
- Czemplik, A. (2014). Application of Earned Value Method to Progress Control of Construction projects. *XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014)*, (pp. 424-428).
- Czemplik, A. (2014). Application of Earned Value Method to Progress Control of Construction projects. *XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014)* (pp. 424-428). Elsevier.
- Forbes, L.H , Ahmed, S. . (2011). Productivity and Performance Measurement in Construction, 23–44.
- Fuentes, R. europea). (2016). Metodo del Valor Ganado(EVM):Aplicacion en la gestion de proyectos de edificacion en España.
- K. Knutsin , C.J.Schexneyder, C. F. and R. E. M. (2009). *Construction Management*, 37–55.

Retrieved from <http://books.google.co.th/books?id=ky1GHdiORn4C>

- Lacouture, F. (2015). Implementación de la metodología del valor ganado en un proyecto de infraestructura vial. Retrieved from [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11532/1/IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL VALOR GANADO EN UN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11532/1/IMPLEMENTACIÓN_DE_LA_METODOLOGÍA_DEL_VALOR_GANADO_EN_UN_PROYECTO_DE_INFRAESTRUCTURA_VIAL.pdf)
- Lou, J., Xu, J., & Wang, K. (2017). Study on Construction Quality Control of Urban Complex Project Based on BIM. *Procedia Engineering*, 174, 668–676. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.215>
- Masood, R., Kharal, M. K. N., & Nasir, A. R. (2014). Is BIM adoption advantageous for construction industry of Pakistan? *Procedia Engineering*, 77, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.021>
- Mehran, D. (2016). Exploring the Adoption of BIM in the UAE Construction Industry for AEC Firms. *Procedia Engineering*, 145, 1110–1118. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.144>
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*, 57, 767–774. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>
- Navarro, D. (2006). Seguimiento de proyectos con el Análisis del Valor Ganado. *Dirección de Proyectos*, 1–13. Retrieved from http://www.armell.com/docs/avg_v1b.pdf
- Pérez Cervantes, J. C. (2004). Planeacion de obra del instituto de religion tampico: propuesta de analisis y evolucion de planeacion estrategica. *Control*, 36–55.
- PMI. (2013). *Guia de los Fundamentos para la Direccion de Proyectos (GUIA DEL PMBOK)*. (P. management instituted Inc, Ed.) (Ed. 5ta). Newton Square, Pensilvania , EE.UU.
- Tauriainen, M., Marttinen, P., Dave, B., & Koskela, L. (2016). The Effects of BIM and Lean Construction on Design Management Practices. *Procedia Engineering*, 164(June), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.659>
- Vargas, J. C. (2015). Análisis sector construcción en colombia. *PMBOOK*, (1641794), 80.
- Vysotskiy, A., Makarov, S., Zolotova, J., & Tuchkevich, E. (2015). Features of BIM implementation using autodesk software. *Procedia Engineering*, 117(1), 1148–1157. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.248>
- Zhang, L., Zhang, X., & Ma, T. (2013). Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management, 236, 81–88. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7010-6>

Apéndices

Apéndice 1. *Tabla de grupo 1.*

Ítem	Descripción	UN.	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
3.3	Concreto de 3000 psi para vigas de cimentación	M3	136.50	\$ 483,119.00	\$ 65,945,744.00
3.4	Concreto de 3000 psi para zapatas	M3	348.60	\$ 483,119.00	\$ 168,415,283.00
3.5	Concreto de 4000 psi para pantallas	M3	253.10	\$ 611,341.00	\$ 154,730,407.00
3.6	Concreto de 4000 psi para columnas	M3	288.80	\$ 601,989.00	\$ 173,854,423.00
3.7	Concreto de 3000 psi para placas de contrapiso, espesor 10 cm	M2	2,868.60	\$ 54,699.00	\$ 156,909,551.00
3.8	Concreto de 4000 psi para muros de contención	M3	228.90	\$ 575,610.00	\$ 131,757,129.00
3.9	Concreto de 3000 psi para placa aligerada con casetón de icopor, espesor 60 cm	M2	7,019.30	\$ 228,059.00	\$ 1,600,814,539.00
3.10	Escalera tipo 1 en concreto de 3000 psi	UN	6.00	\$ 1,877,296.00	\$ 11,263,776.00
3.11	Escalera tipo 2 en concreto de 3000 psi	UN	4.00	\$ 1,747,008.00	\$ 6,988,032.00
3.12	Escalera tipo 3 en concreto de 3000 psi	UN	4.00	\$ 1,289,025.00	\$ 5,156,100.00
3.13	Escalera tipo 4 en concreto de 3000 psi	UN	4.00	\$ 2,734,038.00	\$ 10,936,152.00

Ítem	Descripción	UN.	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
3.17	Concreto de 4000 psi plástico de baja permeabilidad para tanque de agua	M3	76.70	\$ 731,791.00	\$ 56,128,370.00
7.11	Placa en concreto reforzado de 3000 psi para rampa exteriores, espesor 10 cm	M2	99.20	\$ 59,075.00	\$ 5,860,240.00
7.12	Placa en concreto reforzado de 3000 psi para acceso rampa de discapacitados y parqueadero, incluye acabado escobado y ratonado, espesor 10 cm	M2	191.20	\$ 59,075.00	\$ 11,295,140.00
13.2	Ascensor de pasajeros	UN	2.00	\$ 166,731,331.00	\$ 333,462,662.00
13.7	Espejo de agua	M2	178.00	\$ 213,959.00	\$ 38,084,702.00
22.8	Construcción de cárcamo para media tensión de 0,6 x 0,4 m	ML	4.00	\$ 108,525.00	\$ 434,100.00
22.9	Construcción de cárcamo de 0,4 x 0,4 m	ML	4.00	\$ 92,828.00	\$ 371,312.00

Adaptado de: Presupuesto inicial del proyecto.

Apéndice 2. *Tabla grupo 2*

Ítem	Descripción	UN.	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
4.1	Mampostería en ladrillo H-15	M2	5,958.00	\$ 25,152.00	\$ 149,855,616.00
4.2	Mampostería en ladrillo H-12	M2	178.00	\$ 22,337.00	\$ 3,975,986.00
5.2	Columnetas de confinamiento en concreto de 3000 psi reforzado	ML	805.20	\$ 25,219.00	\$ 20,306,339.00
6.1	Friso liso muros Internos	M2	10,053.20	\$ 14,526.00	\$ 146,032,783.00
6.4	Mesones en concreto reforzado de 3000 PSI, incluye acabado en granito fundido y pulido	ML	165.50	\$ 173,608.00	\$ 28,732,124.00
8.1	Estuco y pintura Vinilo tipo 1 aplicada a tres (3) manos para muros interiores	M2	9,449.30	\$ 11,563.00	\$ 109,262,256.00

Adaptado de: Presupuesto inicial del proyecto.

Apéndice 3. *Tabla de grupo 3*

Ítem	Descripción	UN.	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
3.1	Concreto ciclópeo	M3	105.00	\$ 242,782.00	\$ 25,492,110.00
3.2	Concreto de limpieza, espesor 5 cm	M2	3,448.20	\$ 15,998.00	\$ 55,164,304.00
3.14	Ensayos cilindros de concreto	UN	94.00	\$ 9,725.00	\$ 914,150.00
3.15	Acero de refuerzo PDR-60	KG	389,343.20	\$ 3,114.00	\$ 1,212,414,725.00
3.16	Mallas electrosoldadas estándar	KG	68,207.00	\$ 2,942.00	\$ 200,664,994.00
4.4	Anclaje ¼" para mampostería	UN	1,852.00	\$ 8,479.00	\$ 15,703,108.00
5.1	Dinteles en concreto de 3000 psi reforzado	ML	105.00	\$ 27,733.00	\$ 2,911,965.00
5.3	Alfajías en concreto de 3000 psi reforzado	ML	817.50	\$ 27,819.00	\$ 22,742,033.00
5.4	Bordillo en concreto de 3000 psi reforzado terraza	ML	178.00	\$ 30,392.00	\$ 5,409,776.00

Adaptado de: Presupuesto inicial del proyecto.

Apéndice 4. *Tabla de grupo 4*

Capítulo	Descripción	Precio parcial
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES	\$ 59,585,672.00
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS	\$ 224,078,027.00
14	RED HIDRAULICA	\$ 114,351,338.00
15	RED PLUVIAL	\$ 31,303,524.00
17	FILTROS Y SUBDRENES	\$ 9,974,824.00
18	RED SANITARIA	\$ 107,733,534.00
20	MEDIA TENSION- PROVISIONAL	\$ 95,734,531.00
21	BAJA TENSION - PROVISIONAL	\$ 87,315,694.00
31	BAJA TENSION -ACOMETIDAS Y ALIMENTADORES(TUBERIAS)	\$ 105,489,866.00

Adaptado de: Presupuesto inicial del proyecto.

Apéndice 5. *Concreto de 3000 psi para vigas de cimentación.*

Tabla A.5.1

Avance del item correspondiente a las vigas de cimentacion.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.3	Concreto de 3000 psi para vigas de cimentación.	M3	136.50	166.84	121.86%

Fuente: Autoria propia.

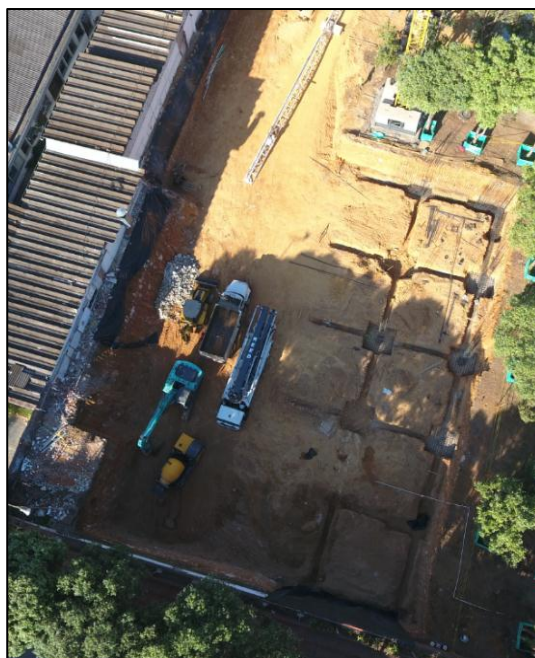


Figura A.5.1 Avance del item correspondiente a las vigas de cimentacion. Fuente: Registrado por medio de un UVA del grupo de investigacion de Geomatica.

Forma de medición:

La cuantificación de esta actividad se midió con un distanciometro laser o con un metro comun el largo, el ancho y el alto de la zapata para saber el volumen de concreto gastado ,pero en algunas ocasiones, exclusivamente cuando la viga era muy larga se necesito de la ayuda de un trabajador de la obra para poder tomar la medida del largo ,debido a que alguien

debía sostener el metro en un extremo de la viga, al igual que con el laser pues el debía reflejarse en una superficie que alguien debía sostener para tomar la medida.

Apéndice 6. *Concreto de 3000 psi para zapatas.*

Tabla A.6.1

Avance del ítem correspondiente a las zapatas.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.4	Concreto de 3000 psi para zapatas.	M3	348.60	350	100.40%

Fuente: Autoria propia.



Figura A.6.1 Avance del ítem correspondiente a las zapatas. Fuente: Cámara de alta definición.

Forma de medición:

La medición de esta actividad se llevó a cabo de forma convencional midiendo con un distanciometro laser o con un metro comun el largo, el ancho y el alto de la zapata para saber el volumen de concreto gastado en ella.

Apéndice 7. Concreto de 4000 psi para muros de contención.

Tabla A.7.1

Avance del ítem correspondiente a los muros de contención.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.8	Concreto de 4000 psi para muros de contención.	M3	209.74	228.90	91.63%

Fuente: Autoria propia.



Figura A.7.1 Avance del ítem correspondiente a los muros de contención. Fuente: Cámara de alta definición.

Forma de medición:

Este ítem se midió con un distanciometro laser o con un metro comun el largo, el ancho y el alto de los muros de contención para saber el volumen de concreto gastado, pero para

medir la altura de algunos muros de contencion fue necesario pedir la colaboracion del topografo, pues no se tenia conocimineto sobre las alturas de estos elementos estructurales.

Apéndice 8. *Concreto de 4000 Psi para pantallas.*

Tabla A.8.1
Avance del item correspondiente a las pantallas.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.5	Concreto de 4000 psi para pantallas.	M3	253.10	249.93	98.75%

Fuente: Autoria propia.



Figura A.8.1 Avance del item correspondiente a las pantallas.Fuente: Camara de alta definición.

Forma de medición:

Este item se midió con un distanciometro laser o con un metro comun el largo, el ancho y el alto de los muros de contencion para saber el volumen de concreto gastado, pero para

medir la altura de algunos muros fue necesario pedir la colaboracion del topografo, pues el tenia conocimiento sobre las alturas de estos elementos estructurales.

Apéndice 9. Concreto de 3000 psi para columnas.

Tabla A9.1

Avance del ítem correspondiente a las columnas.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Concreto de 3000 psi para columnas	M3	288.8	284.45	98.50%

Fuente: Autoria propia.



Figura A9.1 Avance del ítem correspondiente a las columnas. Fuente: Camara de alta definición.

Forma de medición:

Este ítem se midió con un distanciometro laser o con un metro comun el largo, el ancho y el alto de los muros de contencion para saber el volumen de concreto gastado, pero para medir la altura de algunos muros fue necesario pedir la colaboracion del topografo, pues el tenia conocimineto sobre las alturas de estos elementos estructurales.

Apéndice 10. *Concreto de 3000 psi para placa aligerada con casetón de icopor, espesor 60 cm.*

Tabla A10.1

Avance del ítem correspondiente a las placas de entre piso.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.9	Concreto de 3000 psi para placa aligerada con casetón de icopor, espesor 60 cm.	M2	7019.30	7759.07	110.54

Fuente: Autoria propia.



Figura A10.1 Avance del item correspondiente a las placas de entre piso. Fuente: Registrado por medio de un UAV del grupo de investigacion de Geomatica.

Forma de medición:

Esta actividad se midió con un distanciometro laser o con un metro comun el largo , el ancho y el espesor de todos los componentes de las losas aligeradas (vigas ,viguetas,vigas de borde,losas) para poder tener la medida total del area y el volumen de cada entrepiso,pero esta forma de medicion era muy complicada llegando a durar la medicion de una placa aligerada entre 2 y 4 horas, por lo tanto fue necesario buscar una forma mucho mas rapida la cual constaba de medir con un distanciometro laser el largo y el ancho de las placas de entrepiso en su totalidad y despues medir las areas de los vacios o huecos presentes en la placa y estos se le restaban al area total ,para saber el area de concreto gastado.

Apéndice 11. *Placa de contrapiso de e=10cm.*

Tabla A11.1

Avance del item correspondiente a las placas de contrapiso de 10 cm de espesor.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.7	Placa de contrapiso de e=10cm	M2	768.86	631.36	82.12%

Fuente: Autoria propia.



Figura A11.1 Avance del item correspondiente a las placas de contrapiso de 10cm de espesor.

Fuente: Camara de 360 grados del grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 12. *Placa de contrapiso de e=20cm.*

Tabla A12.1

Avance del item correspondiente a las placas de contrapiso de 20 cm de espesor.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
56-26	Placa de contrapiso de e=20cm	M2	1175.95	1187.34	101.27%

Fuente: Autoria propia.



Figura A12.1 Avance del ítem correspondiente a las placas de contrapiso de 10cm de espesor.
Fuente: Cámara de 360 grados del grupo de investigación Geomatica.

Forma de medición:

Las placas de contrapiso Se midieron con un distanciometro laser o con un metro comun el largo y el ancho de las placas para saber el area de concreto gastado en ellos.

Apéndice 13. *Concreto de 4000 Psi plastico de baja permeabilidad para tanque de agua.*

Tabla A13.1

Avance del ítem correspondiente a los tanques.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Concreto de 4000 Psi plástico de baja permeabilidad para tanque de agua.	M3	76.70	72.93	95.08%

Fuente: Autoria propia.

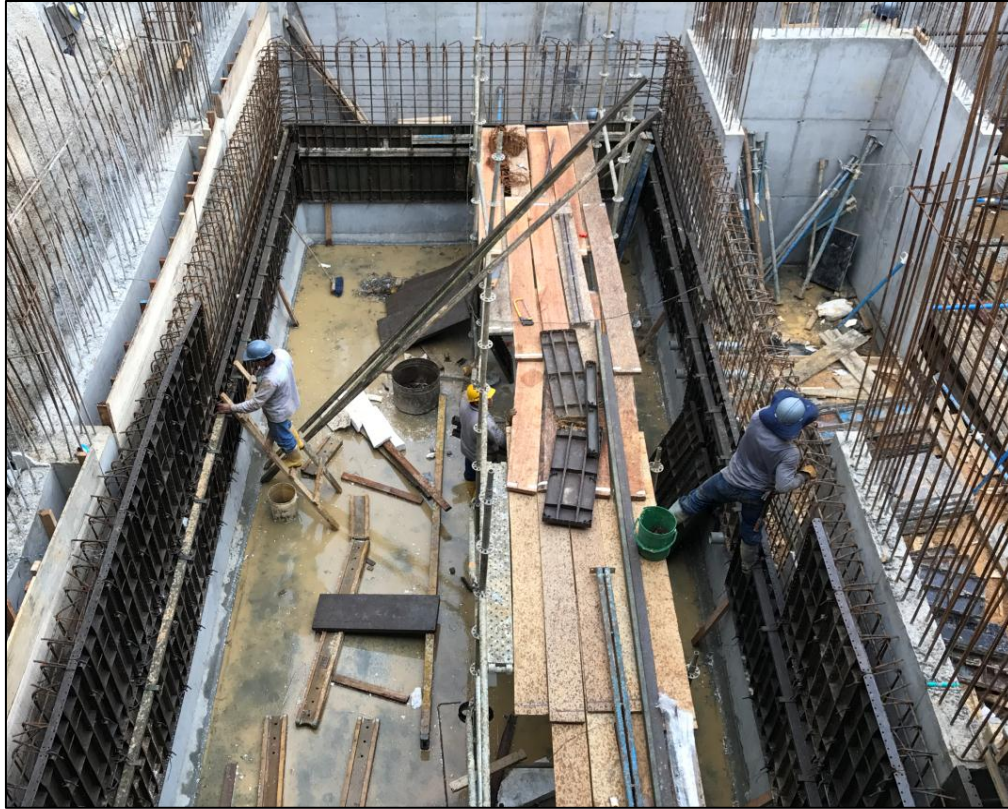


Figura A13.1 Avance del ítem correspondiente a los tanques. Fuente: Cámara fotográfica de alta definición.

Forma de medición:

Se midió con un distanciometro laser o con un metro comun el largo, el ancho y el alto de los muros del tanque y también se midió el area de las placas de contrapiso para saber el volumen gastado en ellos.

Apéndice 14. *Escalera tipo 1 en concreto de 3000 psi.*

Tabla A14.1

Avance del item correspondiente a las escaleras tipo 1.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Escalera tipo 1 en concreto de 3000 psi	M3	6	6	100%

Fuente: Autoria propia.



Figura A14.1 Avance del item correspondiente a las escaleras tipo 1. Fuente: Camara de 360 grados del grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 15. *Escalera tipo 2 en concreto de 3000 psi.*

Tabla A15.1

Avance del ítem correspondiente a las escaleras tipo 2.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Escalera tipo 2 en concreto de 3000 psi	UN	4	4	100%

Fuente: Autoria propia.



Figura A15.1 Avance del ítem correspondiente a las escaleras tipo 2. Fuente: Cámara de 360 grados del grupo de investigación Geomatica.

Apéndice 16. *Escalera tipo 3 en concreto de 3000 psi.*

Tabla A16.1

Avance del ítem correspondiente a las escaleras tipo 3.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Escalera tipo 3 en concreto de 3000 psi	UN	4	4	100%

Fuente: Autoria propia.



Figura A16.1 Avance del ítem correspondiente a las escaleras tipo 3. Fuente: Camara de 360 grados del grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 17. *Escalera tipo 4 en concreto de 3000 psi.*

Tabla A17.1

Avance del ítem correspondiente a las escaleras tipo 4.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Escalera tipo 4 en concreto de 3000 psi	UN	4	3	75%

Fuente: Autoria propia.



Figura A17.1 Avance del ítem correspondiente a las escaleras tipo 4. Fuente: Camara de 360 grados del grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 18. *Placa en concreto reforzado de 3000 psi para acceso rampa de discapacitados y parqueadero, incluye acabado escobrado y ratonado, espesor 10 cm.*

Tabla A18.1

Avance del item correspondiente a las rampas.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Placa en concreto reforzado de 3000 psi para acceso rampa de discapacitados y parqueadero, incluye acabado escobrado y ratonado, espesor 10 cm.	M2	191.20	63.84	33.39%

Fuente: Autoria propia.

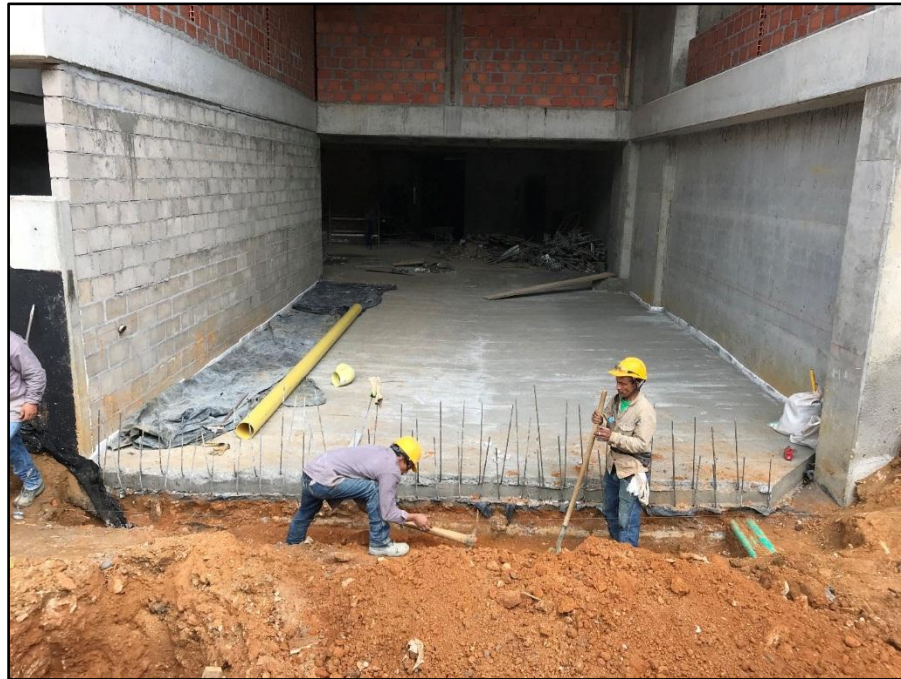


Figura A18.1 Avance del item correspondiente a la rampa de acceso. Fuente: Camara de alta definicion.

Apéndice 19 *Mampostería H-15.*

Tabla A19.1

Avance del ítem correspondiente a los muros de mampostería H-15.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Mampostería H-15.	M2	5958	4974.83	83.50%

Fuente: Autor.

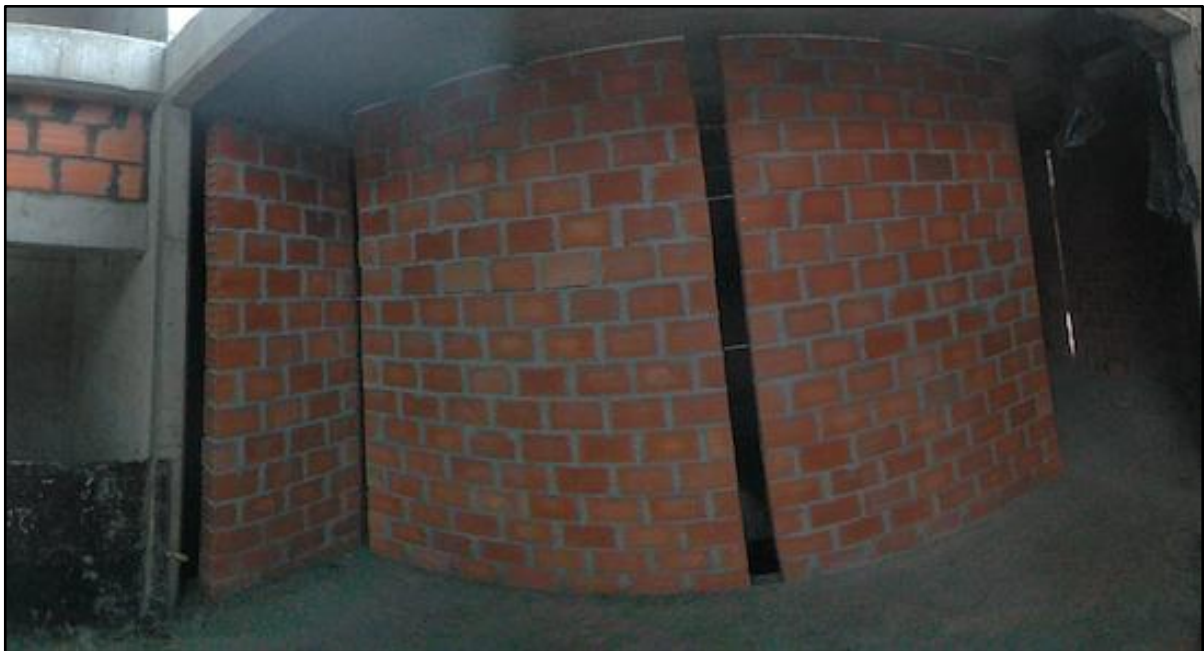


Figura A19.1 Avance del ítem correspondiente a los muros de mampostería H-15. Fuente: Cámara de 360 grados del grupo de investigación Geomatica.

Forma de medición:

Se midió con un distanciometro laser o con un metro comun la altura y el largo del muro construido y adema se midieron los espacios de puertas, columnetas y ventanas para restarle estas areas los muros armados.

Apéndice 20. *Mampostería H-12.*

Tabla A20.1

Avance del item correspondiente a los muros de mamposteria H-12.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Mampostería H-12.	M2	178	219.36	123.24%

Fuente: Autor.



Figura A20.1 Avance del item correspondiente a los muros de mamposteria H-12. Fuente: Camara de 360 grados del grupo de investigacion Geomatica.

Forma de medición:

Se midió con un distanciómetro laser o con un metro comun la altura y el largo del muro construido y adema se midieron los espacios de puertas, columnetas y ventanas para restarle estas areas los muros armados.

Apéndice 21. Estuco y pintura Vinilo tipo 1 aplicada a tres (3) manos para muros interiores.

Tabla A21.1

Avance del ítem correspondiente al estuco.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Estuco y pintura Vinilo tipo 1 aplicada a tres (3) manos para muros interiores.	M2	9449.3	4389.07	46.45%

Fuente: Autoria propia.



Figura A21.1 Avance del ítem correspondiente al estuco. Fuente: Cámara de 360 grados del grupo de investigación Geomatica.

Forma de medición:

Como los únicos elementos en los que se iba a usar el estuco eran los muros de mampostería frizados, estas cantidades pudieron registrarse sin necesidad de volver a medir en campo debido a que el área iba a ser la misma medida en los muros de ladrillos h-12 y h-15.

Apéndice 22. Friso muros internos.

Tabla A22.1

Avance del ítem correspondiente a los frisos de muros internos

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido %
3.6	Friso muros internos.	M2	10,053.20	7391.43	73.52%

Fuente: Autoría propia.

*Figura A22.1 Avance del ítem correspondiente a los frisos de muros internos. Fuente: Cámara de 360 grados del grupo de investigación Geomatica.***Forma de medición:**

Como los unicos elementos en los que se iba a usar el friso eran los muros de mamposteria no hubo la necesidad de estas registrar estas medidas debido a que eran las mismas medidas de los muros de ladrillos h-12 y h-15.

Apéndice 23. Columnetas de confinamiento en concreto de 3000 psi reforzado.

Tabla A23.1

Avance del item correspondiente a las columnetas de confinamiento.

NUMERO	ITEM	UN	Cantidad total	Avance Medido	Avance Medido
				o	%
3.6	Columnetas de confinamiento en concreto de 3000 psi reforzado.	M L	805.20	2657.24	330.01%

Fuente: Autoria propia.



Figura A23 .1Avance del item correspondiente a las columnetas de confinamiento. Fuente: Camara de 360 grados del grupo de investigacion Geomatica.

Forma de medicion:

Como la unidad de esta actividad era el metro lineal solo fue necesario medir la altura de estas columnetas con el distanciometro laser para a cuanto equivalia cada una de ellas.

Apéndice 24. Comparación de cantidades acumuladas de ítems medidos con los modelados en el modelo BIM.

Tabla A24.1

Error de medicion entre cantidades acumuladas de ítems medidos con los modelados en el modelo BIM.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Revit	Error %
V.de cimentación	M3	166.83	157.63	5,84
Zapata	M3	349.99	315.15	11,06
Pantalla	M3	241,05	242.09	0,43
M. Contención	M3	209.74	217.83	3,71
Contrapiso 10cm	M2	631.36	623.10	1,33
Contrapiso 20cm	M2	1187.34	1175.20	1,03
Tanques de agua	M3	76.70	75.01	2,25
Placa de entrepiso	M2	7759.07	7726.90	0,42
Columnas	M3	282.196	280.478	0,61
Escalera E1	UN	6	6	0,00
Escalera E2	UN	4	4	0,00
Escalera E3	UN	4	4	0,00
Escalera E4	UN	3	3	0,00
Friso interno	M2	7391.43	7401.58	0,14
Estuco	M2	4389.07	4400.52	0,26
H-15	M2	4974.83	4431.65	12,26
H-12	M2	219.36	216.3	1,41
Rampa	M2	63.84	57.77	10,51
Columnetas	ML	2657.24	2657.24	0,00
Promedio total	2,7			

Fuente: Registros de informacion en obra, datos del modelo BIM del grupo de investigacion Geomatica.

Este error porcentual promedio de 2,7% se obtuvo debio a modificaciones en el momento de construir alguno de los elementos que conforman estas activiades, por ejemplo, las zapatas tienen

una mayor cantidad de concreto en obra que las cantidades modeladas debido a que las zanjas de las zapatas no eran exactas al momento del verter el concreto consumiendo una mayor cantidad del material al momento de su fundicion.

Apéndice 25. Colaboración en obra 1.

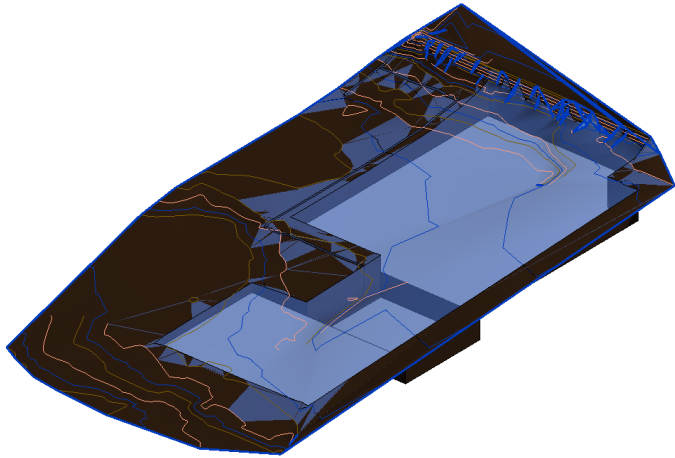
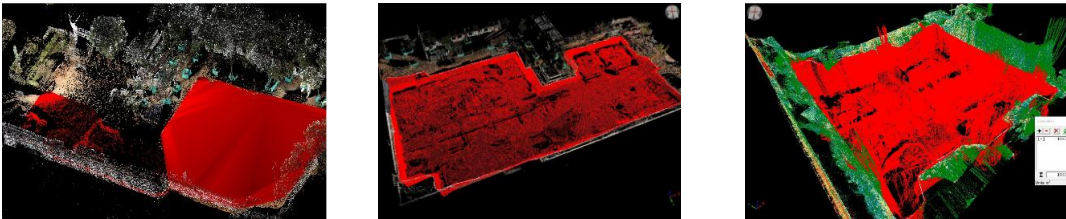
CAPITULO	ITEM	OBSERVACIÓN
EXCAVACIONES	EXCAVACIONES A MANO Y CON MAQUINARIA	COMPARACION DE CANTIDADES
PLANOS		
		
INFORMACION		
Cantidad presupuestada (maquinaria y a mano)	9387,00	
Primer corte	4985,00	4402,00
Segundo corte	2563,21	1962,03
Tercer corte	1060,00	1017,65
Total	8608,21	7853,62
REVIT		
		
REGISTRO		
FECHA	NOTA	
26/04/2017	Registro	

Figura A25. Formato de colaboración en obra 1 con imágenes e información facilitadas por Geomatica.

Apéndice 26. Colaboración en obra 2.

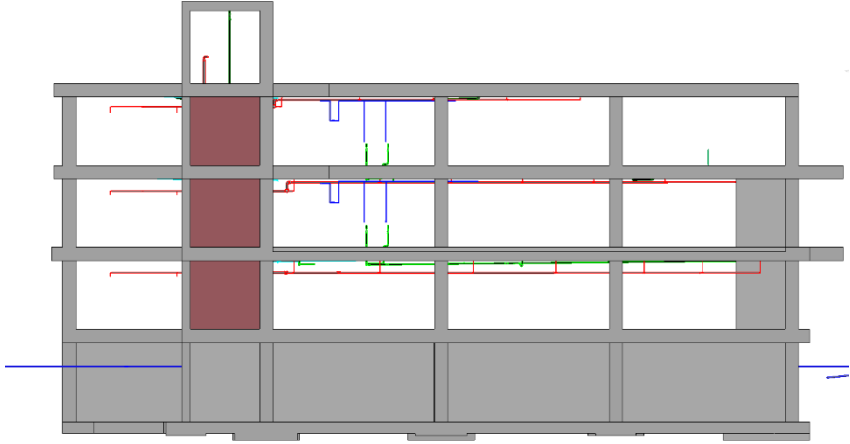
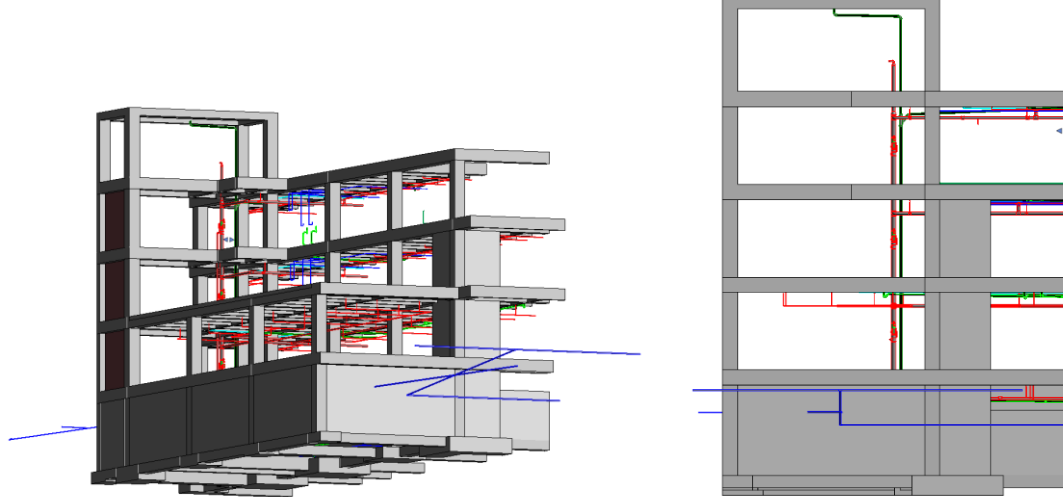
CAPITULO	ITEM	OBSERVACIÓN
REDES HIDRAULICAS	Cifones, tuberías	ESTRUCTURAL VS REDES HIDRÁULICAS
LATERAL		
		
FRONTAL		
		
REGISTRO		
FECHA	NOTA	
02/05/2017	La arquitecta de interventoría me pidió el favor que revisara los planos s hidrosanitarios y el estructural para ver si había algún tipo de sifones o algún drenaje en el espejo de agua.	

Figura A26. Formato de colaboración en obra 2 con imágenes e información facilitadas por Geomatica.

Apéndice 27. Colaboración en obra 3.


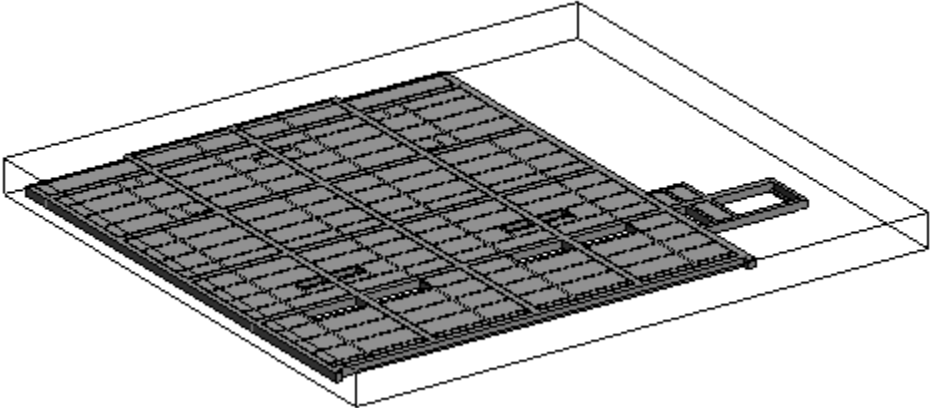
CAPITULO	ITEM	OBSERVACIÓN	
CONCRETOS PARA CIMIENTO Y ESTRUCTURA	PLACA ALIGERADA	Esto datos son aproximados y deberían ser chequeados.	
PLANOS			
			
INFORMACION			
Elemento		Volumen[m ³]	
Losa		92.18	
Vigas, viguetas y riostras		181.12	
Total		273.30	
REVIT			
			
REGISTRO			
FECHA	FIRMA		
31/05/2017			

Figura A27. Formato de colaboracion en obra 3 con imágenes e informacion facilitadas por Geomatica.

Apéndice 28. Fase 1 de construcción.

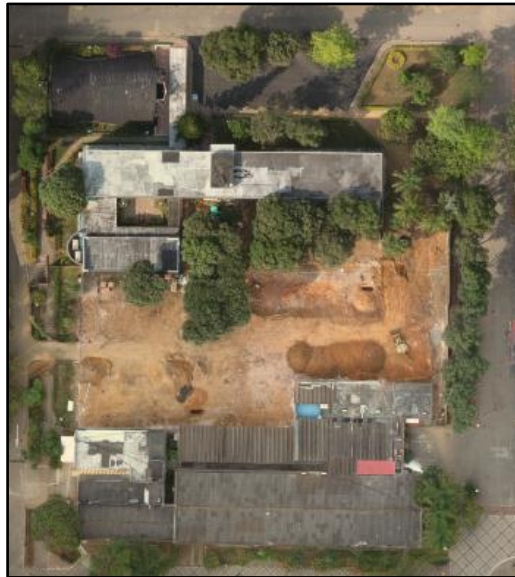


Figura A28.1 Fase de excavaciones. Fuente: UVA del grupo de investigación de Geomatica.

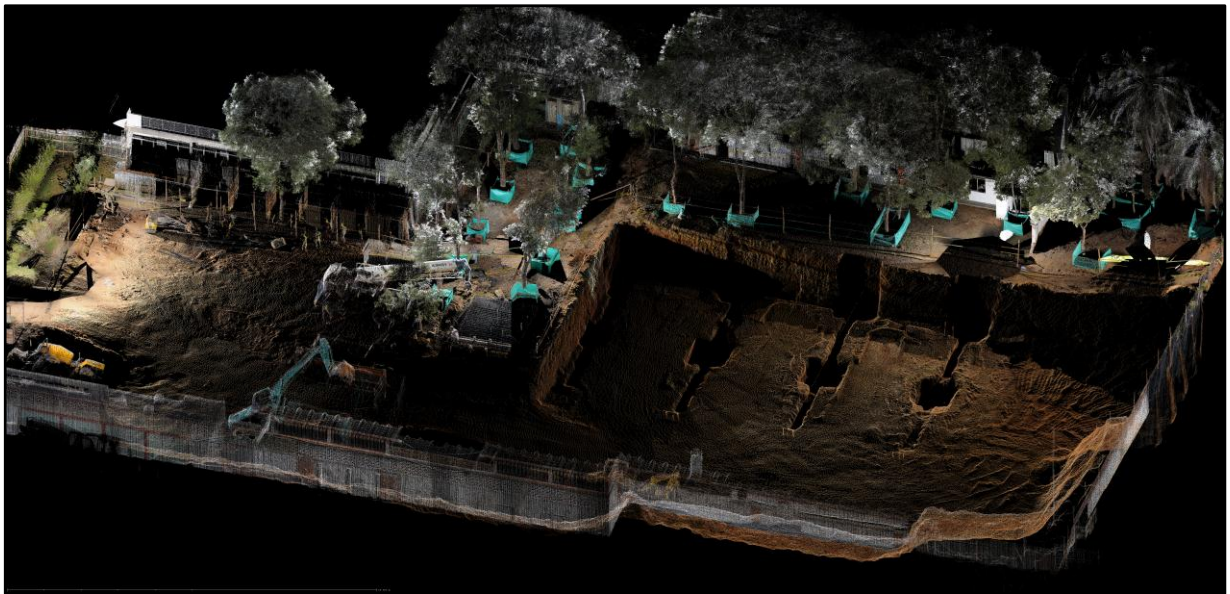


Figura A28.2 Nube de puntos de la fase de excavaciones. Fuente: Scanner laser de grupo de investigación de Geomatica.

Apéndice 29. Fase 2 en Revit.

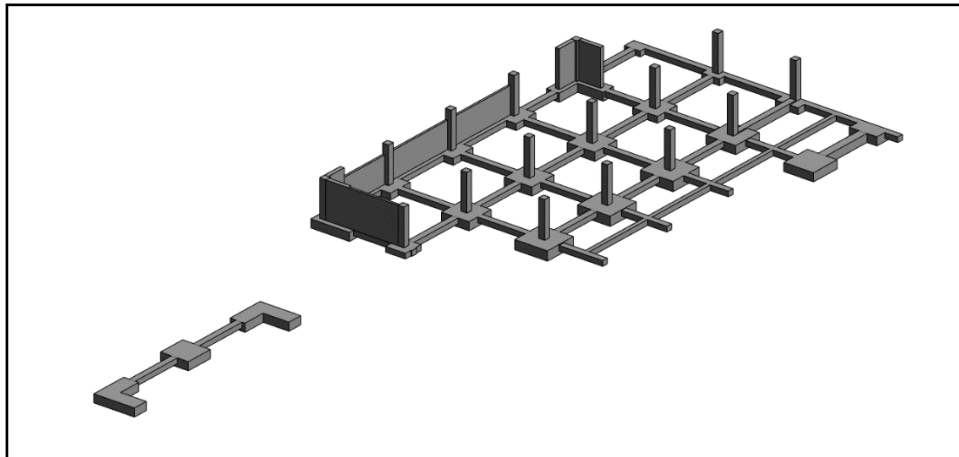


Figura A29.1 Fase 2 de la construccion del edificio. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 30. Fase 3 en Revit.

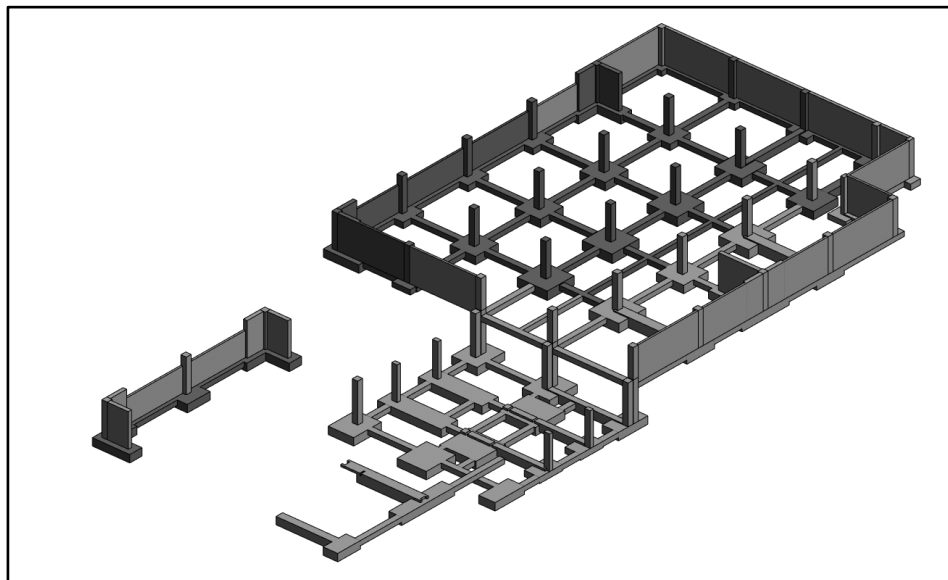


Figura A30.1 Fase 3 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 31. Fase 4 en Revit.

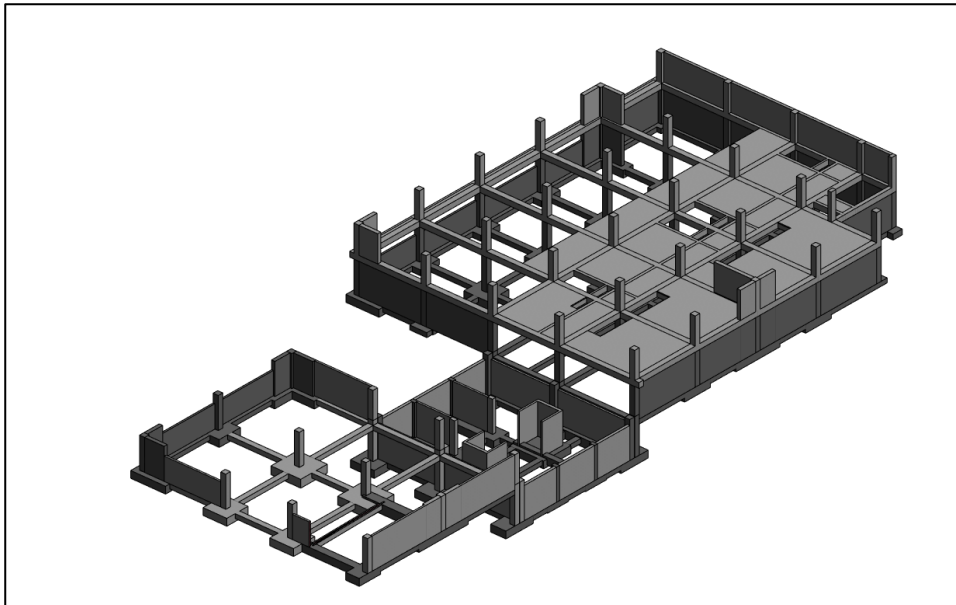


Figura A31.1 Fase 4 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 32. Fase 5 en Revit.

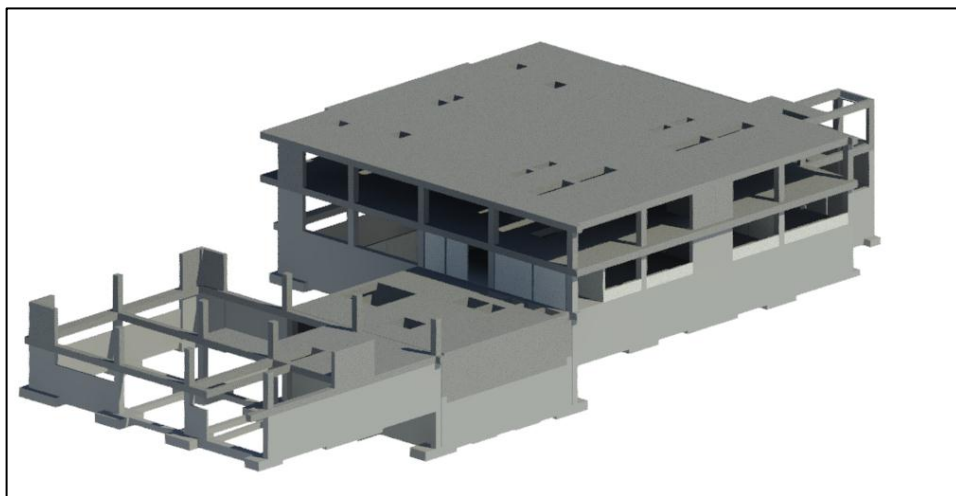


Figura A32.1 Fase 5 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 33. Fase 6 en Revit.

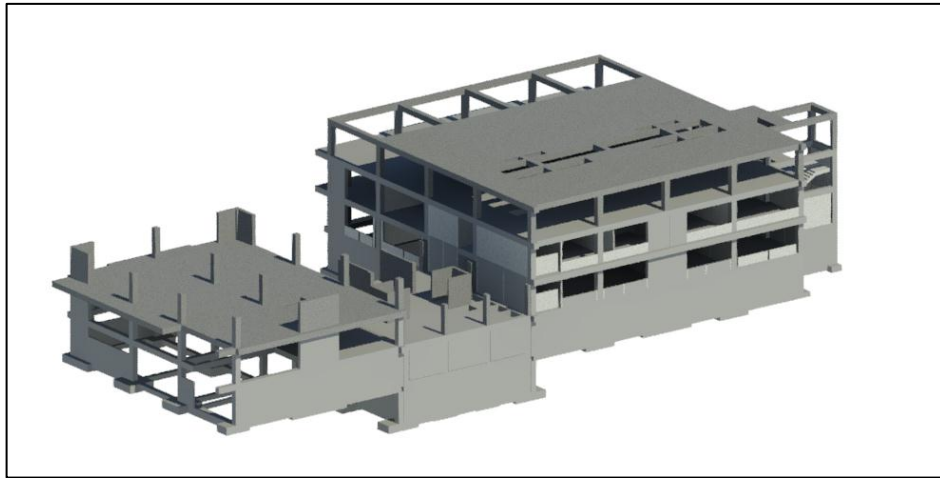


Figura A33.1 Fase 6 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 34. Fase 7 en Revit.

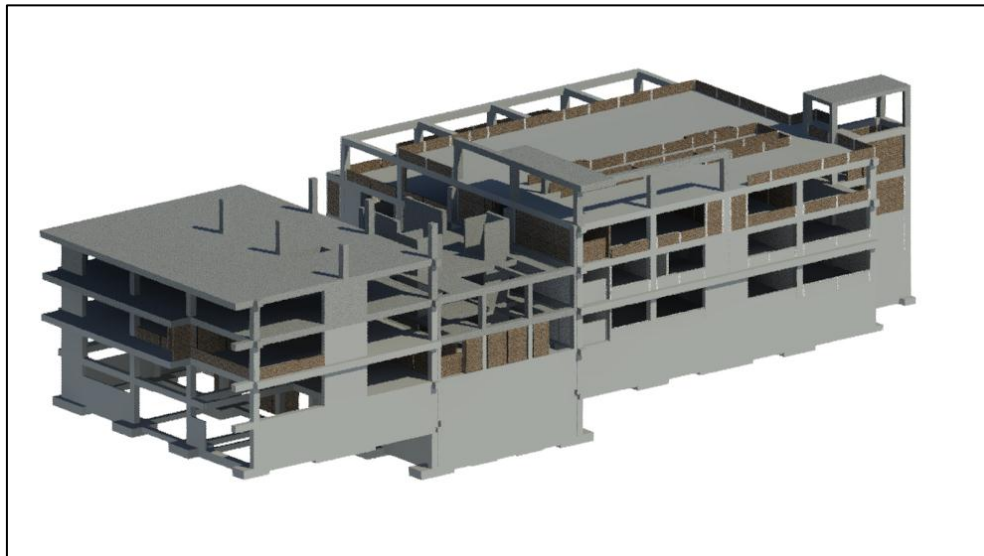


Figura A34.1 Fase 7 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 35. Fase 8 en Revit.

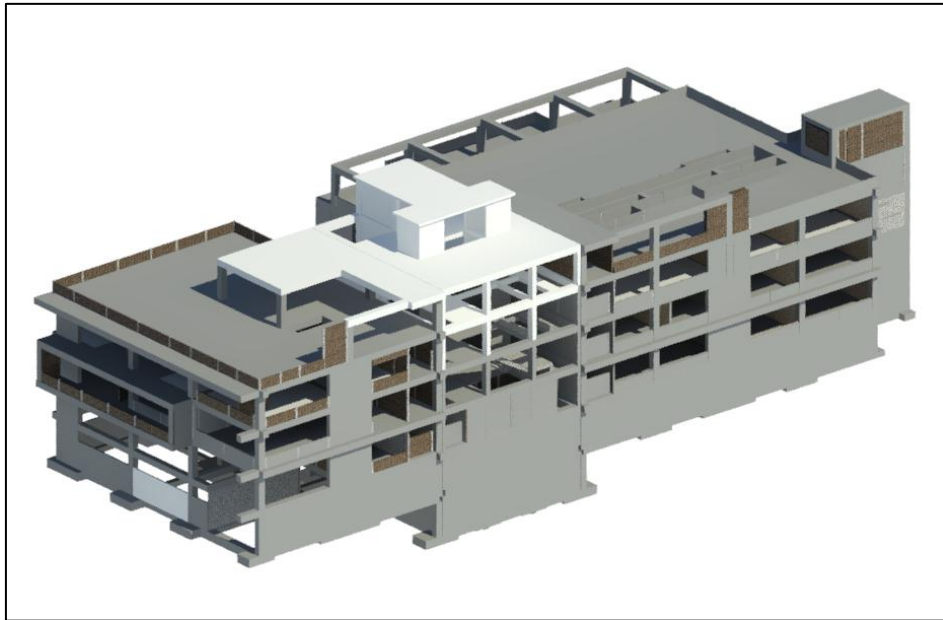


Figura A35.1 Fase 8 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 36. Fase 9 en Revit.

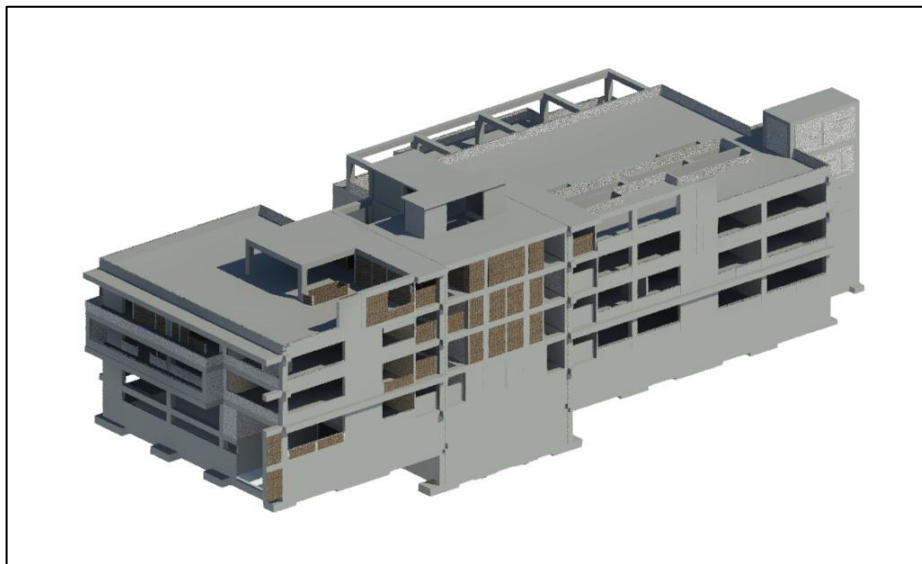


Figura A36.1 Fase 9 modelada en Revit. Fuente: Grupo de investigacion Geomatica.

Apéndice 37. Tablas correspondientes a índices y varianzas presentes en el proyecto por parte del EVM.

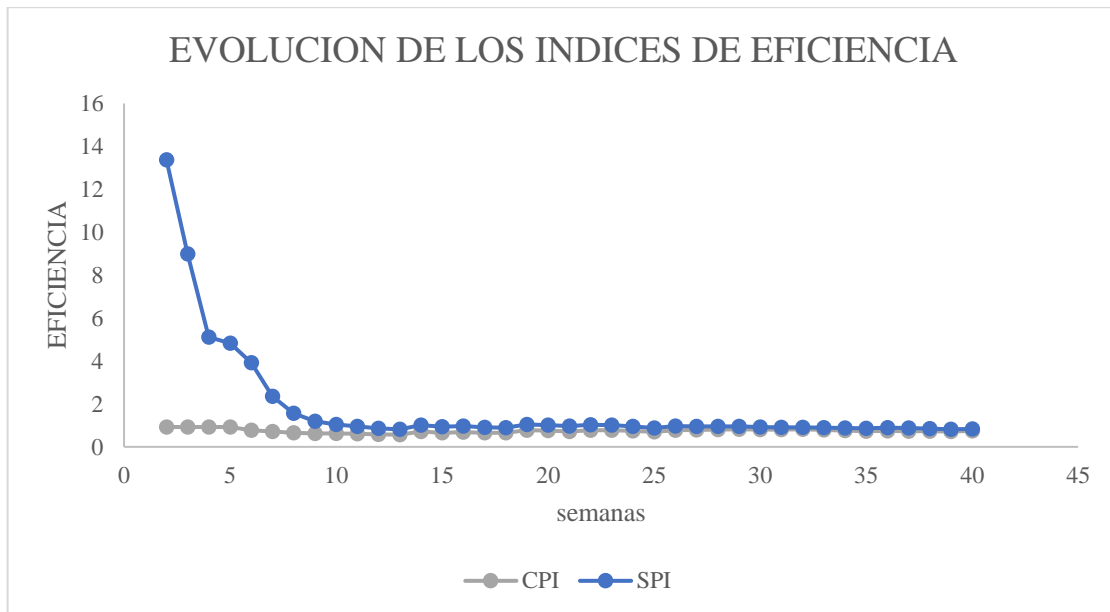


Figura A37.1. Evolución de índices. Fuente: Registro de datos en campo, actas de pago de la constructora y presupuesto de obra.

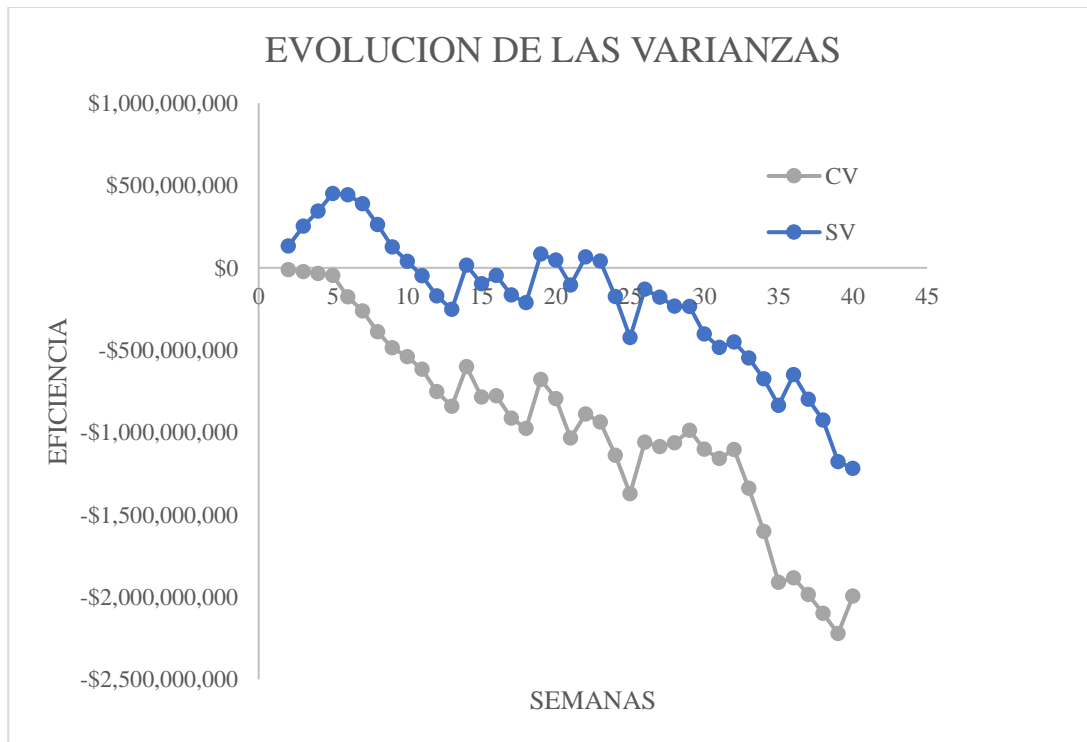


Figura A37.2. Evolucion de varianzas. Fuente: Registro de datos en campo, actas de pago de la constructora y presupuesto de obra.

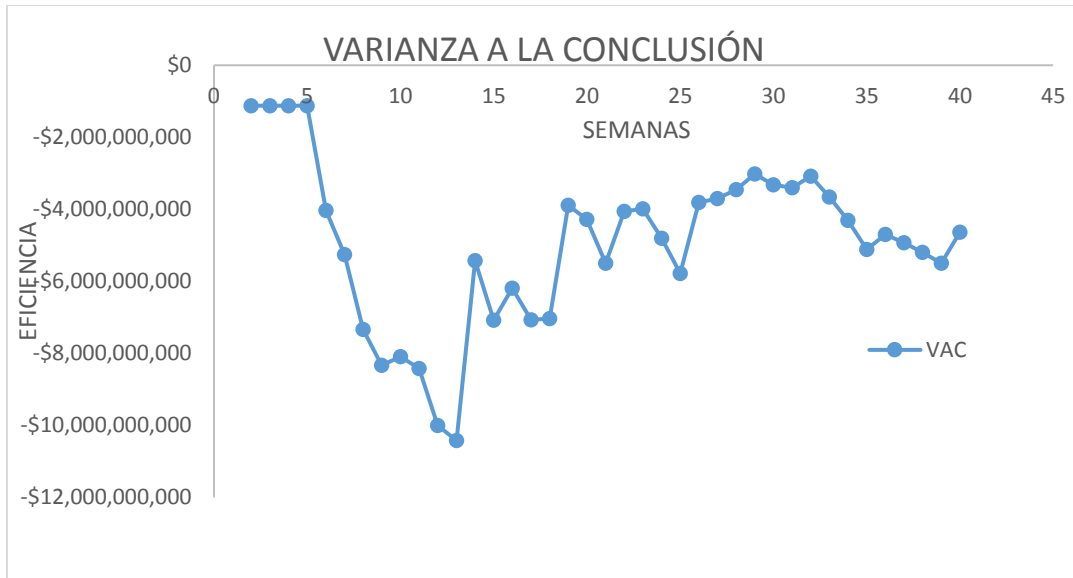


Figura A37.3 Grafica del VAC. Fuente: Registro de datos en campo, actas de pago de la constructora y presupuesto de obra.

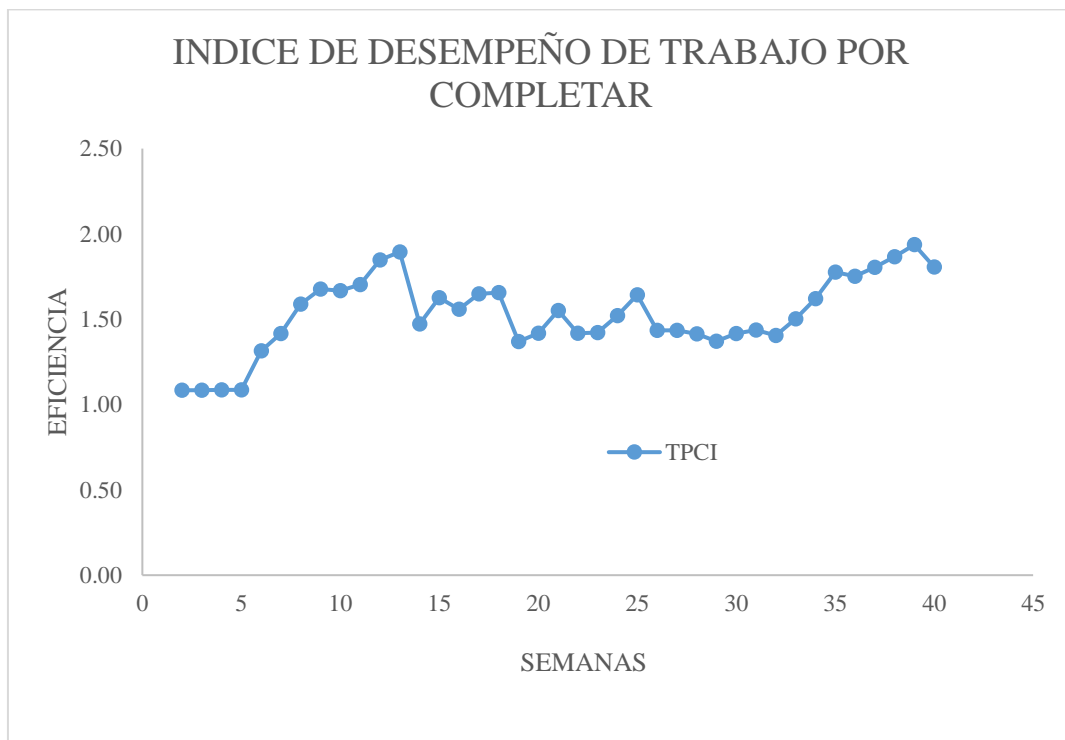


Figura 37A.4 Grafica del TCPI. Fuente: Registro de datos en campo, actas de pago de la constructora y presupuesto de obra.

Apéndice 38. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 2.

Tabla 38A.1

Comparacion de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 2.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
Vigas de cimentacion	M3	67,44	58,53
Zapatas	M3	131,05	121,92
Pantallas	M3	13,41	14,03
Columnas	M3	22,15	22,56
Muros de contencion	M3	13,94	18,054
Acero PDR-60	kg	23636,20	23636,20

Fuente: Modelo Revit de la edificacion dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 39. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 3.

Tabla 39A.1

Comparación de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 3.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
Vigas de cimentacion	M3	71,94	71,59
Zapatas	M3	182,51	158,69
Pantallas	M3	24,60	24,31
Columnas	M3	34,08	35,578
Muros de contencion	M3	73,20	74,24
Acero PDR-60	kg	41123,19	41123,19

Fuente: Modelo Revit de la edificación dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 40. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 4.

Tabla 40A.1

Comparación de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 4.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
Vigas de cimentacion	M3	27,46	27,51
Zapatas	M3	36,44	34,54
Pantallas	M3	45,94	45,33
Columnas	M3	52,98	53,85
Muros de contencion	M3	90,49	92,18
Placa de entre piso	M2	720,47	730,6
Acero PDR-60	kg	60971,69	60971,69
Malla electrosoldada	kg	4223,88	4223,88
Tanque	M3	22,48	22,48

Fuente: Modelo Revit de la edificacion dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 41. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 5.

Tabla 41A.1

Comparación de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 5.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
Pantallas	M3	53,20	52,46
Columnas	M3	57,39	54,83
Muros de contencion	M3	25,36	24,17
Placa de entre piso	M2	3368,70	3096,2
Escalera tipo 2	UN	1	1
Escalera tipo 3	UN	2	2
Acero PDR-60	kg	124322,10	124322,10
Malla electrosoldada	kg	21850,65	21850,65
Tanque	M3	50,45	50,45
Mamposteria h-15	M2	531,508901	534,11
Columnetas	ML	137,05	137,05

Fuente: Modelo Revit de la edificacion dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 42. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 6.

Tabla 42A.1

Comparacion de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 6.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
Pantallas	M3	31,27	31,78
Columnas	M3	54,54	53,92
Contrapiso de 10cm	M2	86,26	86,26
Placa de entre piso	M2	1495,74	2166,65
Escalera tipo 1	UN	1	1
Escalera tipo 3	UN	2	2
Acero PDR-60	kg	75780,93	75780,93
Malla electrosoldada	kg	13539,62	13539,62
Contrapiso de 20cm	M2	441,85	441,85
Mamposteria h-15	M2	1648,48	1503,68
Columnetas	ML	543,49	543,49
Friso	M2	1333,55	1288,78

Fuente: Modelo Revit de la edificación dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 43. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 7.

Tabla 43A.1

Comparacion de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 7.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
Pantallas	M3	48,30	40,93
Columnas	M3	46,79	47,05
Contrapiso de 10cm	M2	66	66
Placa de entre piso	M2	1509,31	1601,66
Escalera tipo 1	UN	1	1
Escalera tipo 2	UN	2	2
Acero PDR-60	kg	75978,77	75978,77
Malla electrosoldada	kg	10916,71	10916,71
Contrapiso de 20cm	M2	402	402
Mamposteria h-15	M2	942,24	1082,79
Mamposteria h-12	M2	134,54	145,11
Columnetas	ML	795,67	795,67
Friso	M2	2725,90	2755,22

Fuente: Modelo Revit de la edificación dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 44. Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 8.

Tabla 44A.1

Comparacion de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 8.

Ítem	Un.	Cant.	Cant.
		Medida	BIM
Pantallas	M3	33,20	33,253
Columnas	M3	16,52	16,328
Contrapiso de 10cm	M2	148,04	148,04
Muros de contencion	M3	3,80	3.71
Placa de entre piso	M2	664,85	556,159
Escalera tipo 1	UN	1	1
Escalera tipo 2	UN	1	1
Escalera tipo 4	UN	2	2
Acero PDR-60	kg	34104,00	34104,00
Malla electrosoldada	kg	2639,35	2639,35
Contrapiso de 20cm	M2	261,09	261,09
Mamposteria h-15	M2	839,56	864,34
Mamposteria h-12	M2	70,44	80,52
Columnetas	ML	737,651	737,651
Friso	M2	1271,49	1254,92
Estuco	M2	3306,14	3296,78

Fuente: Modelo Revit de la edificacion dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 45.Comparación de cantidades entre los datos del modelo BIM y los datos obtenidos en obra del corte 9.

Tabla 45A.1

Comparacion de cantidades entre BIM y datos medidos de la fase 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. BIM
M. Contención	M3	2.95	3
Contrapiso 10cm	M2	331.06	320.56
Contrapiso 20cm	M2	82.4	92.90
Escalera E1	UN	3	3
Escalera E4	UN	1	1
Friso interno	M2	2089.48	2102.66
Estuco	M2	1082.92	1103.74
H-15	M2	1013.02	994.46
H-12	M2	14.38	22.61
Rampa	M2	63.84	57.77
Columnetas	ML	443.75	443.75

Fuente: Modelo Revit de la edificación dispuesto por Geomatica y datos registrados en la obra.

Apéndice 46. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 1.

Tabla 46A.1

Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 1.

Ítem	Un.	Cant.	Cant.
		Medida	Actas
Vigas de cimentacion	M3	-	14,80
Zapatas	M3	-	38,47
Acero pdr 60	kg	-	22978

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 47. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 2.

Tabla 47A.1

Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 2.

Ítem	Un.	Cant.	Cant.
		Medida	Actas
Vigas de cimentacion	M3	67,44	96,68
Zapatas	M3	131,05	184,45
Pantallas	M3	13,41	27,89
Columnas	M3	22,15	32,61
Muros de contencion	M3	13,94	69,49
Acero PDR-60	kg	23636,20	112186

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 48. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 3.

Tabla 48A.1
Comparación de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 3.

Ítem	Un.	Cant.	Cant.
		Medida	Actas
Vigas de cimentacion	M3	71,94	46,31
Zapatas	M3	182,51	95,62
Pantallas	M3	24,60	19,35
Columnas	M3	34,08	33,88
Muros de contencion	M3	73,20	67,85
			706,320
Placa de entre piso	M2	-	
Acero PDR-60	kg	41123,19	41323,20
Malla electrosoldada	kg	-	5137

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 49. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 4.

Tabla 49A.1
Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 4.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
Vigas de cimentacion	M3	27,46	-
Zapatas	M3	36,44	-
Pantallas	M3	45,94	45,79
Columnas	M3	52,98	31,86
Muros de contencion	M3	90,49	43,33
Placa de entre piso	M2	720,47	1501,71
Acero PDR-60	kg	60971,69	48569
Malla electrosoldada	kg	4223,88	9748
Tanque	M3	22,48	73,65

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 50. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 5.

Tabla 50A.1
 Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 5.

Ítem	Un.	Cant.	Cant.
		Medida	Actas
Pantallas	M3	53,20	60,59
Columnas	M3	57,39	47,23
Muros de contencion	M3	25,36	24,17
Placa de entre piso	M2	3368,70	2108,95
Escalera tipo 2	UN	1	-
Escalera tipo 3	UN	2	-
Acero PDR-60	kg	124322,10	74882
Malla electrosoldada	kg	21850,65	13289
Tanque	M3	50,45	-
Mamposteria h-15	M2	531,508901	-
Columnetas	ML	137,05	-

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 51. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 6.

Tabla 51A.1
Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 6.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
Pantallas	M3	31,27	38,41
Columnas	M3	54,54	58,12
Contrapiso de 10cm	M2	86,26	76,43
Placa de entre piso	M2	1495,74	1470,31
Escalera tipo 1	UN	1	-
Escalera tipo 2	UN	-	3
Escalera tipo 3	UN	2	4
Acero PDR-60	kg	75780,93	72719
Malla electrosoldada	kg	13539,62	12689,53
Contrapiso de 20cm	M2	441,85	429,49
Mamposteria h-15	M2	1648,48	1625,86
Columnetas	ML	543,49	666,86
Friso	M2	1333,55	616,5

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 52. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 7.

Tabla 52A.1

Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 7.

Ítem	Un.	Cant.	Cant.
		Medida	Actas
Pantallas	M3	48,3025051	57,99000067
Columnas	M3	46,7889602	30,62999988
Contrapiso de 10cm	M2	66	124,3100057
Placa de entre piso	M2	1509,30506	1055,089999
Escalera tipo 1	UN	1	2
Escalera tipo 2	UN	2	1
Acero PDR-60	kg	75978,7764	47342,79994
Malla electrosoldada	kg	10916,7105	13190,54997
Contrapiso de 20cm	M2	402	566,3600005
Mamposteria h-15	M2	942,244907	1452,940005
Mamposteria h-12	M2	134,536199	\$112,90
Columnetas	ML	795,665	1293,429993
Friso	M2	2725,89748	2879,070012

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 53. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 8.

Tabla 53A.1

Comparacion de cantidades entre actas de pago y datos medidos de la fase 8.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
Pantallas	M3	33,20	38,34
Columnas	M3	16,52	8,46
Contrapiso de 10cm	M2	148,04	568,12
Muros de contencion	M3	3,80	7
Placa de entre piso	M2	664,85	175,98
Escalera tipo 1	UN	1	4
Escalera tipo 2	UN	1	-
Escalera tipo 4	UN	2	4
Acero PDR-60	kg	34104,00	19996
Malla electrosoldada	kg	2639,35	1306,93
Contrapiso de 20cm	M2	261,09	180,10
Mamposteria h-15	M2	839,56	951
Mamposteria h-12	M2	70,44	262,10
Columnetas	ML	737,651	539
Friso	M2	1271,49	2833
Rampa exterior	M2	-	95
Rampa acceso	M2	-	190
Estuco	M2	3306,14	6000

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 54. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra del corte 9.

Tabla 54A.1

Comparacion de valores entre actas de pago y datos medidos de la fase 9.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas
M. Contención	M3	2.95	-
Contrapiso 10cm	M2	331.06	-
Contrapiso 20cm	M2	82.4	-
Escalera E1	UN	3	-
Escalera E4	UN	1	-
Friso interno	M2	2089.48	-
Estuco	M2	1082.92	-
H-15	M2	1013.02	-
H-12	M2	14.38	-
Rampa	M2	63.84	-
Columnetas	ML	443.75	-

Fuente: Registro de datos en obra y actas de pago de la constructora.

Apéndice 55. Cantidades de acero de refuerzo del corte 2.

Tabla A55.1

Consumo de acero entre los dias 10 febrero-10 marzo.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Vigas de cimentacion	Kg	8753,45
Zapatas	Kg	5520,024
Pantallas	Kg	3174,33
Columnas	Kg	4986,39
Muros de contencion	Kg	1201,99
TOTAL	Kg	23636,20

Fuente: Aatoria propia.

Apéndice 56. Cantidades de acero de refuerzo del corte 3.

Tabla A56.1

Consumo de acero entre los dias 10 marzo-10 abril.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Vigas de cimentacion	Kg	10793,47
Zapatas	Kg	6565,76
Pantallas	Kg	9168,52
Columnas	Kg	7870,74
Muros de contencion	Kg	6724.69
TOTAL	Kg	41123.19

Fuente: Autoria propia.

Apéndice 57. Cantidades de acero de refuerzo del corte 4.

Tabla A57.1

Consumo de acero entre los días 10 abril-10 mayo.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Vigas de cimentacion	Kg	8640,89
Zapatas	Kg	22412,19
Pantallas	Kg	4223,88
Columnas	Kg	8640,89
Muros de contencion	Kg	8640,89
Placa de entrepiso	Kg	22412,19
Malla electrosoldada	Kg	4223,88
TOTAL	Kg	65195.57

Fuente: Autoria propia.

Apéndice 58. Cantidades de acero de refuerzo del corte 5.

Tabla A58.1

Consumo de acero entre los días 10 mayo-10 junio.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Pantallas	Kg	15931,92
Columnas	Kg	14563,22
Muros de contencion	Kg	2407,48
Placa de entrepiso	Kg	88257,64
Malla electrosoldada	Kg	21850,65
Escalera tipo 2	Kg	354,318
Escalera tipo 3	Kg	342,63
Tanque	Kg	2465,08
TOTAL	Kg	146172.94

Fuente: Aatoria propia.

Apéndice 59. Cantidades de acero de refuerzo del corte 6.

Tabla A59.1

Consumo de acero entre los días 10 junio-10 julio.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Pantallas	Kg	7344,41
Columnas	Kg	14563,22
Contrapiso e=10cm	Kg	349,98
Contrapiso e=20cm	Kg	5853,63
Placa de entrepiso	Kg	41078,67
Malla electrosoldada	Kg	13539,63
Escalera tipo 1	Kg	823,36
Escalera tipo 2	Kg	331,96
Escalera tipo 3	Kg	342,63
Tanque	Kg	5128,85
TOTAL	Kg	89356.34

Fuente: Autoria propia.

Apéndice 60. Cantidades de acero de refuerzo del corte 7.

Tabla A60.1

Consumo de acero entre los dias 10 julio-10 agosto.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Pantallas	Kg	9980,08
Columnas	Kg	12777,96
Contrapiso e=10cm	Kg	234,38
Contrapiso e=20cm	Kg	5141,61
Placa de entrepiso	Kg	9980,08
Malla electrosoldada	Kg	12777,97
Escalera tipo 1	Kg	234,38
Escalera tipo 2	Kg	5141,61
TOTAL	Kg	89356.34

Fuente: Aatoria propia.

Apéndice 61. Cantidades de acero de refuerzo del corte 8.

Tabla A61.1

Consumo de acero entre los días 10 agosto-10 septiembre.

Ítem	Un.	Cant. Medida
Pantallas	Kg	5271,34
Columnas	Kg	4291,68
Contrapiso e=10cm	Kg	525,59
Contrapiso e=20cm	Kg	3517,24
Placa de entrepiso	Kg	17846,63
Malla electrosoldada	Kg	2639,36
Escalera tipo 1	Kg	823,72
Escalera tipo 2	Kg	329,92
Escalera tipo 4	kg	1497,88
TOTAL	Kg	36743.35

Fuente: Autoria propia.

Apéndice 62. Cantidades de acero de refuerzo del corte 9.

Tabla A59.1

Consumo de acero entre los días 10 agosto-10 septiembre.

Ítem	Un.	Cant. Medida
M. Contención	Kg	308.39
Contrapiso 10cm	Kg	1139.95
Contrapiso 20cm	Kg	1235.06
Escalera E1	Kg	2425.47
Escalera E4	Kg	823.53
Rampa	Kg	449.72
TOTAL	kg	6382.1309

Fuente: Autoria propia.

Apéndice 63. Comparación de cantidades entre los datos de actas de pago y los datos obtenidos en obra acumulado.

Tabla A63.1

Comparación entre lo pagado y lo medido en obra.

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas	Error %
V.de cimentación	M3	166.83	157.79	5,43
Zapata	M3	349.99	318.54	8,99
Pantalla	M3	241,05	288.36	15,38
M. Contención	M3	209.74	211.84	1,00
Contrapiso 10cm	M2	631.36	623.10	21,78
Contrapiso 20cm	M2	1187.34	1175.95	0,96
Tanques de agua	M3	76.70	75.01	0,99
Placa de entrepiso	M2	7759.07	7018.36	0,96
Columnas	M3	282.196	242.79	14,65
Escalera E1	UN	6	6	0
Escalera E2	UN	4	4	0
Escalera E3	UN	4	4	0
Escalera E4	UN	3	4	33,33
Friso interno	M2	7391.43	6328.57	14,38

Ítem	Un.	Cant. Medida	Cant. Actas	Error %
Estuco	M2	4389.07	6000	36,70
H-15	M2	4974.83	4029.80	19,00
H-12	M2	219.36	375	70,95
Rampa	M2	63.84	190	197,64
Columnetas	ML	2657.24	2499.29	5,94
Acero PDR 60	kg	53170,22	55361,01	4,12
Malla electrosoldada	Kg	72,93	73,65	0,99
Promedio				20.97

Fuente: Autoria propia.

Las variaciones y diferencias entre los datos registrados es generada aparantemente por las actas de pago de la obra debido a que nunca hubo un orden con respecto a la cantidad de material que se cobraba, por un lado habian fases de obra que los contratistas combraban mas de lo esperado, y por otro lado habian fases de obra en la que no cobraban nada aun habiendo actividades que se llevaban a cabo. En este caso el promedio total del error calculado entre las actas y lo medido fue de 20.97%.

Apéndice 64. Cantidades de acero de refuerzo acumulado.

*Tabla A64.1
Gasto acumulado de acero.*

Ítem	Un.	Cant. Medida	Precio
V.de cimentación	kg	22982,82	\$71.568.493
Zapata	kg	13321,21	\$41.482.239
Pantalla	kg	63047,18	\$196.328.930
Columnas	kg	72123,95	\$224.593.975
Contrapiso 10cm	kg	2249,91	\$7.006.206
Contrapiso 20cm	kg	15747,54	\$49.037.852
Muros de contencion	kg	19283,44	\$60.048.645
Placa de entrepiso	kg	216310,30	\$673.590.266
Malla electrosoldada	kg	53170,22	\$3.626.580.926
Escalera E1	kg	4872,194345	\$15.172.013
Escalera E2	kg	1346,128205	\$4.191.843
Escalera E3	kg	685,26104	\$2.133.903
Escalera E4	kg	2321,415935	\$7.228.889
Tanque	kg	7593,93	\$23.647.505
Rampa	kg	449,72	\$1.400.439
TOTAL	kg	22982,82	\$5.004.012.123

Fuente: Autoria propia.

El acero sin importar que fuera de la tercera agrupación de items, también fue controlado y cuantificado debido a la importancia que genera en costos, por lo tanto, fue necesario registrar la cantidad de aceros del proyecto por medio de los despieces presentes en planos estructurales para tener una idea de cuanto iba a ser la cantidad planeada de material y cuanto se iba a usar en la obra.

Apéndice 65. Curva S.

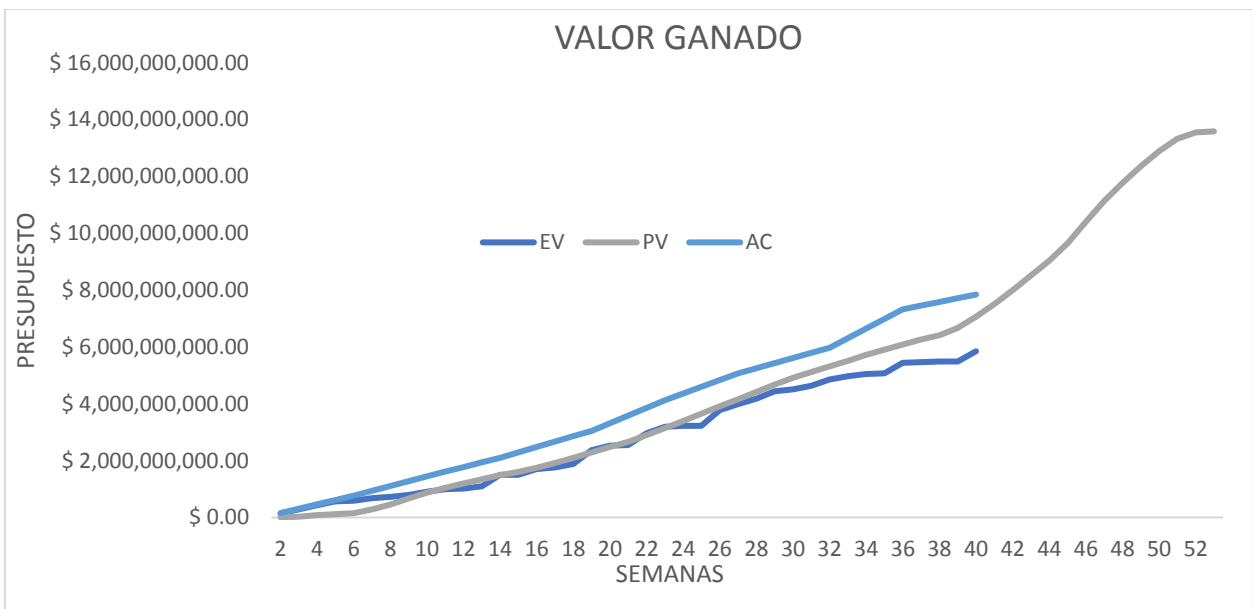


Figura A65. Curva S obtenida con la metodología del valor ganado. Fuente: Autor.

Apéndice 66. Obras complementarias.

Tabla A66.1

Obras complementarias.

Obras complementarias	GASTO PARCIAL
Cerramiento zinc H=2.35m	\$ 15,310,632.00
Desmonte y montaje de cerramiento en zinc	\$ 3,010,745.00
Demolición de cimientos de concretos	\$ 13,912,510.00
Retiro de escombros provenientes de la demolición de cimientos y roca	\$ 128,379,386.00
Cerramiento en super board	\$ 8,497,535.00
Cerramiento en poli sombra	\$ 17,236,219.00
Excavación a máquina en roca para explanación, no incluye transporte	\$ 275,227,072.00
Recubrimiento de taludes con concreto lanzado	\$ 19,451,501.00
Perforación, Suministro, Transporte e Instalación de Anclajes activos de Tres (03) Torones de 1/2" ASTM A416 GR270 (Baja Relación). Incluye platina, botón, mordazas de anclaje y todo lo necesario para su correcta ejecución y funcionamiento. No incluye revestimiento o encamisado	\$ 19,043,680.00
Perforación, suministro, transporte e instalación de anclajes pasivos con barra helicoidal o similar de 25 mm de diámetro hasta una profundidad de 8 m	\$ 11,858,652.00
Construcción de muro de bloque dovelado con viga de amarre intermedia y superior en concreto encamisado	\$ 3,368,711.00
Demolición, cargue, transporte y disposición de muros del banco y son de carpintería	\$ 3,090,924.00
Concreto de 4000 psi para placa aligerada con casetón de icopor e=60 cm	\$ 1,833,045,581.00
Concreto de 4000 psi para vigas aéreas de 60x 90 cm	\$ 238,589,377.00
Entibada permanente (madera o perdida) para muros de contención	\$ 42,327,103.00

Obras complementarias	GASTO PARCIAL
Localización y trazado y replanteo topográfico con equipo de precisión	\$ 0.00
Perforación, suministro, transporte e instalación de anclajes pasivos con barra helicoidal o similar de 25 mm de diámetro hasta una profundidad de 12 m	\$ 15,359,280.00
Concreto de 3000 psi para placas de fundación, espesor 55 cm	\$ 5,111,846.00
Concreto de 4000 psi para placa aligerada con casetón de icopor, esp+60cm, losa maciza 20 cm (espejo de agua)	\$ 0.00
Concreto de 4000 psi impermeabilizado para bordillos sobre espejo de agua H =30 cm	\$ 9,666,462.00
Concreto de 4000 psi para placa aligerada con casetón de icopor e=60, cm losa maciza=15 cms módulo 1	\$ 10,526,564.00
Anclaje 3/6" para mampostería	\$ 18,600,960.00
Concreto de 4000 psi impermeabilizado para placa aligerada con casetón de icopor es=80. cm losas MAC=20cms 8espejo de agua	\$ 67,341,359.00
Cañuela concreta 3000 psi para filtros	\$ 1,921,927.00
Concreto DE 3000 psi para placas de contrapiso e=20cm	\$ 97,058,210.00
Concreto de 4000 psi para placa aligerada con casetón de icopor, e+40cm	\$ 97,655,928.00
Tubería de PVC Novafort de 8"	\$ 4,451,811.00
Anclaje 1/2" para mampostería	\$ 3,459,820.00
Mampostería estructural en bloque 15x20x40	\$ 3,788,196.00
Impermeabilización de muros de contención con Igol- Denso	\$ 3,936,487.00
Trasiego horizontal y vertical de Acero de refuerzo PDR-60 y Mallas electrosoldadas estándar	\$ 411,285,120.00
Entresuelo en material granular seleccionado de la excavación	\$ 14,447,758.00
Construcción de filetes para elementos estructurales de concreto a la vista-mata filos o boceles	\$ 55,276,686.00
Concreto de 4.000 psi. Para placa aligerada con casetones icopor, Esp= 60.00 cm, a doble altura	\$ 443,463,136.00

Obras complementarias	GASTO PARCIAL
Concreto de 4.000 psi. Para placa aligerada con casetones icopor, Esp= 60 cms a cuatro alturas	\$ 9,516,684.00
Columnetas de confinamiento en concreto de 3.000 psi, reforzado sección 60x20 cm	\$ 8,096,437.00
Pasamuros de 8" para tuberías mediante el uso de saca núcleos y broca diamantada	\$ 4,777,600.00
Pasamuros de 4" para tuberías mediante el uso de saca núcleos y broca diamantada	\$ 2,388,880.00
Pasamuros de 3" para tuberías mediante el uso de saca núcleos y broca diamantada	\$ 398,160.00
Pasamuros de 2" para tuberías mediante el uso de saca núcleos y broca diamantada	\$ 298,600.00
Acometida para red combinada de alcantarillado en tubería Novafort de diámetro 10"	\$ 35,189,460.00
Transporte interno de materiales de excavación hacia la planta de compostaje	\$ 11,035,800.00
TOTAL	\$ 3,967,402,799.00

Fuente: Actas de pago de la obra generada por la constructura encargada .

Apéndice 67. Problemas del proyecto.

DEMOLICIONES Y RECONSTRUCCION

1. La columna J-3 ubicada en el nivel N-7.35 tuvo que ser demolida y reconstruida, debido a que la formaleta se abrió y se rego gran parte de su volumen de concreto.

6.5.1



*Figura 67A.1.*Demolicion de columna 3J. Fuente: Autor.

2. Los tramos de viga (V.CIM.1".2 y V.CIM 2.2) comprendidos entre los ejes H y J tuvieron que ser demolidas y reconstruidas.

6.5.2



Figura 67A.2 Demoliciones en el modulo 2. Fuente: Autor

3. El muro 4P – 3P tuvo que ser intervenido debido a que se le solto una formaleta en el momento de fundición, el muro se raspo y se le echo una capa de 5 cm en el sector afectada para que resanara.



Figura 67A.3 Reparacion en muro de contencion sobre el eje P. Fuente: Autor

4. Existe dos grosores de contrapisos uno de 20cm (recuadros azul oscuro) y el otro de 10 cm (recuadros rojos) pero en el programa preliminar de obra aparece solamente un ítem llamado “Concreto de 3000 psi para placas de contrapiso, espesor 10 cm”.

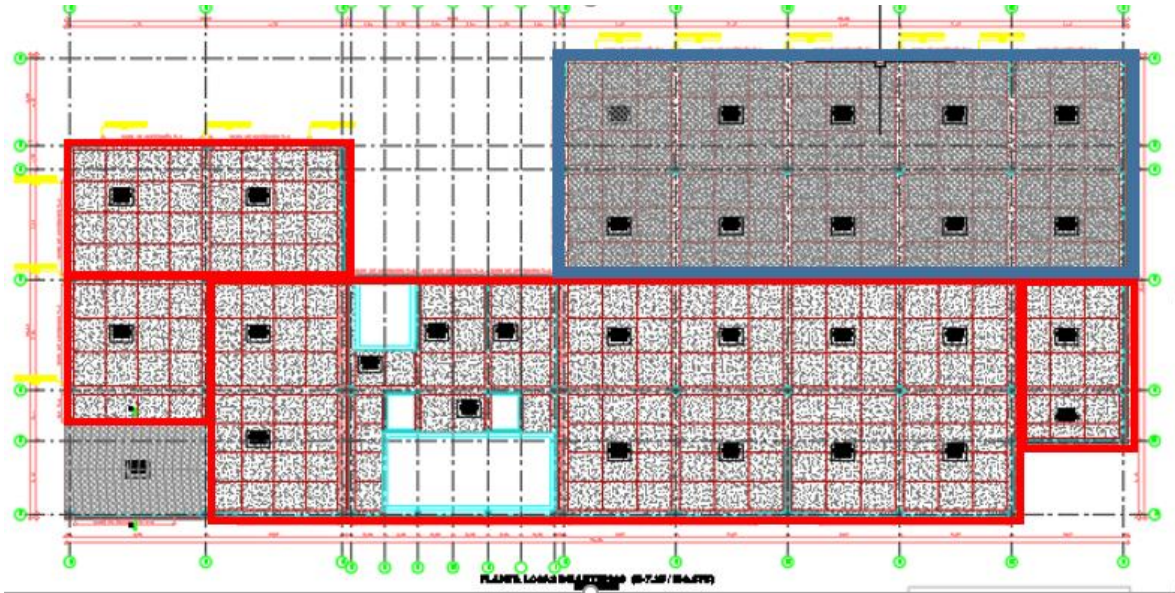


Figura 67A.4 Plano en planta de contrapiso. Fuente: 59-EST-LABORATORIOS MECANICA 07-02-2017

(CIM-TAN-PLAN)

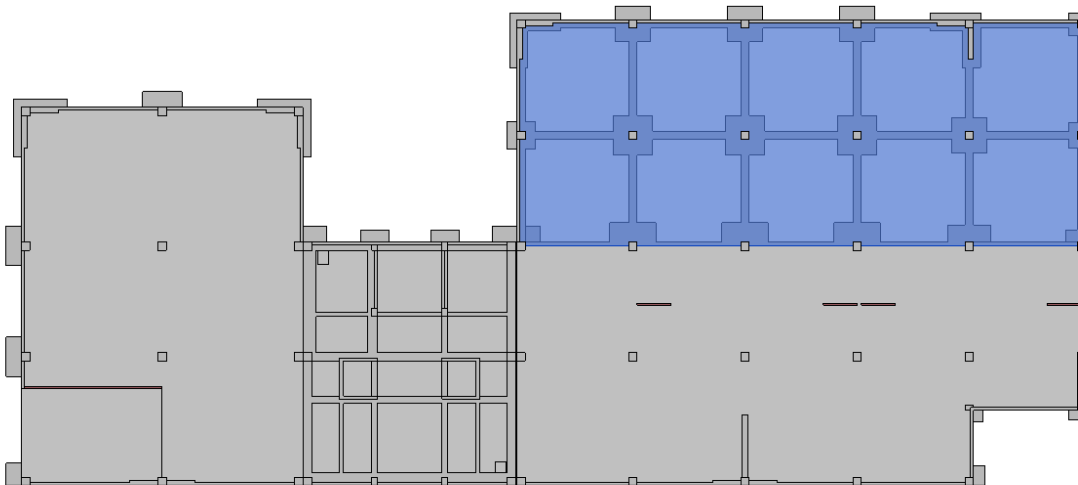


Figura 67.5 Plano en planta de contrapiso (Revit). Fuente: Grupo de investigacion Geomatica

5. Todos los ítems de “MEDIA TENSION-PROVISIONAL” se pueden encontrar en el programa de obra, pero estos mismos ítems no se encuentran en el archivo de presupuesto de obra.

Tabla 67A.1

Elementos del ítem "Media tension-Provisional".

MEDIA TENSIÓN - PROVISIONAL	UN
Excavación manual en zanja, en tierra o material común y/o conglomerado	M3
Conformación y compactación de rellenos en zanja con material común producto de la excavación, incluye transporte interno	M3
Construcción de caja de inspección de media tensión sencilla tipo ESSA	UN
Construcción de caja de inspección de media tensión vehicular tipo ESSA	UN
Construcción de caja de inspección de media tensión 2 x2 x 2 m	UN
Suministro, transporte e instalación de tubería PVC Ø 4"	ML
Suministro, transporte e instalación en la caja de inspección de un juego trifásico de barraje premoldeado cuatro vías de media tensión 15 KV - 100A	UN
Suministro, transporte e instalación de codos desconectables bajo carga 3M 200 A - 15kV con sus respectivos conectores, sellos contra humedad y sistema de puesta a tierra.	UN
Suministro, transporte e instalación de Tapón protector aislado 3M 15kV.	UN
Suministro, transporte e instalación de empalme premoldeado 3M - 15kV	UN
Suministro, transporte e instalación de red de media tensión 3No2 Cu-XLPE 15 kV	ML

MEDIA TENSIÓN - PROVISIONAL		UN
Construcción de Caseta para subestación provisional con espacio adyacente para gabinete general de baja tensión instalado sobre una base de 0,5 m de altura, puertas y ventanillas para ventilación. Dimensiones cuarto subestación 3,6x3,0x2,5 m; cuarto gabinete 1,5x1,4x2,5 m.		UN
Mantenimiento general, pruebas de rutina y puesta en funcionamiento de transformador de 400 kVA 13,2 kV/220-127 V provisional para el edificio de Mecánica		UN
Suministro, transporte e instalación de cable de cobre desnudo No 1/0		ML
Suministro, transporte e instalación de cruceta y ángulos para soporte de protecciones en media tensión para el transformador 400kVA 13,2 kV/220-127 V		GLOBAL
Suministro, transporte e instalación de pararrayos de 12 kV - 10 kA		UN
Suministro, transporte e instalación de caja cortacircuitos de 15 kV - 100A		UN
Suministro, transporte e instalación de Terminal premoldeado tipo interior 15 KV, para cable No2		JUEGO
Desmontaje de la subestación existente tipo interior 160 kVA 13200/220-127 V y sus protecciones		GLOBAL

Fuente:Grupo de planeacion del proyecto.

6. Los siguientes ítems se pueden encontrar en el presupuesto mas no en el programa de obra por lo tanto no tienen definido un tiempo de desarrollo.

Tabla 67A.2

Items faltantes en el programa de obra.

Item	UN		
Concreto de 4000 psi		Válvula de bola Ø=1¼"	UN
plástico de baja		Válvula de bola Ø=1"	UN
permeabilidad para tanque	M3	Válvula de bola Ø=¾"	UN
de agua		Válvula de bola Ø=½"	UN
Acabado en gravilla		Válvula de compuerta	UN
lavada para rampa en	M2	Ø=3"	
concreto exterior		Válvula cheque Ø=3"	UN
Placa en concreto		Válvula de pie con	UN
reforzado de 3000 psi para		coladera Ø=4"	
rampa exteriores, espesor 10	M2	Válvula de control de	UN
cm		nivel con flotador Ø=2"	
Placa en concreto		Tubería de acero	ML
reforzado de 3000 psi para		galvanizado Ø=4"	
acceso rampa de		Tubería de acero	ML
discapacitados y	M2	galvanizado Ø=3"	
parqueadero, incluye		Reducción excéntrica	UN
acabado escobeadado y		HG extr. Brida 4" x 2"	
ratoneado, espesor 10 cm		Reducción concéntrica	UN
		HG extr. Brida 4" x 2"	

Item	UN
Acometida en Ø=3" para hidrante	ML
Medidor de Ø=½"	UN
Medidor de Ø=1½"	UN
Hidrante tipo Milán Ø=3"	UN
Llave terminal tipo pesada cromada	UN
Puntos hidráulicos de fluxómetro	UN
Puntos hidráulicos comunes	UN
Tubería de presión PVC Ø=2½"	ML
Tubería de presión PVC Ø=2"	ML
Tubería de presión PVC Ø=1½"	ML
Tubería de presión PVC Ø=1¼"	ML

Item	UN
Bomba para consumo Q=368 litros/min, H=29,92 MCA, 5 HP	UN
Bomba para agua lluvia aprovechada	UN
Tanque hidroneumático 500 litros	UN
Tanque hidroneumático 300 litros	UN
Ducha y lavajos de emergencia	UN
Tubería de presión PVC Ø=1"	ML
Tubería de presión PVC Ø=¾"	ML
Tubería de presión PVC Ø=½"	ML
Válvula de bola Ø=2"	UN

Adaptada de: Presupuesto inicial del proyecto.

7. Imprevisto que tenia que ver con la estabilidad de taludes , el cual genero el atraso en el comienzo de varias obras dentro del proyecto.



Figura 67A.6 Instalacion de anclajes. Fuente: Autor

8. La demolicion de parte del banco corbanca ubicado en un costado de la obra tardo mas de lo debido por lo tanto retraso todas excavaciones pertinentes para la contruccion de la cimentacion del modulo 3.



Figura 67A.7 Demoliciones de la edificacion ubicada en el fondo. Fuente: Autor

9. Debido al uso de una formaleta que no era adecuada en la fundida de placa del N+0.00 en el modulo 3, algunas vigas y viguetas quedaron deformes y se tuvo que demoler , esto genero un sobre costo en la obra pues fue una obra complementaria.



Figura 67A.8 cambios de las formas de vigas deformes. Fuente: Autor

10. La temporada de lluvias que acompañó a la tercera fase de obra generó atrasos en el cronograma debido a la dificultad que se generaba al trabajar en superficies inestables y llenas de agua.



Figura 67A.9 Partes de la obra inundadas por las fuertes lluvias. Fuente: Autor

Apéndice 68. Archivo de Excel 2016 donde se podrá encontrar las cantidades de los materiales en general usados en la construcción.

Apéndice 69. Archivo de Excel 2016 donde se podrá encontrar las cantidades de acero usadas en la obra.

Apéndice 70. Archivo de Excel 2016 donde se podrá encontrar toda la metodología del valor ganado.