

CIVIL INFORMATION MODELING (CIM) COMO COMPLEMENTO EN EL
DISEÑO DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO

DAVID HILL POSADA

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN

2015

CIVIL INFORMATION MODELING (CIM) COMO COMPLEMENTO EN EL
DISEÑO DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO

DAVID HILL POSADA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en
Ingeniería con énfasis en Gestión de la Construcción

Luis Fernando Botero Botero

Magister en ciencias de la administración, profesor titular, coordinador del grupo
de investigación GESCON (Gestión de la Construcción)

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

MEDELLÍN

2015

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, ____ de 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y a Daniela, gracias a su apoyo y motivación pude lograr esta meta.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Pi Épsilon por permitirme realizar este proyecto, por su patrocinio y colaboración.

Al profesor Luis Fernando Botero por su tutoría y guía durante este proceso.

A José Galeano por su colaboración en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
2 JUSTIFICACIÓN	9
3 OBJETIVOS	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivos específicos	10
4 MARCO TEÓRICO.....	11
4.1 Modelo CAD	11
4.2 Modelo paramétrico	12
4.3 Modelo 4D	13
Building Information Modeling (BIM).....	14
4.3.1 Definiciones.....	14
4.3.2 Aplicaciones y beneficios	15
4.4 Herramientas informáticas para BIM	19
5 ESTADO DEL ARTE	21
5.1 Heavy BIM	23
6 MARCO PRÁCTICO	26

6.1	Introducción	26
6.2	Método de investigación	26
6.3	Definición del software a utilizar para el modelo	26
6.4	Caso exploratorio: proyecto hidroeléctrico	27
6.4.1	Descripción del proyecto	27
6.4.2	Modelo de las obras de infraestructura	37
6.4.3	Modelo de las obras de conducción	109
6.4.4	Modelo de las obras civiles	128
6.4.5	Integración de los modelos de las obras	159
6.4.6	Simulación gráfica de la secuencia constructiva	171
7	CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE LOS MODELOS	178
	BIBLIOGRAFÍA	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del proyecto	28
Figura 2. Esquema de la captación principal.....	29
Figura 3. Esquema de la captación de respaldo	31
Figura 4. Superficie del terreno en la zona de captación	39
Figura 5. Línea de Pis de la vía de acceso a la captación principal	40
Figura 6. Alineamiento horizontal de la vía de acceso a la captación principal....	42
Figura 7. Alineamiento vertical de la vía de acceso a la captación principal	45
Figura 8. Ensamblés de la vía de acceso a captación principal	48
Figura 9. Ensamblés de la vía de acceso a captación principal	50
Figura 10. Superficie del terreno modificado	52
Figura 11. Sección transversal de la vía a captación por la abscisa 0+760	55
Figura 12. Resultado análisis de pendientes de la superficie de la vía a captación	64
Figura 13. Superficie del terreno natural en la zona de captación	65
Figura 14. Alineamiento horizontal de la vía a la captación de respaldo.....	66
Figura 15. Alineamiento vertical de la vía de acceso a la captación de respaldo ..	66
Figura 16. Ensamble para la vía de acceso a la captación de respaldo	67
Figura 17. Corredor de la vía de acceso a la captación de respaldo	67
Figura 18. Superficie del terreno modificado con la vía a captación de respaldo...68	
Figura 19. Sección transversal de la vía a captación de respaldo por la abscisa 0+100.....	68

Figura 20. Resultado del análisis de pendientes de la superficie de la vía a la captación de respaldo	71
Figura 21. Superficie del terreno natural en la zona de casa de máquinas.....	72
Figura 22. Alineamiento horizontal de la vía al depósito 3	72
Figura 23. Alineamiento vertical de la vía de acceso al depósito 3	73
Figura 24. Ensable para la vía de acceso al depósito 3.....	73
Figura 25. Corredor de la vía de acceso al depósito 3.....	74
Figura 26. Superficie del terreno modificado con la vía de acceso al depósito 3 ...	74
Figura 27. Sección transversal de la vía al depósito 3 por la abscisa 0+040	75
Figura 28. Resultado del análisis de pendientes de la superficie de la vía al depósito 3	77
Figura 29. Plano de excavaciones de la captación principal – Etapa 1.....	78
Figura 30. Plano de excavaciones de la captación principal – Etapa 2.....	78
Figura 31. Contornos de las excavaciones – Etapa 1	79
Figura 32. Superficies de las excavaciones y ataguías en captación – Etapa 1	81
Figura 33. Superficie del terreno modificado con las excavaciones – Etapa 1	81
Figura 34. Sección de las excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 1	83
Figura 35. Resultados análisis de masas excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 1	84
Figura 36. Contornos de las excavaciones – Etapa 2	85
Figura 37. Superficies de las excavaciones y ataguías en captación – Etapa 2	86
Figura 38. Superficie del terreno modificado con las excavaciones – Etapa 2	87
Figura 39. Sección de las excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 1	87

Figura 40. Resultados análisis de masas excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 2	88
Figura 41. Plano de excavaciones de la captación de respaldo	89
Figura 42. Contornos de las excavaciones de la captación de respaldo.....	90
Figura 43. Superficies de las excavaciones en la captación de respaldo	90
Figura 44. Superficie del terreno modificado con las excavaciones de la captación de respaldo	91
Figura 45. Sección de las excavaciones de la captación de respaldo	92
Figura 46. Resultados análisis de masas excavaciones captación de respaldo	92
Figura 47. Plano de excavaciones de la zona de casa de máquinas.....	93
Figura 48. Contornos de las excavaciones de la zona de casa de máquinas	94
Figura 49. Superficies de las excavaciones en la zona de casa de máquinas.....	94
Figura 50. Superficie del terreno modificado con las excavaciones de la zona de casa de máquinas	95
Figura 51. Sección de las excavaciones de la plazoleta de casa de máquinas	95
Figura 52. Resultados análisis de masas excavaciones casa de máquinas y subestación	96
Figura 53. Plano del depósito 3.....	96
Figura 54. Superficie del depósito 3.....	99
Figura 55. Superficie del terreno modificado con el depósito 3.....	100
Figura 56. Sección del depósito 3	100
Figura 57. Resultados análisis de masas para el depósito 3	101
Figura 58. Resultados del análisis de pendientes de la superficie del depósito 3	101

Figura 59. Plano del depósito 4.....	102
Figura 60. Superficie del depósito 4.....	103
Figura 61. Superficie del terreno modificado con el depósito 4.....	103
Figura 62. Sección del depósito 4.....	104
Figura 63. Resultados análisis de masas para el depósito 4.....	104
Figura 64. Resultados del análisis de pendientes de la superficie del depósito 4.....	105
Figura 65. Plano del depósito 5.....	105
Figura 66. Contornos del lleno del depósito 5.....	106
Figura 67. Superficie del depósito 5.....	106
Figura 68. Superficie del terreno modificado con el depósito 5.....	107
Figura 69. Sección del depósito 5.....	107
Figura 70. Resultados análisis de masas para el depósito 5.....	108
Figura 71. Resultados del análisis de pendientes de la superficie del depósito 5.....	108
Figura 72. Plano planta perfil de la conducción.....	109
Figura 73. Modelo del terreno de la conducción.....	110
Figura 74. Superficie del pozo 1.....	110
Figura 75. Superficie del terreno modificado con el pozo vertical 1.....	111
Figura 76. Resultados análisis de masas excavaciones del pozo 1.....	111
Figura 77. Superficie del pozo 2.....	112
Figura 78. Superficie del terreno modificado con el pozo vertical 2.....	113
Figura 79. Resultados análisis de masas excavaciones del pozo 2.....	113
Figura 80. Alineamiento horizontal del túnel de conducción.....	114

Figura 81. Perfil de la conducción	115
Figura 82. Ensamblés de la conducción	117
Figura 83. Corredor del túnel de conducción	117
Figura 84. Superficies túnel de conducción	118
Figura 85. Sección transversal del túnel de conducción por la abscisa 0+000	118
Figura 86. Alineamiento horizontal de la ventana de construcción	121
Figura 87. Perfil de la ventana de construcción	121
Figura 88. Corredor de la ventana de construcción	122
Figura 89. Superficies ventana de construcción.....	122
Figura 90. Sección transversa de la ventana por la abscisa 0+040	123
Figura 91. Alineamiento horizontal del túnel de conexión	125
Figura 92. Perfil del túnel de conexión	125
Figura 93. Corredor del túnel de conexión	126
Figura 94. Superficies túnel de conexión	126
Figura 95. Sección transversal del túnel de conexión por la abscisa 0+000	127
Figura 96. Planos de la casa de máquinas	131
Figura 97. Planta primer nivel casa de máquinas importada a Revit	132
Figura 98. Cimentaciones de la casa de máquinas.....	135
Figura 99. Columnas de la casa de máquinas	136
Figura 100. Sistema de vigas de la casa de máquinas.....	137
Figura 101. Sistema estructural casa de máquinas	139
Figura 102. Sistema de losas y cubierta de la casa de máquinas	140

Figura 103.	Modelo casa de máquinas	141
Figura 104.	Sección casa de máquinas	142
Figura 105.	Plano en Revit de la casa de máquinas	143
Figura 106.	Reporte de cantidades de la casa de máquinas	145
Figura 107.	Planos de la captación de respaldo	147
Figura 108.	3D captación de respaldo	147
Figura 109.	Modelo de la captación de respaldo	151
Figura 110.	Sección captación de respaldo	152
Figura 111.	Plano en Revit de la captación de respaldo	152
Figura 112.	Reporte de cantidades de la captación de respaldo	153
Figura 113.	Reporte de volúmenes de masas de la captación de respaldo	153
Figura 114.	Planos de captación principal	155
Figura 115.	3D captación principal.....	156
Figura 116.	Modelo de la captación principal.....	156
Figura 117.	Sección captación principal.....	157
Figura 118.	Plano en Revit de la captación principal	157
Figura 119.	Reporte de cantidades de la captación principal.....	158
Figura 120.	Reporte de volúmenes de masas de la captación principal	158
Figura 121.	Superficie 3D de la zona del proyecto	162
Figura 122.	Obras con área de cobertura del proyecto.....	166
Figura 123.	Vías del proyecto en el modelo.....	167
Figura 124.	Obras en 3D en el modelo	170

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Especificaciones técnicas de la vía de acceso a la captación principal	35
Tabla 2.	Reporte de materiales de la vía de acceso a la captación principal.....	58
Tabla 3.	Reporte de materiales de la vía de acceso a la captación de respaldo	69
Tabla 4.	Reporte de materiales de la vía de acceso a la captación de respaldo	76
Tabla 5.	Reporte de materiales del túnel de conducción	119
Tabla 6.	Reporte de materiales de la ventana de construcción	124
Tabla 7.	Reporte de materiales del túnel de conexión	128
Tabla 8.	Representación gráfica del proceso constructivo de las obras	172

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como objetivo ilustrar la implementación de diferentes software con tecnología BIM en la realización de un modelo virtual de la central hidroeléctrica Mulatos II, propiedad de Energía del Suroeste y diseñada por Pi-épsilon S.A.S, mediante el cual se busca facilitar la obtención de cantidades de obra, simular el proceso constructivo del proyecto e identificar posibles interferencias entre las diferentes áreas que participan en el diseño.

En el trabajo se describen las herramientas que se emplean en la actualidad para generar modelos 2D, 3D y 4D, haciendo énfasis en los software AutoCAD Civil 3D, Revit e infraworks, como aquellos se utilizarán para la realización del modelo de la central hidroeléctrica. Se describen en detalle las obras que la componen, especificando cotas, dimensiones, caudales, pendientes, materiales y toda la información que será de utilidad para la construcción del modelo

AutoCAD Civil 3D se emplea para la simulación de las obras de infraestructura lineales y aquellas que involucran movimiento de tierras, es decir, las vías, la conducción, las excavaciones y los depósitos de material.

Revit se utiliza para realizar el modelo paramétrico de las obras civiles, mediante el almacenando de la información correspondiente a materiales de construcción y la obtención de sus respectivas cantidades de obra. A partir de esta herramienta se simulaban las captaciones (principal y auxiliar) y la casa de máquinas.

Infraworks se emplea como una herramienta de visualización, donde se integra al modelo digital del terreno (MDT), los resultados obtenidos a partir de AutoCAD Civil 3D y Revit, brindándole al diseñador, cliente o usuario, una perspectiva real del proyecto, debido a que le permite ubicarse en el espacio, observar las obras que lo conforman o sus propuestas de diseño y el proceso constructivo que requiere cada una de ellas.

Como resultado, se obtiene que la aplicación de modelos BIM en el diseño de centrales hidroeléctricas, presenta grandes beneficios para las empresas consultoras, debido a que facilita el proceso de diseño y lo hace menos propenso a errores, disminuye los tiempos propios del reproceso y el cálculo de las cantidades de obra. Es una herramienta de visualización que se convierte en un servicio innovador, que genera valor agregado al portafolio que ofrece la empresa.

Palabras clave: BIM (Building Information Modeling), Modelo virtual, Proyecto hidroeléctrico, Diseño, Consultoría.

ABSTRACT

The object of this paper is to present the implementation of different software with BIM technology in the making of a virtual model of Mulatos II, a hydroelectric project owned by Energia del Suroeste and designed by Pi-epsilon SAS. The software makes the estimation of job quantities easier, simulates the construction process of the project, and helps identify possible interference between the different areas involved in the design.

The project describes the the tools are used today to create 2D, 3D and 4D models: AutoCad, Civil 3D, Revit and Infracore software are discussed in detail as those that will be used in the modeling of the hydroelectric plant. The different components of the hydroelectric are described in detail, specifying elevations, dimensions, flows, slopes, materials and all the information of use for the construction of the model.

AutoCad Civil 3D is used for the simulation of linear infrastructure works and for those that involve earthwork, that is, roads, water conduction, excavations and materials disposal.

Revit is used for the parametric model of the civil works, by storing the information that corresponds to construction materials and the subsequent estimation of their quantities. This tool was used for the simulation of the Intakes (main and auxiliary) and the Power House.

Infracore is used as a visualization tool, where the results produced by AutoCad Civil 3D and Revit are integrated to the digital model of the terrain (DTM), providing the designer, the client or the user with a real perspective of the project, derived from its capacity of spatial-placing, along with the ability to see the components of the job or the different design alternatives and the construction processes required by each and all of them.

As a result, great benefits are obtained by consulting companies through the use of BIM models in the design of Hydroelectric plants, by making their design process easier, less prone to errors, decreasing time spent in design re-process and job quantity estimations, at the same time that it is a visualization tool making it an innovative service that creates added value to the portfolio of the company.

Key Words: BIM (Building Information Modeling), Virtual Model, Hydroelectric Project, Design, Consulting.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el Estado colombiano ha incentivado la gestión y desarrollo de proyectos hidroeléctricos, lo cual ha motivado el crecimiento de empresas dedicadas a la gerencia, diseño y construcción de proyectos de generación de energía hidroeléctrica.

Por lo anterior, dichas empresas deben recurrir al uso de herramientas que las hagan competitivas y eficientes, respecto a otras involucradas en el sector. En este escenario, es donde nacen los modelos BIM (Building information modeling), con el fin de facilitar labores que requieren un tiempo considerable para ser ejecutadas, fomentar la organización y la continua actualización de los diseños, mediante la integración colaborativa de las diferentes disciplinas involucradas en el proceso y ofrecer un medio de visualización que ayude al correcto entendimiento y desarrollo de los diseños.

En el transcurso del presente trabajo de grado, se documentaron los criterios, procesos y resultados arrojados por un modelo BIM implementado en una central hidroeléctrica, que fue diseñada con métodos tradicionales, con el fin de establecer las ventajas que estos modelos ofrecen a las empresas al momento de realizar un trabajo de consultoría.

El presente trabajo de grado está conformado por siete capítulos que contienen la siguiente información: En los Capítulos 1, 2 y 3, el lector encontrará la descripción del problema de estudio, los motivos que llevaron al autor para realizar el trabajo de grado y los objetivos que busca conseguir al aplicar las herramientas BIM en la etapa de diseño de un proyecto hidroeléctrico.

En los Capítulos 4 y 5 se encuentra el marco teórico que el autor tomó como referencia para realizar el estudio y el estado del arte, que indica la evolución de las herramientas BIM a lo largo de la historia.

En el Capítulo 6, se presenta el desarrollo de los modelos de las vías y las obras civiles que componen el proyecto hidroeléctrico Mulatos II y finalmente, en el Capítulo 7, se realiza un análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones del trabajo realizado.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La construcción de centrales hidroeléctricas como alternativa eficiente y sostenible de generación de energía ha venido tomando fuerza en los últimos años a tal punto que para el 2010 la generación de energía por este medio cubre el 16% del total de la demanda mundial (Worldwatch Institute, 2013).

En 2014 la demanda de energía en Colombia presentó el crecimiento más alto en 10 años (4,4%) (XM S.A, 2014), esto debido a la expansión que han venido presentando las ciudades y al incremento en el consumo del sector residencial. Para suplir esta demanda el Estado ha implementado políticas para incentivar la participación privada en la gestión y desarrollo de proyectos hidroeléctricos, lo que ha generado un ambiente propicio para el desarrollo y crecimiento de empresas dedicadas a la gerencia, diseño y construcción de proyectos de generación de energía hidroeléctrica (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2007).

Con un mercado tan amplio y con un gran abanico de posibilidades, las empresas del sector para ser competitivas tienen que recurrir a soluciones creativas donde el tiempo y los costos de producción juegan un papel crucial. La implementación de nuevas tecnologías y herramientas que permitan reducir el tiempo de ejecución, los reprocesos y le den un valor agregado al producto ofrecido es un factor determinante a la hora de satisfacer las necesidades del cliente y de maximizar la rentabilidad.

Una central hidroeléctrica está compuesta por una serie de obras civiles: obras de derivación, conducción y casa de máquinas. Las obras de derivación son las estructuras que garantizan la cantidad de agua a captar y su calidad, la conducción transporta el agua desde las obras de captación hasta la casa de máquinas, donde finalmente se utiliza este caudal para la generación de energía eléctrica por medio de un conjunto de equipos eléctricos y mecánicos (Cuesta & Vallarino, 2000). Además generalmente los proyectos hidroeléctricos se encuentran alejados del sitio donde se va a utilizar la energía generada, por lo que es necesario construir vías de acceso a cada una de las obras mencionadas anteriormente (Breeze, 2005).

El diseño de una central hidroeléctrica, al tratarse de proyectos compuestos por una variedad de obras y equipos, involucra una gran cantidad de profesionales especializados en cada uno de sus componentes. Gracias a la cantidad de

personas dedicadas al diseño y a que estas trabajan en áreas diferentes, es común que por falta de comunicación y coordinación se presenten errores e interferencias que llevan a reprocesos y por ende a una pérdida de productividad.

Actualmente con frecuencia se utiliza software de diseño asistido por computador para generar planos en 2D, donde se visualizan los proyectos en plantas y alzadas. Las diferentes obras de una central hidroeléctrica están compuestas por geometrías complejas, por lo que teniendo únicamente modelos 2D, se dificulta la obtención de cantidades de obra, el planteamiento del proceso constructivo, la identificación de posibles interferencias entre las diferentes áreas que participan en el diseño. Además para el cliente, las autoridades estatales encargadas de otorgar licencias y las entidades financieras, se les hace difícil concebir un proyecto a partir de planos en dos dimensiones, lo que genera problemas de comunicación y posibles conflictos entre las diferentes partes.

Las herramientas de planificación más utilizados en los proyectos de construcción, representan la programación de la obra generalmente en gráficos de barras o diagramas de red, los cuales no integran el desarrollo del proyecto en el tiempo con la visualización del proyecto en el espacio. Esto impide la identificación de alternativas para los procesos constructivos o posibles falencias en el mismo.

La implementación de modelos de información de la construcción BIM (Building information modeling) ha demostrado ser una herramienta útil para visualizar proyectos en 3D, permitiendo detectar conflictos o interferencias, estimar costos de construcción debido a que las cantidades de obra se extraen con facilidad del modelo, y también permite modelar el proceso constructivo del proyecto integrando el programa de obra con el modelo. Además el modelo permite presentar el proyecto con imágenes modelizadas en 3D que permiten una concepción clara para personas que no estén familiarizadas con éste (Azhar, Hein, & Sketo, 2008).

Por ello, este trabajo de maestría tiene como objetivo desarrollar un modelo virtual de la construcción de un proyecto hidroeléctrico como complemento en la etapa de diseño, para obtener cantidades de obra para la elaboración del presupuesto y cronograma, planos de construcción y detectar posibles interferencias entre los elementos de las diferentes áreas de trabajo. A su vez se pretende simular la ejecución de la obra de manera gráfica integrando los diferentes modelos de acuerdo a la secuencia constructiva del proyecto. Luego de elaborando el modelo

BIM del proyecto se busca responder con este estudio la siguiente pregunta ¿Qué ventajas trae para la empresa consultora la aplicación de tecnologías de modelado virtual en las fases de diseño y coordinación técnica previas a la construcción del proyecto?

2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el uso de modelos de información de la construcción, en cada una de las fases del proyecto, está experimentando un gran crecimiento a nivel mundial, esto debido a políticas implementadas por diferentes gobiernos para fomentar su aplicación debido a los beneficios que se obtienen en cuanto a calidad y productividad (McGraw Hill Construction, 2014). Según el US Army Corps of Engineers “BIM es la más reciente tecnología para ofrecer una mejora significativa en la velocidad, costo y calidad en la planeación, diseño, construcción, y operación y mantenimiento de un proyecto (US Army Corps of Engineers, 2015).

Implementar herramientas que mejoren estos factores puede significar para una empresa la sostenibilidad en un entorno tan competitivo.

En el diseño de una central hidroeléctrica, al tratarse de un proyecto de ingeniería complejo, los modelos y dibujos tradicionales, no contienen la información suficiente y no permiten una visualización clara de cada una de las componentes y de cómo interactúan entre sí, lo que muchas veces hace que el análisis resulte muy lento y conlleve reprocesos que aumentan los costos.

Un modelo de construcción paramétrico contiene gran cantidad de información necesaria para el diseño de un proyecto y ésta se va almacenando y actualizando a medida que avanzan las etapas del proceso de diseño. También presenta una visualización en 3D lo que facilita la concepción del proyecto y la toma de decisiones a la hora de elegir la mejor alternativa de diseño.

La investigación al abordar un caso real de un proyecto hidroeléctrico, pretende aportar a la empresa consultora Pi Epsilon, una alternativa innovadora que aumente la productividad, le dé un valor agregado y sirva como complemento en su portafolio de servicios.

Pretende además el presente trabajo, realizar un aporte significativo al grupo de investigación ya que sus investigaciones han estado dirigidas a proyectos de edificación y con este proyecto se explorarán nuevas posibilidades del modelado virtual en proyectos de infraestructura.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Utilizar herramientas BIM (Building information modeling) para desarrollar un modelo de una central hidroeléctrica, integrando planos en 3D de acuerdo a la secuencia constructiva del proyecto identificando las ventajas que representa para la empresa su implementación.

3.2 Objetivos específicos

- A partir de planos 2D, obtener un modelo paramétrico 3D, que contenga información del proyecto hidroeléctrico, por medio de software especializado.
- Obtener cantidades de obra a partir del modelo paramétrico.
- Integrar el modelo BIM con el programa de obra, con el fin de visualizar paso a paso la ejecución del proyecto, creando un modelo 4D.
- A partir del modelo desarrollado, identificar las ventajas que traería para la empresa la aplicación de modelos de información de la construcción en sus proyectos.

4 MARCO TEÓRICO

El producto principal en una empresa dedicada a la consultoría son los planos e informes de construcción. Estos planos plasman el resultado de todo el proceso de diseño. Tradicionalmente estos documentos son elaborados a mano y contienen especificaciones escritas y representaciones en 2D de los elementos necesarios para que el contratista construya lo que el dueño del proyecto desea. Sin embargo éstos pueden ser una fuente de malos entendidos, puesto que usar instrucciones y planos en 2D en un mundo en 3D se presta para muchas interpretaciones, desde los diseñadores y arquitectos intentando plasmar las ideas del cliente, hasta los encargados de construir el proyecto. Muchas veces estas interpretaciones pueden no ser las adecuadas, conllevando errores que pueden ser omitidos en todo el proceso o identificados en un punto del proyecto en donde corregirlos puede representar sobrecostos o atrasos en el cronograma de la obra.

Con los avances tecnológicos y el desarrollo de los computadores, fue posible que la elaboración de planos y diseños se hiciera de manera más ágil y rápida debido a que procesos repetitivos podían ser realizados de una manera automatizada, ahorrando así tiempo y reprocesos (Kymmell, 2008).

4.1 Modelo CAD

Computer Aided Design (CAD) o diseño asistido por computador, es una herramienta que cuenta con una interfaz gráfica donde se permite crear dibujos con gran precisión en 2 y 3 dimensiones, a partir de entidades geométricas individuales como líneas, arcos, círculos entre otras (Duggal, Zolli, & Rush, 2000).

En una herramienta CAD, cada elemento está separado y no tiene ninguna relación con los otros dibujos o con cada una de sus vistas. Estos dibujos, no contienen ningún tipo de información adicional pues simplemente son un conjunto de líneas que conforman una representación gráfica de un objeto. En otras palabras, estos dibujos son una manera de comunicar, gráficamente, información entre las diferentes partes involucradas en un proyecto (Krygiel & Nies, 2008). Modificar una de las vistas implica que cada una de las otras deba ser editada para que estén actualizadas y muestren la realidad del proyecto, proceso que implica mucho reproceso y pérdida de tiempo dentro de las firmas encargadas de los diseños y de la documentación del proyecto.

Debido a la forma en que se generalmente se ejecutan los proyectos, donde primero se realizan diseños esquemáticos y de éstos parten diferentes consultores, especializados en diversas áreas, para hacer sus diseños correspondientes (arquitectónicos, estructurales, eléctricos, mecánicos, etc.), la información que le llega al constructor es muy fragmentada y no representa claramente cómo se integran estos diseños. Además gracias a la falta de comunicación entre los responsables en el proceso de diseño, los encargados de la construcción y los dueños del proyecto; es común que se cometan errores, que haya discordancias en planos y que se presenten interferencias entre los diseños.

Una de las principales falencias de la comunicación basada en modelos en 2 dimensiones en la etapa de diseño, es que debido a que los planos sólo se pueden interpretar de una forma gráfica y no contienen otro tipo de información; actividades como la obtención de cantidades de obra, el planteamiento y concepción del proceso constructivo y la estimación del programa de ejecución de obra, son muy laboriosas y requieren de mucho tiempo ya que deben ser ejecutadas manualmente.

A medida que se planteaban proyectos más complejos, arquitectos e ingenieros vieron la necesidad de modelar sus proyectos en 3D, inicialmente como una forma de mejorar la visualización y de comunicar la información de una manera en que pudiera ser entendida no sólo por personas capacitadas para leer planos. Otro avance fue la identificación de que varias formas pueden compartir parámetro, es decir, la forma en que está conectados y delimitados los objetos puede definir su geometría y comportamiento. Utilizando reglas como unido a, paralelo a, distancia desde; se le puede dar forma a un objeto y una modificación en su geometría o ubicación, automáticamente transformará los demás objetos conectados a éste (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

4.2 Modelo paramétrico

El modelado paramétrico o modelo basado en objetos, consiste en crear objetos definidos por parámetros o restricciones y por la forma en que estos interactúan con los objetos a su alrededor. A diferencia de los modelos tradicionales en 3D, donde la geometría del modelo debe ser editada manualmente por el usuario en su totalidad, el modelo paramétrico se actualiza dependiendo de las reglas que lo definen y de los cambios en el contexto del modelo.

En el diseño paramétrico, no se diseñan objetos particulares sino que se generan clases o familias de objetos las cuales se definen por un conjunto de reglas y relaciones que controlan los parámetros con que se construyen cada uno de los elementos que las componen y que permiten que varíen y se regeneren a medida que surgen cambios (Sacks, Eastman, & Lee, 2004).

Este tipo de modelado basado en objetos tiene además la capacidad de incorporar información relacionada con el tipo de material, especificaciones técnicas, costos, entre otras características; esto sumado a la capacidad que tiene el modelo de redefinirse automáticamente cuando se realizan cambios, representa una gran ventaja comparado con los modelos CAD en 2D y 3D ya que implican un ahorro significativo en reprocesos, facilitan la estimación de costos y evitan inconsistencias entre los diferentes elementos del modelo gracias a la relación que tienen entre sí.

4.3 Modelo 4D

Una buena programación de obra es un aspecto fundamental en la planeación de proyectos de construcción, pues de ésta se derivan los flujos de desembolsos, se proyectan las ventas, se gestiona la necesidad de recursos y se controla el proceso de construcción.

Tradicionalmente este proceso de programación y control se efectúa por medio de herramientas CMP (Método de la ruta crítica por sus siglas en inglés) y diagramas de barras. Sin embargo estas herramientas no permiten visualizar y simular las secuencias de construcción, aspecto que facilita la toma de decisiones e etapas previas, donde los posibles cambios no generan un impacto significativo, y mejora la comunicación entre las diferentes partes del proyecto (McKinney, Kim, & Howard, 1996).

Un modelo 4D resulta de integrar representaciones en 3D de los elementos que conforman el proyecto con una cuarta dimensión, el tiempo. Este proceso incorpora gráficamente la información contenida en un cronograma de construcción con el modelo de la edificación, agregándole a cada elemento dentro del modelo 3D una fecha de inicio y de finalización. Un modelo 4D puede ser usado para simular virtualmente la secuencia de construcción de un proyecto (Koo & Fischer, 2000).

La implementación de modelos 4D supone grandes beneficios ya que mejora la comunicación y la planeación de sitios de trabajo, permite realizar análisis de layout de la obra, y facilita la estimación y control de presupuestos y programación de obra, mejorando así la eficiencia del proyecto (Mahalingam, Kashyap, & Mahajan, 2010). Además permite a los clientes entender el proyecto antes de que se construya.

Building Information Modeling (BIM)

4.3.1 Definiciones

Charles M. Eastman, precursor en el desarrollo de investigaciones en el modelado virtual, define el concepto de Building Information Modeling (BIM) o modelado de información de la construcción como una tecnología donde uno o más modelos virtuales de una edificación son construidos de manera digital y que facilita la gestión y administración de información durante todo el ciclo de vida del proyecto (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). Estos modelos generados contienen geometría precisa e información acerca de sus relaciones espaciales, información geográfica, cantidades de materiales, información de proveedores y costos (Lee, Sacks, & Eastman, 2006).

El National Building Information Modeling Standard (NBIMS), comité del National Institute of Building Sciences, concibe la tecnología BIM como un avance en el proceso de planeación, diseño, construcción operación y mantenimiento de proyectos, a través de modelos digitales que contienen información necesaria del proyecto para toda su vida útil (NIBS, 2008). Esta información permite a las partes involucradas en el proyecto, tomar decisiones más acertadas e identificar errores oportunamente.

Las principales empresas desarrolladoras de tecnologías de información para el modelado virtual tienen su propia definición de BIM. La reconocida compañía Autodesk, dedicada al desarrollo de software para modelado 2D y 3D, define BIM como un proceso inteligente basado en modelos que proveen una visión que ayuda a planear, diseñar, construir y administrar proyectos de edificación e infraestructura (Autodesk, 2015).

Por su parte Bentley Systems, ve el modelado virtual de la construcción como una forma de integrar el diseño y la documentación de todo tipo de proyectos de

construcción, a lo largo de su ciclo de vida, por medio de software especializado. BIM permite la comunicación de información de forma acertada y a tiempo, eliminando redundancias, reprocesos, pérdida de información y errores de interpretación (Bentley, 2015).

Para Graphisoft, otra de las casas líderes en la fabricación de software BIM, lo entiende como un modelo que contiene los equivalentes virtuales de los elementos constructivos y demás componentes necesarios para la construcción de una edificación, estas piezas cuentan con las mismas características físicas y lógicas de sus equivalentes reales. Los modelos virtuales resultantes permiten simular el edificio y entender su comportamiento antes de que se construya (Graphisoft, 2015)

4.3.2 Aplicaciones y beneficios

Aunque todas las definiciones planteadas en el numeral anterior implican la utilización de software dentro del modelado virtual de la construcción, BIM no es solamente un software, es una manera de pensar con el apoyo de herramientas para modelado tridimensional (Botero & Acevedo, 2011). Todo esto orientado a la toma de decisiones a lo largo de la vida útil de cada proyecto y a mejorar la calidad del producto terminado.

Según The Computer Integrated Construction Research Group, un modelo virtual de la construcción puede ser utilizado para diferentes propósitos de acuerdo a la fase del proyecto (Computer Integrated Construction (CIC) Research Program, 2010). A continuación se presentan estas aplicaciones.

4.3.2.1 Planeación

- Modelación de las condiciones existentes: consiste en generar una documentación modelando las variables presentes en el sitio del proyecto, ya sea nuevo o de remodelación.
- Estimación de costos: se obtienen cantidades de los elementos más significativos del proyecto a partir de un modelo y así generar el presupuesto de la obra, asignándole costos a estas cantidades. También se pueden analizar las afectaciones en los costos del proyecto gracias a cambios en el proyecto, lo cual permite realizar una evaluación económica de las alternativas planteadas para el proyecto.

- Planeación por fases: se usa para mostrar la secuencia de construcción, los requerimientos de espacio y las diferentes etapas a lo largo del proyecto, para concebir mejor los planes de construcción y los hitos del proyecto.
- Programación: es asignar las tareas al equipo de diseño teniendo en cuenta los requerimientos y dificultades que se identifiquen en el modelo preliminar.
- Análisis de localización: por medio de herramientas BIM y GIS, se evalúan aspectos relevantes en la zona de influencia del proyecto para determinar la ubicación más adecuada.

4.3.2.2 Diseño

- Revisión de diseños: es un proceso en el cual se utilizan maquetas en 3D para transmitir a los diferentes grupos involucrados en el proyecto con el fin de revisar los diseños y evitar posibles interferencias, evaluar alternativas y resolver problemas.
- Elaboración de diseños: es desarrollar los diseños del proyecto a partir de software de modelado 3D, conectado con bases de datos de propiedades, cantidades, costos y cronogramas.
- Análisis ingenieril: se fundamenta en la utilización de modelos y simulaciones para determinar las especificaciones más adecuadas para el cliente, a partir de análisis de alternativas, rendimientos y consumos.
- Evaluación de sostenibilidad: evalúa parámetros de sostenibilidad a lo largo del ciclo del proyecto con el fin de obtener certificaciones de LEED.
- Validación de códigos: pretende, a partir de modelos 3D, verificar si la estructura cumple con los parámetros estipulados en los diferentes códigos de diseño.

4.3.2.3 Construcción

- Coordinación 3D: pretende detectar conflictos entre la obra civil y los diferentes sistemas presentes en el proyecto, por medio de comparación de modelos 3D.
- Utilización del sitio de trabajo: consiste en utilizar un modelo para representar y analizar la ubicación de los elementos, tanto permanentes como temporales, a lo largo de la construcción del proyecto, permitiendo identificar interferencias y optimizar el uso de recursos.

- Diseño del proceso constructivo: análisis y diseño de la secuencia constructiva del proyecto.
- Construcción digital: es crear objetos físicos mediante maquinaria especializada que usa sus representaciones en modelos 3D como datos de entrada.
- Control y planeación 3D: es utilizar planos en 2D y 3D, obtenidos a partir de modelos virtuales, para asignar cuadrillas y frentes de trabajo, definir la distribución de materiales en los sitios de trabajo y modular los elementos que se van a construir.
- Modelo de registro: consta de un modelo que contiene la descripción de todo el proyecto (trazado de redes, equipos, elementos arquitectónicos, etc.) que se va actualizando a medida que se generan cambios durante la vida útil del proyecto.

4.3.2.4 Operación

- Programación de mantenimiento: es la planeación del mantenimiento que se le da a las estructuras y equipos que hacen parte del edificio, a lo largo de la operación del proyecto.
- Análisis de los sistemas de la edificación: es un proceso que mide cómo se comportan los diferentes sistemas (mecánicos, eléctricos, etc.) en comparación con lo especificado en los diseños.
- Gestión de activos: consiste en gestionar los bienes del proyecto de forma que los costos de operación y mantenimiento se reduzcan al mínimo, utilizando un modelo de registro para estimar costos y generar una base de datos para la toma de decisiones.
- Administración de espacios: se trata de asignar, administrar y planear los usos de los diferentes espacios de la edificación frente a posibles cambios que se den a lo largo de la operación del proyecto.
- Planeación de desastres: las entidades encargadas de atender situaciones de desastres, pueden utilizar modelos de diferentes edificaciones que contienen información útil como rutas de acceso, puntos críticos, ubicación de redes y distribución de equipos.

Según Kenneth H. Stowe, experto en tecnologías de la construcción, hay 10 beneficios medibles que trae para el equipo de trabajo de un proyecto, la

implementación de tecnologías BIM (Kubba, 2012). Estos se enumeran a continuación.

- Es posible realizar una evaluación económica de las alternativas de una manera más rápida y precisa gracias a la integración del modelo BIM con los costos del proyecto. Además al ser un proceso que se realiza de una manera más eficiente que en métodos tradicionales permite que se evalúen más alternativas, teniendo así más opciones para elegir la que más se acomode a las necesidades del cliente.
- Poder visualizar en 3D el proyecto fomenta la participación resultando en menos reprocesos y órdenes de cambio. Un modelo en 3D facilita el entendimiento y concepción de geometrías complejas, por lo que los diseños serán más precisos.
- Coordinar los proyectos a partir de modelos 3D permite una visión más global de los elementos y de la forma en que estos interactúan por lo que se evitan interferencias entre los diferentes sistemas del proyecto, reduciendo posibles cambios en la construcción debido a colisiones no previstas.
- Las simulaciones 4D de la construcción del proyecto mejoran la planeación de los espacios de trabajo, permitiendo una buena gestión de las instalaciones provisionales y campamentos, un mejor manejo del personal requerido en los frentes de trabajo y una distribución de las zonas de tránsito mejorando la seguridad y el flujo del trabajo en la obra.
- Una geometría precisa en 3D aumenta la confianza en la prefabricación, lo que mejora la calidad, reduce los costos de trabajo y disminuye los tiempos de ejecución.
- La utilización de modelos BIM permite evaluar, de manera asequible, el desempeño de la edificación antes de ser construida, lo que mejora la toma de decisiones para la estructura, confort, iluminación, desempeño energético, ahorro de recursos y materiales.
- La coordinación y consistencia entre los documentos generados, reduce reprocesos y pérdidas (de tiempo, material, recursos, etc.), permitiendo realizar de manera más confiable tareas más especializadas que brindan soluciones a proyectos de ingeniería cada vez más complejos.

- Gracias a los modelos digitales y a la participación del constructor y el cliente, en etapas previas a la ejecución de la obra, se logran diseños más fáciles de construir y mantener; ya que así éstos se adaptan a las posibilidades del constructor y a las solicitudes del cliente.
- La garantía de la congruencia en la geometría que ofrecen los modelos BIM bien ejecutados genera una mejor planeación del suministro de materiales, tanto a la obra como a los sitios de trabajo, permitiendo un ambiente de trabajo mejor organizado y más sincronizado.
- La estabilidad de los diseños, ya que se generan menores cambios durante la construcción al utilizar modelos BIM, mejora la productividad y el rendimiento del proyecto.

Todos estos beneficios se ven reflejados en la productividad y rentabilidad de los dueños, constructores y dueños. Adicionalmente se reducen los posibles conflictos entre las partes ya que en un proceso BIM se mejora la comunicación y la calidad del producto final.

4.4 Herramientas informáticas para BIM

El modelado virtual de la construcción no es un software, es un proceso donde se genera una colaboración entre los diferentes participantes un proyecto. Esto se logra mediante la integración de diferentes software especializados. A continuación se mencionan algunas de estas herramientas.

- **Revit** es un software creado específicamente para el modelado BIM por Autodesk, esta herramienta permite producir modelos de alta calidad desde etapas conceptuales hasta la construcción. Este software es usado ampliamente en la industria ya que tiene toda la funcionalidad BIM, lo que permite intercambiar y almacenar eficientemente toda la información necesaria en el proceso. Revit se especializa en modelaciones arquitectónicas, estructurales y MEP (Mechanical, electrical, plumbing).
- **AutoCAD Civil 3D** es una herramienta BIM para ingenieros civiles especial para el diseño de vías, movimientos de tierra, modelos hidrológicos, redes y estimación de cantidades.

- **Autodesk Infracore** es un software utilizado para la integración de los modelos virtuales desarrollados. Esta integración ayuda a los ingenieros en la planeación y diseño de proyectos de gran envergadura.
- El software **Autodesk Navisworks** es utilizado para análisis avanzados, como la simulación en 4D del proyecto y la detección de interferencias entre los diferentes sistemas que componen el proyecto. Esto se da a partir de la compilación de los modelos creados en otros software BIM.
- **ArchiCAD**, desarrollado por Graphisoft, es la herramienta BIM más antigua y es reconocida por su interfaz simple y relativamente fácil de usar. Toda la información generada por este software es almacenada en una base de datos central, donde los cambios y reajustes en las simulaciones son actualizados y aplicados a los modelos que compartan información y que sufran cambios por los ajustes generados. Este software cuenta con una amplia librería de objetos que ayuda con el proceso de diseño.
- **Bentley** es una firma reconocida en la industria de la construcción por proveer soluciones tecnológicas en las diferentes áreas del sector. Así es como desde el 2004 Bentley Systems provee herramientas BIM para arquitectura, diseño estructural e ingeniería mecánica y eléctrica.
- Tekla es una empresa finlandesa fundada en 1966 y es uno de los proveedores de software BIM más reconocidos a nivel mundial. Su herramienta BIM, **Tekla Structures**, fue desarrollado principalmente para modelar estructuras metálicas y elementos de concreto prefabricados. Este software es capaz de generar modelos 4D y estimar los costos durante el proceso.
- **Vico Software**, compañía establecida en 2007, desarrolla software BIM para el sector de la construcción. Sus herramientas integran el modelo 3D del proyecto y la programación de la obra ayudando a los diseñadores, constructores y dueños de proyectos a determinar la forma más óptima de construir los proyectos.

5 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presenta una revisión bibliográfica, realizada con el objetivo de documentar el estado de las herramientas BIM en la actualidad, su evolución en el tiempo y el uso que se les da en diferentes partes del mundo

La introducción de modelos basados en objetos en la década de los 90 permitió reemplazar los elementos en 2D realizados con herramientas CAD, por objetos en 3D capaces de representar las propiedades y comportamiento de las partes de una edificación. Esta nueva forma de ver los proyectos permitió a los diseñadores rotar el proyecto y verlo desde diferentes puntos de vista, lo que amplió su perspectiva y ver las diferentes partes, anteriormente fragmentadas, en conjunto. Adicionalmente, en esa misma década el intercambio de información en formato digital se vio catapultado gracias al creciente uso del internet. Estos factores influyeron en el desarrollo de software BIM y en su concepción como un conjunto de tecnologías (Kivits & Furneaux, 2013).

Los últimos desarrollos en BIM integran modelos paramétricos de cada una de las disciplinas involucradas en el diseño, por medio de sistemas de comunicación de información, con la programación de obra y tienen la capacidad de soportar cambios y regenerarse automáticamente a medida que éstos se van dando (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). Esto permite analizar posibles alternativas para un proyecto sin que esto implique un diseño completamente nuevo, ahorrando tiempo y recursos, además de que al realizarse este análisis de manera más rápida es posible estudiar una mayor variedad de posibles escenarios.

A pesar de que la industria de la construcción tiene una evolución lenta comparada con la industria manufacturera y el sector automotriz, la iniciativa de diferentes gobiernos y las alianzas entre estos y algunas firmas del sector, han fomentado, divulgado y estudiado el uso y evolución de tecnologías BIM, estableciendo directrices y metodologías para su implementación.

En los Estados Unidos, el US General Services Administration (GSA) ha impulsado el uso de BIM estableciendo un programa de adopción de modelos virtuales de construcción para la ejecución y operación de todos los edificios federales. Además establecieron los estándares nacionales para BIM, los cuales son reconocidos internacionalmente (Smith, 2014).

El Reino Unido a través de su estrategia para la construcción en el país, establece que para 2016 requerirán el uso de modelado virtual de la construcción para todos los proyectos gubernamentales. Esto debido a que para el 2025 el gobierno tiene como metas reducir los siguientes aspectos: 33% el costo total de los proyectos, 50% el tiempo de ejecución de las obras, 50% la emisión de gases de efecto invernadero en las construcciones y 50% la diferencia entre las importaciones y exportaciones de productos para la construcción (National Building Specification, 2015).

En Singapur el gobierno estableció un fondo donde se hace énfasis en BIM como una herramienta para mejorar el sector de la construcción en el país, gracias a la facilidad de intercambio de información y a la retroalimentación que esto permite. Además la BCA (Building Construction Authority), entidad encargada de regular y desarrollar la industria de la construcción en el país, elaboró una guía para la implementación de BIM (BCA, 2013).

En Finlandia el gobierno a través de Senate Properties, empresa de su propiedad y encargada de construir universidades, centros de investigación, oficinas y edificios de desarrollo cultural; empezó a implementar modelos BIM en el 2001 en proyectos piloto, gracias a esta experiencia decidieron exigir, a partir del 2007, la utilización de modelos virtuales de construcción en todos sus proyectos (BuildingSmart Australia, 2012).

Para 2007 Statsbygg, empresa que actúa en nombre del gobierno de Noruega y que es responsable de la construcción, administración y desarrollo de las propiedades del estado; decidió implementar BIM para todo el ciclo de vida de sus proyectos (BuildingSmart Australia, 2012).

En Dinamarca diferentes agencias del estado implementaron un programa para la construcción digital. Este programa se desarrolló para mejorar y difundir el intercambio de información entre las diferentes partes del sector de la construcción, a través de modelos BIM que contienen la información necesaria de los proyectos (BuildingSmart Australia, 2012).

Estudios realizados demuestran que con el pasar de los años y a medida que se conoce más acerca de los beneficios que trae para cada una de las partes involucradas en los proyectos de construcción, se viene adoptando este tipo de tecnologías cada vez con más fuerza.

McGraw Hill ha venido realizando estudios a nivel mundial desde el 2007 para ver la evolución y los beneficios que trae la implementación de modelos virtuales de construcción. En el 2012 dio a conocer un estudio realizado en Norte América donde se evidencia un crecimiento en la aplicación de BIM en los proyectos de edificación de un 28% en 2007 a un 71% para 2012, lo que significa un crecimiento en el uso del 154% en 5 años. Cabe resaltar que los ingenieros encargados de los diseños son los que han implementado BIM en sus actividades en menor porcentaje (67%), sin embargo fueron los que presentaron mayor crecimiento en el periodo comprendido entre 2009 y 2012, donde pasaron de un 48% a un 67%. Los principales beneficios identificados en este estudio fueron: aumento de las utilidades, disminución en los reclamos y posventas, reducción en el tiempo de ejecución del proyecto y la capacidad de mantener negocios con los clientes (McGraw Hill Construction, 2012).

Según el estudio “The business value of BIM for construction in major global markets” elaborado por McGraw Hill en 2014, la implementación de tecnologías BIM ha sido liderada por países como Gran Bretaña, Estados Unidos, Alemania, Francia y Canadá. Sin embargo recientemente países como Australia, Nueva Zelanda, Japón, Corea y Brasil, han demostrado un gran crecimiento, sobrepasando incluso a los países más avanzados en algunas de las categorías medidas en el estudio (McGraw Hill Construction, 2014). Lo que evidencia una expansión a nivel mundial y un compromiso frente a la adopción de BIM.

5.1 Heavy BIM

Como se ha venido diciendo, BIM es una tecnología desarrollada inicialmente para modelar y evaluar proyectos de edificación en altura.

Los procesos constructivos en un proyecto vertical son generalmente repetitivos y a pesar de que todos los proyectos son diferentes, estos procesos no varían mucho. En una obra de edificación en altura, se cuenta con niveles típicos donde la secuencia constructiva se repite a medida que se avanza. El proceso en que se instalan muros o las formaletas para vaciado de columnas y losas es prácticamente el mismo en los proyectos verticales.

Un proyecto de infraestructura (vías, túneles, presas, canales, estaciones, etc.) es diferente debido a su extensión, condiciones variables del terreno y la complejidad de las obras. Para resolver la complejidad de estos proyectos de construcción pesada, los modelos virtuales tienen un papel muy importante con cada una de

sus aplicaciones, gracias a sus bondades en cuanto a visualización, estimación de cantidades y detección de interferencias. El uso de estos modelos ha venido tomando fuerza y ya que su aplicación en este tipo de proyectos es más reciente que su implementación en proyectos de edificación, surgen términos como Heavy BIM, Civil information modeling (CIM) o BIM para infraestructura para referirse el uso de modelos virtuales en este tipo de proyectos (Guo, Turkan, Jahran, & Jeong, 2014).

El uso de este tipo de tecnologías para proyectos de infraestructura, tiene cada vez más acogida a medida que los ingenieros, dueños, así como las agencias del estado encargadas de gestionar este tipo de obras, reconocen los beneficios que trae la implementación de modelos virtuales 3D (2012-Autodesk). El US Army Corps of Engineers en el Road Map for Life-Cycle Building Information Modeling implanta como un mito que BIM es únicamente para edificios y establece que cualquier obra civil puede ser modelada virtualmente. Esta guía tiene como objetivo principal la utilización de modelos CIM en todas las obras civiles y militares gestionadas por esta agencia gubernamental (US Army Corps of Engineers, 2012).

Desde hace ya varios años, se vienen realizando estudios sobre la implementación de tecnologías CIM en proyectos de infraestructura con el fin de documentar los beneficios y las consecuencias que trae su aplicación. En proyectos de puentes se ha encontrado que si se implementa de forma organizada los modelos virtuales en etapas de diseño, se mejora de forma drástica el proceso de validación de diseños y la comunicación con los encargados de ejecutar la obra. Adicionalmente gracias a la implementación de modelos 3D y 4D el equipo de diseño puede evaluar alternativas para el proceso constructivo llevando a reducir los riesgos y costos de la construcción (Shim, Yun, & Song, 211).

La aplicación en de tecnologías CIM y modelos paramétricos también se ha venido aplicando en obras complejas como túneles, encontrando que su implementación puede ahorrar tiempo de forma considerable en el proceso de diseño y mejorar la documentación y comunicaciones, por medio de la utilización de familias predeterminadas que pueden ser adaptadas a las condiciones de cada proyecto (Cho, Cho, Cho, & Kang, 2012).

Según el informe The Business Value of BIM for infrastructure, elaborado por McGraw Hill Construction, para 2012 la adopción de CIM en proyectos de

infraestructura apenas estaba empezando. Sin embargo se espera un gran crecimiento para los siguientes años, esto debido a la experiencia y beneficios identificados para BIM en proyectos en altura y la necesidad de incrementar la eficiencia y efectividad en los proyectos de infraestructura. El reporte indica que el 46% de las empresas encuestadas, dedicadas a proyectos de infraestructura utilizan CIM dentro de su portafolio y que de las firmas que no usan CIM, el 79% espera estar usándolo en los próximos años. Esto resalta las expectativas de crecimiento de esta tecnología en proyectos de infraestructura.

En el estudio se identifican dos principales beneficios gracias a la implementación de CIM por parte de las compañías de ingeniería y arquitectura dedicadas al diseño de este tipo de proyectos. El primero fue la posibilidad de ampliar su portafolio de productos y ofrecer servicios innovadores que represente un valor agregado para los clientes, manteniendo así negocios existentes y ampliando su mercado objetivo. El segundo es la reducción de errores en los documentos entregados para la construcción, lo que evita reprocesos y aumento en los costos y genera una mejor imagen de la firma por parte del constructor (McGraw Hill Construction, 2012).

Estas perspectivas de desarrollo en el uso de modelos virtuales de construcción en proyectos complejos de ingeniería, es un llamado de atención a las empresas del sector que quieran seguir siendo competitivas y quieran disponer de un factor diferenciador frente a sus competidores para que entren en la era CIM.

6 MARCO PRÁCTICO

6.1 Introducción

Teniendo en cuenta los conceptos, las aplicaciones y la evolución de la tecnología BIM, se pretende emplear dichos conceptos en un proyecto hidroeléctrico con el fin de identificar los beneficios que podrían obtener las empresas consultoras al implementar esta tecnología en sus proyectos.

6.2 Método de investigación

La metodología utilizada en la investigación fue de tipo exploratoria, donde se desarrolló un modelo virtual de las obras civiles y las vías de un proyecto hidroeléctrico en su etapa de diseño. La investigación se llevó a cabo siguiendo los siguientes pasos: a) se realizó una búsqueda en bases de datos, libros y revistas, con lo cual se levantaron las bases teóricas sobre BIM y su evolución, b) recopilación y selección de información del proyecto necesaria para la elaboración del modelo (planos, presupuesto, programa de obra, etc.), esta información se actualizó durante toda la investigación a medida que los diseños del proyecto iban avanzando, c) aplicación de los conceptos BIM para convertir los diseños del proyecto dibujados en CAD, en un modelo que contiene la información del proyecto y que integra dibujos en 3D con la secuencia constructiva de la obra, c) identificación de las principales ventajas que implicaría la utilización de modelos BIM en la empresa consultora.

6.3 Definición del software a utilizar para el modelo

La elección del software a utilizar en el modelo del proyecto hidroeléctrico se realizó teniendo en cuenta las características mencionadas en el capítulo anterior y teniendo en cuenta la facilidad de obtener cada una de estas herramientas.

La casa fabricante de software Autodesk cuenta con una amplia gama de programas, compatibles entre sí, para el modelado BIM. Además es importante destacar que esta empresa permite acceder a estas herramientas de forma gratuita a estudiantes y docentes. Por estas razones y teniendo en cuenta que algunos de los modelos se realizaron a partir de planos en 2D realizados en AutoCAD, se eligió el software de esta casa productora para el desarrollo de los modelos.

Se definió la utilización del software **AutoCAD Civil 3D** para modelar las obras de infraestructura, la conducción y las diferentes excavaciones, el software **Revit** para el modelado en 3D de las obras civiles.

Inicialmente se estudió la posibilidad de utilizar el software **Navisworks** para realizar la modelación en 4D del proyecto, sin embargo, debido a la extensión del proyecto y a las características de las obras que lo componen, se decidió descartar el software y se decide utilizar el software **Infraworks** para la integración de los modelos, su visualización y la simulación gráfica de la secuencia constructiva.

Cabe resaltar que el diseño de las obras fue realizado previamente por el grupo de diseño de la firma consultora y de estos diseños parten los modelos realizados en esta investigación.

6.4 Caso exploratorio: proyecto hidroeléctrico

6.4.1 Descripción del proyecto

El proyecto corresponde a la construcción de una pequeña central hidroeléctrica de 7,0 MW denominado PH Mulatos II. El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Tarso, Antioquia. En la Figura 1 se muestra una localización general del proyecto.

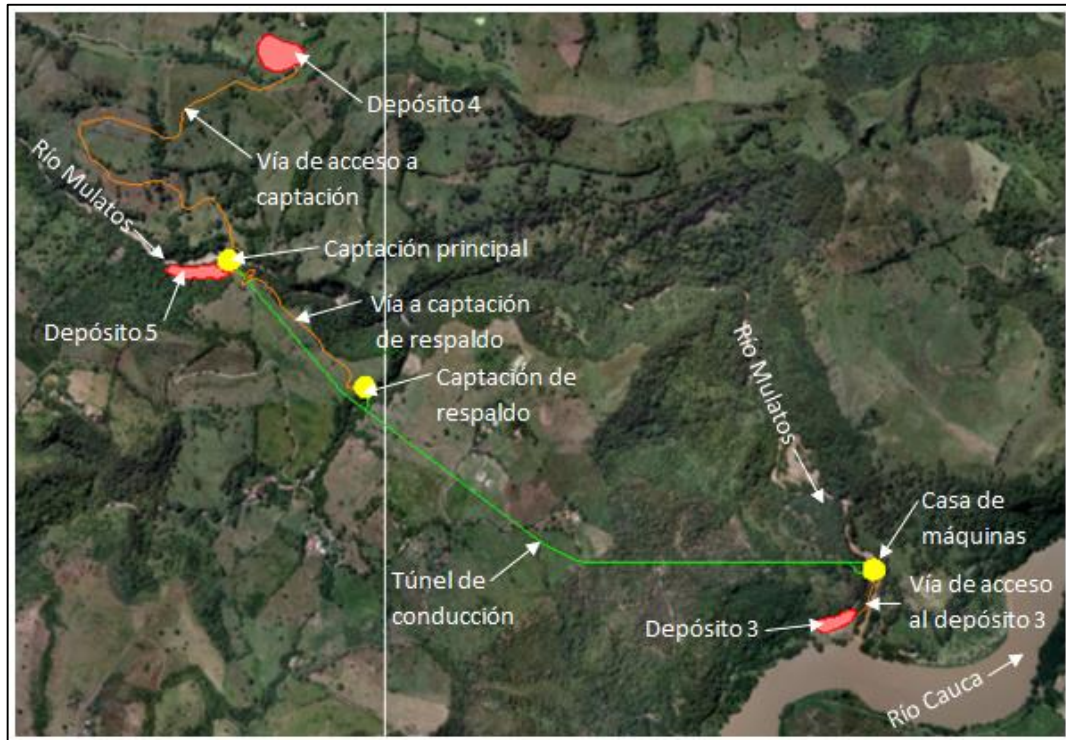


Figura 1. Esquema general del proyecto

Para la ejecución del proyecto es necesaria la construcción de diferentes obras, cada una de estas se describe a continuación.

6.4.1.1 Obras de derivación

Ubicadas en el Río Mulatos sobre la cota 708 msnm, se encuentran las obras de derivación principales. Para aprovechar el caudal aportado por un afluente cercano, quebrada La Llana, se cuenta con una captación de respaldo en dicha fuente sobre la cota 738 msnm.

- **Captación principal**

Las obras de derivación principales se localizan en el río Mulatos sobre la cota 708 msnm y se conforman por un azud de crecientes, una descarga de fondo, una captación de tipo lateral, un desarenador y un tanque de carga (Figura 2).

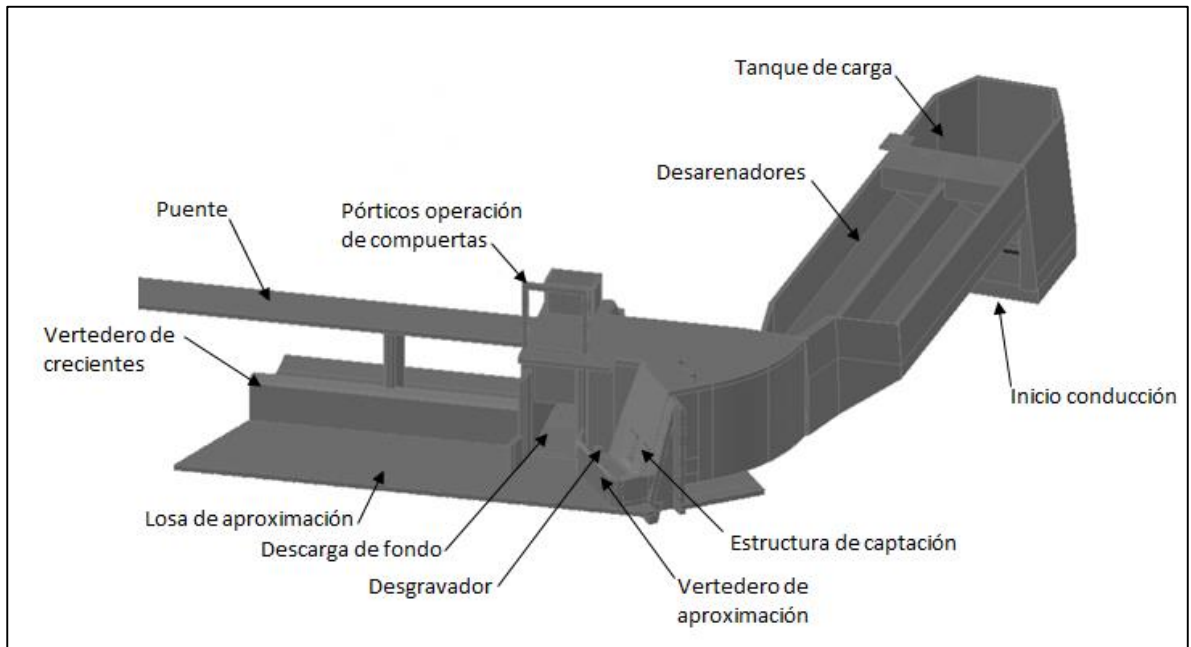


Figura 2. Esquema de la captación principal

El azud o vertedero de crecientes tiene un ancho de 25 m, una longitud de 15 m y una altura de 4 m. A la derecha del azud se ubica la descarga de fondo, la función principal de esta obra es evacuar los sedimentos que se acumulan en la zona aguas arriba de las obras. A continuación se encuentra el vertedero de aproximación que dirige el flujo hacia la toma de agua y el desgravador.

La captación lateral se compone por dos compuertas en la parte inicial por las cuales se capta el caudal de diseño de la central de 5,2 m³/s y es conducido por un canal de aducción, en donde se encuentra el orificio para evacuación del caudal ecológico y el vertedero de excesos. Al finalizar el canal se encuentra el desarenador, el cual cumple la función de sedimentar las partículas que trae el agua. El desarenador está compuesto por dos tanques, cada uno de 5,5 m de ancho y una longitud de 30 m.

Finalmente se encuentra el tanque de carga, el cual tiene una longitud de 13,65 m, un ancho de 11,5 m y una profundidad de 8 m. En esta estructura el agua es conducida hacia el pozo de presión y túnel de conducción.

Adicionalmente, sobre las obras de derivación se localiza un puente de 25 m de largo y 5 m de ancho para dar paso hacia las obras ubicadas sobre la margen derecha del río Mulatos.

Para la construcción de las obras de derivación del proyecto hidroeléctrico Mulatos II se planteó una secuencia constructiva que consta de 2 etapas, teniendo en cuenta que la vía de acceso a la captación principal, el paso provisional sobre el Río Mulatos y la vía de acceso a la captación de respaldo ya se encuentran construidos.

En primera instancia se deben construir las obras necesarias para el manejo del río en la margen derecha, estas obras corresponden a un muro en concreto ciclópeo, una ataguía y un muro en tierra armada, las cuales se elevan hasta la cota 712 msnm. Ya que estas obras interrumpen el paso hacia la vía de acceso a la captación de respaldo, las ataguías y el muro en tierra armada se diseñaron para que se pueda transitar sobre éstas y garantizar el paso hacia las obras en la quebrada La Llana.

Una vez construidas estas obras se deben realizar las excavaciones en la margen derecha del río necesarias para la construcción del tanque de carga, la captación, la descarga de fondo y el primer módulo del azud.

Los taludes de las excavaciones en la zona del tanque de carga y desarenadores tienen una altura vertical inicial de máximo 4 m, seguido por un talud con pendiente de 0,33H:1V que se extiende hasta la cota 712 msnm donde se dispone de una berma de 2 m de ancho y por último un talud con pendiente 0,5H:1V en la parte superior. En la zona de la captación, la descarga de fondo y el vertedero la pendiente de los taludes de corte es de 0,25H:1V.

Con las excavaciones en margen derecha conformadas se procede a construir el brocal para iniciar las excavaciones del pozo de la conducción y a construir el tanque de carga, los desarenadores, la captación, la descarga de fondo, el primer módulo del azud y el muro de cierre derecho. Seguidamente se constituye una plazoleta sobre la cota 718 msnm y el acceso a la losa de tránsito sobre la captación.

En la segunda etapa para construir los módulos que restan del vertedero de crecientes y el puente sobre las obras es necesario desviar el río por la descarga de fondo. Para esto se deben disponer unas estructuras de contención compuestas por bolsas de polietileno rellenas de suelo tanto aguas arriba como aguas abajo de los muros de la descarga de fondo. Adicionalmente se deben construir dos ataguías aguas arriba y aguas abajo de las obras a construir, conformadas con materiales provenientes de las excavaciones, y dos muros

conformados por sacos de polietileno rellenos de suelo cemento. La cota superior de estas estructuras es la 712 msnm. Cabe resaltar que una vez se inicie esta etapa, el paso sobre el río Mulatos se verá interrumpido por lo que las obras en la quebrada La Llana deberán estar terminadas.

Una vez realizado el desvío del río se deben iniciar las excavaciones de los módulos restantes del azud y de los muros de cierre en la margen izquierda y posteriormente su construcción. Los taludes para la excavación de lo que resta del vertedero y los muros de cierre en la margen izquierda tienen pendientes de 0,25H:1V y 0,5H:1V respectivamente. Teniendo estas obras construidas se procede a construir el puente sobre el vertedero de crecientes que restablecerá el paso hacia las obras de la captación de respaldo.

▪ Captación de respaldo

La captación de respaldo está diseñada para captar un caudal de 1 m³/s de la quebrada La Llana para incluirlo, a través de un pozo, al caudal captado en las obras de derivación principales. En la Figura 3 se muestra el esquema de la captación de respaldo.

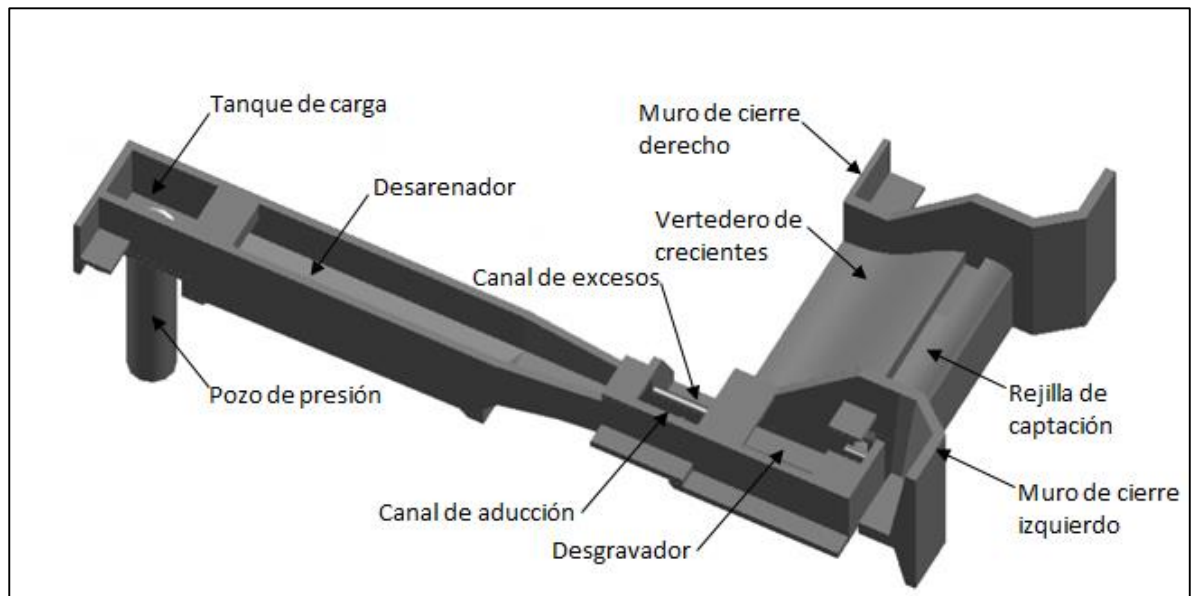


Figura 3. Esquema de la captación de respaldo

Esta obra está compuesta por una bocatoma de rejilla de fondo localizada sobre la cresta del azud. El azud tiene un ancho de 10 m, una longitud de 8,3 m y una altura de 2 m. Bajo la rejilla se localiza un canal colector que conduce el caudal

hacia el desgravador localizado a la izquierda del vertedero, en él se decantan las partículas más gruesas.

A continuación se ubica el canal de aducción que conduce el agua hacia el desarenador, el canal tiene unas dimensiones de 1,5 m de ancho, 4,5 m de largo y 2,3 m de alto. En el muro derecho de este canal se ubica el vertedero de excesos y un orificio para la evacuación del caudal ecológico. El desarenador tiene una longitud de 15 m, un ancho de 2,5 m y una profundidad de 1,55 m.

Al final del desarenador se encuentra el tanque de carga de 4,2 m de largo, 2,5 m de ancho y 1,95 m de alto. En este tanque se ubica un pozo de 95,15 m de profundidad y diámetro interno de 1,6 m que se encarga de llevar el agua hasta el túnel de conducción.

Las excavaciones necesarias para la construcción de las obras tienen taludes con pendientes de 0,25H:1V en la parte inferior y un talud con pendiente de 0,5H:1V con una berma de 4,5 m de ancho a los 10 m de altura en la parte superior.

6.4.1.2 Obras de conducción

La conducción del proyecto tiene una longitud total de 2.431 m, ésta comienza con un pozo de 32,45 m de altura y 2,1 m de diámetro interno, revestido en concreto de 0,25 m de espesor. Luego del pozo continúa un túnel con sección en bóveda de 2,8 m de diámetro, pendiente del 5% y 2.140 m de longitud de los cuales 2.105 m hacen parte de un túnel a presión y 35 m consisten en un blindaje en tubería metálica de 1,5 m de diámetro embebida en concreto.

Después de este tramo (abscisa 2+140) la conducción continúa por un tramo de 271 m en tubería GRP (Poliéster reforzado con fibra de vidrio), instalada en un túnel con sección en bóveda de 3 m de diámetro con pendiente del 5%. Luego de la tubería GRP, continúa un tramo de 16,5 m en tubería metálica de 1,2 m de diámetro y finaliza en un distribuidor también metálico de 3,5 m de longitud y 1 m de diámetro que alimenta la unidad de generación de la central.

Para conectar el pozo que viene de la captación de respaldo, se cuenta con un túnel en bóveda de diámetro 2,8 m que se une a la conducción en la abscisa 0+637,8.

Se considera una ventana de construcción de 63 m de largo, en la zona de casa de máquinas que se conecta al túnel principal en la abscisa 2+370,99. La ventana tiene una sección en bóveda de 3 m de diámetro y una pendiente del 3%.

6.4.1.3 Casa de máquinas

La casa de máquinas del proyecto se ubica en la margen derecha del río Mulatos sobre la cota 545,8 msnm. Es superficial y cuenta con dos niveles: el piso principal en la cota 546 msnm y el nivel 551,4 msnm donde se ubican la sala de control y las oficinas.

La obra tiene una longitud de 31 m, un ancho de 15 m y una altura de 14,5 m. La casa de máquinas consta de un sistema de fundación en pilas, una estructura aporticada con una serie de ménsulas en las columnas para el soporte de la viga riel del puente-grúa de 63 toneladas de capacidad de izaje.

En la casa de máquinas estará instalada una unidad de generación, compuesta por una turbina Pelton de eje vertical de 7,0 MW con el eje localizado en la cota 546,85 msnm, un generador y un transformador trifásico instalado en el exterior.

La descarga del agua se realizará a través de un foso de descarga controlado por un vertedero. El canal de descarga tiene una longitud de 9 m, un ancho de 2,5 m y una altura de 2,5 m. La descarga se realiza 20 m aguas arriba del puente sobre el río Mulatos, antes de que éste confluya en el río Cauca.

En la plazoleta de casa de máquinas se ubica una caseta dividida en tres espacios la cual alberga el grupo electrógeno, el almacenamiento de combustible y el almacenamiento de residuos.

La subestación eléctrica de alta tensión (44 kV), está localizada en una plazoleta frente a la casa de máquinas en la margen derecha de la vía que va de Peñalisa a Puente Iglesias.

Para la construcción de la casa de máquinas y la subestación, es necesario primero explanar una plazoleta para cada una de estas obras.

La plazoleta de casa de máquinas cuenta con un área de 1.695 m² sobre la cota 546 msnm, ésta se localiza en el costado derecho de la vía que de Peñalisa conduce a Puente Iglesias, 20 m después del puente sobre el río Mulatos.

El talud necesario para la construcción de la plazoleta se compone por un talud inferior con pendiente 0,4H:1V de 10 m de altura, una berma de 4 m de ancho y un talud superior con pendiente 0,87H:1V. El tratamiento geotécnico del talud consta de una fase en concreto lanzado de 0,1 m de espesor reforzado con malla electrosoldada.

La plazoleta necesaria para la ubicación de la subestación del proyecto, está ubicada en la cota 546 msnm, en la margen derecha de la vía que conduce de Peñalisa a Puente Iglesias. Esta plazoleta tiene un área de 490 m² y cuenta con un talud de 3 m de altura.

6.4.1.4 Obras de infraestructura

Las obras de infraestructura están compuestas por las vías de acceso y los depósitos para el material sobrante de las excavaciones.

▪ Vía de acceso a la captación principal

Para acceder a la captación principal del proyecto es necesario construir una vía, la cual se desprende de la vía que conduce desde Peñalisa hasta el municipio de Tarso en el km 5+500 aproximadamente y llega por la margen izquierda del río mulatos al sitio de la captación. Esta vía tiene una longitud de 1.685 m y finaliza en un paso provisional sobre el Río Mulatos para el acceso a las obras de captación en el costado derecho del río.

La sección típica de esta vía consiste en una banca de 5 m de los cuales 3,5 m corresponden a la calzada y los 1,5 m restantes a cunetas de 0,75 m de ancho en ambos lados de la vía. La estructura de pavimento consta de 2 capas, sub-base y afirmado, cada una de 0,2 m de espesor. Además se definieron taludes de corte con pendiente 0,5H:1V y de 2H:1V para lleno a excepción del el tramo entre las abscisas 0+555 y 0+580, que será de 0,25H:1V en la margen derecha de la vía, el tramo entre las abscisas 1+570 y 1+640, que será de 0,75H:1V a ambos lados de la vía y el tramo entre las abscisas 1+640 y 1+685, que será de 1H:1V a ambos lado de la vía.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de diseño de la vía entre los cuales se encuentran la velocidad de diseño, radio mínimo, bombeo, pendiente longitudinal máxima, longitud mínima de curva horizontal y los parámetros para curvas verticales.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la vía de acceso a la captación principal

ESPECIFICACIONES VÍA	
Velocidad de diseño	30 km/h
Superficie de rodadura	Afirmado
Radio mínimo	20 m
Banca	5,0 m
Ancho de calzada	3,5 m
Bombeo	3%
Pendiente longitudinal máxima	21%
Longitud mínima de curva horizontal	16 m
Longitud mínima de curva vertical	40 m
K mín para curva cóncava	1
K mín para curva convexa	1

En cuanto a la geotecnia, la vía cuenta con un tratamiento de taludes que consiste en una interfaz de concreto lanzado sin refuerzo de 0,07 m de espesor en el tramo entre las abscisas 0+555 y 0+580 y el resto de los taludes es tratado con revegetalización en agromanto de coco y/o fique.

El paso provisional sobre el río Mulatos consiste en una estructura en concreto ciclópeo con rasante de baja altura respecto al fondo del cauce, complementada con cinco tuberías de Rib Steel de 1,2 m de diámetro que permiten el paso de los caudales normales del río. El ancho de la estructura es de 4 m y tiene una longitud de 16,5 m.

▪ **Vía de acceso a la captación de respaldo**

La vía de acceso a las obras de captación de respaldo es necesaria la construcción de una vía que comienza en la captación principal y continúa hasta las obras en la quebrada La Llana. Esta vía ubicada en la margen derecha del río tiene una longitud total de 840m, de los cuales 450m comprenden una banca existente de una antigua vía. En este tramo la vía se ajusta a las curvas y pendientes del sitio pero se adapta para el tránsito de vehículos durante la construcción del proyecto, garantizando el ancho de la banca de 4 m en todo su

recorrido, suministrando los drenajes y cunetas necesarias. La vía tendrá una pendiente máxima del 20% y taludes de corte de 0,5H:1V cuentan con un tratamiento de revegetalización en agromanto de coco y/o fique.

- **Vía de acceso al depósito 3**

Para acceder al depósito 3 es necesario construir una vía industrial de aproximadamente 115 m y 5 m de ancho de banca. Esta vía se encuentra dispuesta de forma que facilita el tránsito de los vehículos provenientes del frente de excavación en la casa de máquinas, ya que únicamente tienen que atravesar la vía existente que conduce de Peñalisa a Puente Iglesias y continuar con su desplazamiento hacia el depósito sin realizar maniobras y giros complicados. Los taludes de corte para esta vía tienen una pendiente de 0,5H:1V y de 2H:1V para lleno.

- **Depósito 5**

El depósito 5 se ubica cerca de las obras de captación por lo que en éste se dispondrán las excavaciones provenientes de estas obras además de las provenientes de las excavaciones en la captación de respaldo. El depósito tiene una capacidad de 17.500 m³ con una plazoleta de 2.750 m² en la cota 720 msnm y una altura de 6 m. La pendiente del talud del depósito es de 2H:1V.

- **Depósito 4**

Para la disposición final de las excavaciones de las vías de acceso, se cuenta con un depósito ubicado en ubicado en la margen derecha de la vía que va de Peñalisa hasta el municipio de Tarso, cercano al inicio de la vía de acceso principal. El depósito tiene una capacidad de 39.790 m³ con una plazoleta, ubicada en la cota 870 msnm, de 3780 m² y una altura total de 20 m. La pendiente del talud del depósito es de 4H:1V, por lo que no se requieren bermas y se facilita la siembra de vegetación.

- **Depósito 3**

Para la disposición final del material sobrante de las excavaciones de la casa de máquinas, subestación y túnel de conducción, se cuenta con un depósito ubicado en la margen izquierda de la vía que va de Peñalisa hasta Puente Iglesias. El depósito tiene una capacidad de 29.700 m³ con una plazoleta, ubicada en la cota

550 msnm, de 3.025 m² y una altura total de 10 m. La pendiente del talud del depósito es de 1.5H:1V.

6.4.2 Modelo de las obras de infraestructura

Inicialmente, se utiliza el software **AutoCAD Civil 3D** para la elaboración de los modelos BIM de las obras de infraestructura anteriormente mencionadas (vías de acceso y depósitos de material), así como las excavaciones de las obras de derivación y la casa de máquinas.

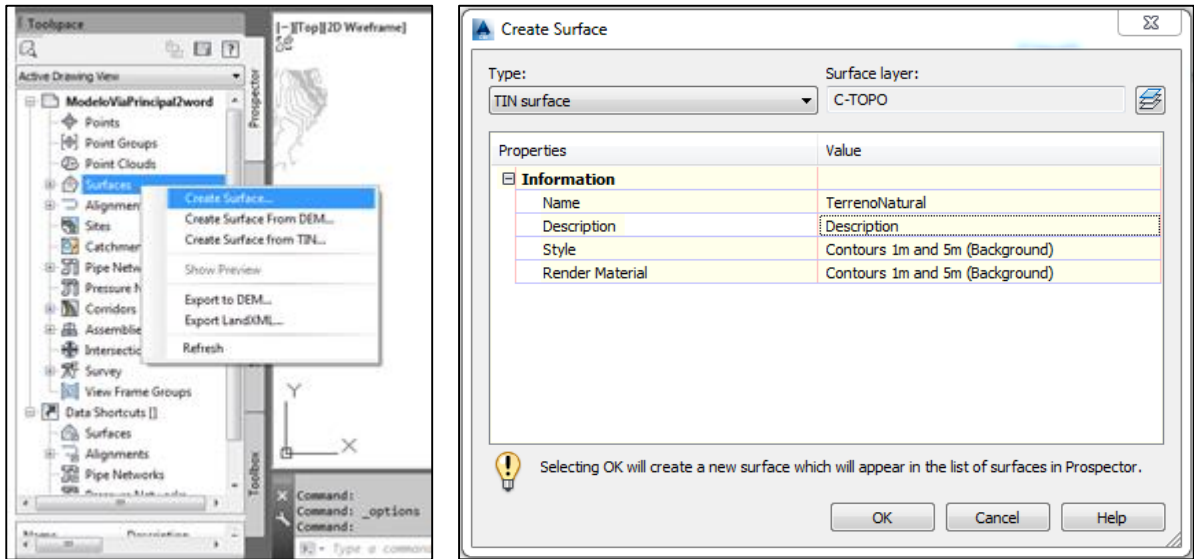
6.4.2.1 Vía de acceso a la captación principal

El modelo de la vía se realiza siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

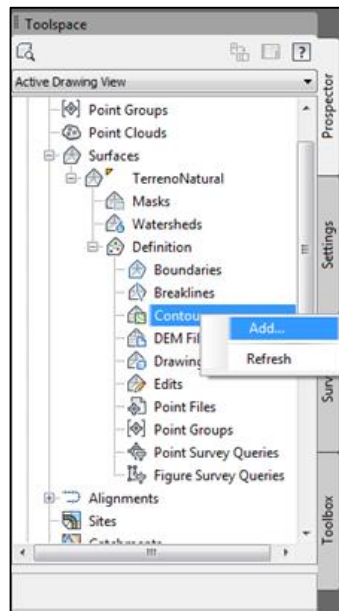
1) Modelo del terreno

A partir de las curvas de nivel de la base topográfica, se genera una superficie 3D del terreno natural (Figura 4).

Paso I. En la pestaña *Prospector* del *Toolspace*, se crea la superficie del terreno dando clic derecho en el título *Surfaces*, *Create Surface*. A esta superficie se le da un nombre y define un estilo de visualización.



Paso II. En el título *Surfaces*, se expande la lista desplegable de la superficie creada y en el título *Definition*, se da clic derecho en la opción *Contours* para definir la superficie del terreno a partir de las curvas de nivel del levantamiento topográfico.



Paso III. Para definir el contorno de la superficie, es necesario agregar una frontera dando clic derecho en la opción *Boundaries* de la lista desplegable de la superficie creada y se selecciona la línea de frontera del levantamiento.

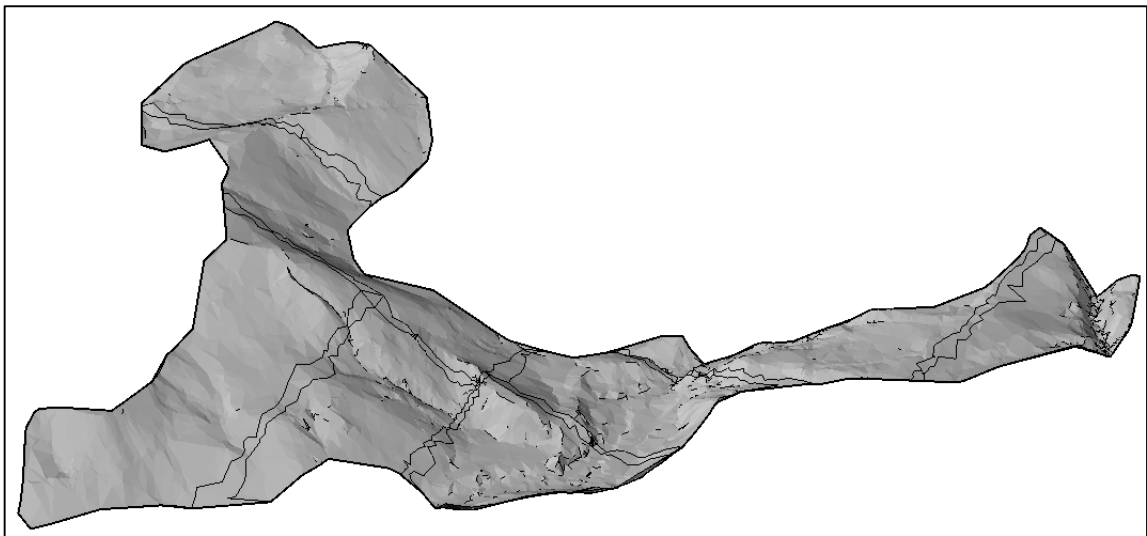
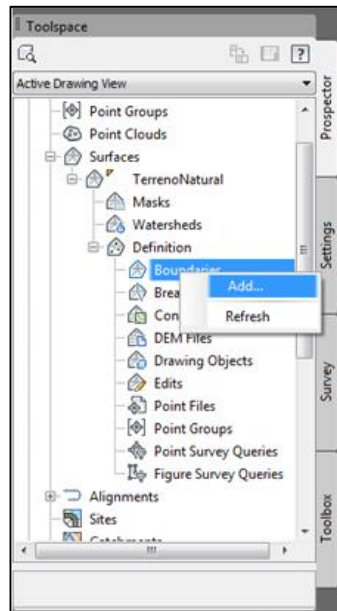


Figura 4. Superficie del terreno en la zona de captación

2) Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal representa todos los elementos en planta de la vía, para esto es necesario introducir los parámetros correspondientes a radios y longitudes de las curvas, y tangentes; teniendo en cuenta las especificaciones de la vía citadas en la Tabla 1.

Paso I. Se toma como base una línea de pendientes, trazada de acuerdo con las condiciones del terreno y a partir de la cual se obtiene la línea de Pis mostrada en la Figura 5.

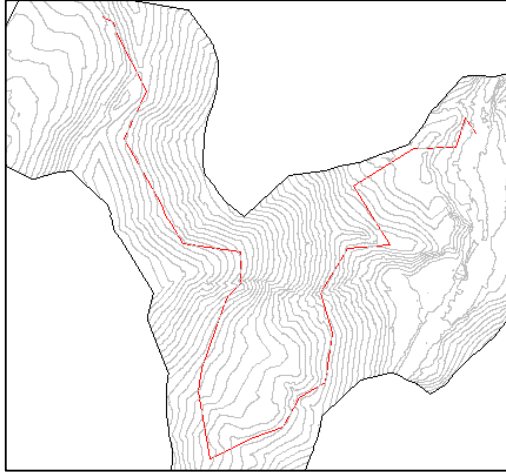
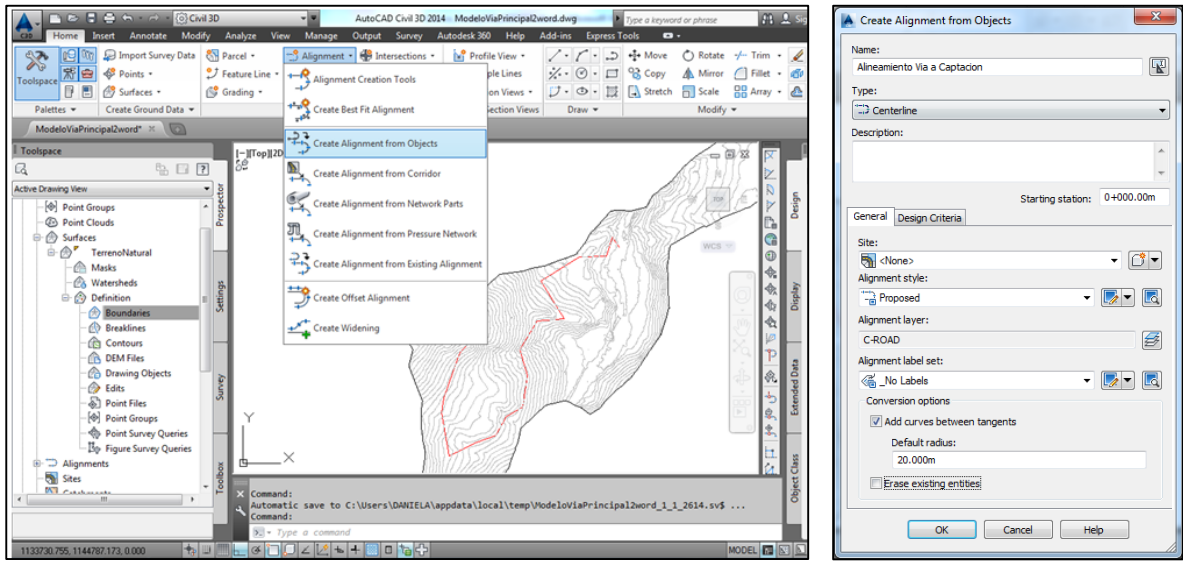
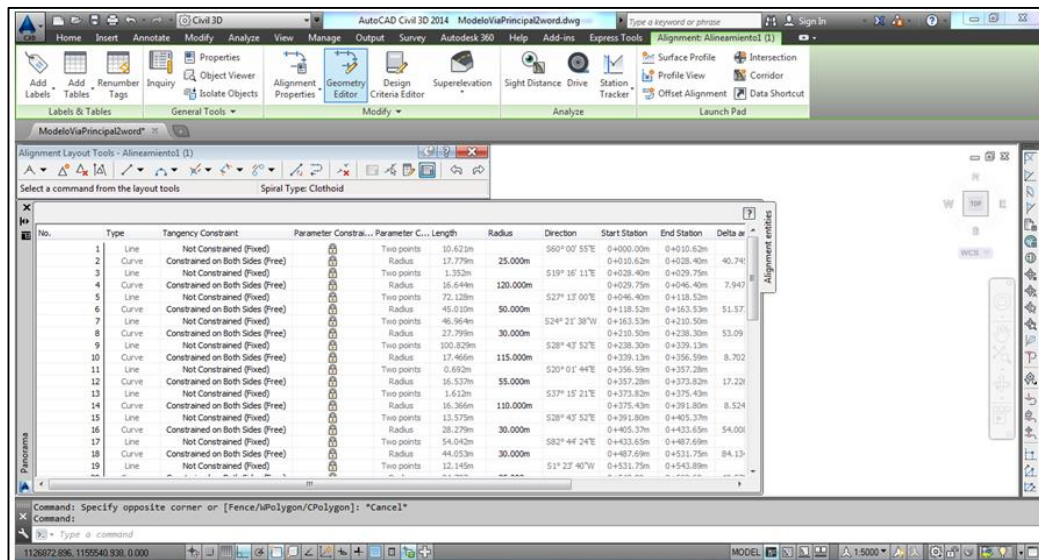


Figura 5. Línea de Pis de la vía de acceso a la captación principal

Paso II. En el panel *Create Design*, se despliega la herramienta *Alignment*, se escoge la opción *Create alignment from objects* y se selecciona la línea de Pis estableciendo el sentido del abscisado. En este paso también se establece el estilo de presentación del alineamiento y se establece un radio por defecto para las curvas.



Paso III. Para editar la geometría del alineamiento, se selecciona el alineamiento y en el panel *Modify*, se da clic a la herramienta *Geometry Editor*. Con el uso de esta barra se pueden agregar y modificar, Pís y curvas. En esta barra se selecciona la tabla para visualizar los elementos del alineamiento, allí se le asignan los radios de las curvas, garantizando que cumplan con los parámetros de diseño.



En la Figura 6 se muestra el alineamiento horizontal. Este alineamiento al ser elaborado en el software BIM, se actualiza automáticamente a medida que se presenten cambios en su longitud, ubicación de Pís, radio de curvas, entretangencias, etc.

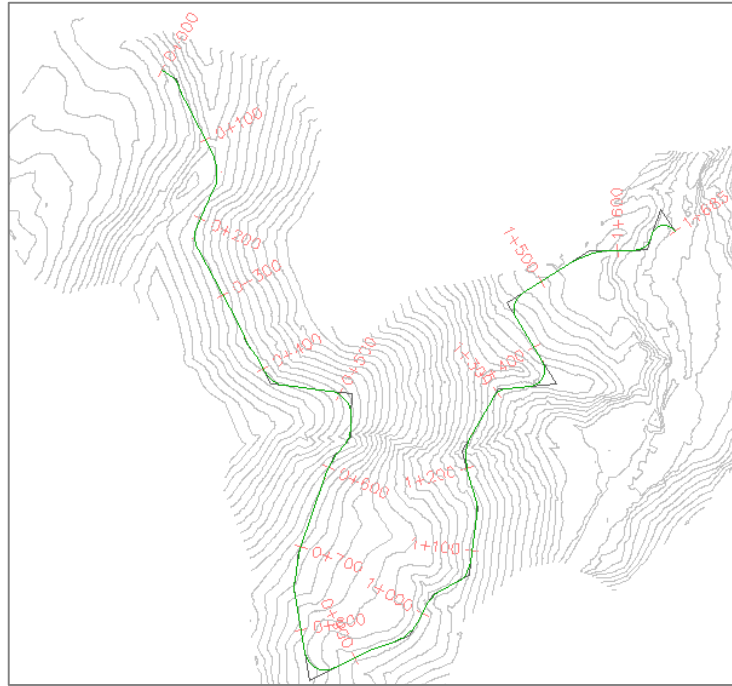
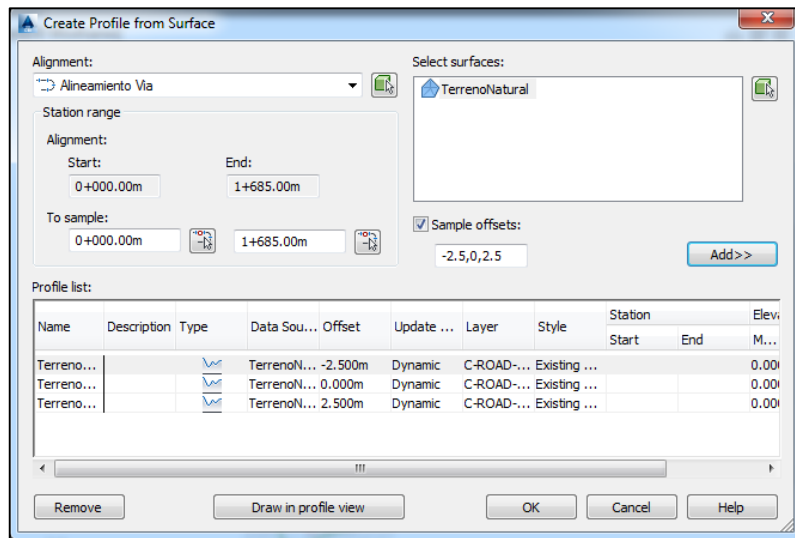
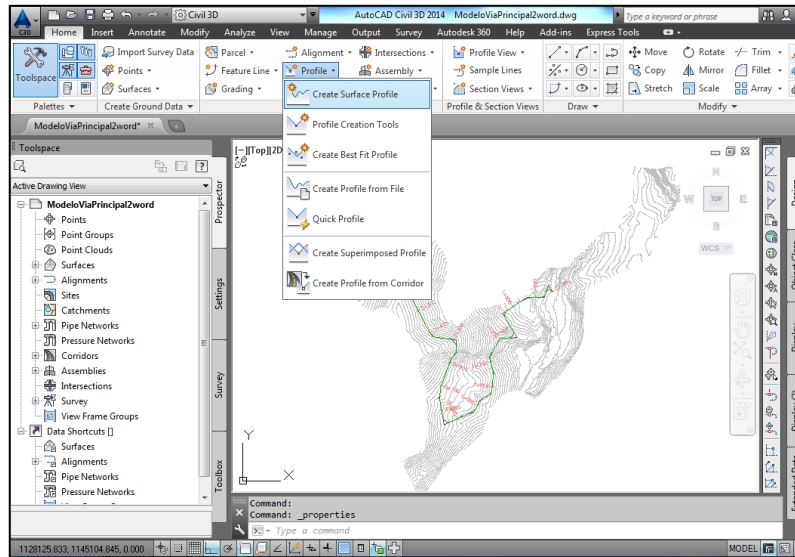


Figura 6. Alineamiento horizontal de la vía de acceso a la captación principal

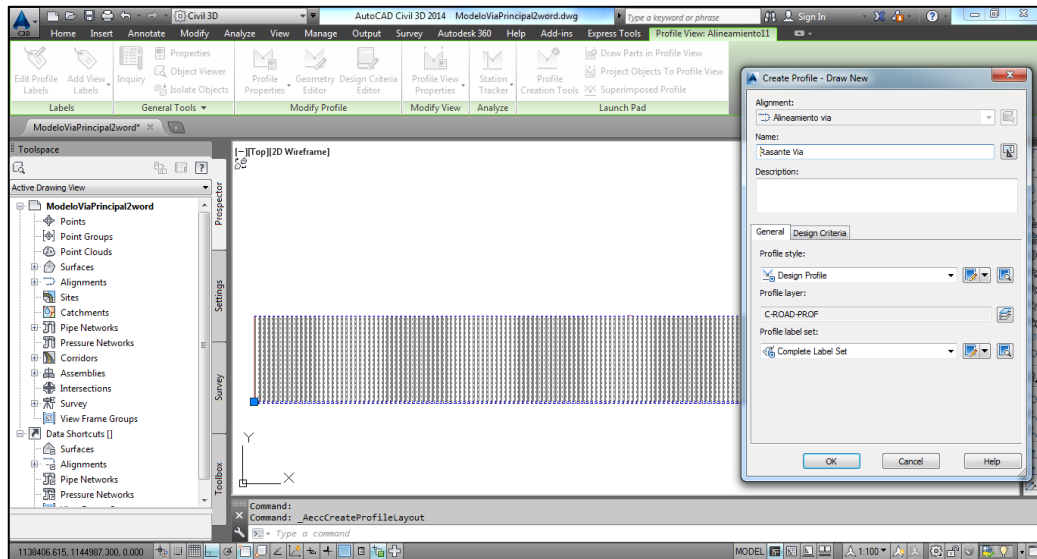
3) Alineamiento vertical

Teniendo la superficie del terreno y el alineamiento horizontal, se procede a crear el perfil del terreno natural y la rasante de la vía.

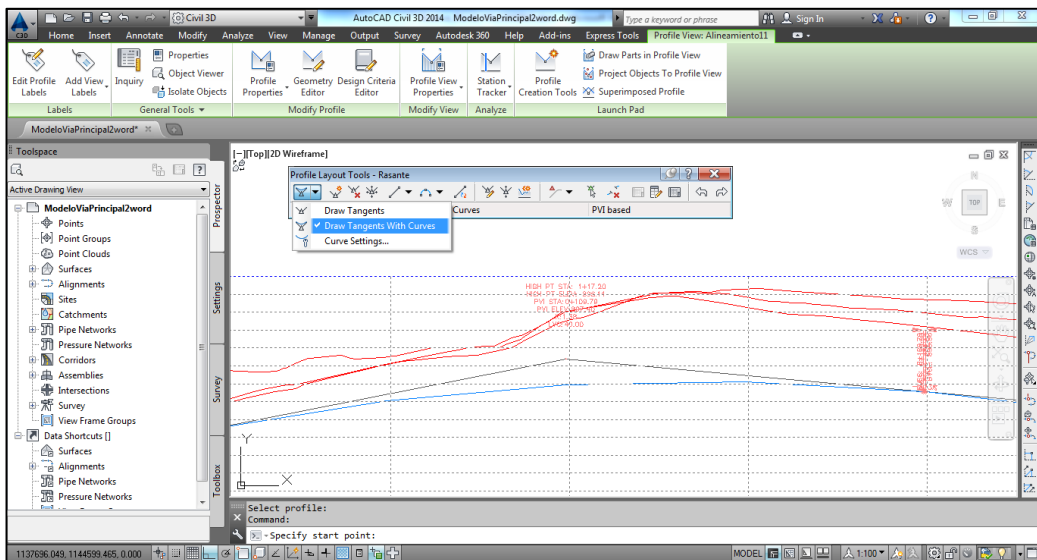
Paso I. Para crear el perfil del terreno, en el panel *Create Design*, se despliega la herramienta *Profile*, y se escoge la opción *Create Surface Profile*. En el panel que se despliega se elige el alineamiento y la superficie con los cuales se va a trazar el perfil, conjuntamente se crean los perfiles correspondientes a los bordes de la vía.



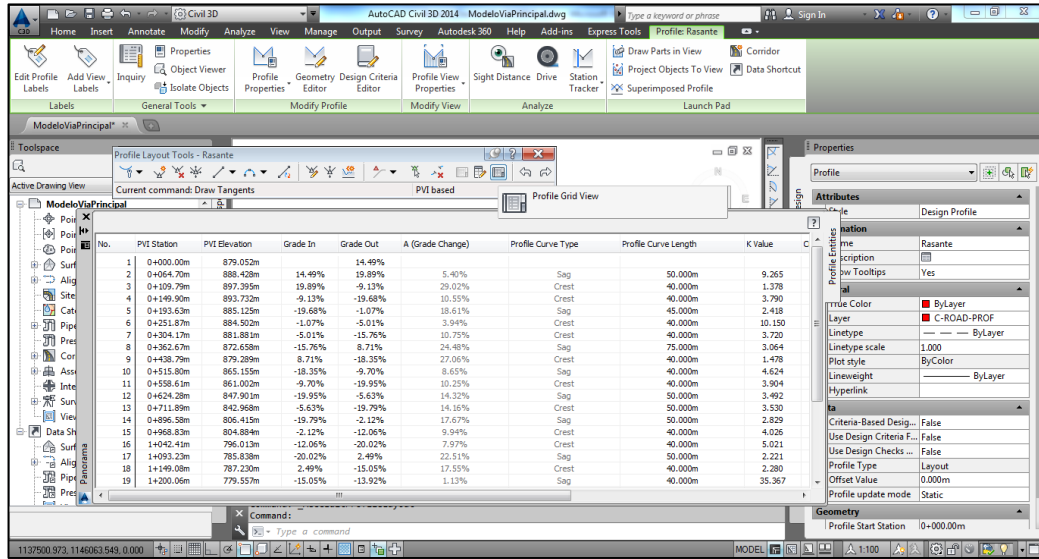
Paso II. Teniendo el perfil del terreno natural, se da el nombre a la rasante de la vía y se elige el estilo de visualización, seleccionando el perfil y utilizando la herramienta *Profile Creation Tools* del panel *Launch pad*.



Paso III. Para generar la rasante de la vía, se selecciona el perfil y en el panel *Modify Profile*, se da clic a la herramienta *Geometry Editor*. Con el uso de esta barra de herramientas se crean las tangentes y curvas verticales ajustándose al perfil del terreno, procurando disminuir cortes y llenos.



Paso IV. Para editar la geometría del alineamiento vertical (agregar y modificar, Pis y curvas verticales), se despliega la tabla para visualizar los elementos del alineamiento, allí se le asignan los valores de k y longitud para cada una de las curvas, garantizando que cumplan con los parámetros de diseño.



En la Figura 7, se muestra un fragmento del perfil del terreno y la rasante generados con dichas herramientas.

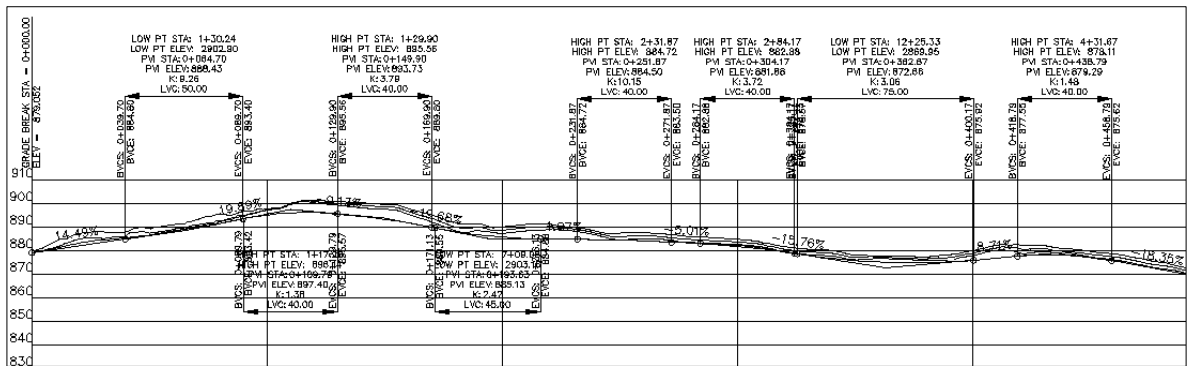


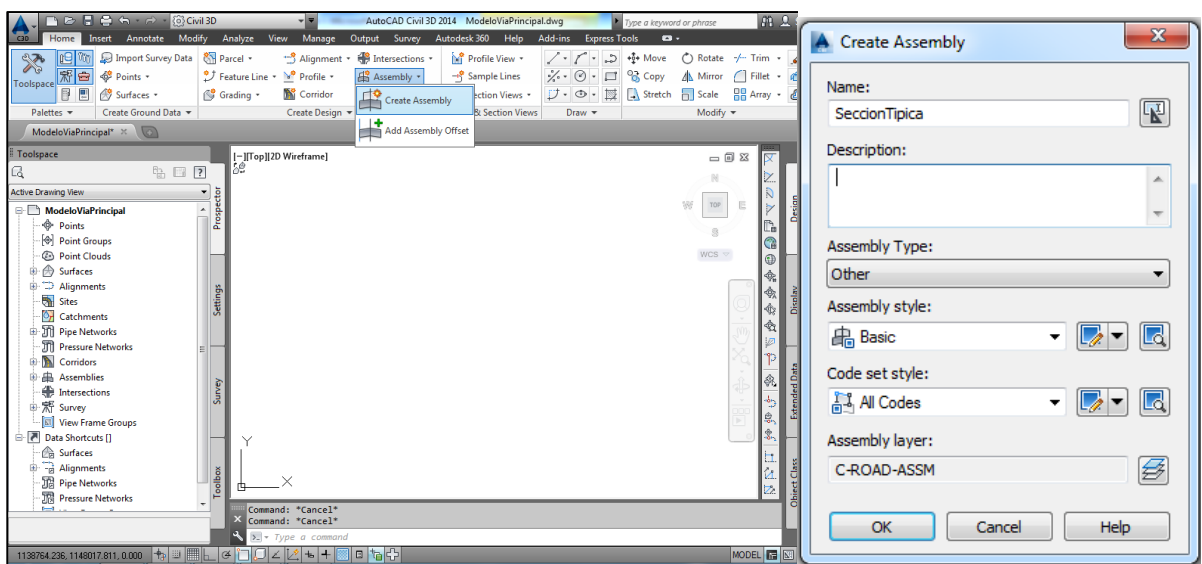
Figura 7. Alineamiento vertical de la vía de acceso a la captación principal

El perfil del terreno natural, al estar ligado al alineamiento horizontal y a la superficie del terreno, se actualiza automáticamente si se presentan cambios en alguna de estas entidades. A su vez, la rasante muestra las pendientes y datos de las curvas que se actualizan a medida de que se realicen modificaciones.

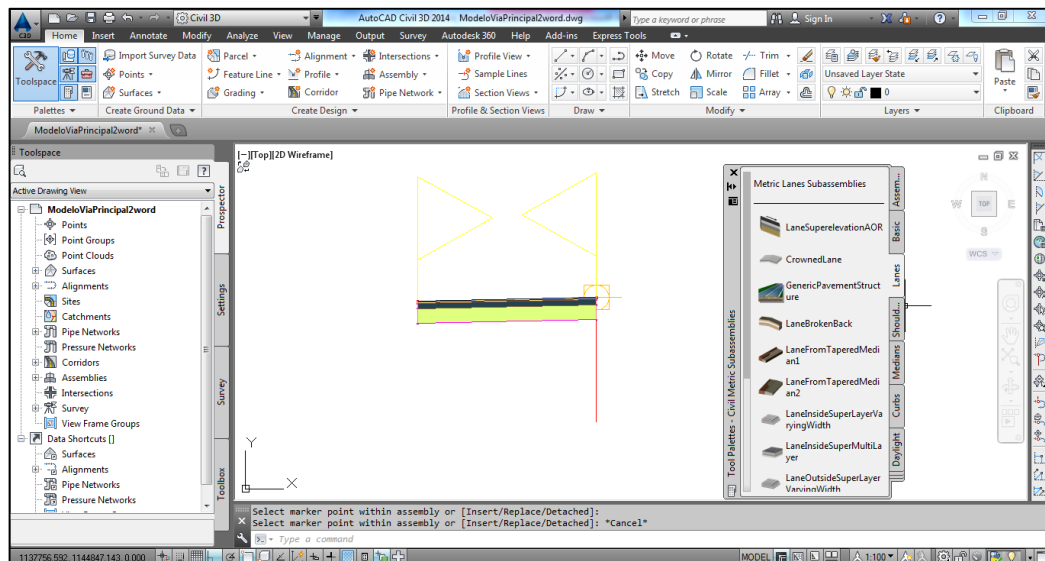
4) Ensamblajes

Para representar los tipos de secciones transversales presentes de la vía es necesaria la creación de ensamblajes, teniendo en cuenta los diferentes elementos de la sección como estructura de pavimento, cunetas y taludes de corte y lleno.

Paso I. Se crea un ensamblaje para cada uno de los tipos de secciones transversales de la vía con la herramienta *Create assembly* del panel *Create Design*. A cada uno de los ensamblajes se le asigna un nombre y un estilo de visualización.



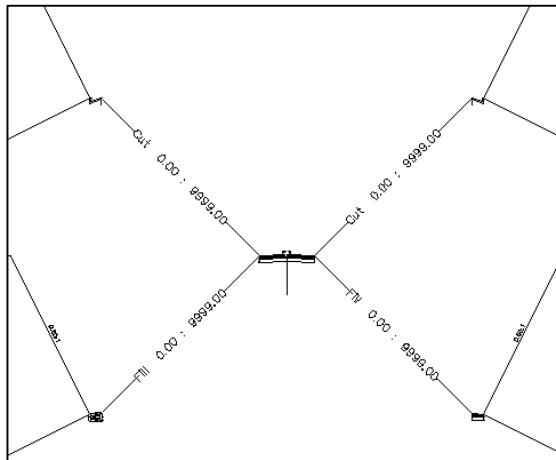
Paso II. Se asignan subensamblajes a cada uno de los ensamblajes, desplegando la paleta de subensamblajes, ésta se encuentra en el panel *Palettes*. De esta paleta se eligen los elementos que representan en las secciones transversales la estructura de pavimento, muros de contención, taludes de corte y cunetas.



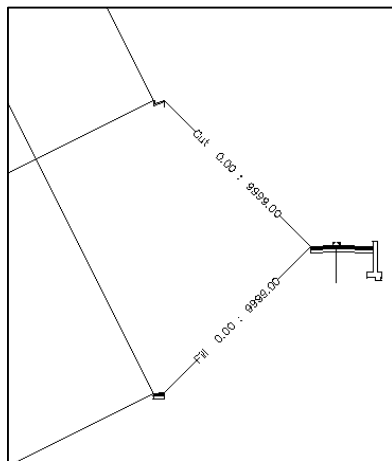
Paso III. Es necesario modificar las propiedades de los subensambles para que representen los espesores, pendientes, anchos y demás características de la vía en cada uno de los tramos.

En la Figura 8 se muestran los subensambles que se utilizaron para la modelación de la vía de acceso a la captación principal. Estos ensambles se crearon utilizando subensambles condicionales, los cuales asignan cuneta en caso de presentarse corte y berma en caso de que se presente lleno, esto representa una ventaja ya que esta diferenciación se hace de manera automática, por lo que las cantidades de obra se obtienen más fácilmente y de manera más precisa.

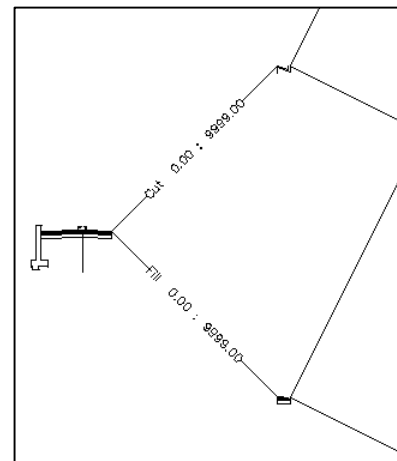
Para los tramos en los que la pendiente de los taludes variaba, se utilizaron copias del ensamble de la sección típica, donde únicamente se modificaron las respectivas pendientes de corte.



a) Sección típica



b) Muro de contención derecho



c) Muro de contención izquierdo

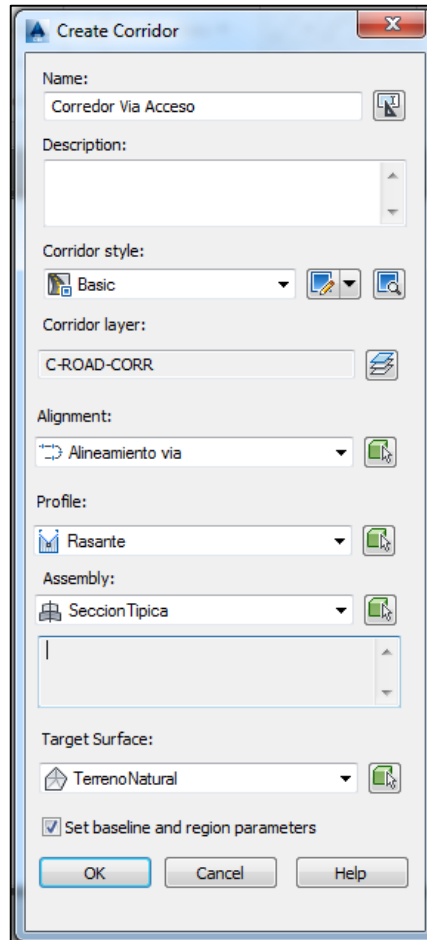
Figura 8. Ensamblés de la vía de acceso a captación principal

5) Corredor

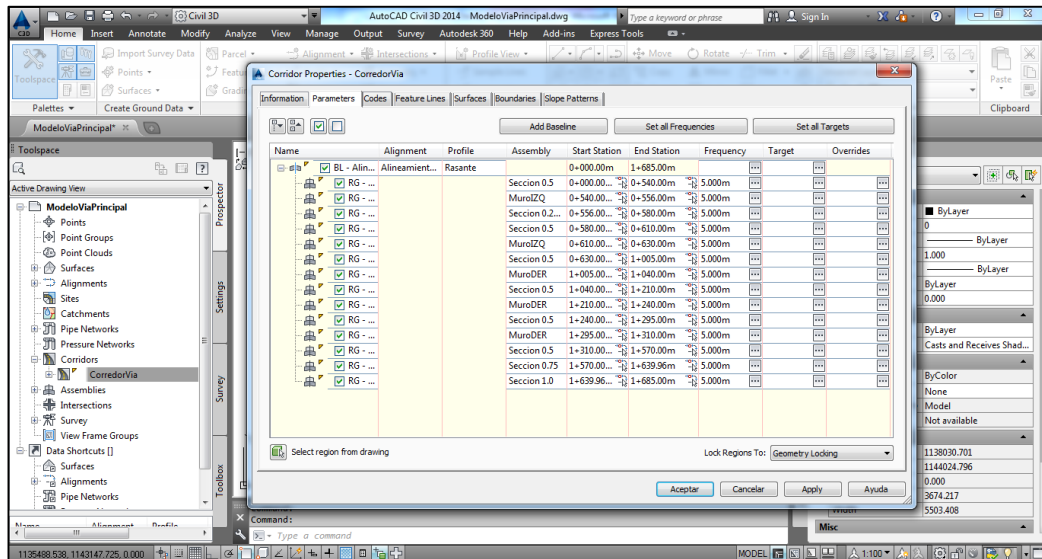
A continuación se generó un corredor, el cual es una entidad tridimensional que relaciona el alineamiento horizontal, el perfil de la vía y los ensamblés,

representando gráficamente el ancho y espesor de la vía, y los sitios de corte y lleno. En la Figura 9 se muestra el corredor de la vía de acceso a captación.

Paso I. En el panel *Create Design*, se selecciona la herramienta *Corridor*. En el cuadro que se despliega se le asigna al corredor el alineamiento horizontal objetivo, la rasante, la superficie e inicialmente un ensamblaje; además se selecciona el estilo de visualización del corredor.



Paso II. En el panel de propiedades del corredor, en la pestaña *Parameters* se asignan los ensamblajes restantes en los tramos de la vía donde se especifican las diferentes condiciones que representa cada uno de los ensamblajes.



El corredor creado se actualiza a medida que se generan cambios en el alineamiento horizontal, alineamiento vertical o ensambles que lo componen. Adicionalmente al tratarse de una entidad en 3D, ésta permite una visualización preliminar de la vía.

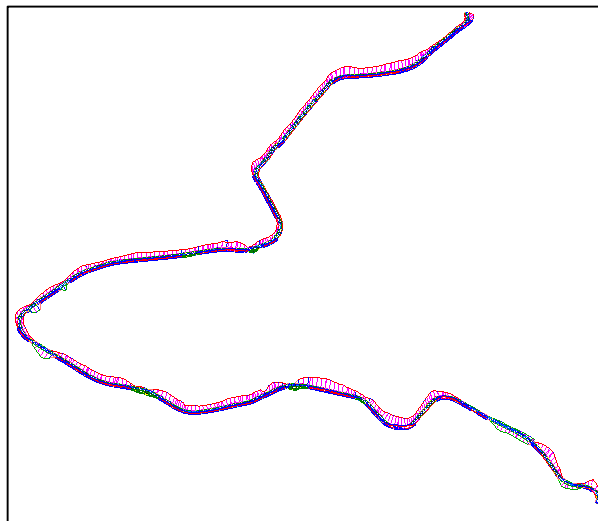
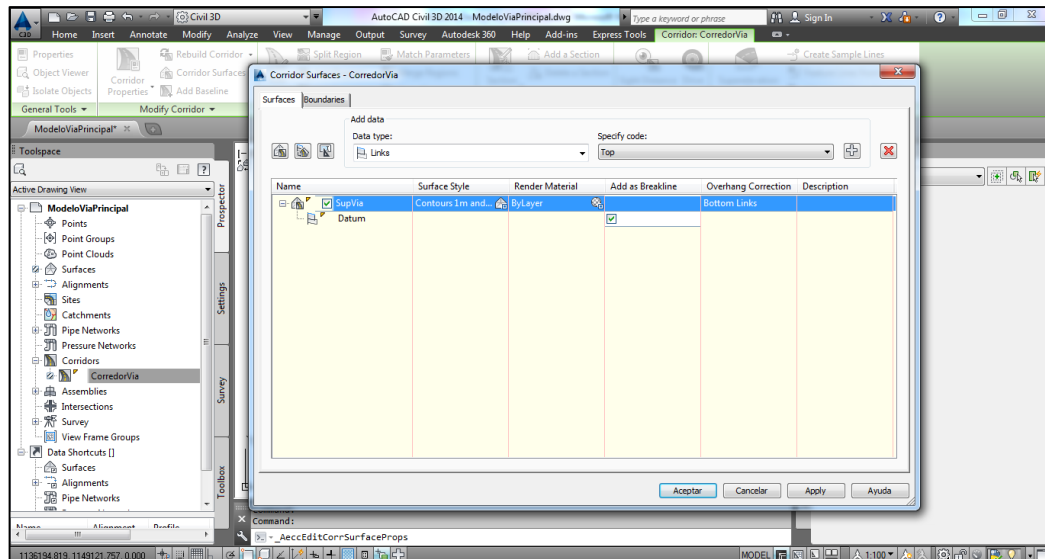


Figura 9. Ensamblaje de la vía de acceso a captación principal

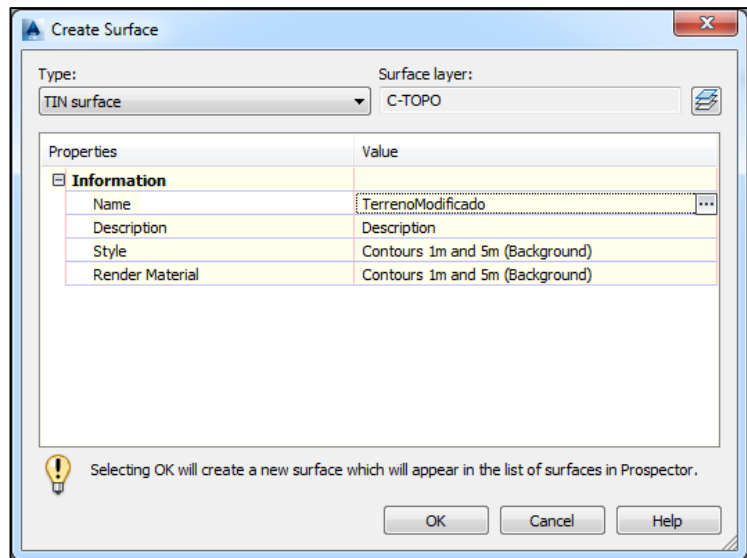
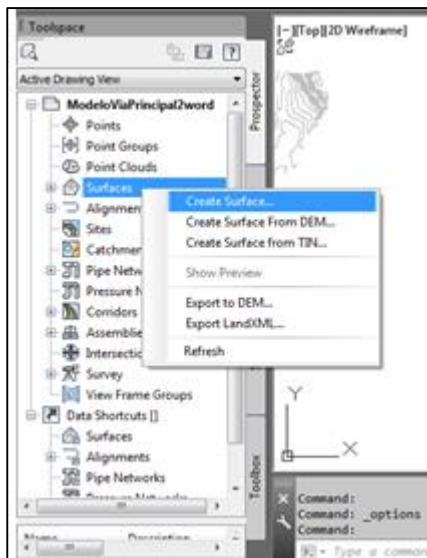
6) Superficie del terreno modificada con la vía

Paso I. Con el corredor creado es posible generar a partir de éste, una superficie seleccionando el corredor y en la barra de herramientas, en el panel *Modificar* se selecciona la herramienta *Corridor surfaces*. En la pestaña que se

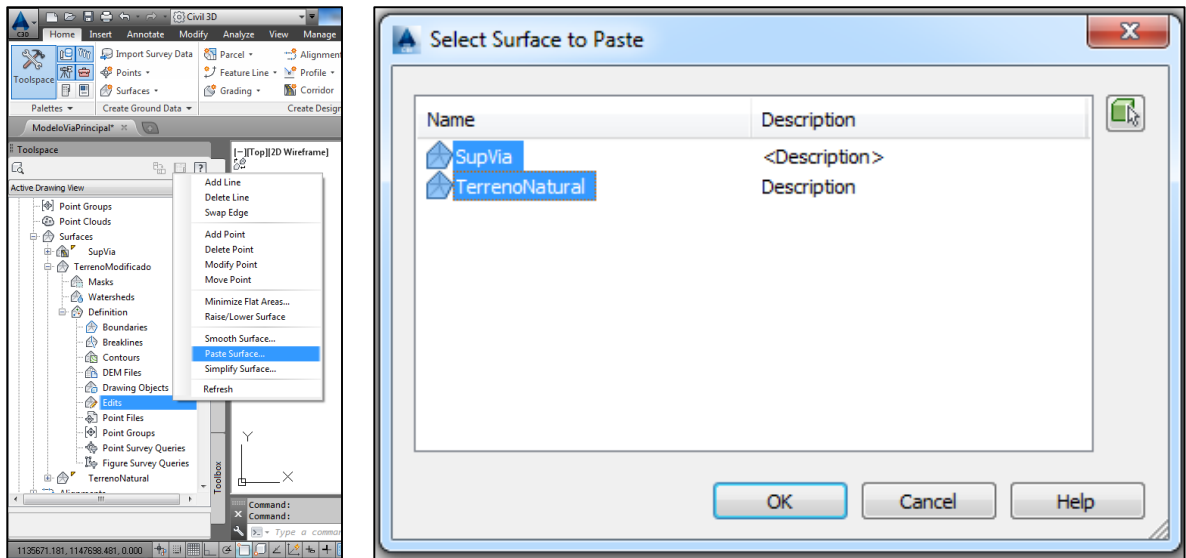
despliega, se da clic al botón de *Create a corridor surface*, a continuación se definen el tipo de datos, el estilo y la frontera que definirán la superficie.



Paso II. Con la superficie del corredor creada, en la pestaña *Prospector* del *Toolspace*, se crea una nueva superficie, para representar el terreno modificado con la vía, tal como se creó la superficie del terreno natural. A esta superficie se le da el nombre de terreno modificado y define un estilo de visualización.



Paso III. En el título Surfaces, se expande la lista desplegable de la superficie creada y en el título Definition, se da clic derecho en la opción Edits y se pegan tanto la superficie del terreno natural como la superficie del corredor.



En la Figura 10 se muestra la superficie con el terreno modificado.

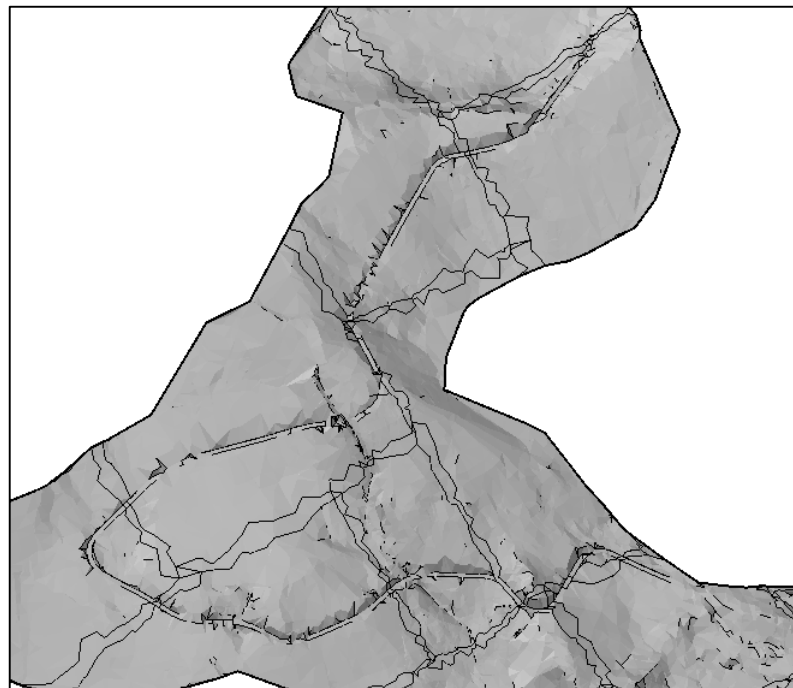


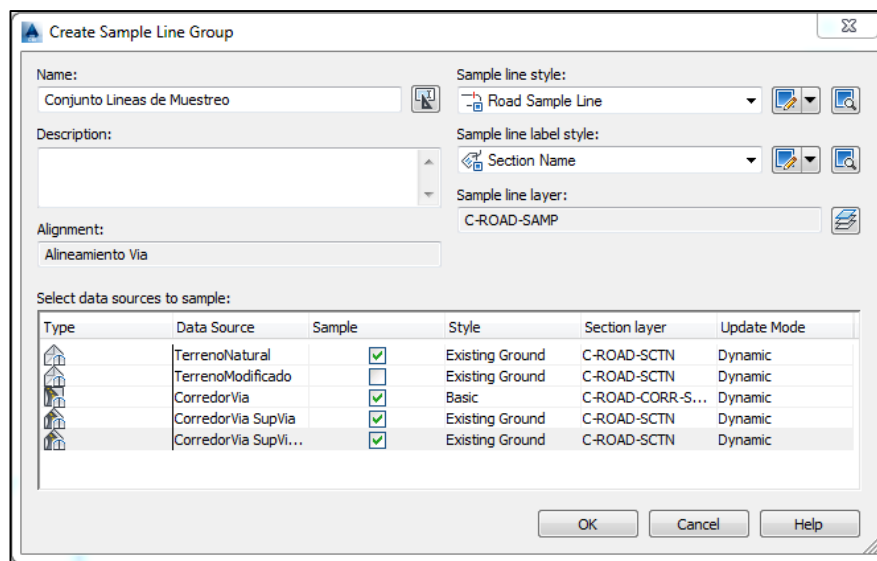
Figura 10. Superficie del terreno modificado

Cabe resaltar que como todas las otras entidades mencionadas anteriormente, esta superficie se reconstruye automáticamente con los cambios que se presenten en las partes que la conforman.

7) Secciones transversales

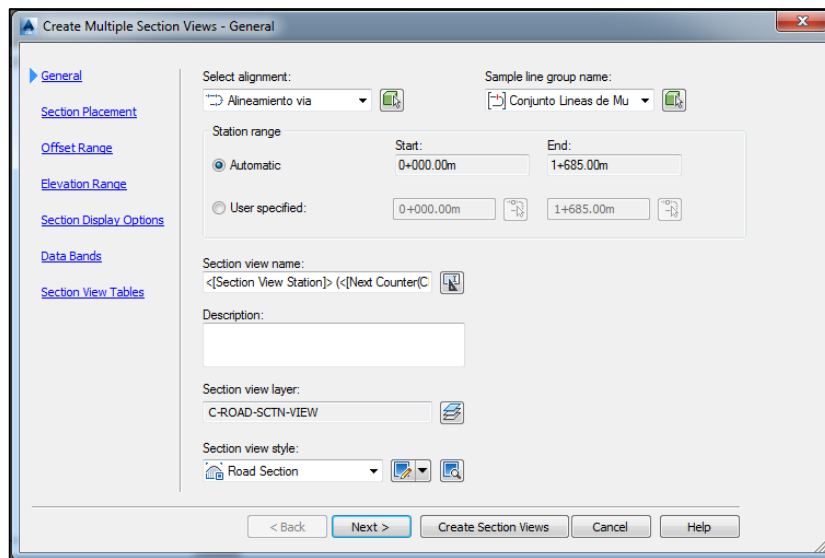
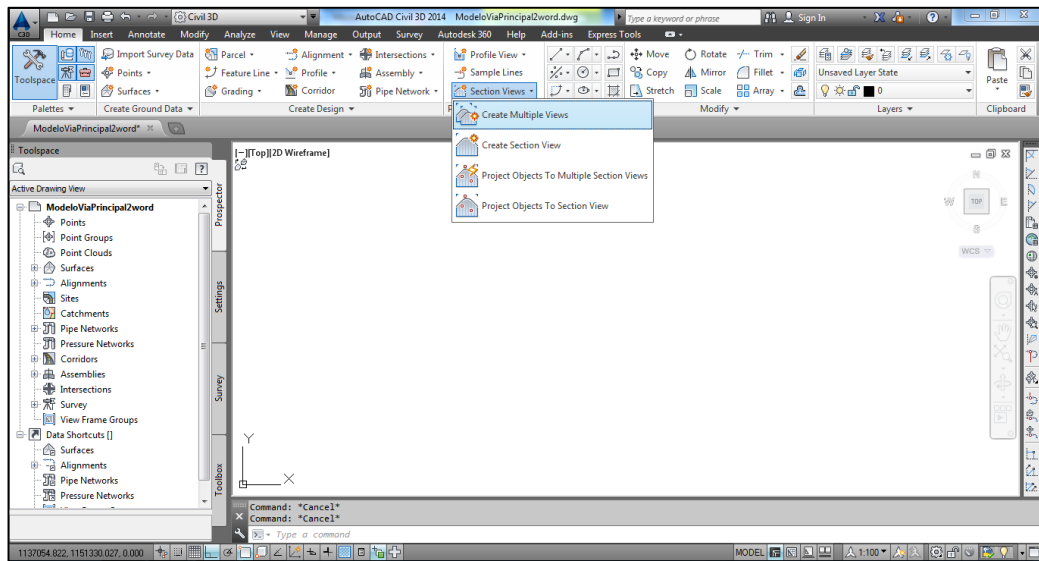
Seguidamente, se generan las secciones transversales de la vía.

Paso I. Se crea un conjunto de líneas de muestreo con la herramienta *Sample lines* del panel *Profile & Section Views*, se selecciona el alineamiento de la vía y se eligen las fuentes que se desean incluir en las secciones.



Paso II. En la barra de herramientas que se despliega con el botón *Sample lines creation methods*, se elige el intervalo en el que se crearán las líneas de muestreo y a su vez las secciones transversales.

Paso III. Con la herramienta *Section Views* del panel *Profile & Section Views*, se crean las secciones transversales; eligiendo el estilo de visualización, el alineamiento de la vía y el conjunto de líneas de muestreo.



En la Figura 11, se muestra una de las secciones transversales de la vía generadas con el software.

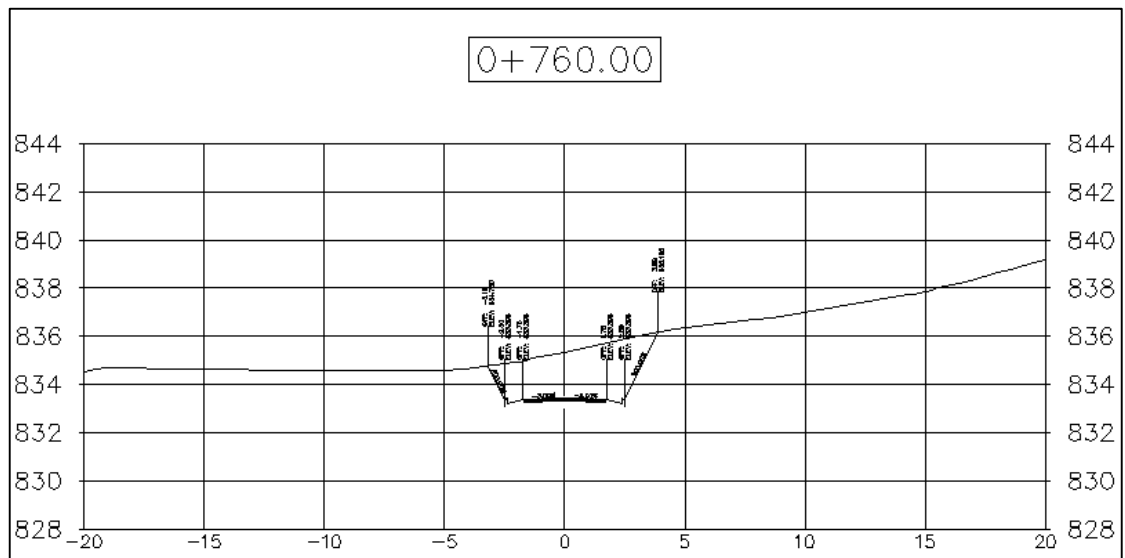


Figura 11. Sección transversal de la vía a captación por la abscisa 0+760

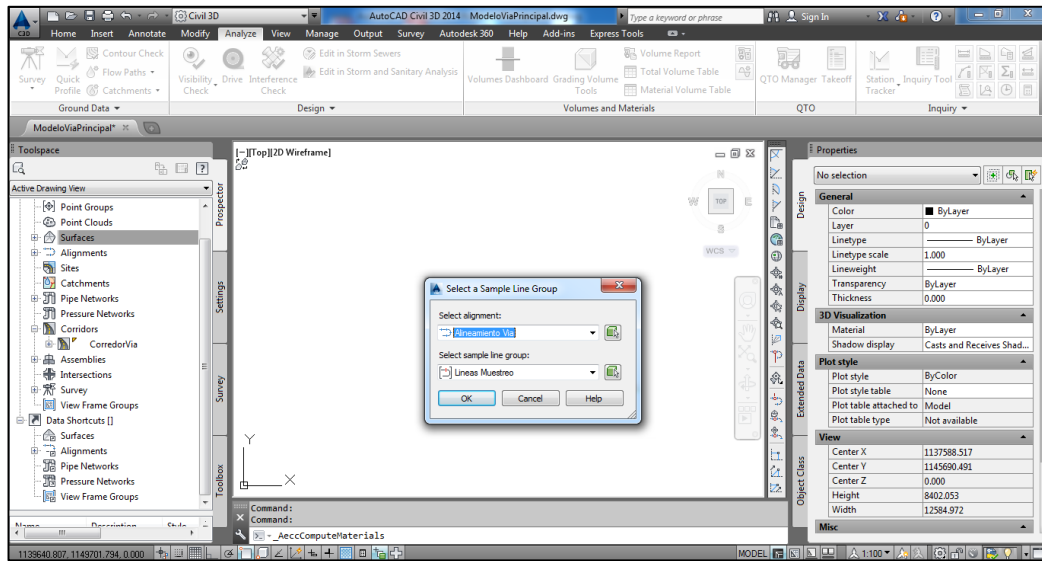
8) Generación de planos

Teniendo el alineamiento horizontal, la rasante y las secciones transversales es posible generar los planos de planta-perfil y secciones. Es importante destacar que al tratarse de entidades que se van actualizando a medida que se presenten cambios, representa una gran ventaja en cuanto a ahorro de tiempo de trabajo en la generación de planos. Adicionalmente el software permite la creación de plantillas de trabajo con rótulos, capaz y etiquetas personalizadas que entrega los planos en un estado donde no se requiere de un gran trabajo de dibujo.

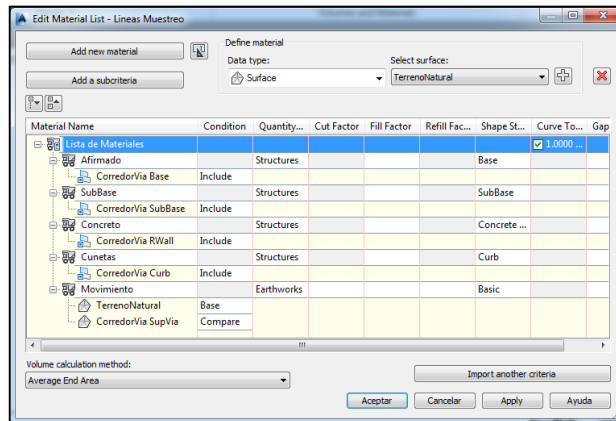
9) Cantidades de obra

Por medio de las herramientas de **AutoCAD Civil 3D**, es posible obtener las cantidades de obra de los ítems principales.

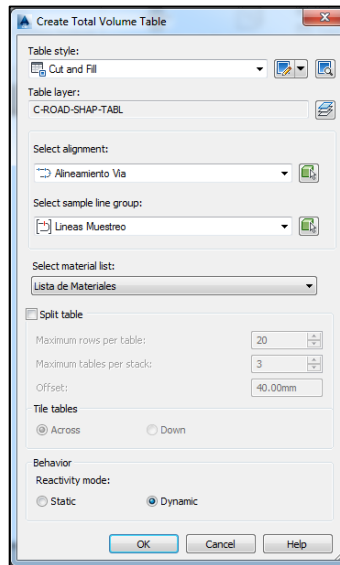
Paso I. Se crea una lista de materiales con la herramienta *Compute materials* del panel *Volumes and Materials*, seleccionando el conjunto de líneas de muestreo generado anteriormente y el alineamiento de la vía.



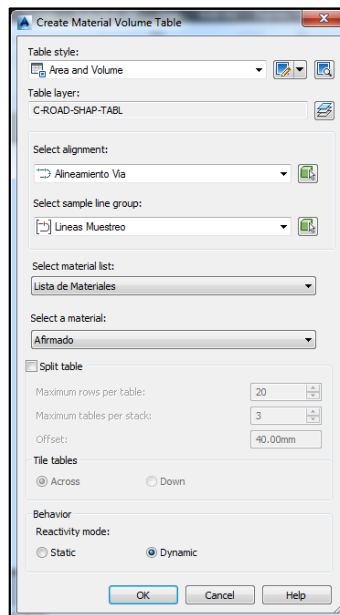
Paso II. Se definen los materiales que se van a cuantificar dependiendo del tipo: volumen de excavaciones, estructura de pavimento, concretos para muros y cunetas.



Paso III. Para presentar los volúmenes de excavación se utiliza la herramienta *Total Volume Table* del panel *Volumes and Materials*. Al seleccionar esta herramienta, se selecciona el conjunto de líneas de muestreo, el alineamiento, la lista de materiales y se define el estilo de la tabla en la que se presentan los volúmenes de excavación.

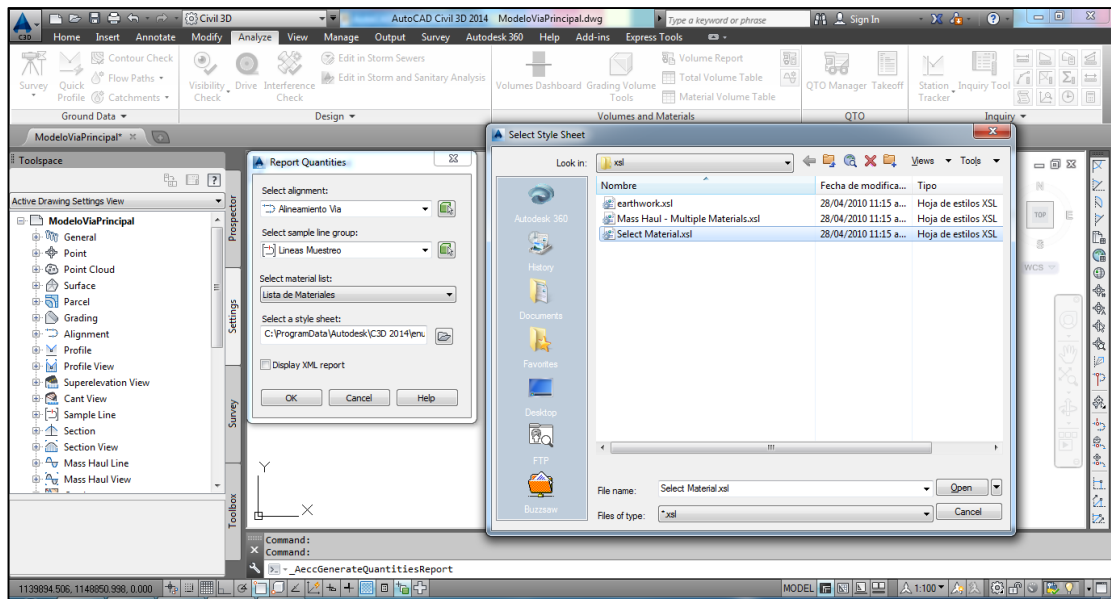


Paso IV. Para presentar las cantidades de los demás materiales, se utiliza la herramienta *Material Volume Table* del panel *Volumes and Materials*; siguiendo los mismos lineamientos del paso anterior.



Estas tablas son dinámicas y se actualizan a medida que se generen cambios en los elementos de la vía, lo que significa un ahorro importante de tiempo a la hora de cuantificar cantidades de obra.

Paso V. Se genera un reporte donde se muestran los volúmenes acumulados de los materiales para el rango de abscisas para el que se crearon las líneas de muestreo utilizando la herramienta *Volume Report* del panel *Volumes and Materials*. Se selecciona el alineamiento de la vía, el conjunto de líneas de muestreo y la lista de materiales, y se le asigna el estilo a la tabla del reporte.



En la Tabla 2 se presentan las cantidades obtenidas para la vía de acceso a la captación principal.

Tabla 2. Reporte de materiales de la vía de acceso a la captación principal

Material Report			
Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
	Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000			
Afirmado	0,70	0,00	0,00
Sub-base	0,99	0,00	0,00
Concreto	0,00	0,00	0,00

Cunetas	0,19	0,00	0,00
Movimiento(Cut)	2,59	0,00	0,00
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	0,00
Station: 0+100			
Afirmado	0,70	7,00	70,00
Sub-base	0,99	9,87	98,72
Concreto	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,19	1,90	19,03
Movimiento(Cut)	16,16	154,65	1.667,12
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	0,00
Station: 0+200			
Afirmado	0,70	7,00	140,00
Sub-base	0,99	9,87	197,45
Concreto	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,19	1,90	38,06
Movimiento(Cut)	24,55	257,37	4.906,38
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	0,00
Station: 0+300			
Afirmado	0,70	7,00	210,00
Sub-base	0,99	9,87	296,17
Concreto	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,19	1,90	57,09
Movimiento(Cut)	14,92	139,60	7.272,59
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	0,00
Station: 0+400			
Afirmado	0,70	7,00	280,00
Sub-base	0,99	9,87	394,90
Concreto	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,19	1,90	76,12
Movimiento(Cut)	22,90	188,41	8.686,43
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	0,00
Station: 0+500			
Afirmado	0,70	7,00	350,00
Sub-base	0,99	9,87	493,62
Concreto	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,19	1,90	95,15

Movimiento(Cut)	12,34	125,98	10.567,44
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	0,00
Station: 0+600			
Afirmado	0,70	7,00	421,57
Sub-base	0,99	9,87	592,42
Concreto	0,00	0,00	24,75
Cunetas	0,19	1,90	113,18
Movimiento(Cut)	17,19	175,32	12.303,42
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	82,29
Station: 0+700			
Afirmado	0,70	7,00	494,56
Sub-base	0,99	9,87	691,27
Concreto	0,00	0,00	41,13
Cunetas	0,19	1,90	130,32
Movimiento(Cut)	10,91	143,91	13.911,66
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	82,55
Station: 0+800			
Afirmado	0,70	7,00	566,06
Sub-base	0,99	9,87	790,06
Concreto	0,00	0,00	41,13
Cunetas	0,19	1,90	148,40
Movimiento(Cut)	14,98	146,66	15.271,05
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	83,46
Station: 0+900			
Afirmado	0,85	9,25	642,81
Sub-base	0,99	9,97	889,07
Concreto	0,00	0,00	41,13
Cunetas	0,10	0,48	163,14
Movimiento(Cut)	0,89	4,47	16.555,71
Movimiento(Fill)	8,13	100,43	298,50
Station: 1+000			
Afirmado	0,70	7,00	713,56
Sub-base	0,99	9,87	987,83
Concreto	0,00	0,00	41,13
Cunetas	0,19	1,90	181,69
Movimiento(Cut)	23,04	250,49	18.416,44

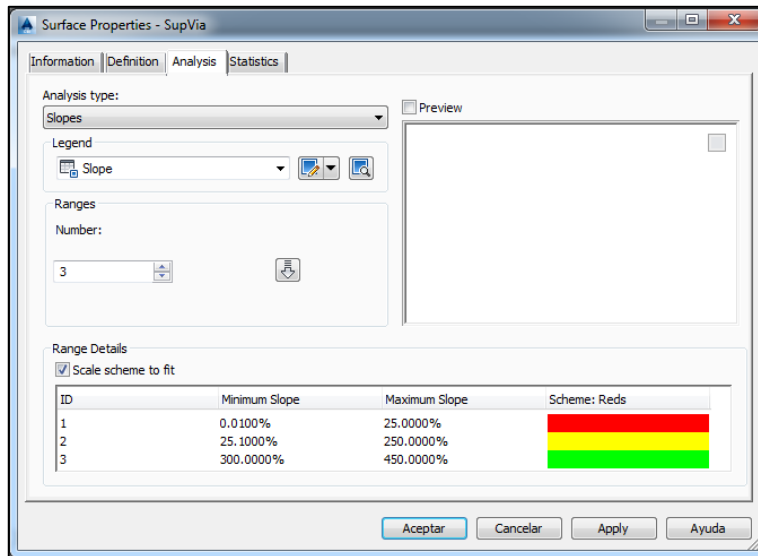
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	339,13
Station: 1+100			
Afirmado	0,70	7,00	787,91
Sub-base	0,99	9,87	1.086,73
Concreto	0,00	0,00	80,77
Cunetas	0,19	1,90	197,97
Movimiento(Cut)	12,60	131,58	19.730,21
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	412,77
Station: 1+200			
Afirmado	0,70	7,00	857,91
Sub-base	0,99	9,87	1.185,46
Concreto	0,00	0,00	80,77
Cunetas	0,19	1,90	217,00
Movimiento(Cut)	30,84	254,27	21.516,39
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	412,77
Station: 1+300			
Afirmado	0,85	7,70	933,05
Sub-base	0,99	9,90	1.284,40
Concreto	0,75	3,42	112,53
Cunetas	0,10	1,46	232,77
Movimiento(Cut)	10,55	139,34	23.933,67
Movimiento(Fill)	0,05	0,22	571,54
Station: 1+400			
Afirmado	0,70	7,00	1.003,72
Sub-base	0,99	9,87	1.383,15
Concreto	0,00	0,00	115,79
Cunetas	0,19	1,90	251,38
Movimiento(Cut)	11,42	117,93	26.996,86
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	572,67
Station: 1+500			
Afirmado	0,85	8,50	1.077,49
Sub-base	0,99	9,94	1.482,04
Concreto	0,00	0,00	115,79
Cunetas	0,10	0,95	268,02
Movimiento(Cut)	1,86	16,35	29.085,42
Movimiento(Fill)	0,04	1,24	575,49

Station: 1+600			
Afirmado	0,70	7,00	1.164,74
Sub-base	0,99	9,87	1.581,49
Concreto	0,00	0,00	115,79
Cunetas	0,19	1,90	276,10
Movimiento(Cut)	29,24	385,43	30.109,38
Movimiento(Fill)	0,00	0,00	1.272,68
Station: 1+685			
Afirmado	1,00	5,00	1.234,69
Sub-base	1,00	5,00	1.665,85
Concreto	0,00	0,00	115,79
Cunetas	0,00	0,00	285,65
Movimiento(Cut)	0,16	1,00	30.810,78
Movimiento(Fill)	1,04	8,77	1.392,23

Según el reporte de materiales, se tiene un total de 1.235 m³ de afirmado, 1.665,68 m³ de sub-base, 115,79 m³ de concreto para muros, 285,65 m³ de concreto para cunetas, 30.810,78 m³ de excavación y 1.392,23 m³ de material para lleno.

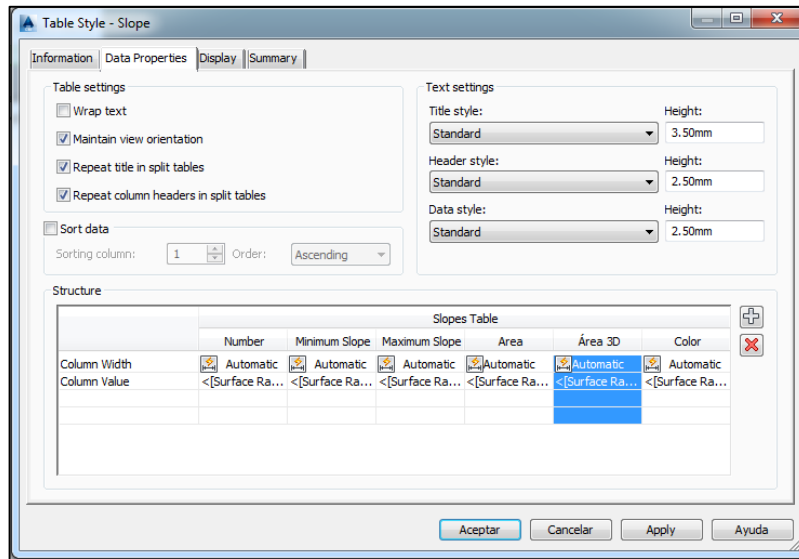
Adicionalmente, para calcular las áreas de revegetalización y áreas de concreto lanzado, se realizó un análisis de pendientes a la superficie de la vía generada a partir del corredor.

Paso VI. En las propiedades de la superficie de la vía, en la pestaña *Analysis*, se selecciona el tipo de análisis por pendientes y se asigna el número de rangos que se van a presentar. Seguidamente se definen las pendientes para los rangos y los colores en para cada uno.



Paso VII. Seleccionando la superficie, en el panel *Labels & Tables*, se utiliza la herramienta *Add Legend*. Se elige el tipo de tabla por pendientes y el comportamiento dinámico para que la tabla se actualice si se presentan cambios en la superficie.

Paso VIII. La tabla por defecto no presenta el área inclinada de la superficie para cada uno de los rangos de pendientes por lo que es necesario modificar sus propiedades, con la herramienta *Edit Table Style* del panel *Modify* que se despliega al seleccionar la tabla. En la pestaña *Data Properties* se adiciona una columna y se le asigna el valor correspondiente para el área 3D.



En la Figura 12 se presentan los resultados del análisis de pendientes para la vía de acceso a la captación principal.

Slopes Table					
Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Área 3D	Color
1	0.01%	25.00%	8430.36	8514.90	■
2	25.10%	250.00%	5440.50	11015.09	■
3	300.00%	450.00%	40.76	168.07	■

Figura 12. Resultado análisis de pendientes de la superficie de la vía a captación

A partir la tabla se pueden deducir las cantidades de revegetalización (taludes con pendientes de 0,5:1, 0,75:1 y 1:1) y concreto lanzado (taludes con pendientes de 0,25:1), correspondientes a 11.015 m² y 12 m³, respectivamente. El volumen de concreto lanzado se obtiene multiplicando el área del tratamiento obtenida en el análisis de pendientes y el espesor de la capa (0,07 m).

6.4.2.2 Vía de acceso a la captación de respaldo

El modelo de la vía de acceso a la captación de respaldo se realiza siguiendo el mismo procedimiento que para la vía de acceso a la captación principal:

1) Modelo del terreno

A partir de las curvas de nivel de la base topográfica, se genera la superficie 3D del terreno natural (Figura 13).

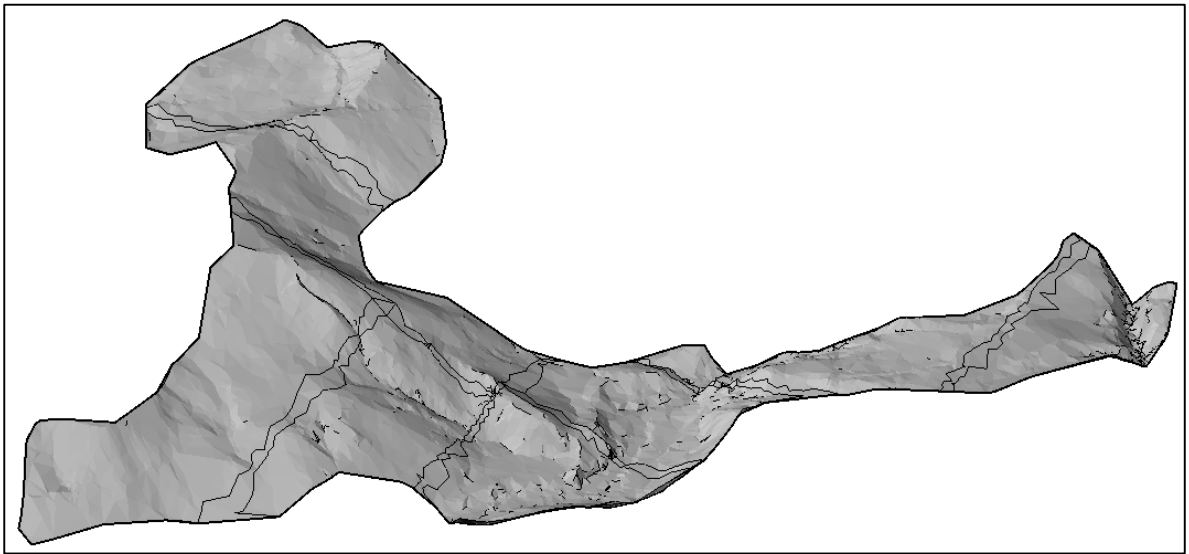


Figura 13. Superficie del terreno natural en la zona de captación

2) Alineamiento horizontal

Se crea el alineamiento horizontal de la vía respetando los parámetros de diseño. En la Figura 14 se muestra el alineamiento horizontal de la vía de acceso a la captación de respaldo.

4) Ensamble

Para el diseño de esta vía, por las condiciones del terreno y por sus especificaciones, únicamente fue necesaria la utilización de un tipo de ensamble para representar la sección de la vía (Figura 16).

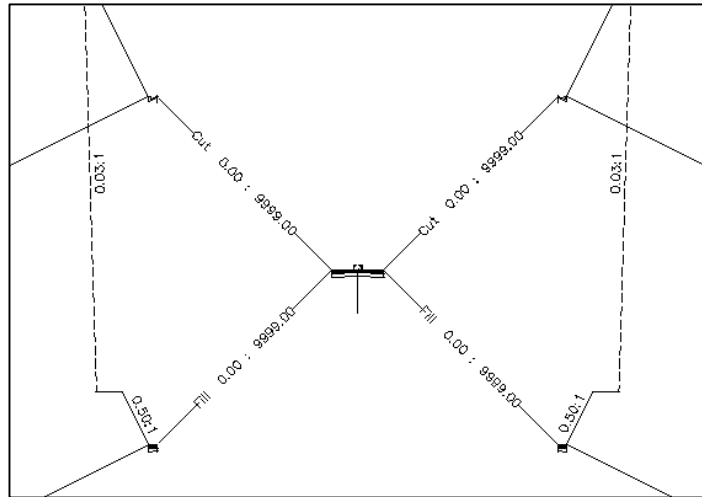


Figura 16.Ensamble para la vía de acceso a la captación de respaldo

5) Corredor

En la Figura 17 se presenta el corredor generado a partir del alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el ensamble.

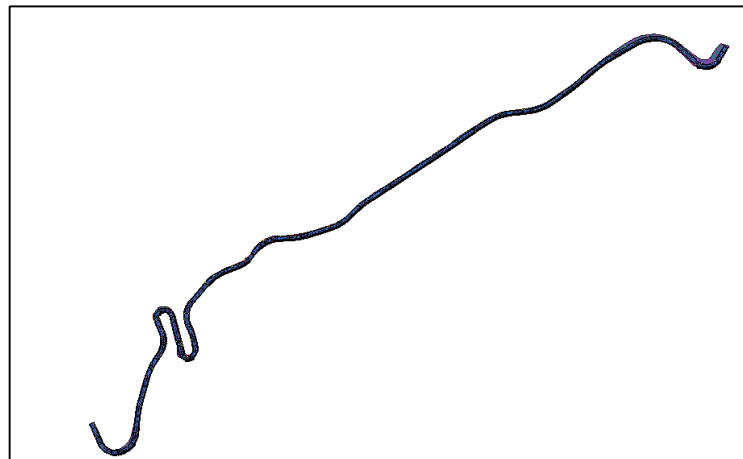


Figura 17.Corredor de la vía de acceso a la captación de respaldo

6) Superficie del terreno modificado con la vía

A partir del corredor y superponiéndolo en la superficie del terreno natural se obtiene la superficie del terreno modificado por la vía, ésta se presenta en la Figura 18.

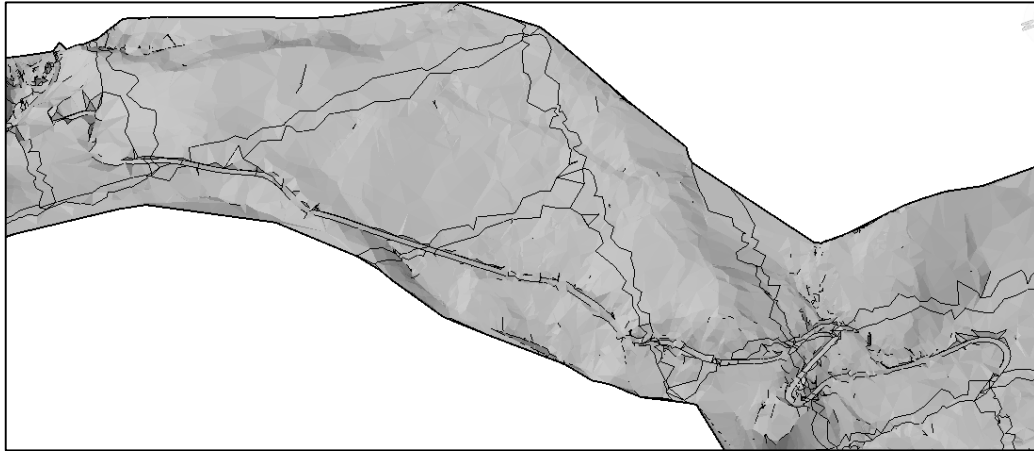


Figura 18. Superficie del terreno modificado con la vía a captación de respaldo

7) Secciones transversales

En la Figura 19 se muestra una de las secciones transversales de la vía generadas con el software.

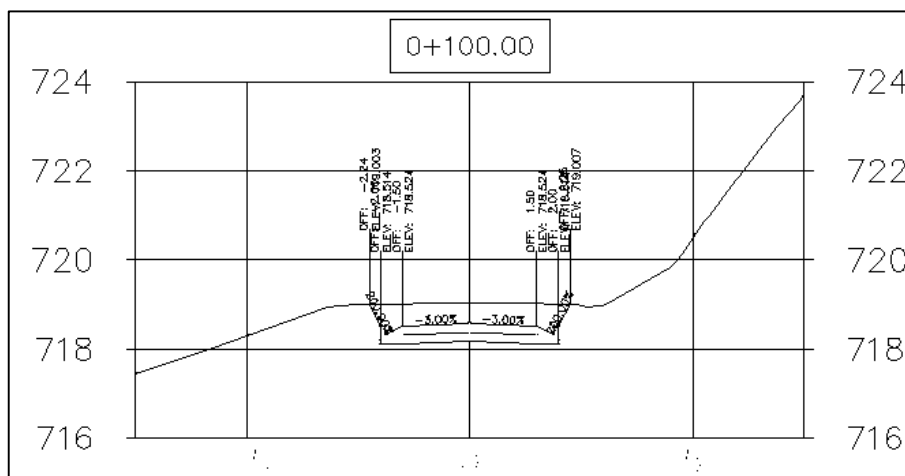


Figura 19. Sección transversal de la vía a captación de respaldo por la abscisa 0+100

8) Generación de planos

Teniendo el alineamiento horizontal, el perfil de la vía y las secciones transversales, es posible generar los planos de la vía; planos que se actualizan de acuerdo a los cambios que se generen en el modelo, lo que evita reprocesos y ahorra tiempo de dibujo.

9) Cantidades de obra

De manera similar a como se hizo con la vía de acceso a la captación principal, se creó una lista de materiales y se le realizó un análisis de pendientes a la superficie de la vía para obtener las cantidades de obra de las actividades principales. En la Tabla 3 y la Figura 20 se presentan la tabla con las cantidades obtenidas y los resultados del análisis de pendientes, respectivamente.

Tabla 3. Reporte de materiales de la vía de acceso a la captación de respaldo

Material Report			
Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
	Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000			
Earthworks(Cut)	1,91	0,00	0,00
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,13	0,00	0,00
Afirmado	0,60	0,00	0,00
Sub-Base	0,80	0,00	0,00
Station: 0+100			
Earthworks(Cut)	3,64	34,38	595,36
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,13	1,28	12,80
Afirmado	0,60	6,00	60,00
Sub-Base	0,80	7,97	79,75
Station: 0+200			
Earthworks(Cut)	5,85	47,19	1.098,60
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,13	1,28	25,60
Afirmado	0,60	6,00	120,00

Sub-Base	0,80	7,98	159,50
Station: 0+300			
Earthworks(Cut)	4,86	52,18	1.701,50
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	0,00
Cunetas	0,13	1,28	38,40
Afirmado	0,60	6,00	180,00
Sub-Base	0,80	7,97	239,25
Station: 0+400			
Earthworks(Cut)	5,21	51,54	2.199,17
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	7,79
Cunetas	0,13	1,28	50,59
Afirmado	0,60	6,00	240,95
Sub-Base	0,80	7,98	319,01
Station: 0+500			
Earthworks(Cut)	4,20	48,41	2.596,65
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	7,79
Cunetas	0,13	1,28	63,39
Afirmado	0,60	6,00	300,95
Sub-Base	0,80	7,97	398,76
Station: 0+600			
Earthworks(Cut)	6,20	55,61	3.059,62
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	7,79
Cunetas	0,13	1,28	76,19
Afirmado	0,60	6,00	360,95
Sub-Base	0,80	7,98	478,51
Station: 0+700			
Earthworks(Cut)	7,65	62,66	3.774,06
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	7,79
Cunetas	0,13	1,28	88,99
Afirmado	0,60	6,00	420,95
Sub-Base	0,80	7,98	558,26
Station: 0+800			
Earthworks(Cut)	33,34	324,78	5.325,05
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	7,79
Cunetas	0,13	1,28	101,79
Afirmado	0,60	6,00	480,95

Sub-Base	0,80	7,98	638,01
Station: 0+811,92			
Earthworks(Cut)	3,12	19,92	5.600,00
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	7,79
Cunetas	0,13	0,25	103,32
Afirmado	0,60	1,15	488,11
Sub-Base	0,80	1,53	647,52



Slopes Table					
Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Area 3D	Color
1	0.10%	25.00%	3223.75	3253.67	
2	25.10%	250.00%	916.84	2052.39	

Figura 20. Resultado del análisis de pendientes de la superficie de la vía a la captación de respaldo

Según el reporte de materiales, se tiene un total de 5.600 m³ de excavación, 7,79 m³ de llenos, 103,32 m³ de concreto para cunetas, 488,11 m³ de afirmado y 647,52 m³ de sub-base. Adicionalmente de acuerdo al análisis de pendientes de la superficie de la vía, se tienen 2052,39 m² de revegetalización.

6.4.2.3 Vía de acceso al depósito 3

El modelo de la vía de acceso a la captación de respaldo se realiza siguiendo el mismo procedimiento que para las dos vías anteriores:

1) Modelo del terreno

A partir de las curvas de nivel de la base topográfica, se genera la superficie 3D del terreno natural (Figura 21).

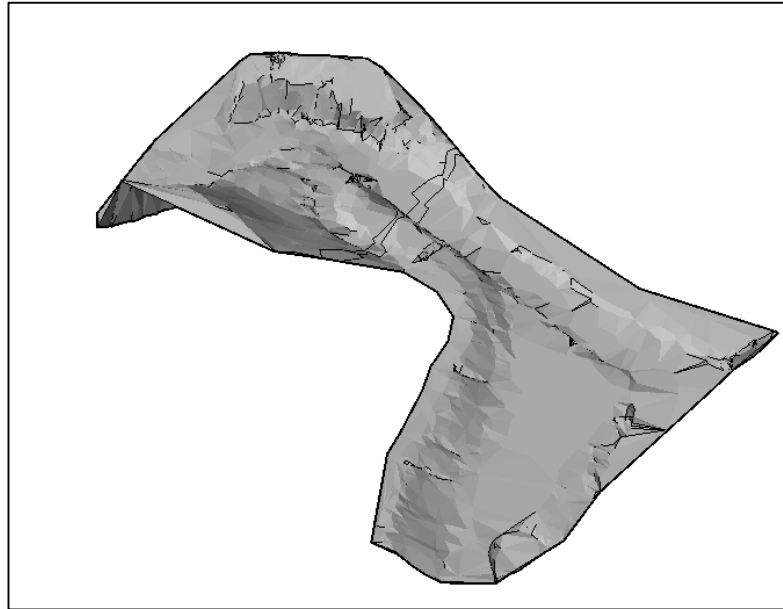


Figura 21. Superficie del terreno natural en la zona de casa de máquinas

2) Alineamiento horizontal

Se crea el alineamiento horizontal de la vía respetando los parámetros de diseño. En la Figura 22 se muestra el alineamiento horizontal de la vía de acceso a la captación de respaldo.

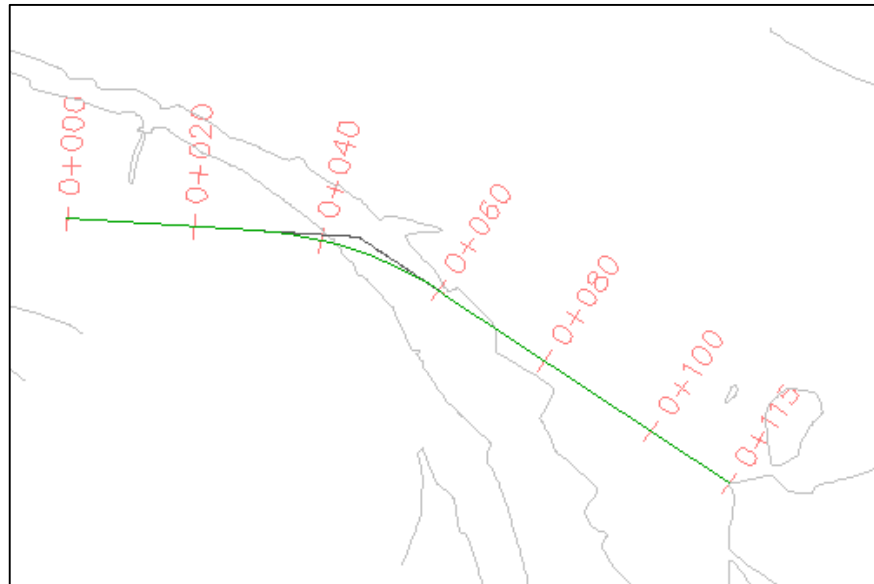


Figura 22. Alineamiento horizontal de la vía al depósito 3

3) Alineamiento vertical

Con el alineamiento horizontal y la superficie del terreno se genera el perfil del terreno natural con el cual se diseña la rasante de la vía. En la Figura 23 se presenta un fragmento del alineamiento vertical de la vía.

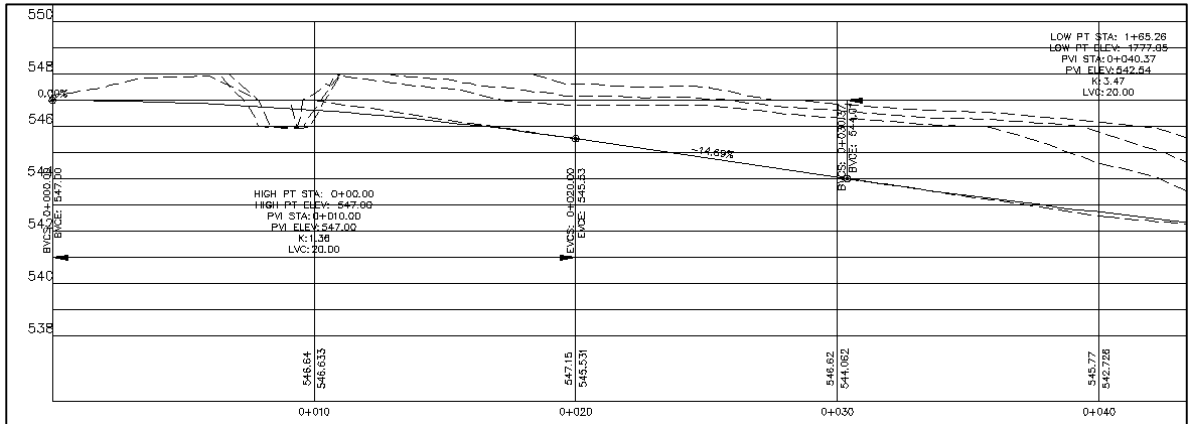


Figura 23. Alineamiento vertical de la vía de acceso al depósito 3

4) Ensamble

Para el diseño de esta vía, por las condiciones del terreno y por sus especificaciones, únicamente fue necesaria la utilización de un tipo de ensamble para representar la sección de la vía (Figura 24).

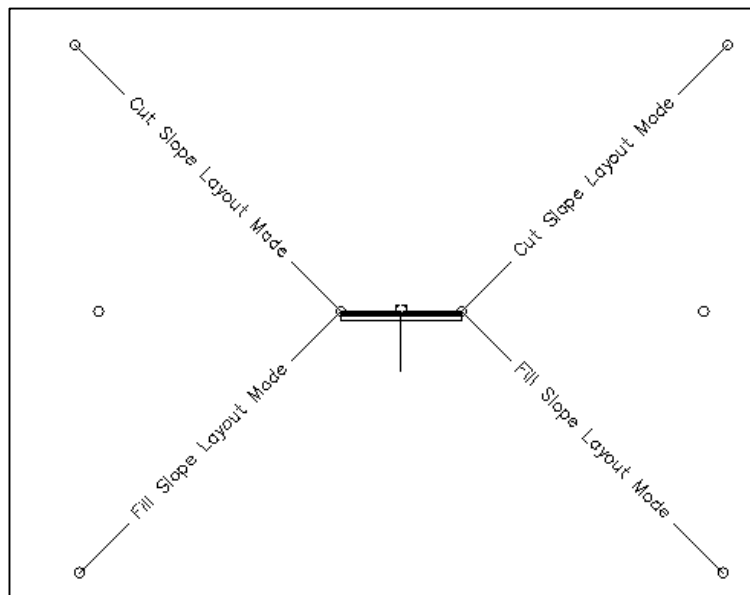


Figura 24. Ensamble para la vía de acceso al depósito 3

5) Corredor

En la Figura 25 se presenta el corredor generado a partir del alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el ensamble.

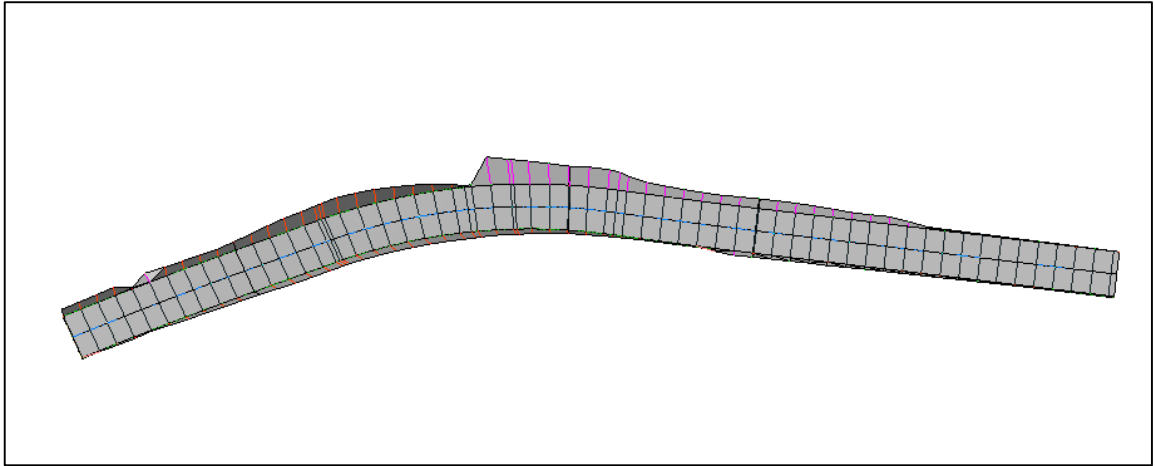


Figura 25. Corredor de la vía de acceso al depósito 3

6) Superficie del terreno modificado con la vía

A partir del corredor y superponiéndolo en la superficie del terreno natural se obtiene la superficie del terreno modificado por la vía, ésta se presenta en la Figura 26.

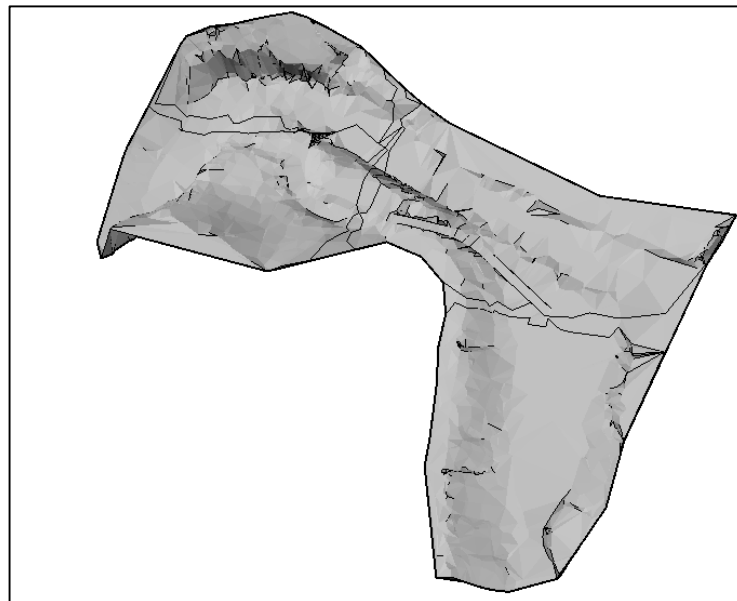


Figura 26. Superficie del terreno modificado con la vía de acceso al depósito 3

7) Secciones transversales

En la Figura 27 se muestra una de las secciones transversales de la vía generadas con el software.

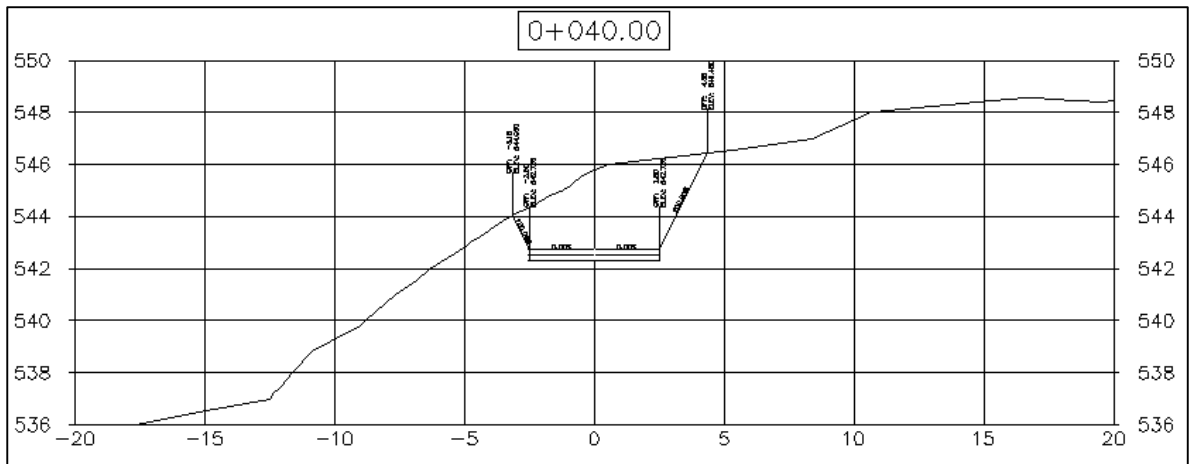


Figura 27. Sección transversal de la vía al depósito 3 por la abscisa 0+040

8) Generación de planos

Teniendo el alineamiento horizontal, el perfil de la vía y las secciones transversales, es posible generar los planos de la vía; planos que se actualizan de acuerdo a los cambios que se generen en el modelo, lo que evita reprocesos y ahorra tiempo de dibujo.

9) Cantidades de obra

De manera similar a como se hizo con las vías anteriores, se creó una lista de materiales y se le realizó un análisis de pendientes a la superficie de la vía para obtener las cantidades de obra de las actividades principales. En la Tabla 4 y la Figura 28 se presentan la tabla con las cantidades obtenidas y los resultados del análisis de pendientes, respectivamente.

Tabla 4. Reporte de materiales de la vía de acceso a la captación de respaldo

Material Report			
Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
	Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000			
Earthworks(Cut)	6,29	0,00	0,00
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	0,00
Afirmado	1,00	0,00	0,00
Sub-Base	1,00	0,00	0,00
Station: 0+020			
Earthworks(Cut)	12,04	68,65	108,55
Earthworks(Fill)	0,00	2,38	4,76
Afirmado	1,00	10,00	20,00
Sub-Base	1,00	10,00	20,00
Station: 0+040			
Earthworks(Cut)	19,93	188,32	447,18
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	4,76
Afirmado	1,00	10,00	40,00
Sub-Base	1,00	10,00	40,00
Station: 0+060			
Earthworks(Cut)	2,50	52,20	638,02
Earthworks(Fill)	1,88	17,05	29,05
Afirmado	1,00	10,00	60,00
Sub-Base	1,00	10,00	60,00
Station: 0+080			
Earthworks(Cut)	0,31	6,11	661,15
Earthworks(Fill)	0,54	4,39	44,55
Afirmado	1,00	10,00	80,00
Sub-Base	1,00	10,00	80,00
Station: 0+100			
Earthworks(Cut)	1,61	13,50	681,65
Earthworks(Fill)	0,01	1,14	49,49
Afirmado	1,00	10,00	100,00
Sub-Base	1,00	10,00	100,00

Station: 0+114			
Earthworks(Cut)	2,00	8,87	707,87
Earthworks(Fill)	0,00	0,00	49,56
Afirmado	1,00	4,61	114,61
Sub-Base	1,00	4,61	114,61



Slopes Table					
Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Area 3D	Color
1	0.10%	25.00%	573.01	574.89	
2	25.10%	250.00%	201.08	341.52	

Figura 28. Resultado del análisis de pendientes de la superficie de la vía al depósito
3

Según el reporte de materiales, se tiene un total de 707,87 m³ de excavación, 49,56 m³ de llenos, 114,61 m³ de afirmado y 114,61 m³ de sub-base. Adicionalmente de acuerdo al análisis de pendientes de la superficie de la vía, se tienen 341,52 m² de revegetalización.

6.4.2.4 Excavaciones de la captación principal

Para realizar el modelo de las excavaciones de las obras de captación principal, se tuvo en cuenta el proceso constructivo que se divide en dos etapas como se describió en el numeral 6.4.1.1., para esto se partió de los planos de excavaciones suministrados por la empresa Pi Épsilon (Figura 29 y Figura 30), los cuales se importaron al software **AutoCAD Civil 3D**.

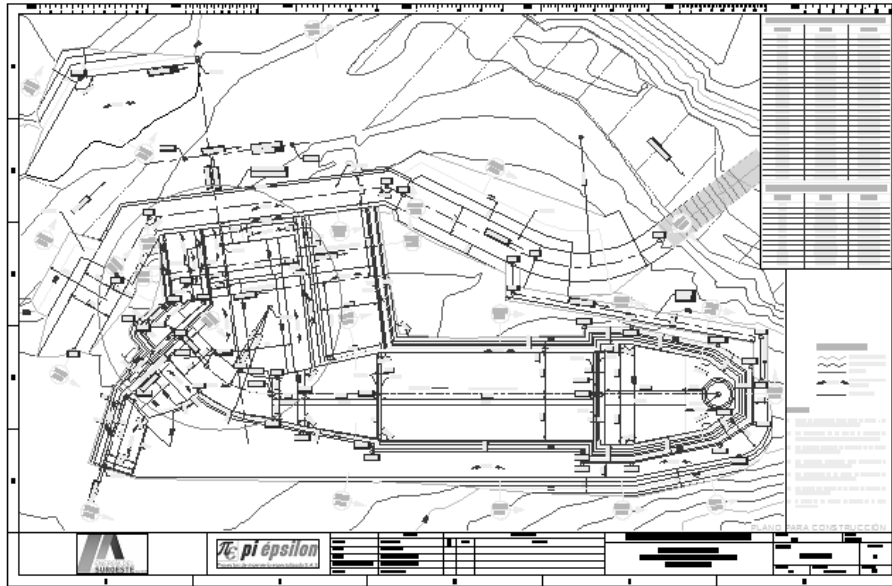


Figura 29.Plano de excavaciones de la captación principal – Etapa 1

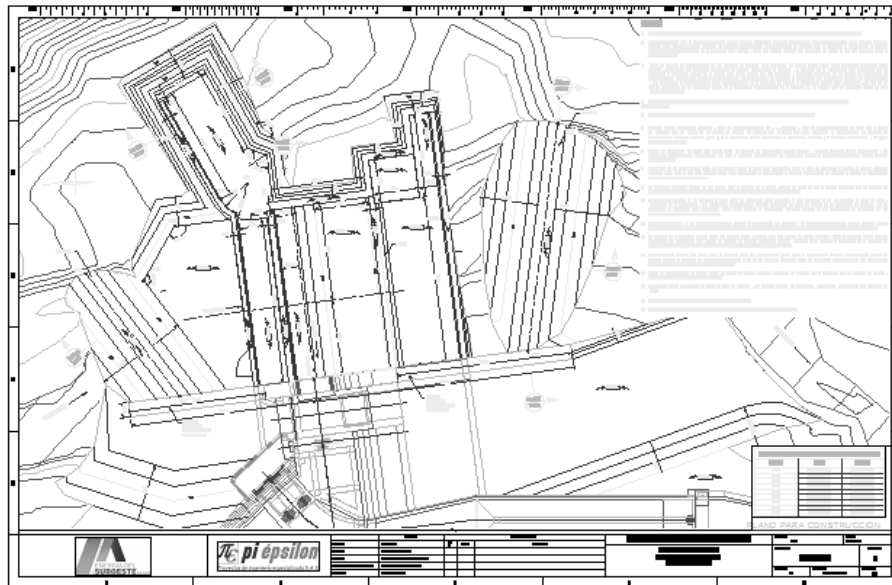


Figura 30.Plano de excavaciones de la captación principal – Etapa 2

- **Etapa 1**

- 1) **Modelo del terreno**

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de la vía de acceso a la captación principal.

2) Superficie de las excavaciones

Paso I. A partir de los planos se asignan elevaciones a cada una de las líneas que representan las cotas de la excavación de cada una de las obras. Adicionalmente, se generan líneas intermedias con el fin de mejorar la precisión. En la Figura 31 se muestran los contornos generados que representan la primera etapa de excavaciones.

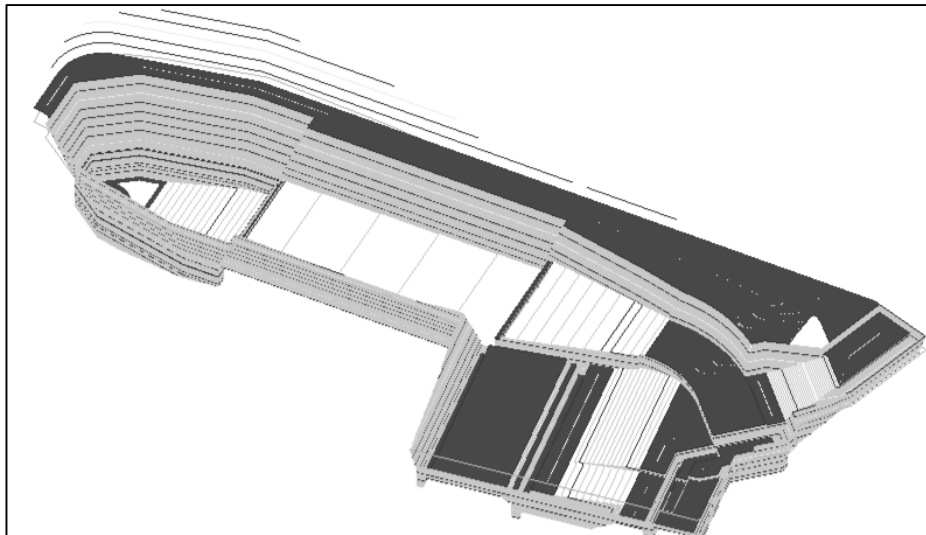
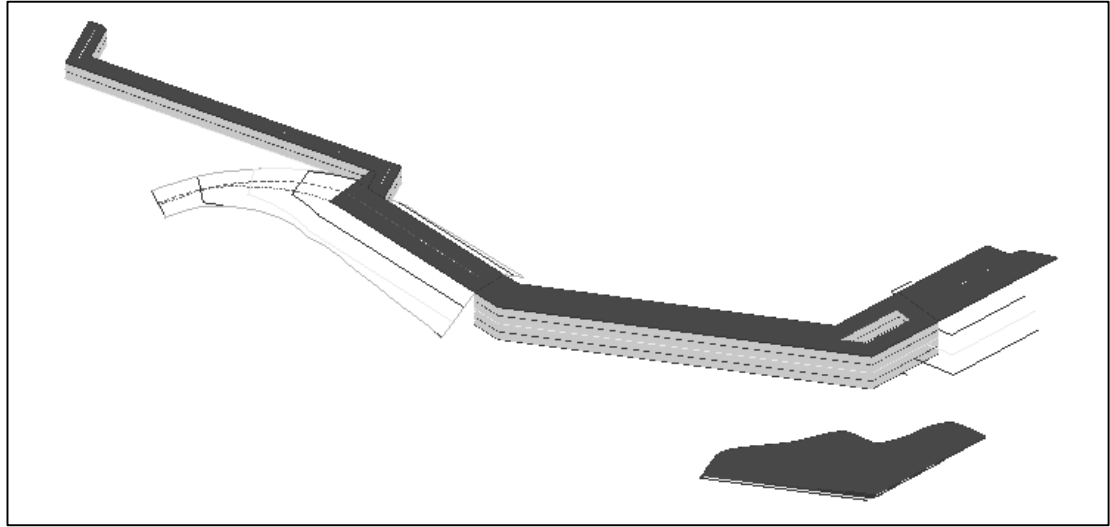
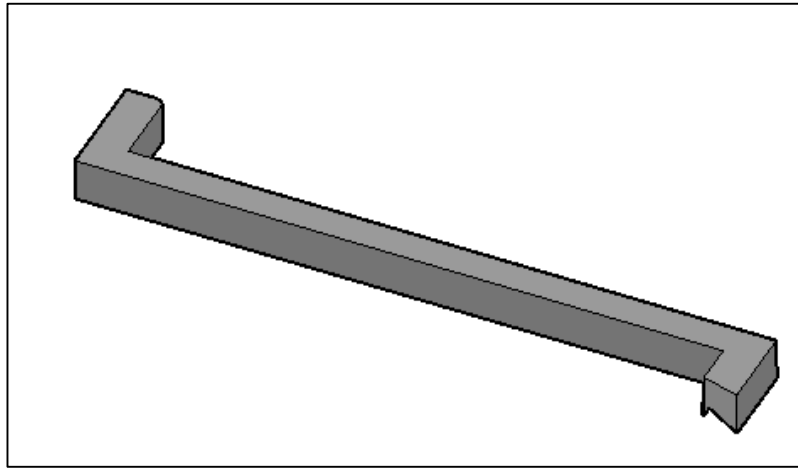
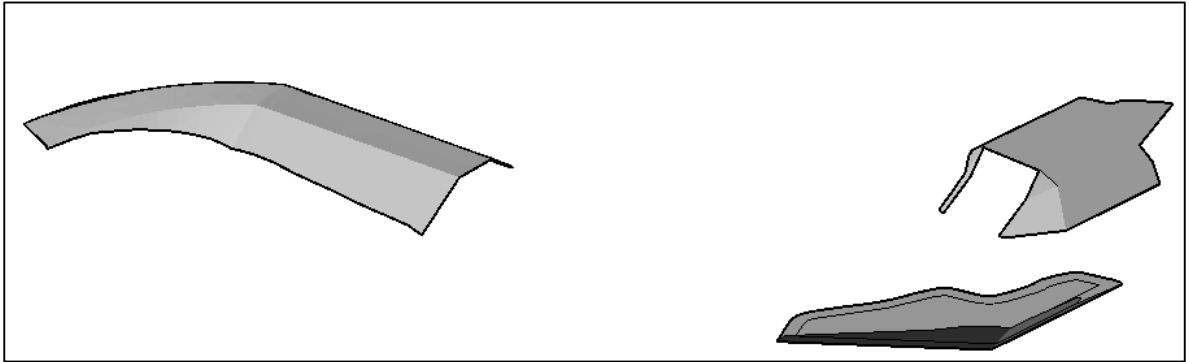


Figura 31. Contornos de las excavaciones – Etapa 1

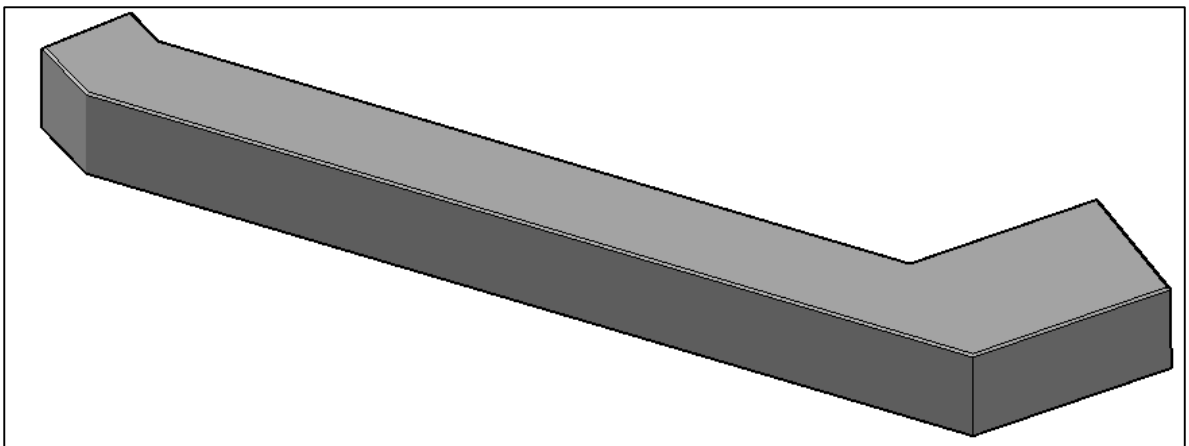
Paso II. A partir de los contornos generados, se crea una superficie para cada una de las obras (ataguías y excavaciones) de la misma manera en que se crea la superficie del terreno natural (Figura 32).



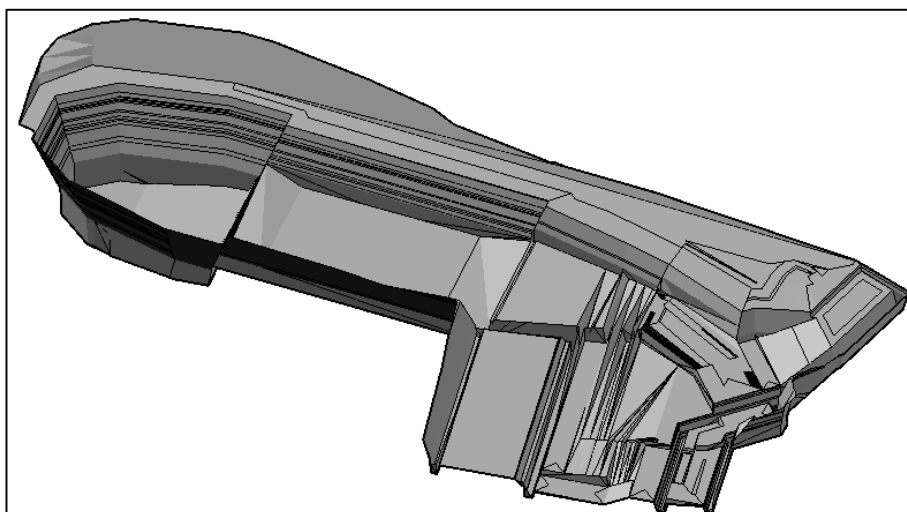
a) Superficie del muro en concreto ciclópeo



b) Superficie de las ataguías en enrocado



c) Superficie del muro en tierra armada



d) Superficie de las excavaciones (tanque de carga, desarenadores y captación)

Figura 32. Superficies de las excavaciones y ataguías en captación – Etapa 1

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, teniendo en cuenta que al editar la superficie se pegan todas las superficies que representan las obras (Figura 33).

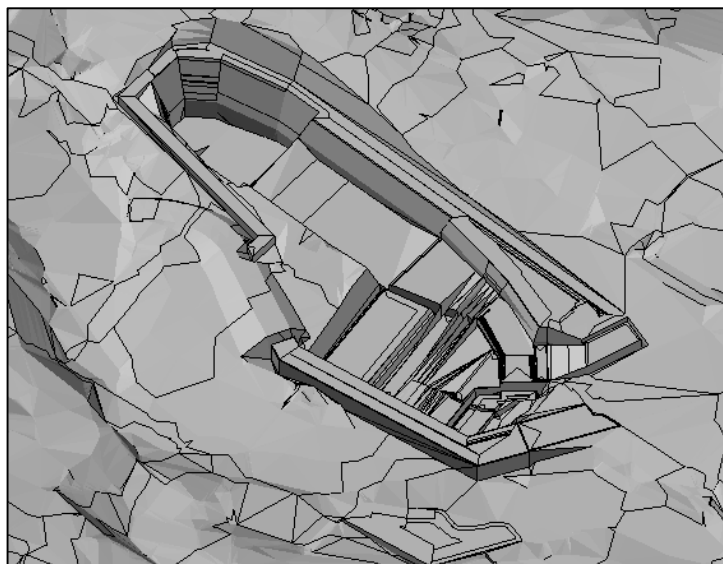


Figura 33. Superficie del terreno modificado con las excavaciones – Etapa 1

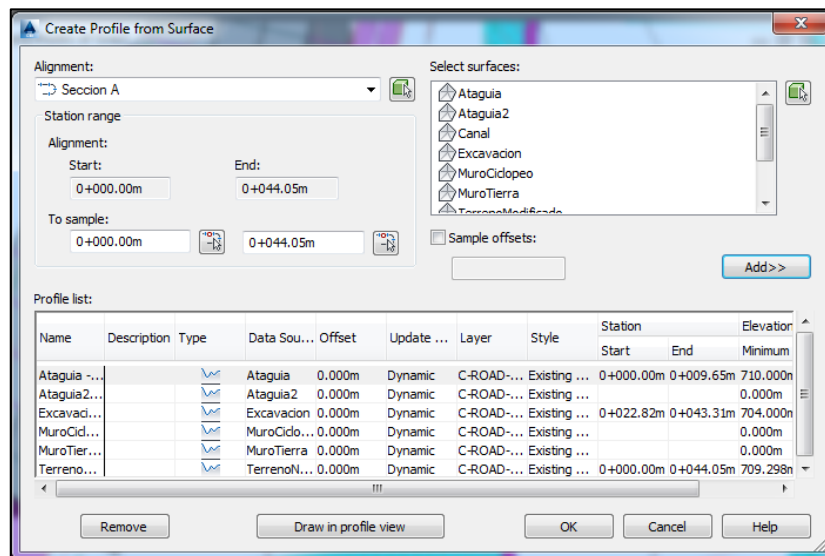
Esta superficie a pesar de haberse creado los contornos adicionales para mejorar la precisión de la misma, presenta algunos errores debido a que el software al realizar la triangulación para generar la superficie no reconoce los taludes verticales. Gracias a esto los volúmenes movimientos de tierra y las secciones generadas no representan del todo la realidad de las excavaciones.

4) Generación de planos

Con las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen, a estas secciones se les puede asignar estilos de visualización y plantillas lo que facilita el trabajo de edición y dibujo.

Paso I. Se dibuja una línea por donde se desea sacar la sección y a partir de esta se crea un alineamiento siguiendo los mismos pasos que para generar el alineamiento de las vías.

Paso II. Para crear el perfil del terreno, en el panel *Create Design*, se despliega la herramienta *Profile*, y se escoge la opción *Create Surface Profile*. En el panel que se despliega se elige el alineamiento, la superficie del terreno natural y la superficie del elemento que se desea visualizar.



En la Figura 34 se muestra la sección generada.

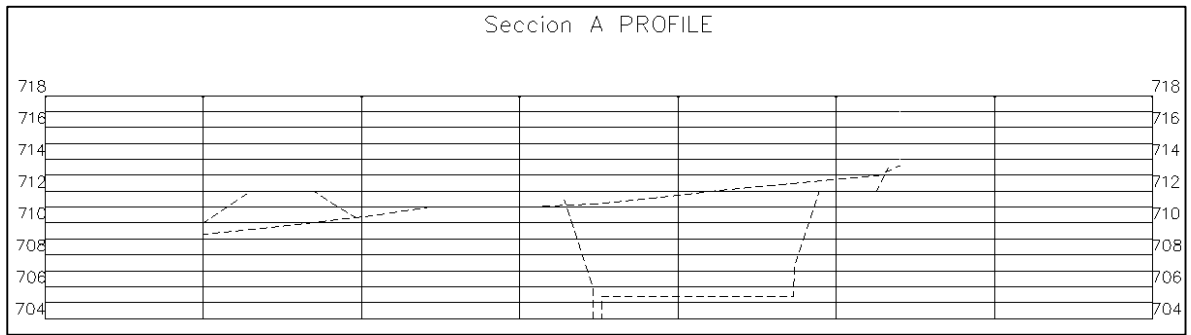
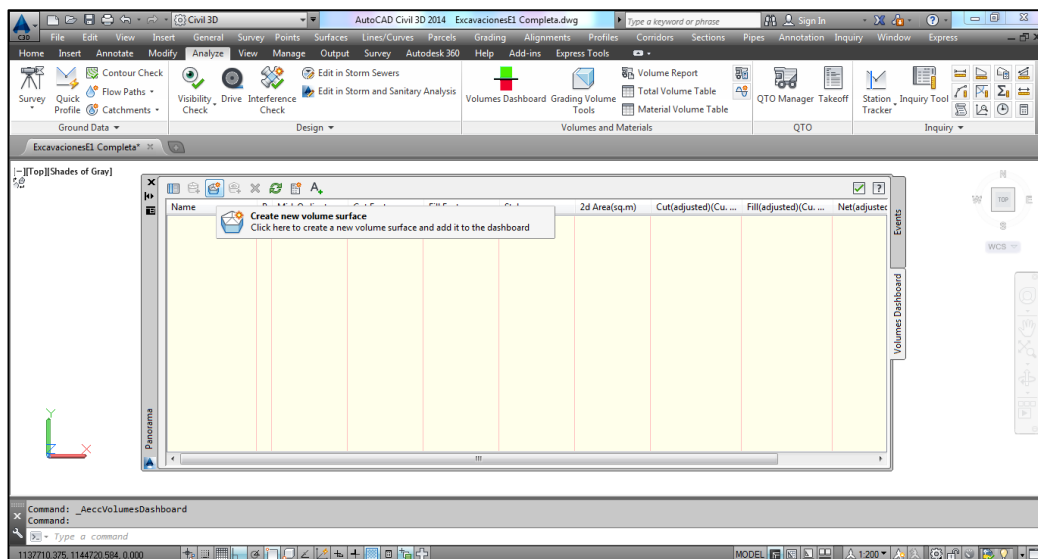


Figura 34. Sección de las excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 1

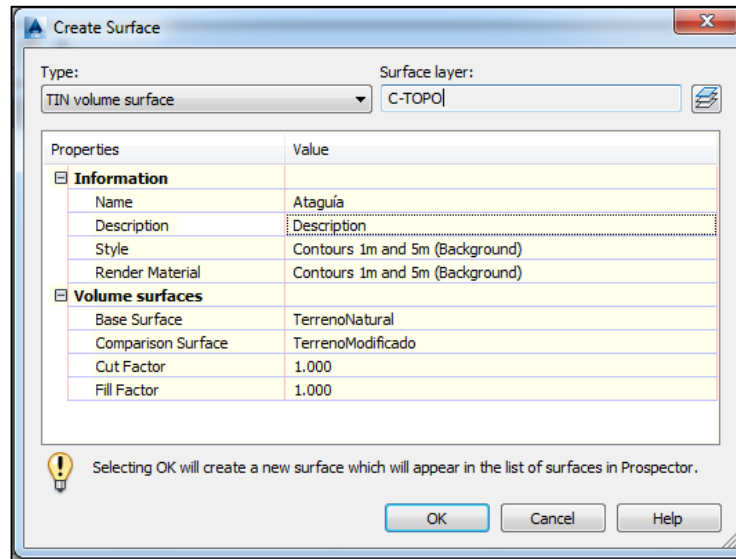
5) Volúmenes de excavación

Por medio de las herramientas del software es posible calcular los volúmenes de excavaciones.

Paso I. Se selecciona la herramienta *Volumes Dashboard*, del panel *Volumes and Materials* y el cuadro *Panorama* que se despliega, se da clic en el botón *Create new volume surface*.



Paso II. En el cuadro que se despliega se le da el nombre a la superficie del volumen de excavaciones, seleccionan las superficies base y de comparación (terreno natural y obra). Este paso se repite para cada uno de los volúmenes de excavaciones que se quieren obtener.



Paso III. En el cuadro *Panorama* se muestra el análisis de masas realizado para cada una de las superficies (Figura 35)

Name	B	Mid-Ordinate ...	Cut(adjusted)(Cu. ...	Fill(adjusted)(Cu. ...	Net(adjusted)(Cu. ...	Net Graph
<input checked="" type="checkbox"/> Ataguía			3 0.19	372.13	371.95< Fill>	Green bar
<input checked="" type="checkbox"/> MuroCiclópeo			9 0.16	123.48	123.32< Fill>	Green bar
<input checked="" type="checkbox"/> Ataguía 2			1 1.03	168.39	167.35< Fill>	Green bar
<input checked="" type="checkbox"/> MuroTierraArmada			1 0.21	618.70	618.49< Fill>	Green bar
<input checked="" type="checkbox"/> Excavaciones			2 11254.35	2.75	11251.60< Cut>	Red bar

Figura 35. Resultados análisis de masas excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 1

Según el cuadro se tienen 539,3 m³ correspondientes a llenos para ataguías, 123,32 m³ de lleno para el muro en concreto ciclópeo, 618,49 m³ de lleno para el muro en tierra armada y 11.254,35 m³ de corte correspondientes a las excavaciones de la Etapa 1 de la captación principal.

▪ Etapa 2

Para la Etapa 2 de las excavaciones de la captación principal se siguió el paso a paso utilizado para la Etapa 1. Teniendo en cuenta que el terreno base para la comparación es el terreno con las excavaciones generadas en la Etapa 1.

1) Modelo del terreno

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de la vía de acceso a la captación principal.

2) Superficie de las excavaciones

En la Figura 36 se muestran los contornos generados para la excavación completa de las obras.

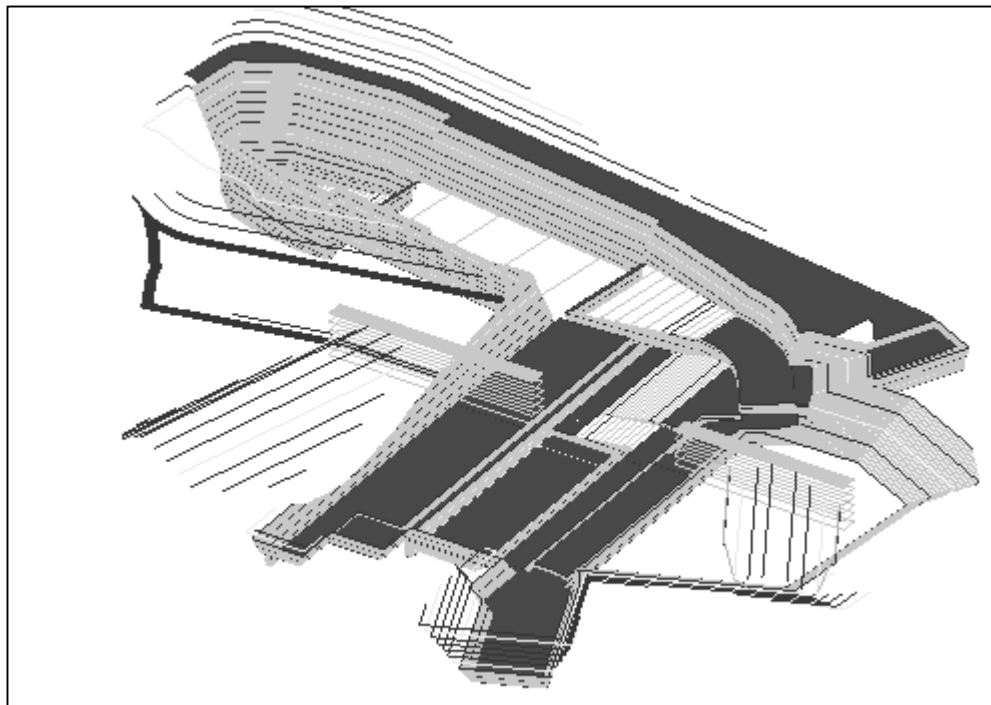
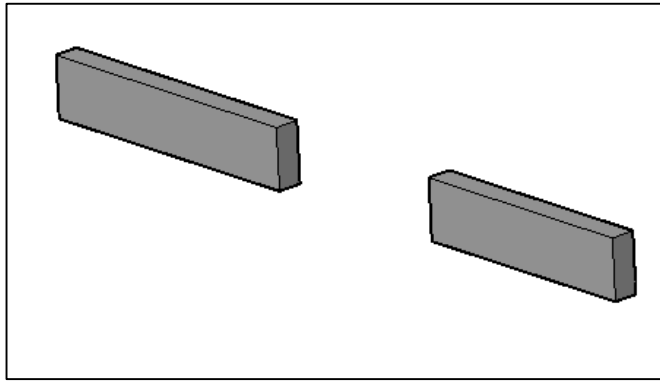
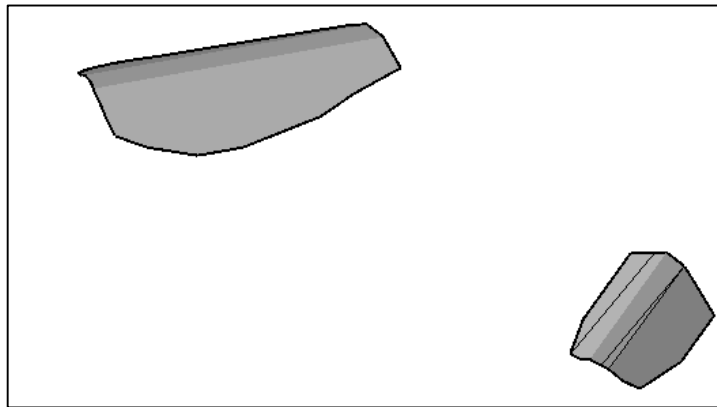


Figura 36. Contornos de las excavaciones – Etapa 2

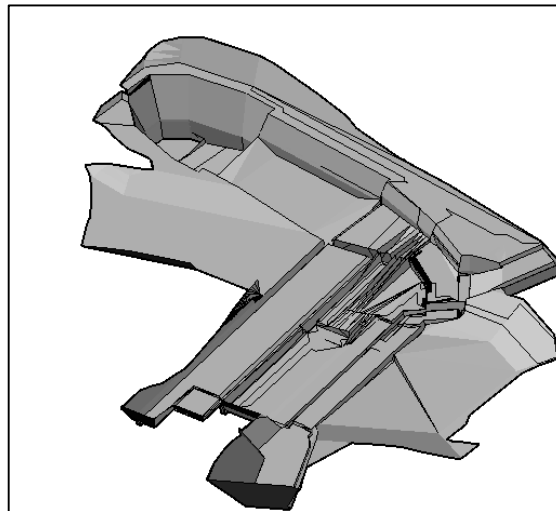
En la Figura 37 se presentan las superficies obtenidas a partir de estos contornos.



a) Superficie de los muros en sacos de polietileno rellenos de suelo cemento



b) Superficie de las ataguías en enrocado



c) Superficie de las excavaciones (tanque de carga, desarenadores y captación)

Figura 37. Superficies de las excavaciones y ataguías en captación – Etapa 2

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, teniendo en cuenta que al editar la superficie se pegan todas las superficies que representan las obras (Figura 38).



Figura 38. Superficie del terreno modificado con las excavaciones – Etapa 2

4) Generación de planos

Con las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen de la misma forma en que se realizó para las excavaciones de la captación principal.

En la Figura 39 se muestra una sección generada por medio del software.

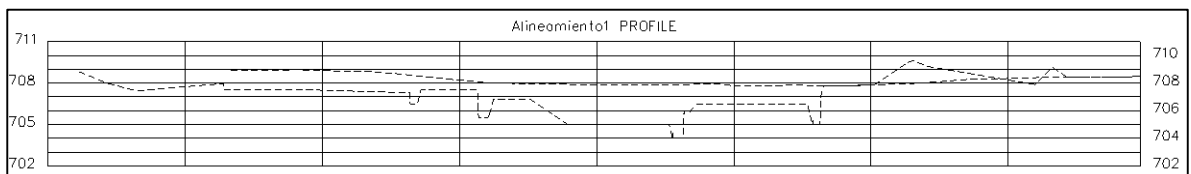
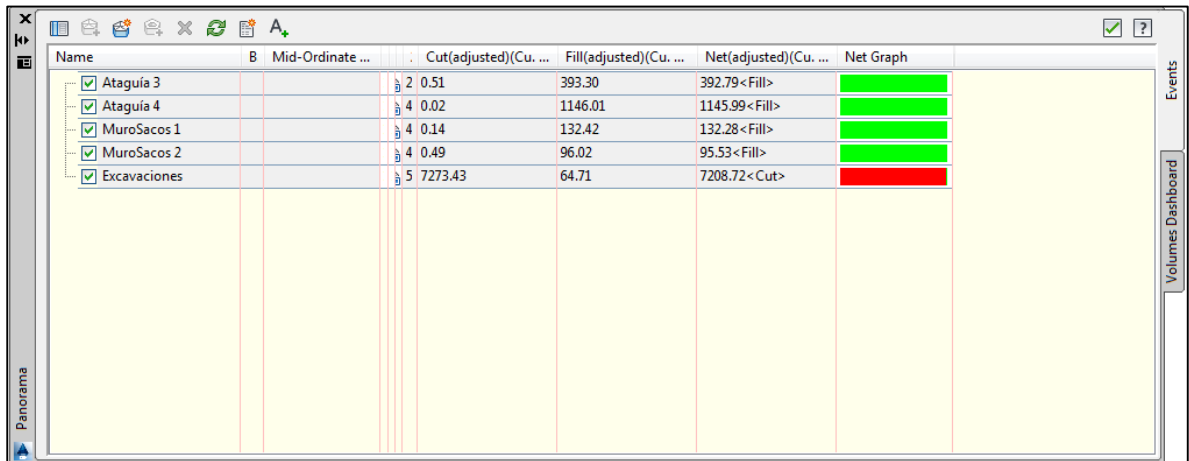


Figura 39. Sección de las excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 1

5) Volúmenes de excavación

Así mismo, se obtuvieron los diferentes volúmenes correspondientes a los movimientos de tierra necesarios para la Etapa 2 de las excavaciones de la captación principal. En la Figura 40 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software.



Name	B	Mid-Ordinate ...	Cut(adjusted)(Cu. ...	Fill(adjusted)(Cu. ...	Net(adjusted)(Cu. ...	Net Graph
<input checked="" type="checkbox"/> Ataguía 3			2 0.51	393.30	392.79< Fill>	
<input checked="" type="checkbox"/> Ataguía 4			4 0.02	1146.01	1145.99< Fill>	
<input checked="" type="checkbox"/> MuroSacos 1			4 0.14	132.42	132.28< Fill>	
<input checked="" type="checkbox"/> MuroSacos 2			4 0.49	96.02	95.53< Fill>	
<input checked="" type="checkbox"/> Excavaciones			5 7273.43	64.71	7208.72< Cut>	

Figura 40. Resultados análisis de masas excavaciones y ataguías captación principal – Etapa 2

Según el cuadro se tienen 1.538,78 m³ correspondientes a llenos para ataguías, 228,44 m³ de lleno para los muro en sacos de polietileno rellenos con suelo cemento y 7.208,72 m³ de corte correspondientes a las excavaciones de la Etapa 2 de la captación principal.

6.4.2.5 Excavaciones de la captación de respaldo

Para modelar las excavaciones de la captación de respaldo se utilizó la misma metodología que para las excavaciones de la captación principal, a partir del plano de excavaciones suministrado por la empresa para esta obra Figura 41.

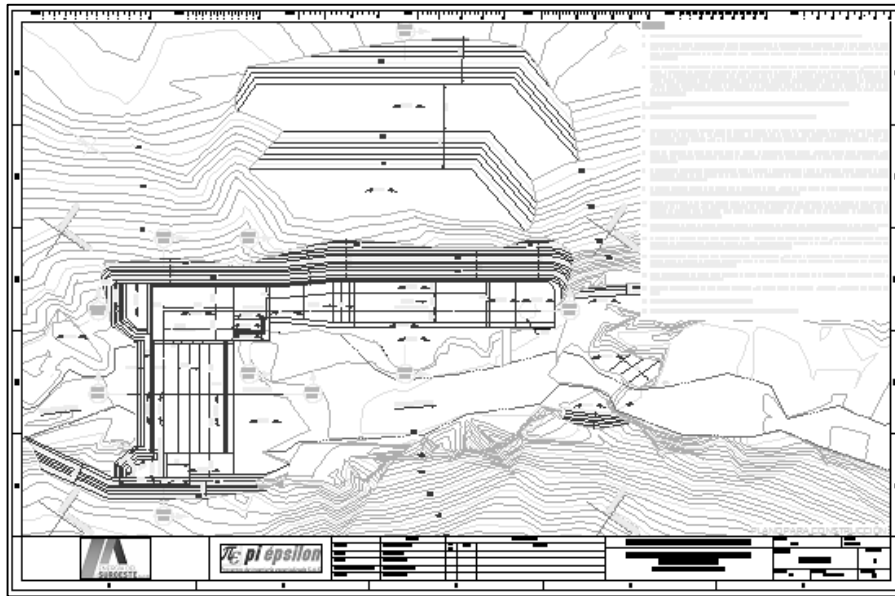


Figura 41.Plano de excavaciones de la captación de respaldo

1) Modelo del terreno

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de la vía de acceso a la captación principal.

2) Superficie de las excavaciones

En la Figura 42 se muestran los contornos generados para la excavación de las obras de la captación de respaldo.

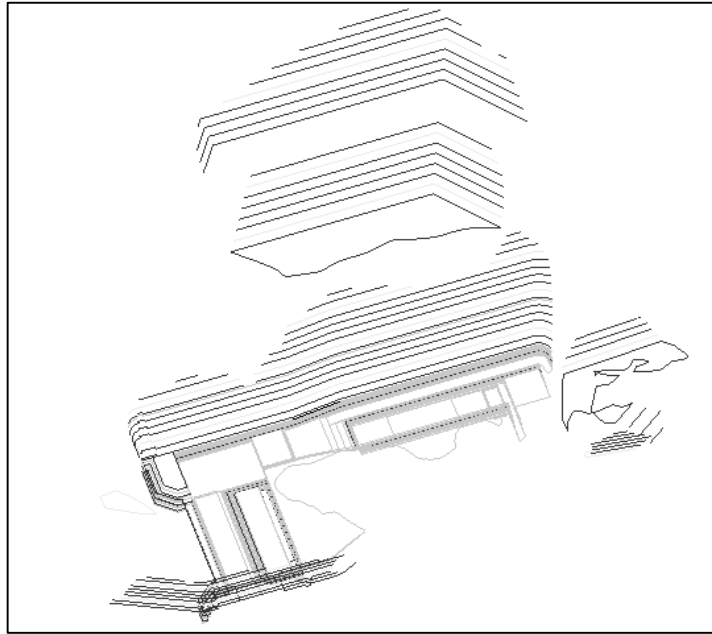


Figura 42. Contornos de las excavaciones de la captación de respaldo

En la Figura 43 se presentan las superficies obtenidas a partir de estos contornos.

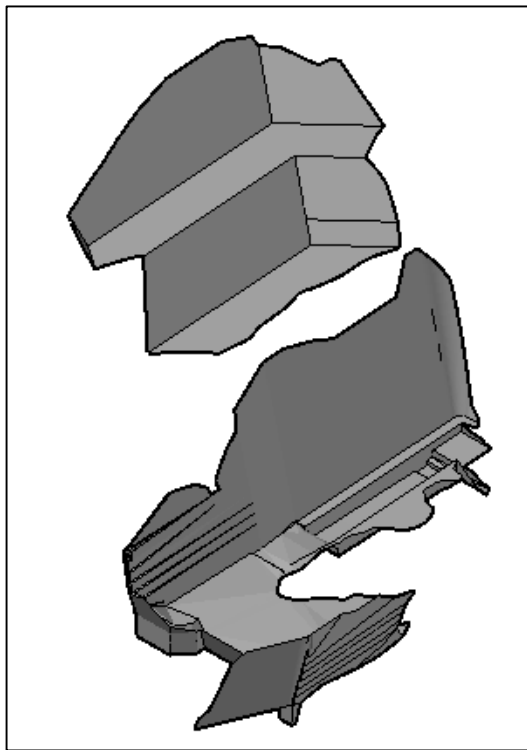


Figura 43. Superficies de las excavaciones en la captación de respaldo

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, teniendo en cuenta que al editar la superficie se pegan todas las superficies que representan las obras (Figura 44).

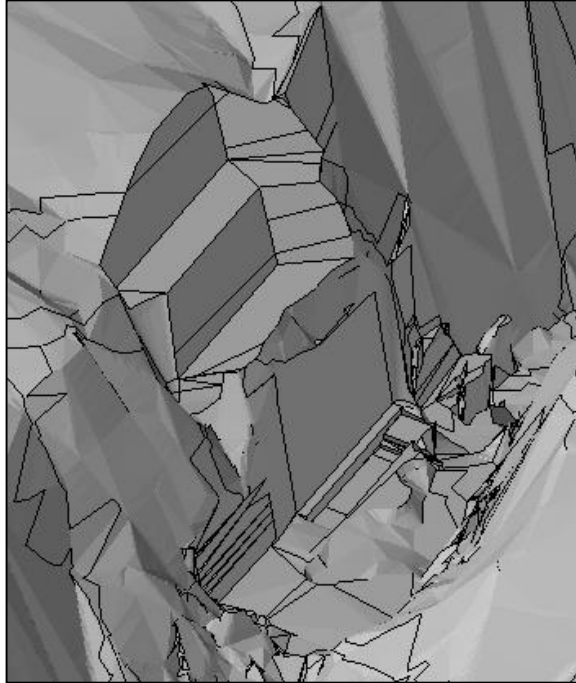


Figura 44. Superficie del terreno modificado con las excavaciones de la captación de respaldo

4) Generación de planos

Con las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen de la misma forma en que se realizó para la Etapa 1 de las excavaciones.

En la Figura 45 se muestra una sección generada por medio del software.

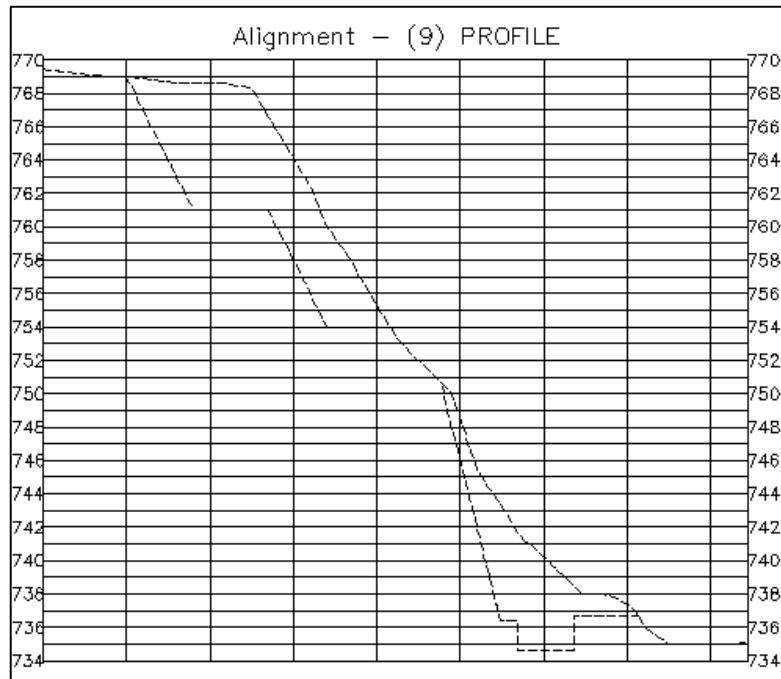


Figura 45. Sección de las excavaciones de la captación de respaldo

5) Volúmenes de excavación

En la Figura 46 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software para las obras de la captación de respaldo.

Name	C	I	Cut(adjusted)(Cu. ...)	Fill(adjusted)(Cu. ...)	Net(adjusted)(Cu. ...)	Net Graph
<input checked="" type="checkbox"/> Talud superior	1	1	1741.29	0.01	1741.28 <Cut>	
<input checked="" type="checkbox"/> Excavación obras	1	1	1583.85	2.18	1581.67 <Cut>	
<input checked="" type="checkbox"/> Corte 1	1	1	128.78	0.07	128.71 <Cut>	
<input checked="" type="checkbox"/> Corte 2	1	1	29.09	0.00	29.09 <Cut>	

Figura 46. Resultados análisis de masas excavaciones captación de respaldo

Según el cuadro se tienen 3.480,75 m³ de corte correspondiente a las excavaciones de las obras de captación de respaldo.

6.4.2.6 Excavaciones de la casa de máquinas y subestación

Para modelar las excavaciones de la captación de respaldo se utilizó la misma metodología que para las excavaciones de la captación principal, basándose en el plano de excavaciones suministrado por la empresa para esta obra (Figura 47).

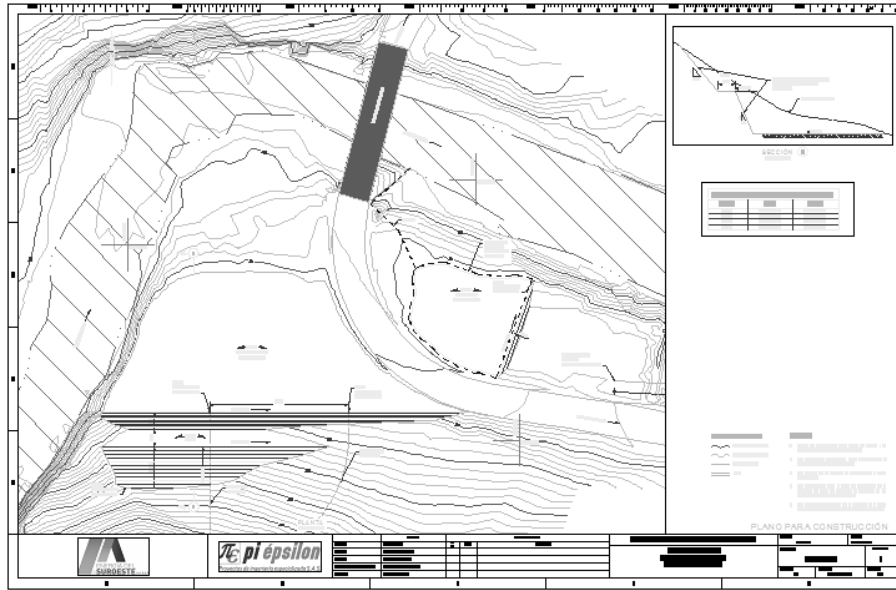


Figura 47. Plano de excavaciones de la zona de casa de máquinas

1) Modelo del terreno

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de la vía de acceso al depósito 3.

2) Superficie de las excavaciones

En la Figura 48 se muestran los contornos generados para la excavación de las obras de la captación de respaldo.

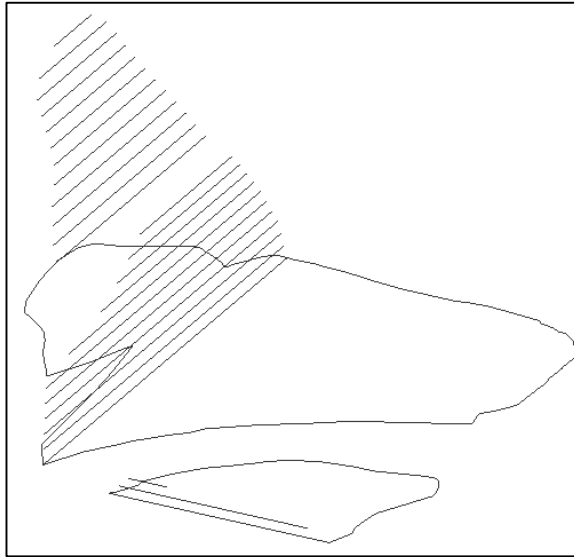


Figura 48. Contornos de las excavaciones de la zona de casa de máquinas

En la Figura 49 se presentan las superficies obtenidas a partir de estos contornos.

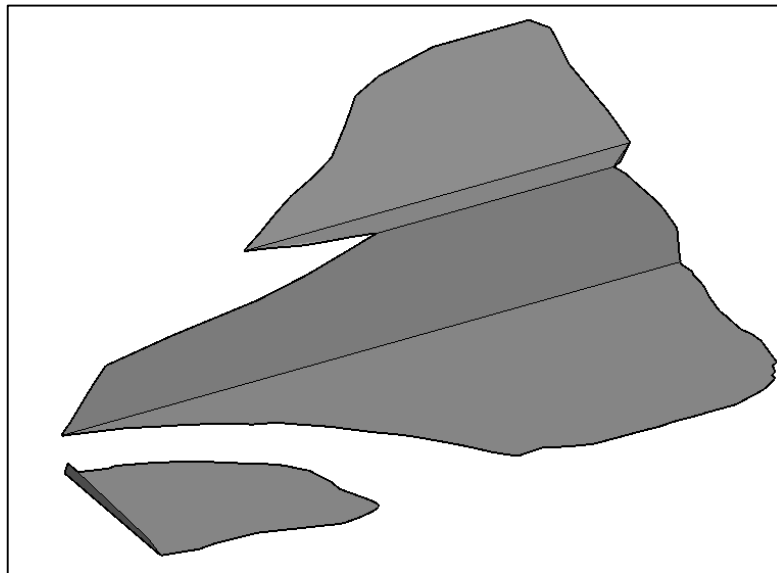


Figura 49. Superficies de las excavaciones en la zona de casa de máquinas

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, teniendo en cuenta que al editar la superficie se pegan todas las superficies que representan las obras (Figura 50).

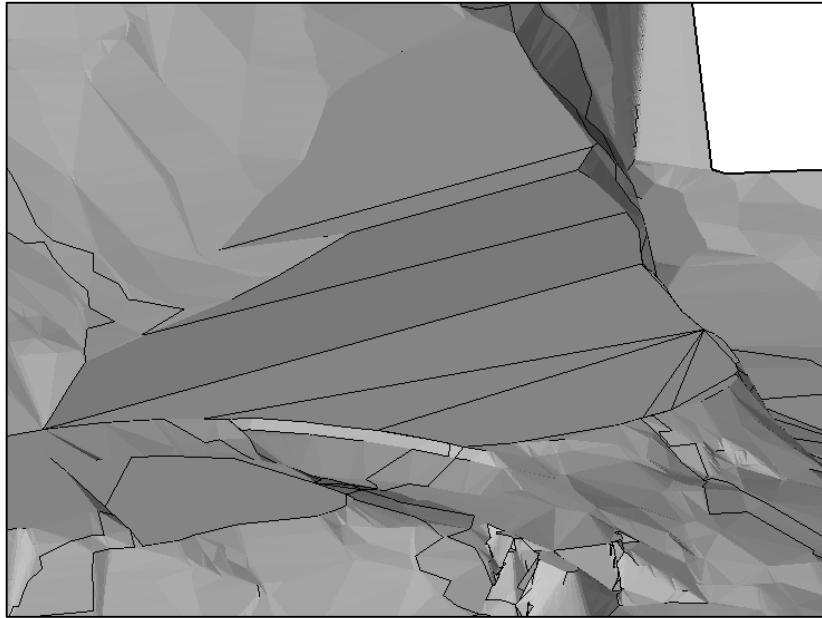


Figura 50. Superficie del terreno modificado con las excavaciones de la zona de casa de máquinas

4) Generación de planos

Con las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen de la misma forma en que se ha venido realizando para las demás excavaciones.

En la Figura 51 se muestra una sección generada por medio del software.

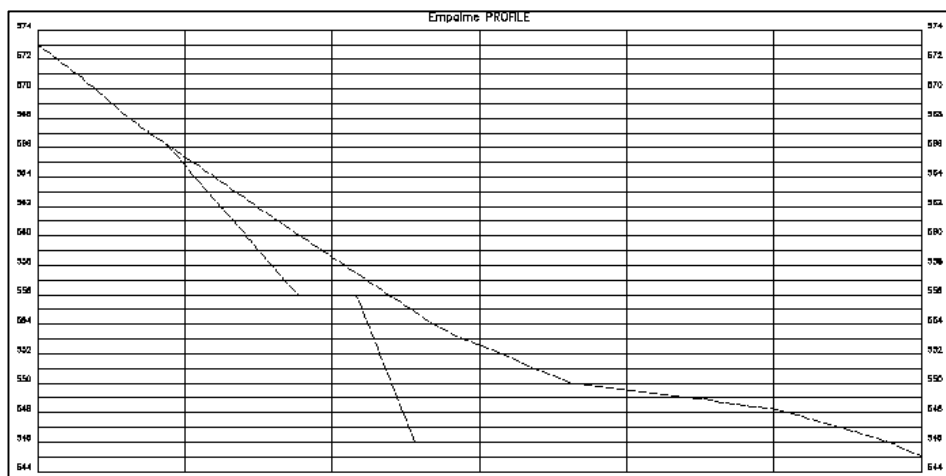
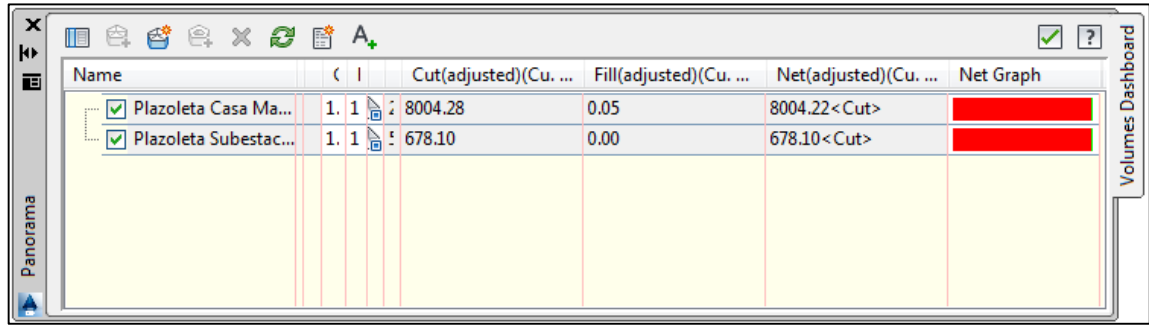


Figura 51. Sección de las excavaciones de la plazoleta de casa de máquinas

5) Volúmenes de excavación

En la Figura 52 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software para cuantificar los volúmenes de excavación de las plazoletas de casa de máquinas y subestación.





Name	Cut (adjusted)(Cu. ...)	Fill (adjusted)(Cu. ...)	Net (adjusted)(Cu. ...)	Net Graph
Plazoleta Casa Ma...	8004.28	0.05	8004.22 <Cut>	
Plazoleta Substac...	678.10	0.00	678.10 <Cut>	

Figura 52. Resultados análisis de masas excavaciones casa de máquinas y subestación

Según el cuadro se tienen 8.682,32 m³ de corte correspondiente a las excavaciones de las obras de casa de máquinas.

6.4.2.7 Depósito 3

Para realizar el modelo del depósito 3, se partió del plano suministrado por la empresa Pi Épsilon (Figura 53), el cual se importó al software **AutoCAD Civil 3D**.

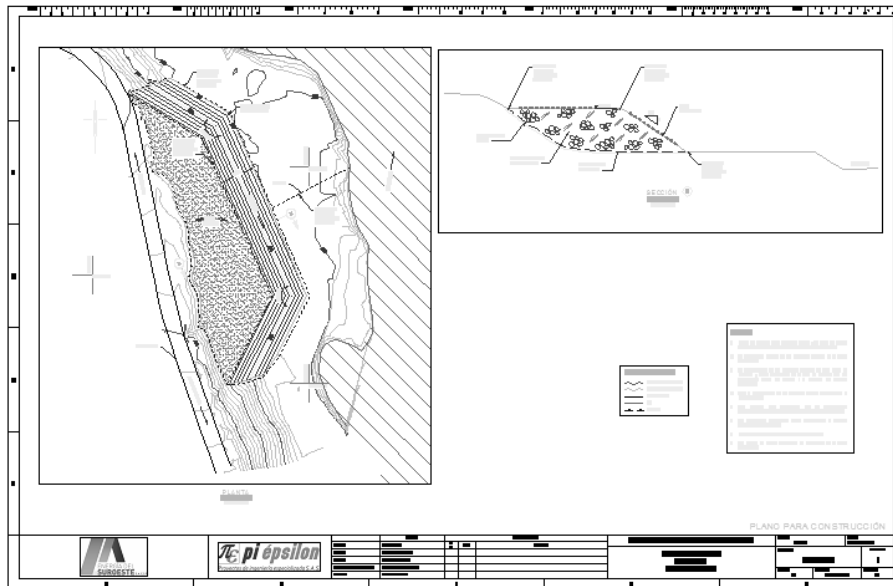


Figura 53. Plano del depósito 3

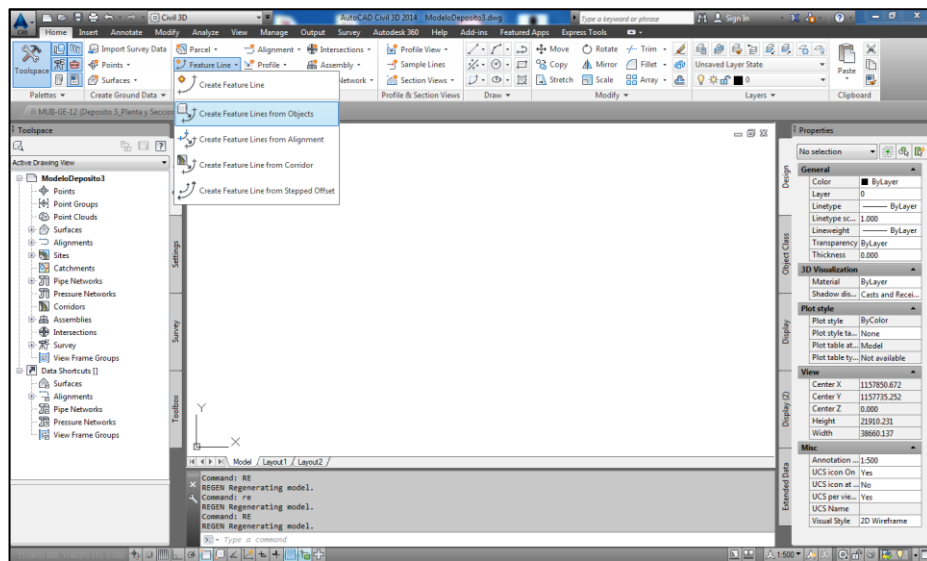
1) Modelo del terreno

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de excavaciones de la zona de casa de máquinas.

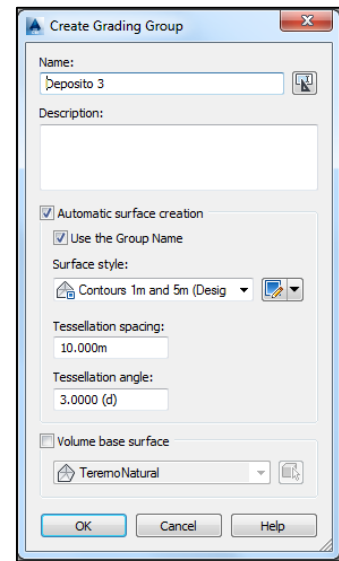
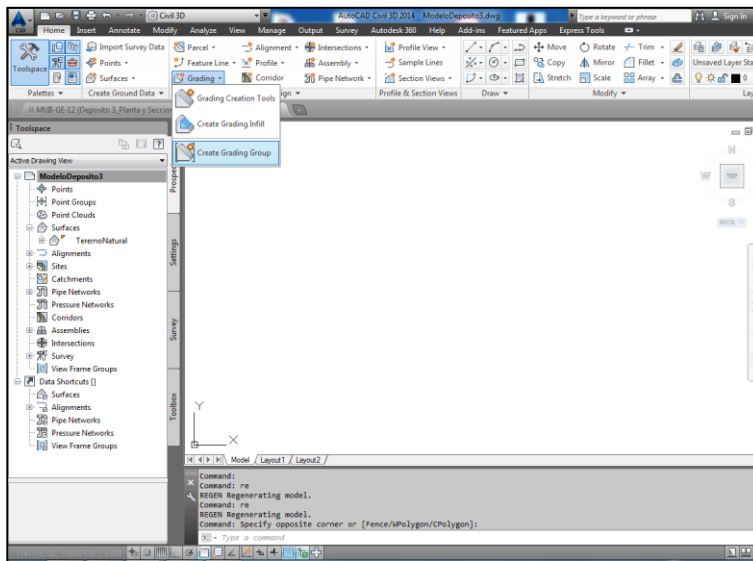
2) Superficie del depósito

Paso I. A partir de los planos se obtiene el contorno de la plazoleta del depósito.

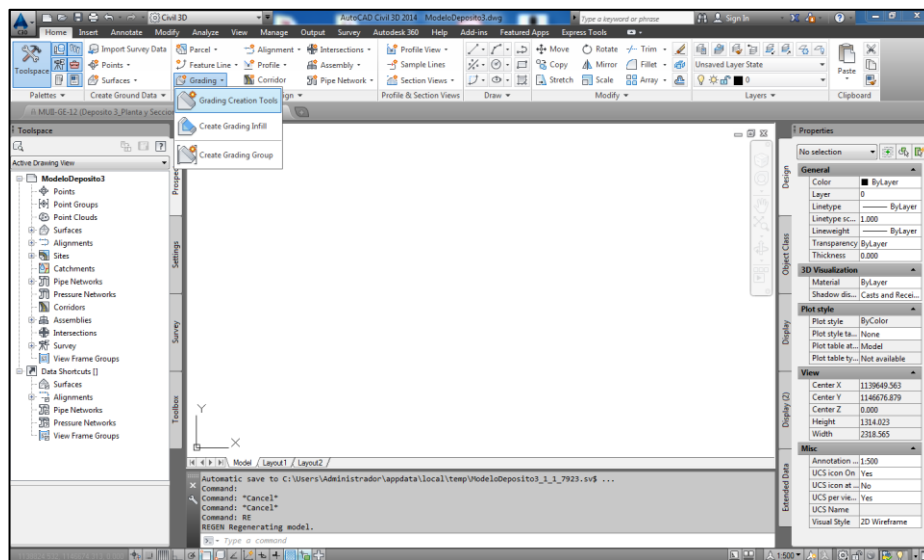
Paso II. A partir del contorno de la plazoleta se genera una línea característica. Desplegando la herramienta *Feature Line* de panel *Create Design* y seleccionando la opción *Create Feature Lines From Objects*.



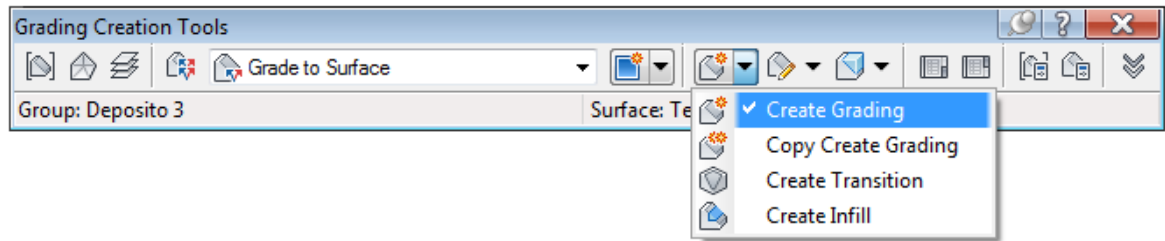
Paso III. Se crea un grupo de explanación con desplegando la herramienta *Grading* del panel *Create Design* y seleccionando la opción *Create Grading Group*. Seleccionando que se genere automáticamente una superficie a partir de la explanación y definiendo el estilo de visualización de la misma.



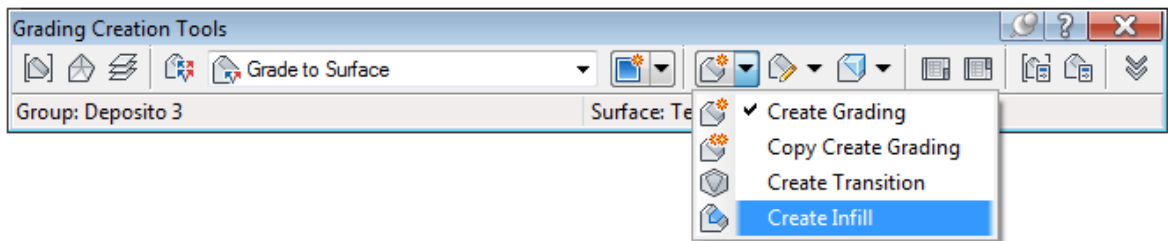
Paso IV. Teniendo la línea característica que representa la plazoleta y el grupo de explanación, se procede a crear el lleno correspondiente al depósito desplegando la herramienta *Grading* del panel *Create Design* y seleccionando la opción *Grading Creation Tools*.



Paso V. En la barra que aparece, se selecciona la opción *Grade to Surface* y se procede a crear el lleno, definiendo la pendiente del mismo y los lados de la línea característica a los que se le va a asignar esta pendiente.



Paso VI. Se crea la tapa del depósito con la herramienta *Create Infill* de la barra de herramientas *Grading Creation Tools*.



En la Figura 54 se presenta la superficie del depósito 3. Como las demás superficies generadas con este software, ésta se actualiza a medida que se generen cambios en la línea característica.

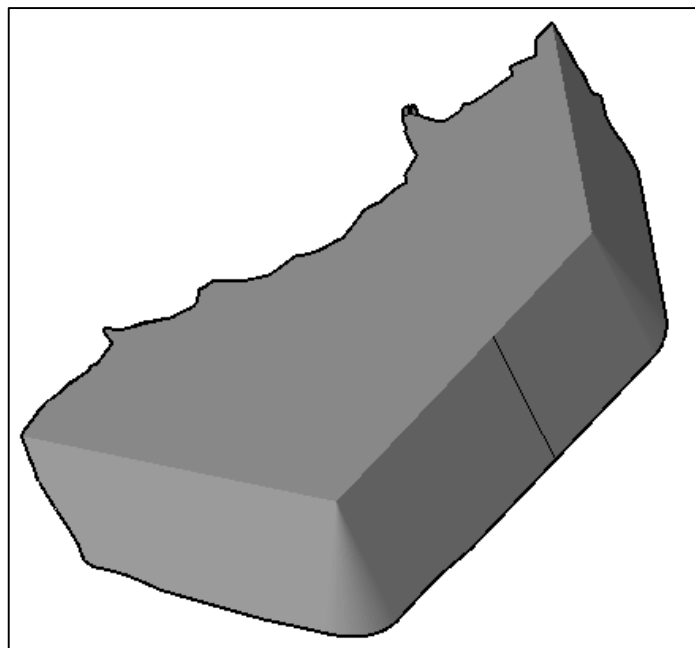


Figura 54. Superficie del depósito 3

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, pegando la superficie del terreno natural y la superficie del depósito. En la Figura 55 se presenta la superficie del terreno modificado con el depósito 3.

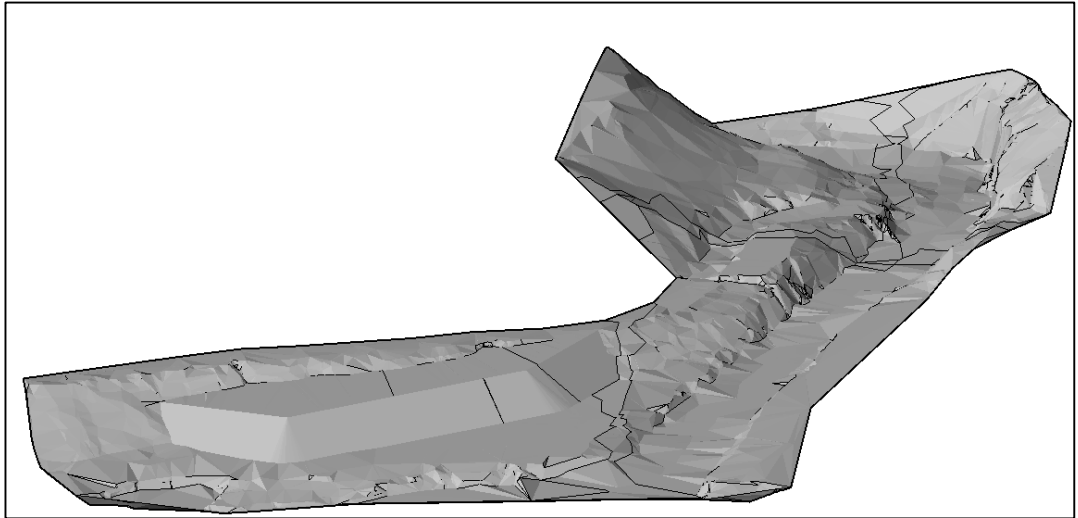


Figura 55. Superficie del terreno modificado con el depósito 3

4) Generación de planos

De manera análoga a como se hizo con las excavaciones, haciendo uso de las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen, a estas secciones se les puede asignar estilos de visualización y plantillas lo que facilita el trabajo de edición y dibujo. En la Figura 56 se muestra la sección generada.

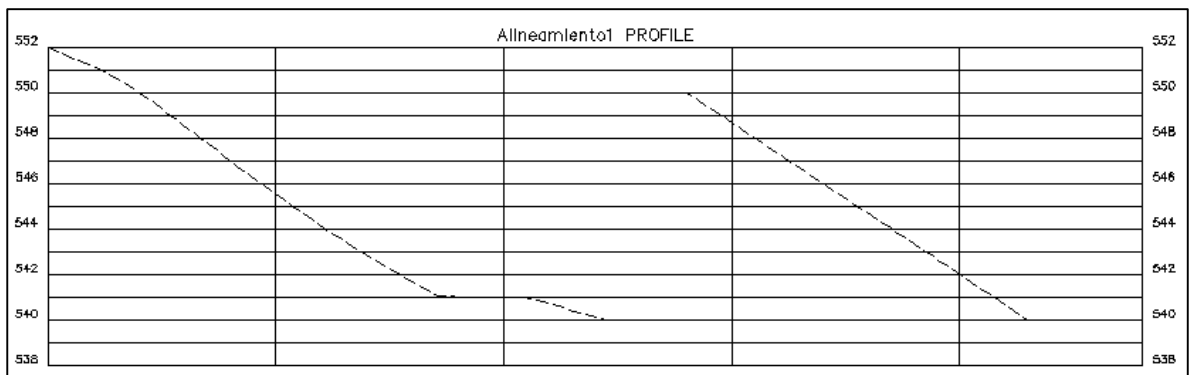


Figura 56. Sección del depósito 3

5) Cantidades de obra

Por medio de las herramientas del software es posible calcular los volúmenes de excavaciones de manera análoga a como se realizó para las excavaciones. Adicionalmente a la superficie del depósito se le hizo un análisis de pendientes siguiendo el mismo procedimiento que para las vías de acceso con el fin de determinar las áreas de revegetalización para el depósito.

En la Figura 57 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software para cuantificar los volúmenes de excavación de las plazoletas de casa de máquinas y subestación.

The screenshot shows a software window titled 'Volumes Dashboard'. It contains a table with the following data:

Name	Cut (adjusted)(Cu. ...)	Fill (adjusted)(Cu. ...)	Net (adjusted)(Cu. ...)	Net Graph
Deposito3	1. 1 0.45	29499.83	29499.38 <Fill>	[Green bar]

Figura 57. Resultados análisis de masas para el depósito 3

Según el cuadro, la capacidad del depósito 3 es de 29.499,83 m³.

En la Figura 58 se presentan los resultados del análisis de pendientes para la vía de acceso a la captación principal.

Slopes Table					
Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Area 3D	Color
1	0.00%	200.00%	5409.82	5893.60	[Red square]

Figura 58. Resultados del análisis de pendientes de la superficie del depósito 3

De acuerdo a los resultados del análisis de pendientes, se deben revegetalizar 5.893,60 m².

6.4.2.8 Depósito 4

Para realizar el modelo del depósito 4, se partió del plano suministrado por la empresa Pi Épsilon (Figura 59), el cual se importó al software **AutoCAD Civil 3D**.

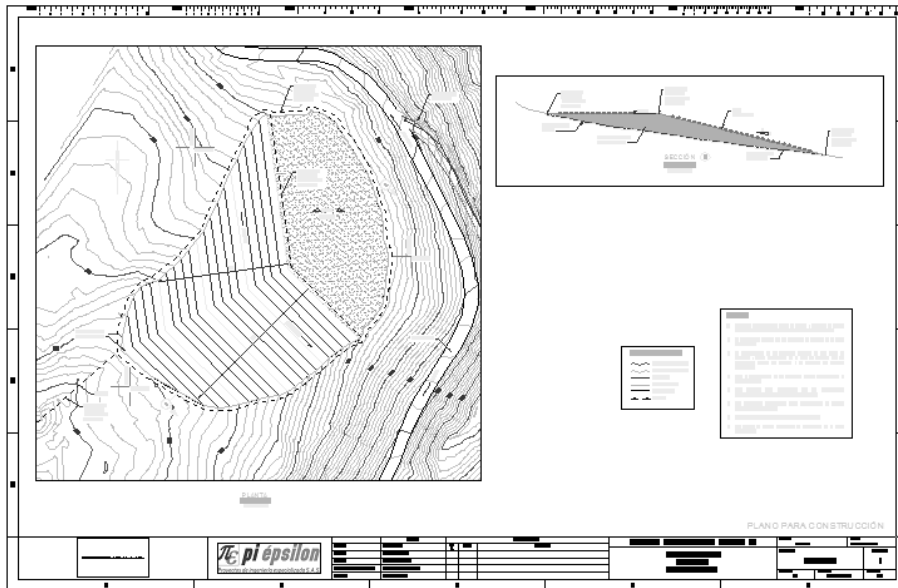


Figura 59. Plano del depósito 4

1) Modelo del terreno

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de excavaciones de la zona de captación.

2) Superficie del depósito

En la Figura 60 se presenta la superficie del depósito 4. Como las demás superficies generadas con este software, ésta se actualiza a medida que se generen cambios en la línea característica.

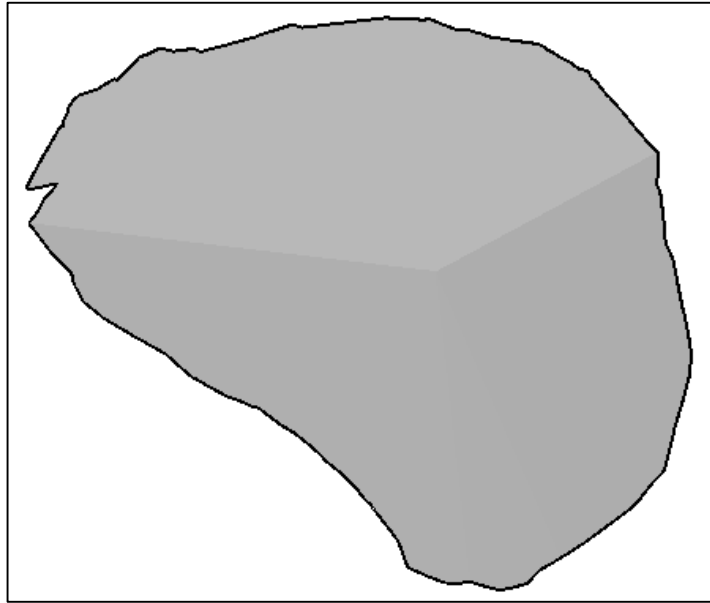


Figura 60. Superficie del depósito 4

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, pegando la superficie del terreno natural y la superficie del depósito. En la Figura 61 se presenta la superficie del terreno modificado con el depósito 4.

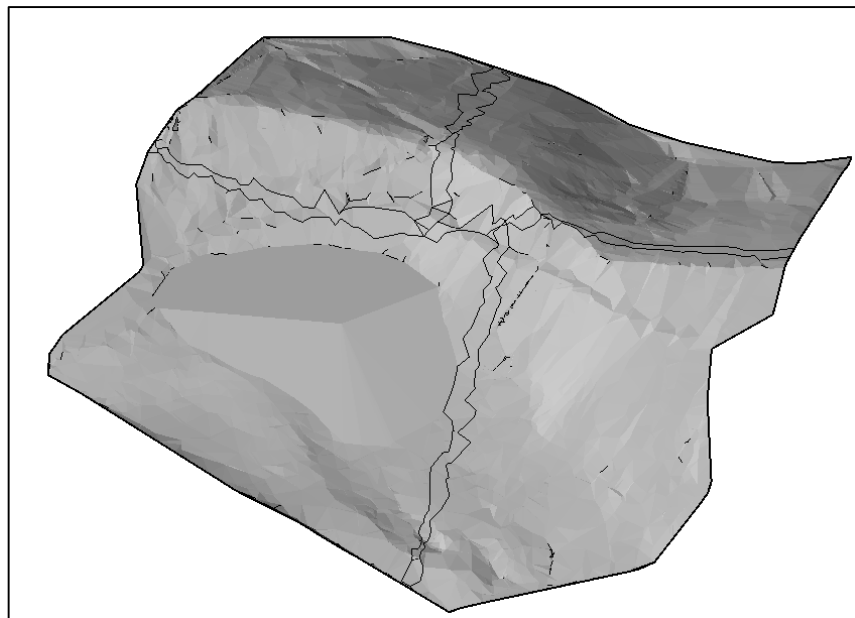


Figura 61. Superficie del terreno modificado con el depósito 4

4) Generación de planos

De manera análoga a como se hizo con las excavaciones, haciendo uso de las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen, a estas secciones se les puede asignar estilos de visualización y plantillas lo que facilita el trabajo de edición y dibujo. En la Figura 62 se muestra la sección generada.

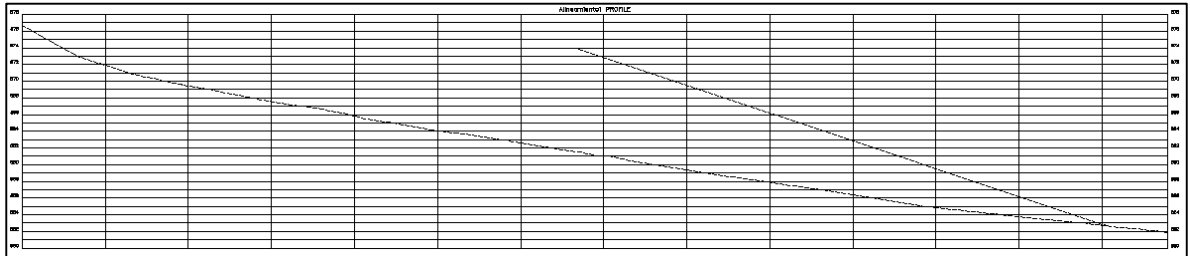


Figura 62. Sección del depósito 4

5) Cantidades de obra

Por medio de las herramientas del software es posible calcular los volúmenes de excavaciones de manera análoga a como se realizó para las excavaciones. Adicionalmente a la superficie del depósito se le hizo un análisis de pendientes siguiendo el mismo procedimiento que para las vías de acceso con el fin de determinar las áreas de revegetalización para el depósito.

En la Figura 63 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software para cuantificar los volúmenes de excavación de las plazoletas de casa de máquinas y subestación.

Name	Cut (adjusted)(Cu. ...)	Fill (adjusted)(Cu. ...)	Net (adjusted)(Cu. ...)	Net Graph
Deposito 4	0.01	68650.12	68650.10 < Fill >	

Figura 63. Resultados análisis de masas para el depósito 4

Según el cuadro, la capacidad del depósito 4 es de 68.650,10 m³.

En la Figura 64 se presentan los resultados del análisis de pendientes para la vía de acceso a la captación principal.

Slopes Table					
Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Area 3D	Color
1	0.00%	202.13%	12678.11	13048.31	■

Figura 64. Resultados del análisis de pendientes de la superficie del depósito 4

De acuerdo a los resultados del análisis de pendientes, se deben revegetalizar 13.048,31 m².

6.4.2.9 Depósito 5

El modelo del depósito 5 se realizó siguiendo el mismo procedimiento que para las excavaciones, esto debido a la geometría del depósito que dificulta la modelación por medio de líneas características. El plano base suministrado por Pi Épsilon se muestra en la Figura 65

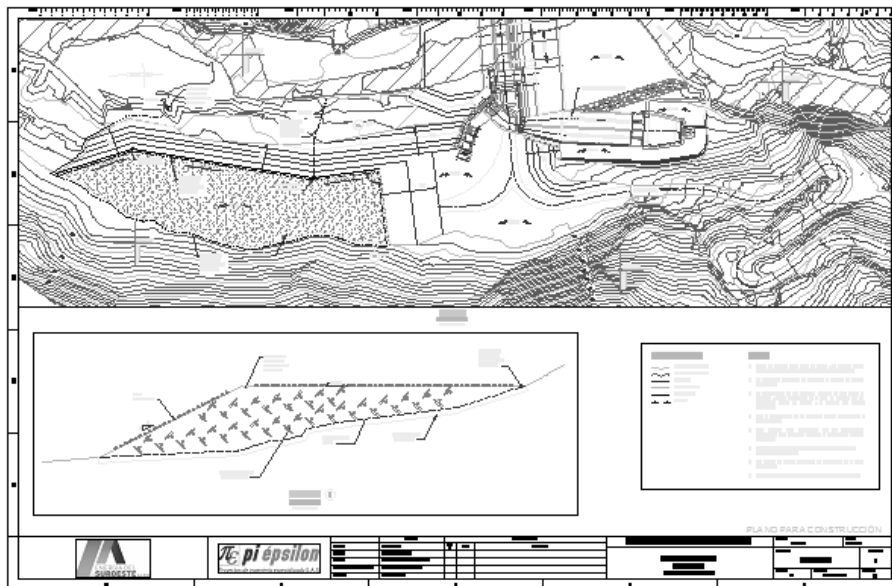


Figura 65. Plano del depósito 5

1) Modelo del terreno

A partir de la topografía de la zona se genera una superficie del terreno natural, esta superficie es la misma que se utilizó para el modelo de la vía de acceso a la captación principal.

2) Superficie del depósito

En la Figura 66 se muestran los contornos generados para la modelación del depósito 5.

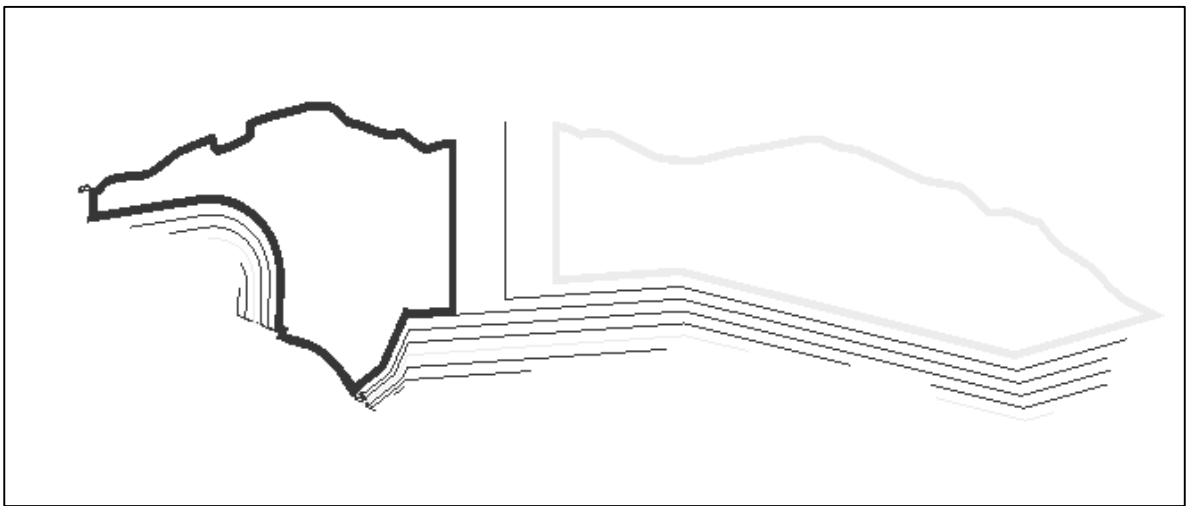


Figura 66. Contornos del lleno del depósito 5

En la Figura 67 se presentan las superficies obtenidas a partir de estos contornos.

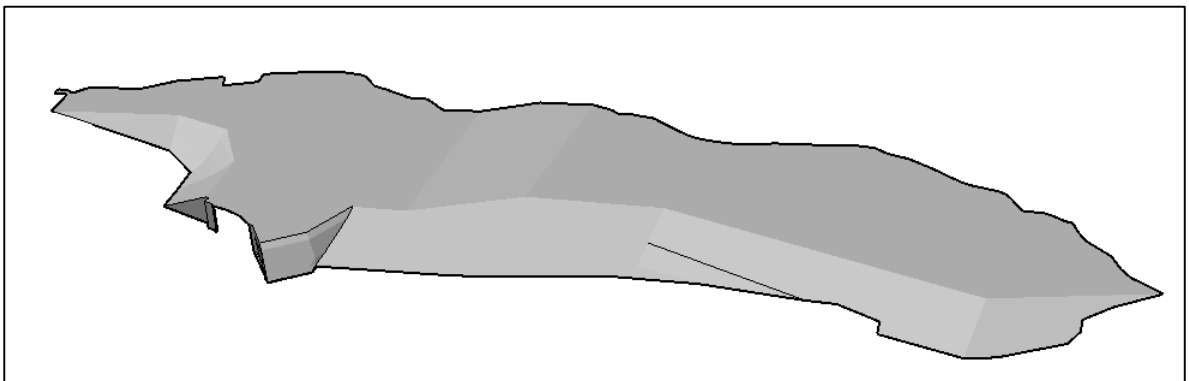


Figura 67. Superficie del depósito 5

3) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las vías, pegando la superficie del terreno natural y la superficie del depósito 5 (Figura 68).

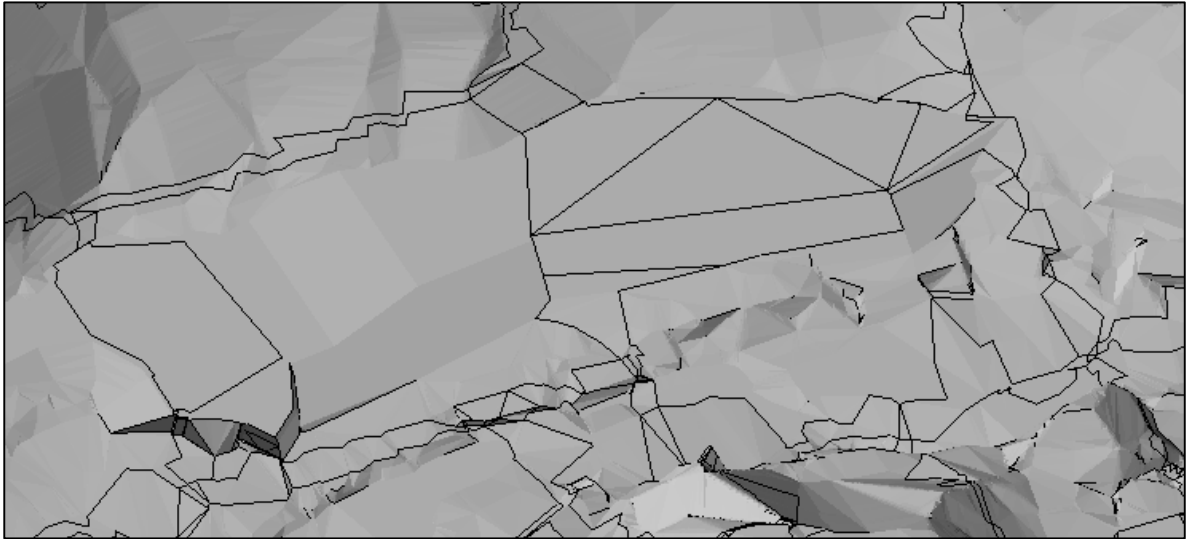


Figura 68. Superficie del terreno modificado con el depósito 5

4) Generación de planos

De manera análoga a como se hizo con las excavaciones, haciendo uso de las herramientas del software es posible generar secciones por donde se deseen, a estas secciones se les puede asignar estilos de visualización y plantillas lo que facilita el trabajo de edición y dibujo. En la Figura 69 se muestra una sección generada por medio del software.

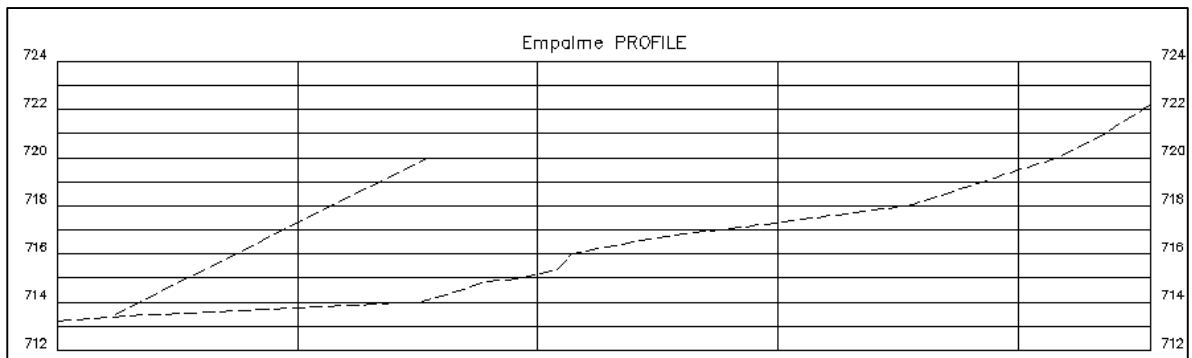


Figura 69. Sección del depósito 5

5) Cantidades de obra

Por medio de las herramientas del software es posible calcular los volúmenes de excavaciones de manera análoga a como se realizó para las excavaciones. Adicionalmente a la superficie del depósito se le hizo un análisis de pendientes siguiendo el mismo procedimiento que para las vías de acceso con el fin de determinar las áreas de revegetalización para el depósito.

En la Figura 70 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software para cuantificar los volúmenes de excavación de las plazoletas de casa de máquinas y subestación.

Name	Cut(adjusted)(Cu. ...)	Fill(adjusted)(Cu. ...)	Net(adjusted)(Cu. ...)	Net Graph
Deposito5 (1)	1.1	5.53	17964.93	17959.40 <Fill>

Figura 70. Resultados análisis de masas para el depósito 5

Según el cuadro, la capacidad del depósito 5 es de 17.959,40 m³.

En la Figura 71 se presentan los resultados del análisis de pendientes para la vía de acceso a la captación principal.

Slopes Table					
Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Area 3D	Color
1	0.00%	200.00%	6913.00	7129.93	■

Figura 71. Resultados del análisis de pendientes de la superficie del depósito 5

De acuerdo a los resultados del análisis de pendientes, se deben revegetalizar 7.129,93 m².

6.4.3 Modelo de las obras de conducción

Para realizar el modelo de las obras de conducción se realizó un procedimiento similar al efectuado para los modelos de las obras de infraestructura, al tratarse de un modelo donde se requiere representar las excavaciones de pozos y el trazado y secciones de túneles. Para esto se tuvo en cuenta el plano de la conducción suministrado por Pi Épsilon (Figura 72).

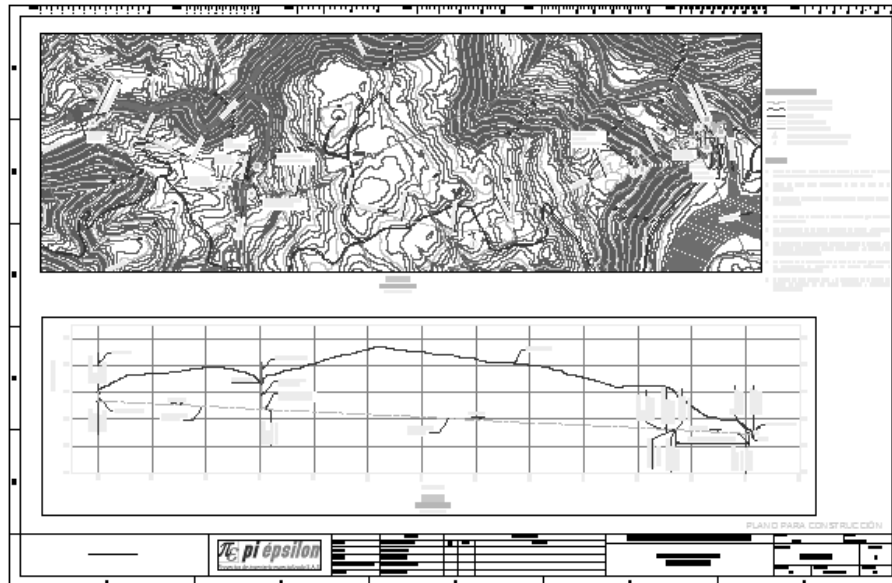


Figura 72. Plano planta perfil de la conducción

Inicialmente, se realizó un modelo del terreno a partir de una restitución cartográfica a la cual se le pegaron las superficies de los levantamientos topográficos en la zona de captación y casa de máquinas para mejorar su precisión. Adicionalmente se le pegaron a esta superficie las superficies de las excavaciones de las captaciones y la casa de máquinas para su visualización. En la Figura 73 se muestra el modelo del terreno para la conducción.

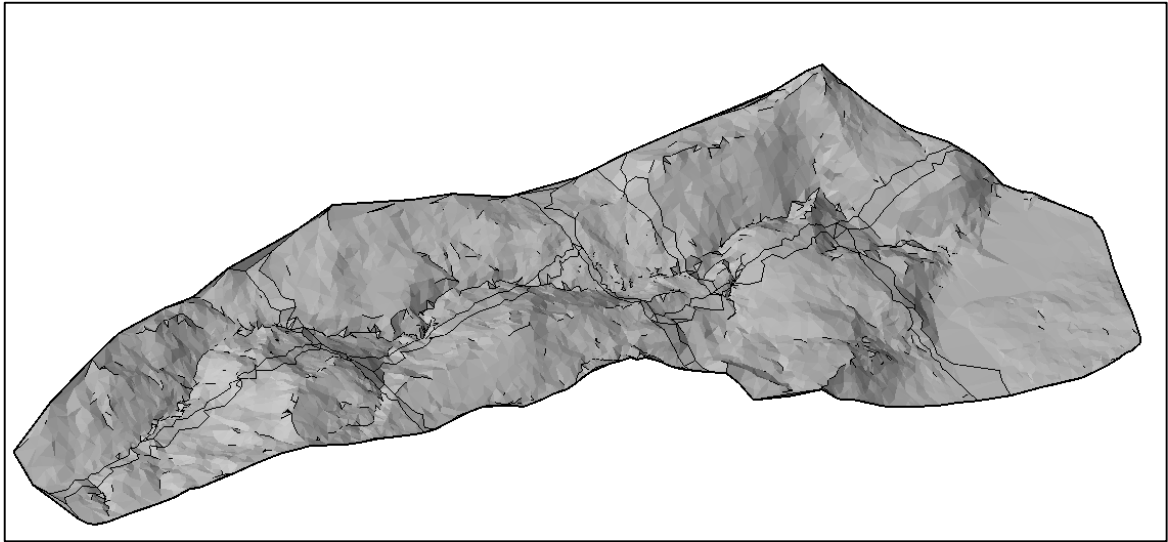


Figura 73. Modelo del terreno de la conducción

6.4.3.1 Pozo vertical 1

1) Superficie de las excavaciones

En la Figura 74 se presenta la superficie obtenida a partir de los contornos del pozo.

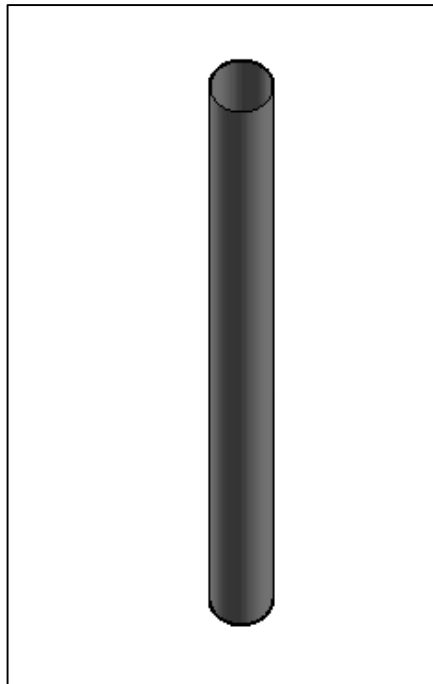


Figura 74. Superficie del pozo 1

2) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las demás obras (Figura 75).

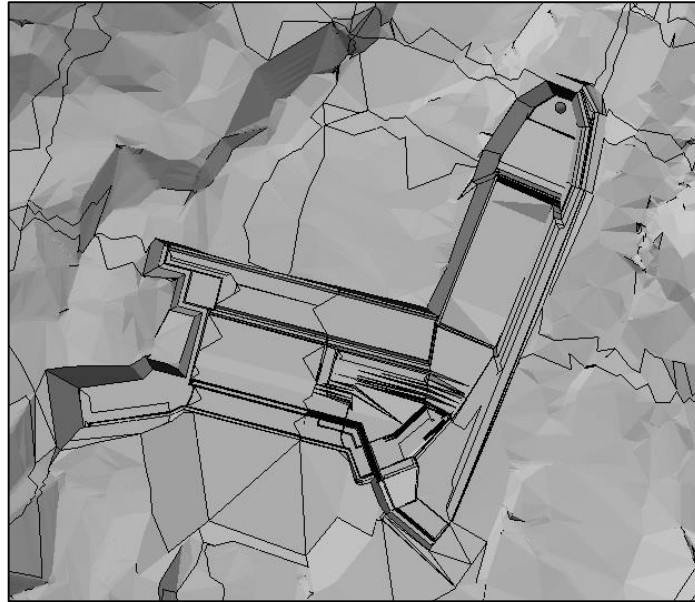
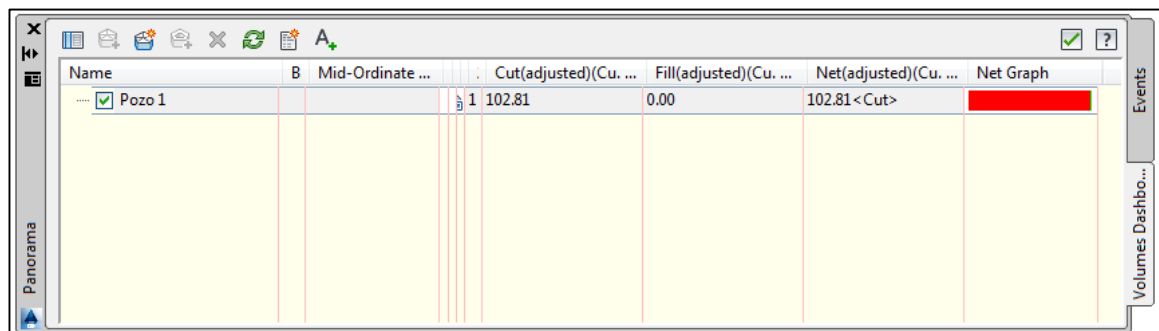


Figura 75. Superficie del terreno modificado con el pozo vertical 1

3) Volúmenes de excavación

Así mismo, se obtuvieron los diferentes volúmenes correspondientes las excavaciones necesarias para la construcción del pozo 1. En la Figura 76 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software.

A screenshot of a software interface displaying a table of excavation volume analysis results. The table has several columns: Name, B, Mid-Ordinate, Cut, Fill, Net, and Net Graph. The row for 'Pozo 1' shows a cut volume of 102.81 and a net volume of 102.81. The Net Graph column contains a red bar. The interface includes a toolbar at the top and a sidebar on the right with 'Events' and 'Volumen Dashbo...' labels.


Name	B	Mid-Ordinate ...	Cut(adjusted)(Cu. ...	Fill(adjusted)(Cu. ...	Net(adjusted)(Cu. ...	Net Graph
<input checked="" type="checkbox"/> Pozo 1			1 102.81	0.00	102.81<Cut>	

Figura 76. Resultados análisis de masas excavaciones del pozo 1

Según el cuadro se tienen 102,81 m³ correspondientes a excavaciones.

6.4.3.2 Pozo vertical 2

1) Superficie de las excavaciones

En la Figura 77 se presenta la superficie obtenida a partir de los contornos del pozo.



Figura 77. Superficie del pozo 2

2) Superficie del terreno modificado

Se genera una superficie del terreno modificado, de la misma manera en que se genera para las demás obras (Figura 78).

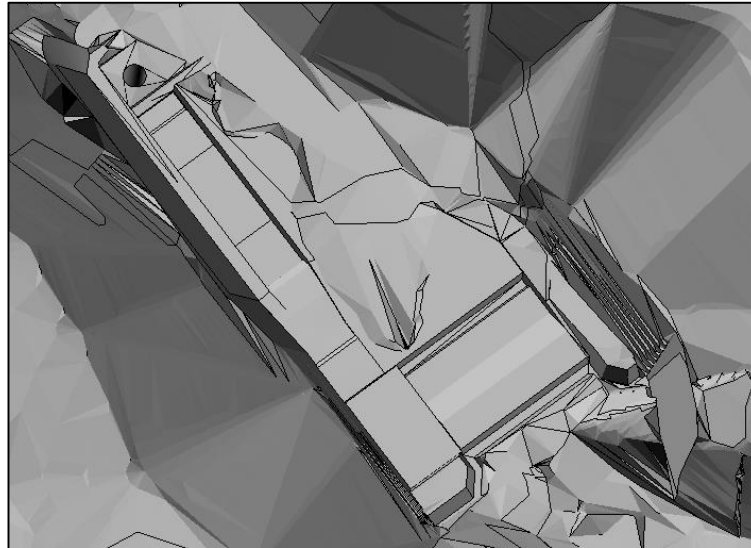


Figura 78. Superficie del terreno modificado con el pozo vertical 2

3) Volúmenes de excavación

Así mismo, se obtuvieron los diferentes volúmenes correspondientes las excavaciones necesarias para la construcción del pozo 2. En la Figura 79 se muestra el resultado del análisis de masas realizado con las herramientas del software.

 A screenshot of a software interface window titled 'Volumes Dashboard'. It displays a table with the following data:

Name	B	Mid-Ordinate ...	Cut(adjusted)(Cu. ...	Fill(adjusted)(Cu. ...	Net(adjusted)(Cu. ...	Net Graph
<input checked="" type="checkbox"/> Pozo 2			2 185.25	0.00	185.25<Cut>	

 The interface includes a toolbar at the top with various icons and a 'Panorama' button on the left side.

Figura 79. Resultados análisis de masas excavaciones del pozo 2

Según el cuadro se tienen 185,25 m³ correspondientes a excavaciones.

6.4.3.3 Túnel de conducción

Para la modelación del túnel de conducción se siguió el procedimiento que se describe a continuación.

1) Alineamiento horizontal

Se crea el alineamiento horizontal del túnel de la misma forma que se crea un alineamiento para una vía. En la Figura 80 se muestra el alineamiento horizontal del túnel de conducción.

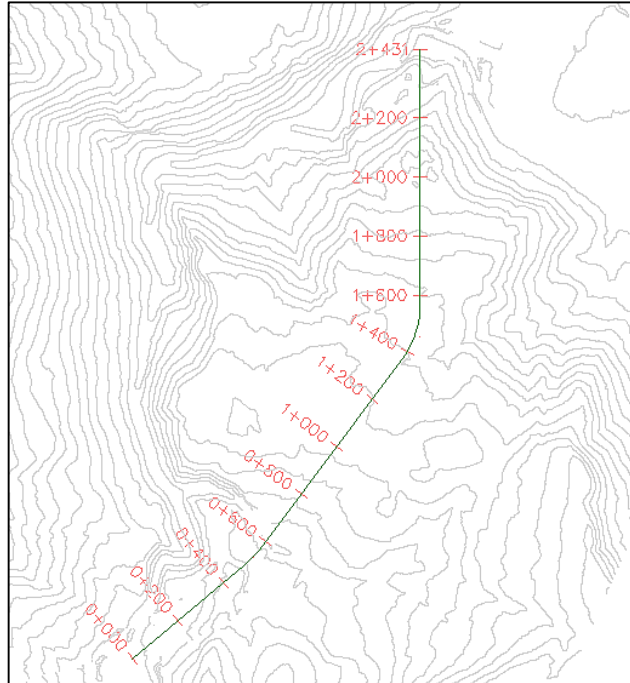


Figura 80.Alineamiento horizontal del túnel de conducción

2) Alineamiento vertical

Con el alineamiento horizontal y la superficie del terreno se genera el perfil del terreno natural y con base en éste se traza el perfil de la conducción (Figura 81).

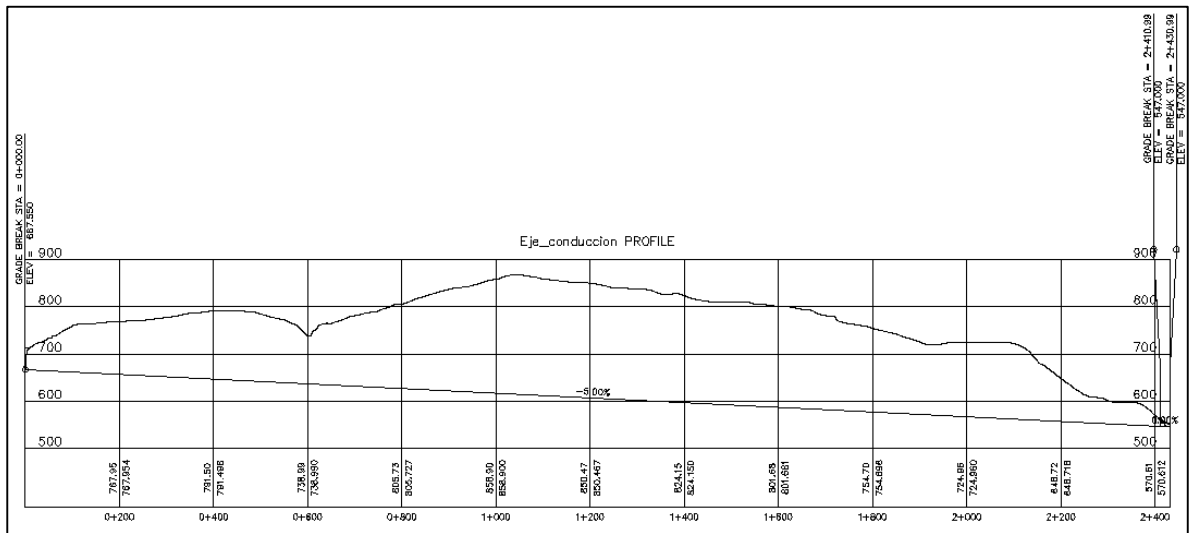


Figura 81. Perfil de la conducción

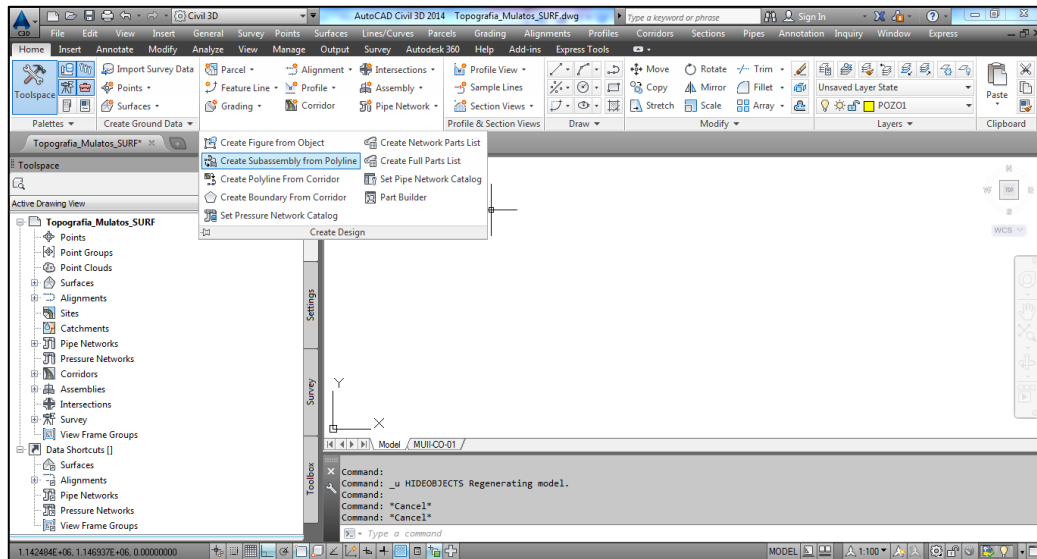
3) Ensamble

Para representar la sección de transversal del túnel de conducción fue necesario crear dos ensambles, uno para el tramo en sección de 2,8 m de diámetro y otro para la sección de 3,0 m. A tratarse de una entidad diferente a las convencionales que trae por defecto **AutoCAD Civil 3D**, fue necesario la creación de subensambles para componer el ensamble.

Paso I. Se crea el ensamble base como se realizó con los alineamientos de las vías.

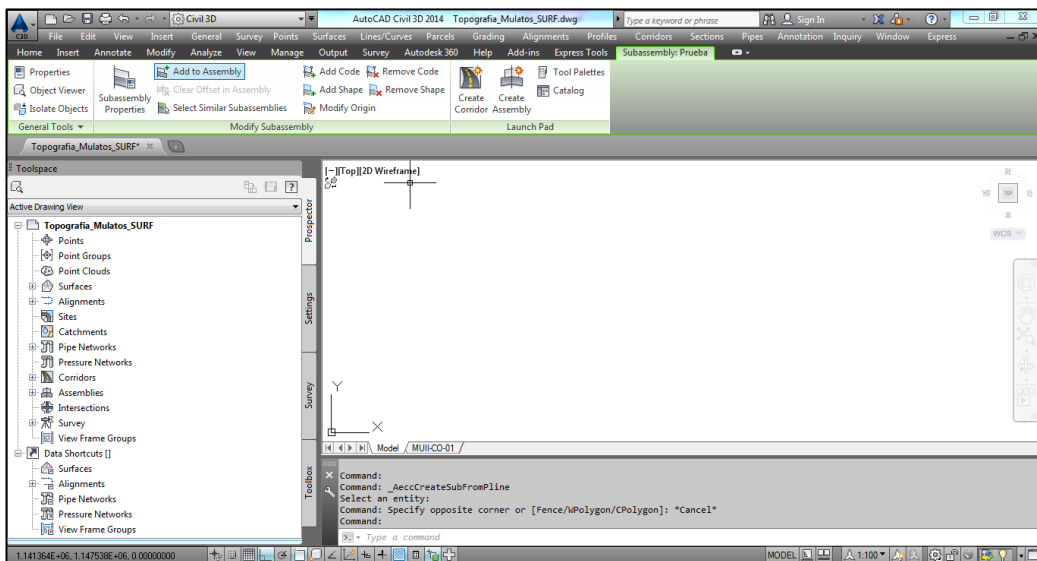
Paso II. Para representar la solera del túnel, se asignan subensambles de la paleta del software.

Paso III. Para representar la bóveda y hastiales del túnel, es necesario dibujar una polilínea que represente cada elemento (bóveda y hastiales). A partir de estas polilíneas se generan un subensambles con la herramienta *Create Subassembly from Polyline* del panel *Create Design*.

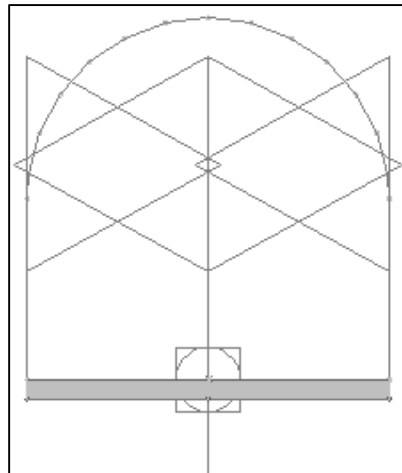


Paso IV.A los subensambles creados con esta herramienta es necesario asignarles códigos en cada una de las uniones de sus segmentos seleccionándolos y dando clic en la herramienta *Add Code* del panel *Modify Subassembly*. Para la bóveda se les asigna el código “Arriba” y a los hastiales “Abajo”.

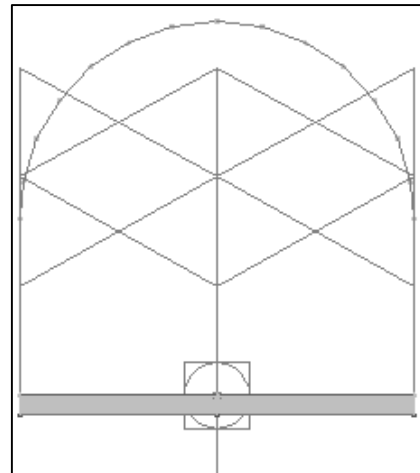
Paso V. Se asignan los subensambles creados a cada uno de los ensambles, seleccionándolos y utilizando la herramienta *Add to Assembly* del panel *Modify Subassembly*.



En la Figura 82 se presentan los ensambles creados para la representación de las secciones del túnel de conducción.



Sección diámetro 2,8 m



Sección diámetro 3,0 m

Figura 82. Ensamblés de la conducción

4) Corredor

En la Figura 83 se presenta un fragmento del corredor generado a partir del alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el ensamble.

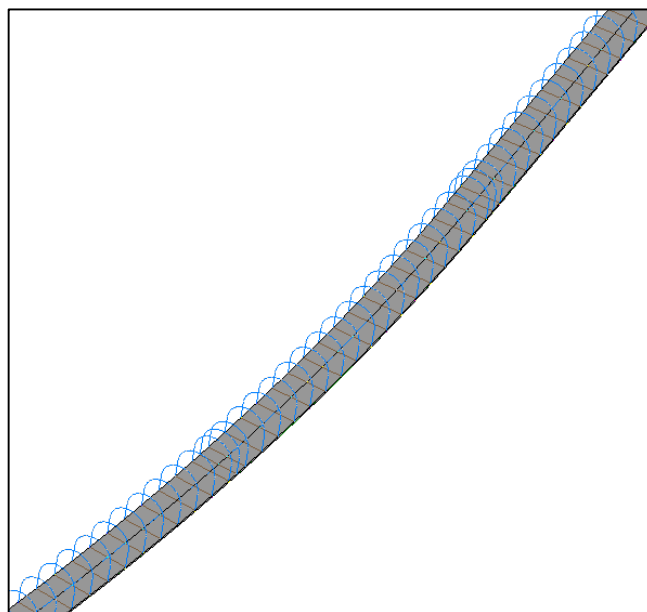


Figura 83. Corredor del túnel de conducción

5) Superficie de la conducción

A partir del corredor de la vía se generaron dos superficies siguiendo los pasos que se utilizaron para las vías. La primera superficie se creó para representar la bóveda del túnel y la segunda para representar la solera y los hastiales del túnel.

En la Figura 84 se presenta un fragmento de las superficies del túnel de conducción.

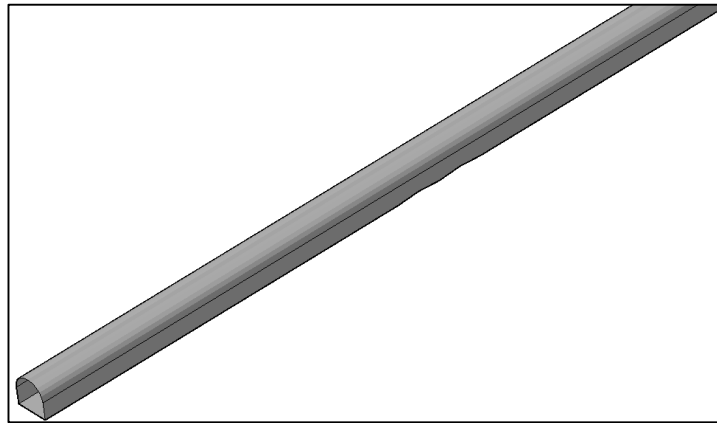


Figura 84. Superficies túnel de conducción

6) Secciones transversales

En la Figura 85 se presenta una de las secciones transversales del túnel de conducción.

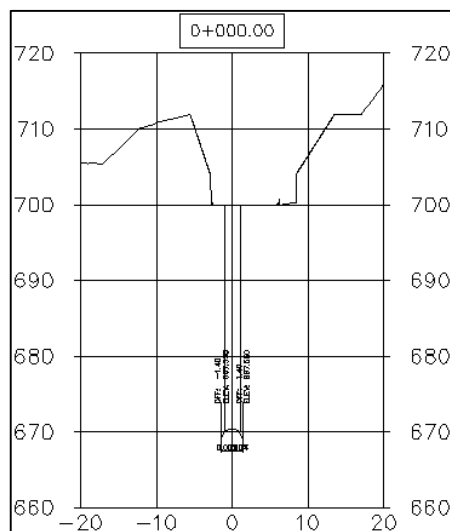


Figura 85. Sección transversal del túnel de conducción por la abscisa 0+000

7) Generación de planos

Teniendo el alineamiento horizontal, el perfil del túnel y las secciones transversales, es posible generar los planos de la conducción; planos que se actualizan de acuerdo a los cambios que se generen en el modelo, lo que evita reprocesos y ahorra tiempo de dibujo.

8) Cantidades de obra

De manera análoga a como se hizo para las vías, se creó una lista de materiales para obtener las cantidades de excavaciones y de la solera del túnel. En la Tabla 5 se presentan las cantidades obtenidas.

Tabla 5. Reporte de materiales del túnel de conducción

Material Report			
Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
	Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000			
Volumen	7,4	0	0
Solera	0,42	0	0
Station: 0+200			
Volumen	7,4	1479,11	1479,11
Solera	0,42	84	84
Station: 0+400			
Volumen	7,4	1479,11	2958,22
Solera	0,42	84	168
Station: 0+600			
Volumen	7,4	1479,11	4437,33
Solera	0,42	84	252
Station: 0+800			
Volumen	7,4	1479,11	5916,44
Solera	0,42	84	336
Station: 1+000			
Volumen	7,4	1479,11	7395,55
Solera	0,42	84	420

Station: 1+200			
Volumen	7,4	1479,11	8874,66
Solera	0,42	84	504
Station: 1+400			
Volumen	7,29	1468,61	10343,27
Solera	0,42	84	588
Station: 1+600			
Volumen	7,19	1447,61	11790,88
Solera	0,42	84	672
Station: 1+800			
Volumen	7,19	1437,08	13227,96
Solera	0,42	84	756
Station: 2+000			
Volumen	7,19	1437,08	14665,04
Solera	0,42	84	840
Station: 2+200			
Volumen	7,9	1508,16	16173,2
Solera	0,45	87	927
Station: 2+400			
Volumen	7,9	1579,24	17752,44
Solera	0,45	90	1017
Station: 2+431			
Volumen	7,9	244,72	17997,16
Solera	0,45	13,95	1030,95

Según el reporte de materiales, se tienen 17.997,16 m³ de excavaciones y 1.030,95 m³ de concreto para solera.

6.4.3.4 Ventana de construcción

Para la modelación de la ventana se prosiguió de manera similar a como se hizo para el túnel de conducción.

1) Alineamiento horizontal

En la Figura 86 se muestra el alineamiento horizontal de la ventana de construcción.

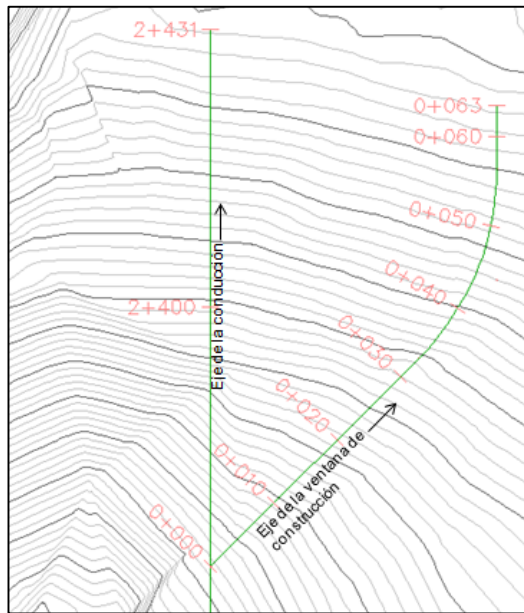


Figura 86. Alineamiento horizontal de la ventana de construcción

2) Alineamiento vertical

Con el alineamiento horizontal y la superficie del terreno se genera el perfil del terreno natural y con base en éste se traza el de la ventana de construcción (Figura 87).

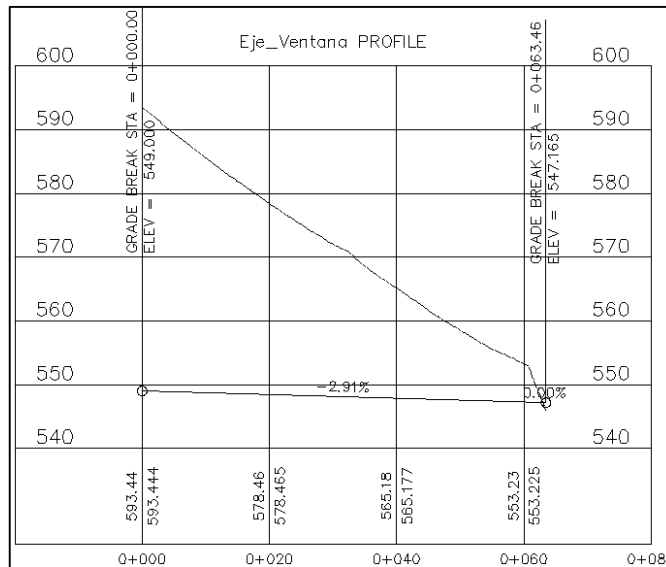


Figura 87. Perfil de la ventana de construcción

3) Ensamble

Para representar la sección transversal de la ventana de construcción se usó el ensamble de diámetro 3,0 m creado para el túnel de conducción.

4) Corredor

En la Figura 83 se presenta el corredor generado a partir del alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el ensamble.

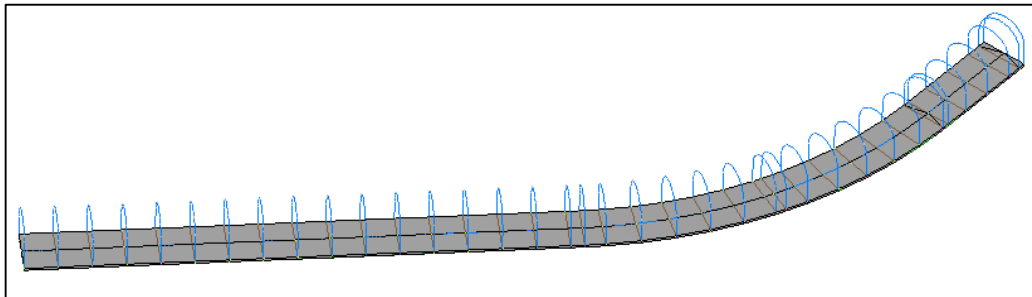


Figura 88. Corredor de la ventana de construcción

5) Superficie de la ventana

Las superficies generadas para la ventana de construcción, se obtuvieron siguiendo un procedimiento similar al túnel de conducción.

En la Figura 89 se presentan las superficies de la ventana de construcción.

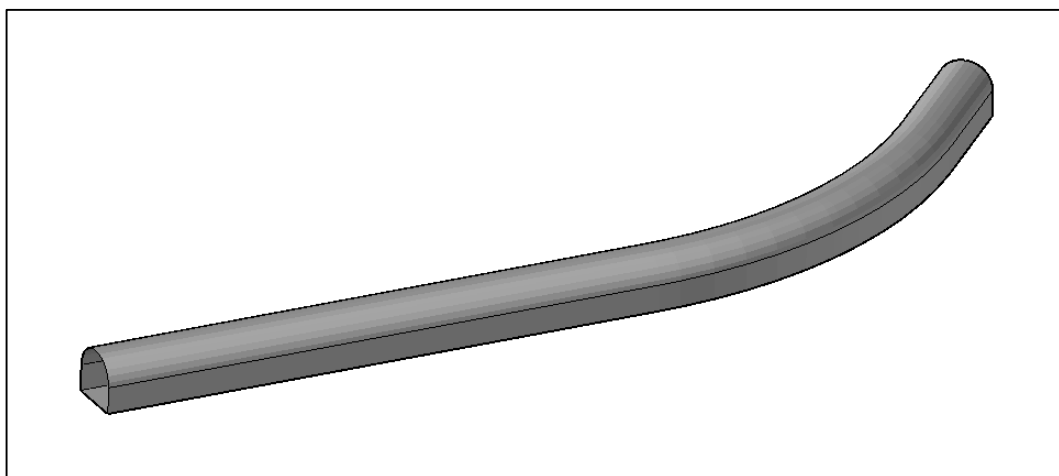


Figura 89. Superficies ventana de construcción

6) Secciones transversales

En la Figura 90 se presenta una de las secciones transversales de la ventana de construcción.

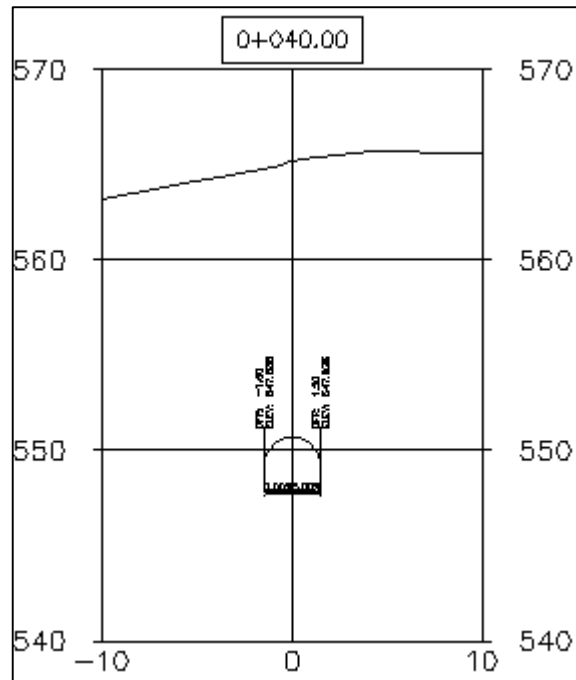


Figura 90. Sección transversal de la ventana por la abscisa 0+040

7) Generación de planos

Teniendo el alineamiento horizontal, el perfil del túnel y las secciones transversales, es posible generar los planos de la ventana de construcción; planos que se actualizan de acuerdo a los cambios que se generen en el modelo, lo que evita reprocesos y ahorra tiempo de dibujo.

8) Cantidades de obra

De igual forma a como se hizo para el túnel de conducción, se obtuvieron las cantidades de excavaciones y solera de la ventana. En la Tabla 6 se presentan las cantidades obtenidas.

Tabla 6. Reporte de materiales de la ventana de construcción

Material Report			
Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
	Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000,000			
Volumen	8,01	0	0
Solera	0,45	0	0
Station: 0+020,000			
Volumen	8,01	160,18	160,18
Solera	0,45	9	9
Station: 0+040,000			
Volumen	7,9	159,06	319,24
Solera	0,45	9	18
Station: 0+060,000			
Volumen	8,01	159,08	478,32
Solera	0,45	9	27
Station: 0+063,465			
Volumen	8,01	27,75	506,07
Solera	0,45	1,56	28,56

Según el reporte de materiales se tienen 506,07 m³ de excavaciones y 28,56 m³ para soleras en la ventana de construcción.

6.4.3.5 Túnel de conexión

Para la modelación de la ventana se prosiguió de manera similar a como se hizo para el túnel de conducción y la ventana.

1) Alineamiento horizontal

En la Figura 91 se muestra el alineamiento horizontal del túnel de conexión.

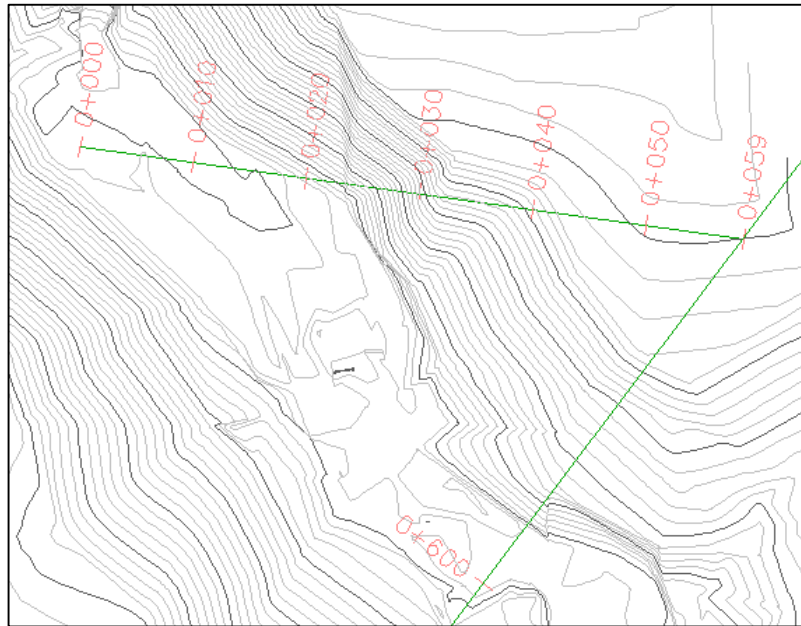


Figura 91. Alineamiento horizontal del túnel de conexión

2) Alineamiento vertical

En la Figura 92 se presenta el perfil del túnel de conexión.

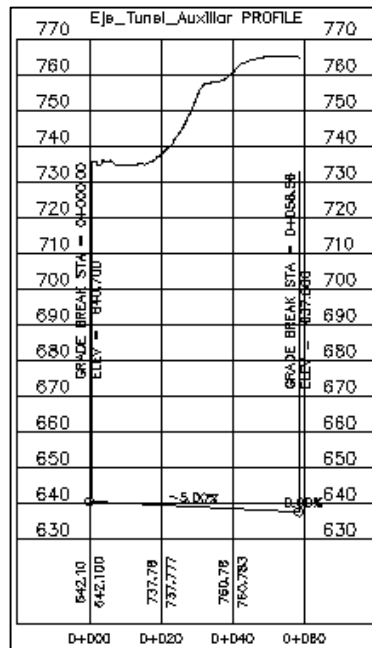


Figura 92. Perfil del túnel de conexión

3) Ensamble

Para representar la sección transversal del túnel de conexión se usó el ensamble de diámetro 2,8 m creado para el túnel de conducción.

4) Corredor

En la Figura 93 se presenta el corredor generado a partir del alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el ensamble.

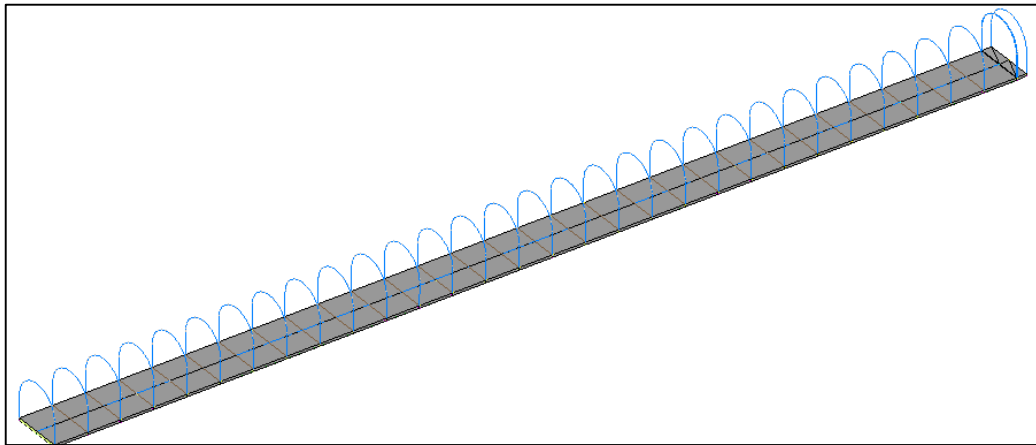


Figura 93. Corredor del túnel de conexión

5) Superficie de la ventana

En la Figura 94 se presentan las superficies del túnel de conexión.

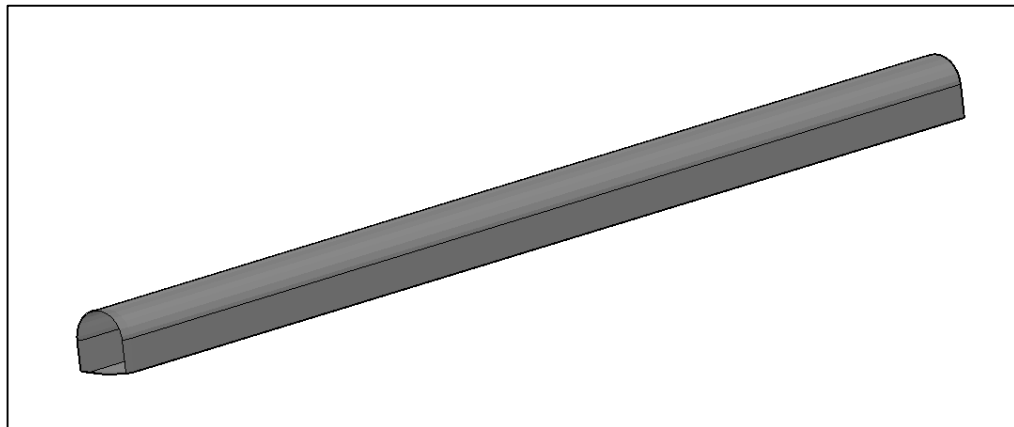


Figura 94. Superficies túnel de conexión

6) Secciones transversales

En la Figura 95 se presenta una de las secciones transversales de la ventana de construcción.

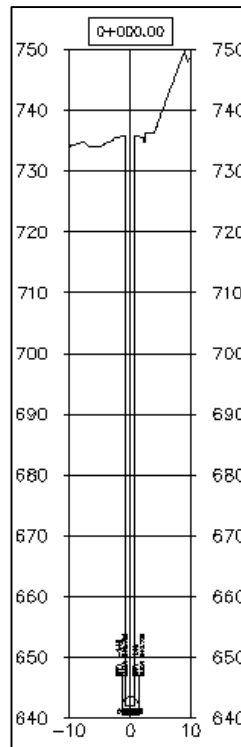


Figura 95. Sección transversal del túnel de conexión por la abscisa 0+000

7) Generación de planos

Teniendo el alineamiento horizontal, el perfil del túnel y las secciones transversales, es posible generar los planos del túnel de conexión; planos que se actualizan de acuerdo a los cambios que se generen en el modelo, lo que evita reprocesos y ahorra tiempo de dibujo.

8) Cantidades de obra

De igual forma a como se hizo para el túnel de conducción, se obtuvieron las cantidades de excavaciones y solera del túnel de conexión. En la Tabla 7 se presentan las cantidades obtenidas.

Tabla 7. Reporte de materiales del túnel de conexión

Material Report			
Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
	Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+058			
Solera	0,42	0	0
Volumen	7,29	0	0
Station: 0+040			
Solera	0,42	7,79	-7,79
Volumen	7,4	136,28	136,28
Station: 0+020			
Solera	0,42	8,4	16,19
Volumen	7,29	146,86	283,14
Station: 0+000			
Solera	0,42	8,4	24,59
Volumen	7,4	146,86	430

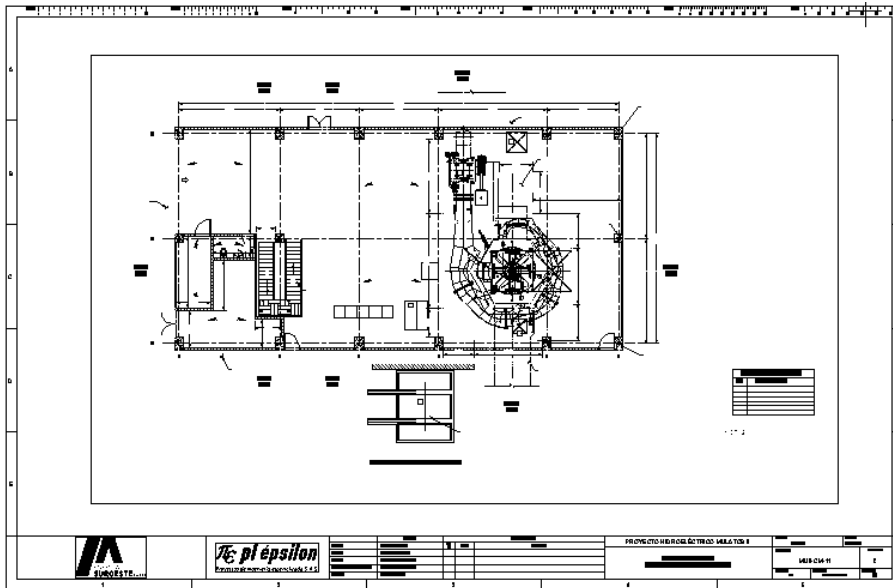
Según el reporte de materiales se tienen 430 m³ de excavaciones y 24,59 m³ de concreto para solera en el túnel de conexión.

6.4.4 Modelo de las obras civiles

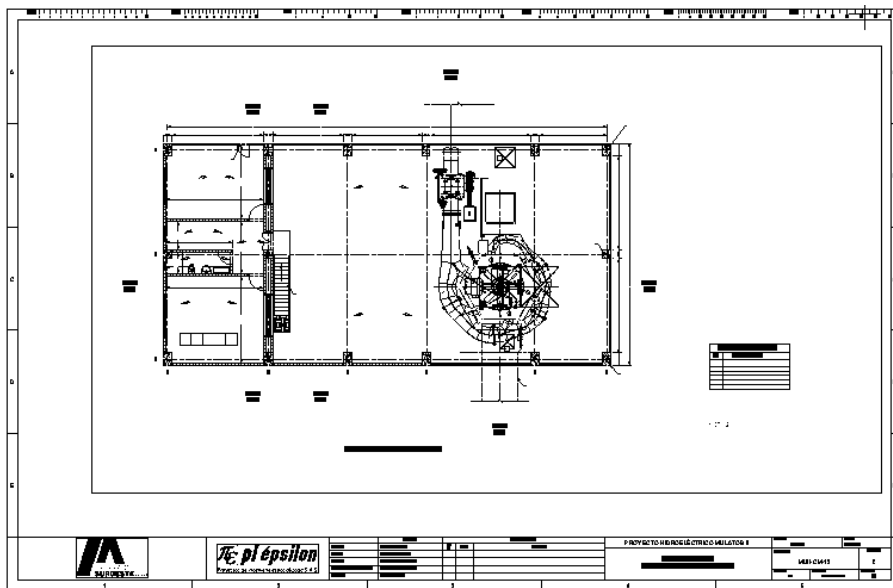
Por medio del software **Revit** se realizó un modelo paramétrico de las obras de casa de máquinas, captación de respaldo y captación principal.

6.4.4.1 Casa de máquinas

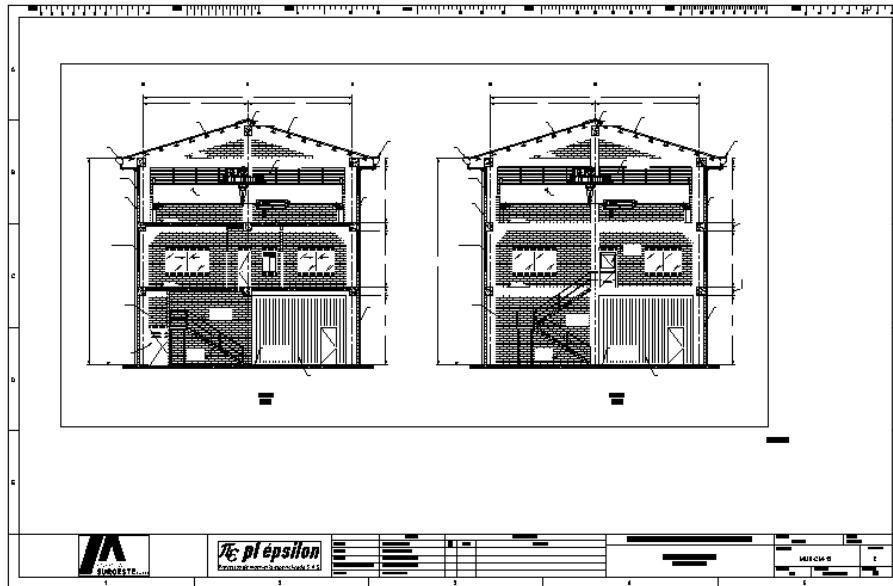
Para realizar el modelo de la casa de máquinas se partió de los planos en formato CAD, suministrados por Pi Épsilon (Figura 96).



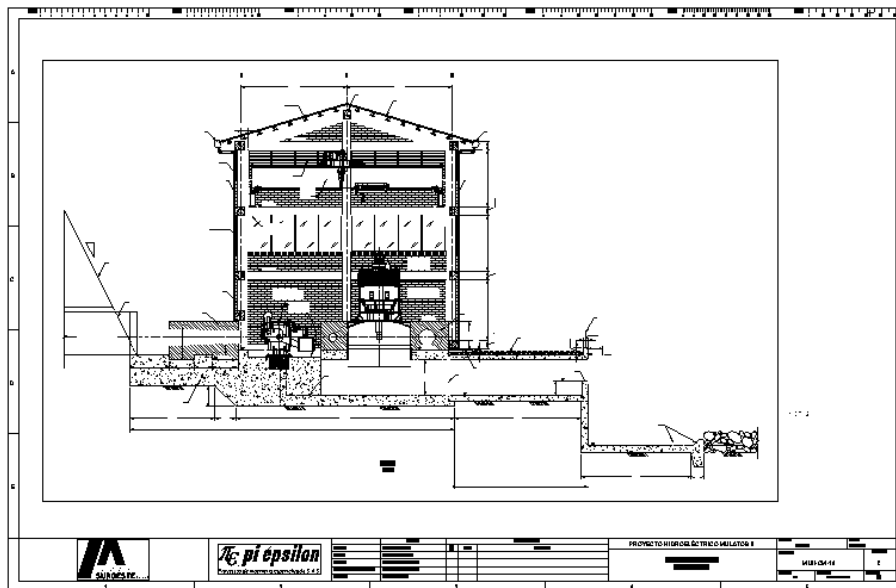
a) Planta primer nivel



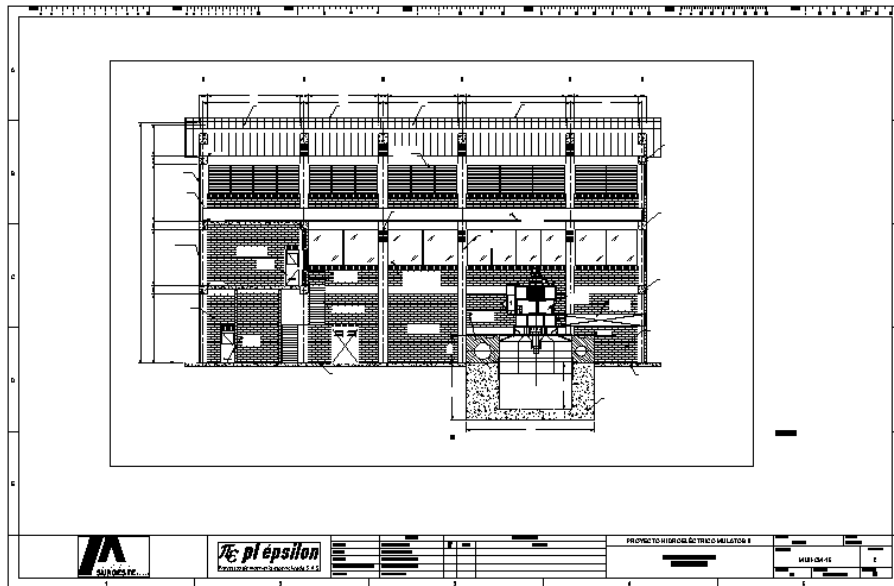
b) Planta segundo nivel



c) Secciones I



d) Secciones II



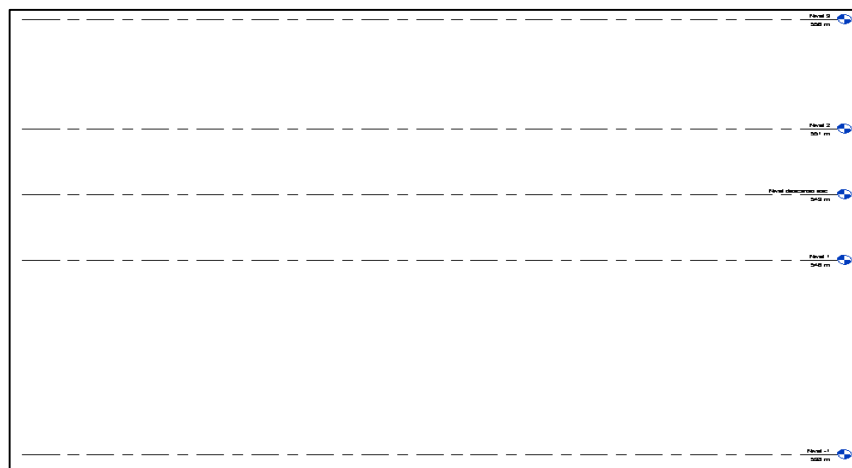
e) Secciones III

Figura 96. Planos de la casa de máquinas

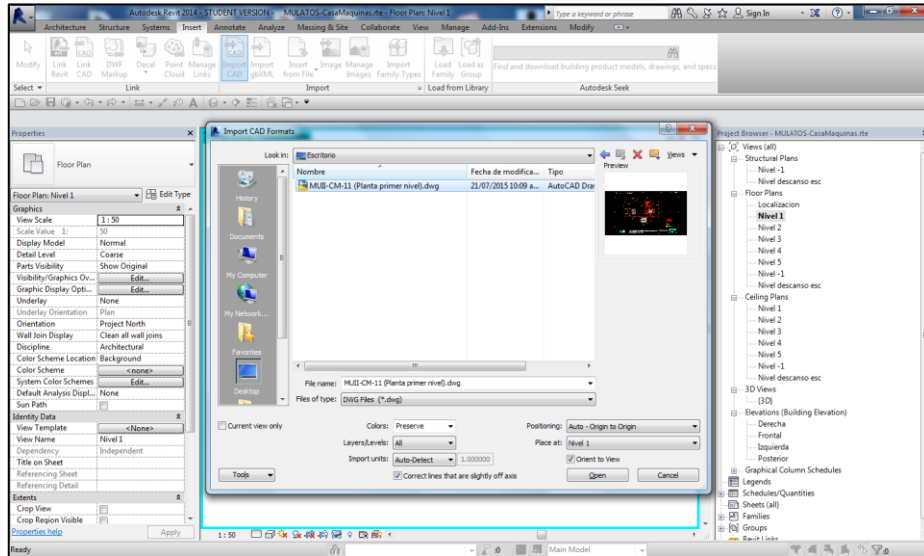
1) Importar planos

Paso I. Para facilitar la creación de los elementos primero es necesario limpiar los planos en **AutoCAD** dejando únicamente los elementos a modelar y algunos puntos de referencia, además se debe mover el origen de los planos a un punto conocido ya que el software presenta problemas con objetos que estén alejados más de 25 millas del origen de coordenadas.

Paso II. En el software Revit se crean cada uno de los niveles de la estructura.



Paso III. Ubicándose en cada uno de los niveles en el *Project Browser*, se importan las plantas de la obra con la herramienta *Import CAD* de la pestaña *Insert*. Para importar los planos se elige la opción de posicionarlos haciendo coincidir el origen de los planos con el origen de coordenadas del archivo.



En la Figura 97 se presenta una de las plantas importadas de esta manera.

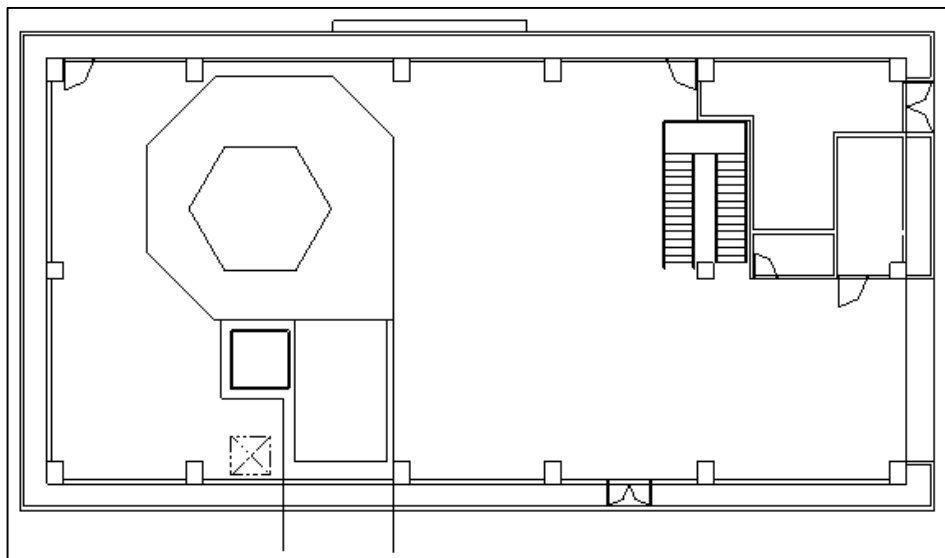
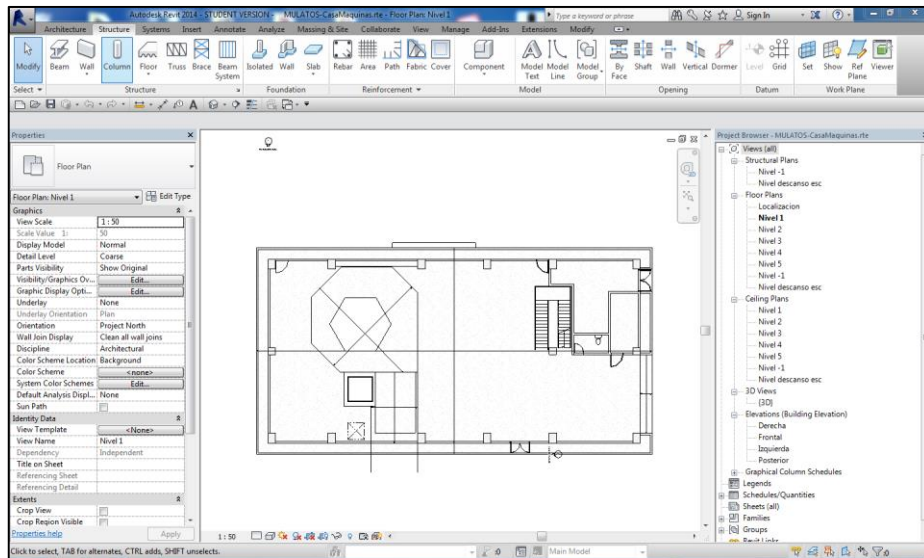


Figura 97. Planta primer nivel casa de máquinas importada a Revit

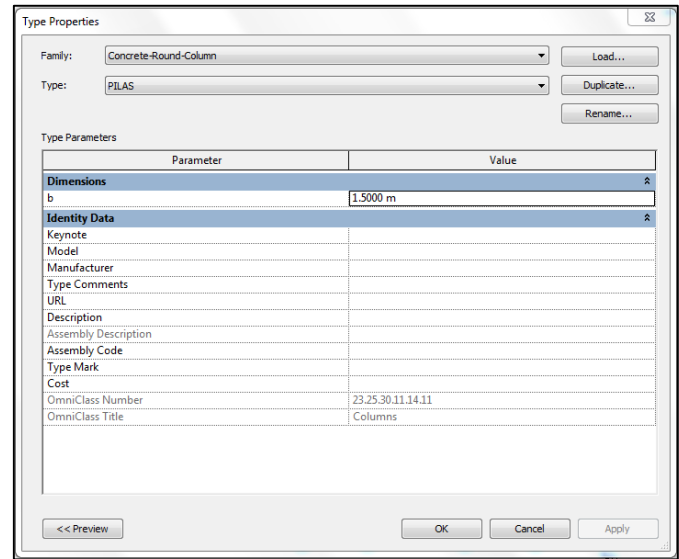
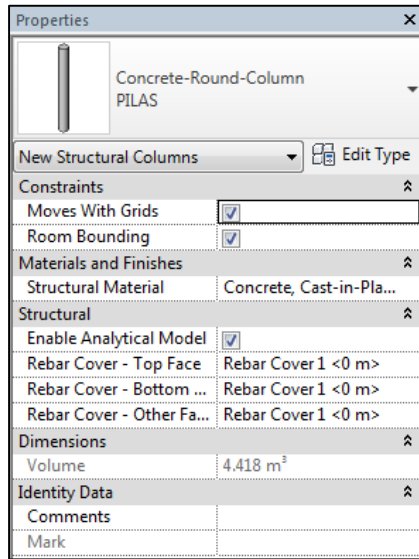
2) Cimentaciones

Para representar las pilas de la casa de máquinas se usaron las familias por defecto que incluye **Revit** en su librería.

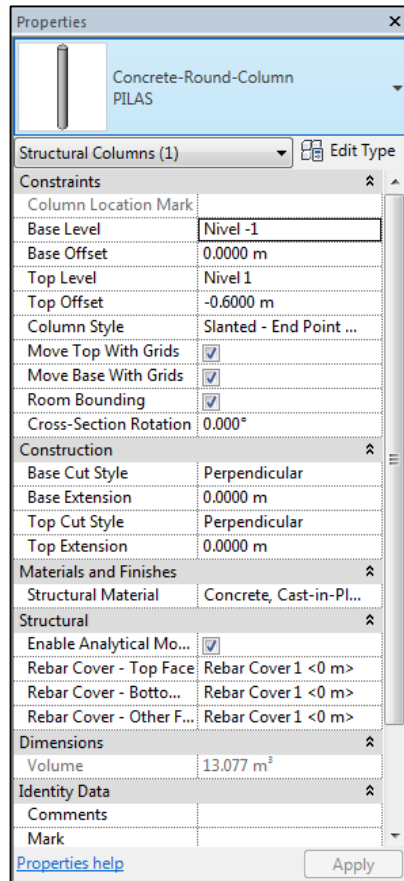
Paso I. Se selecciona la herramienta *Column* del panel *Structure*.



Paso II. En el panel de propiedades se da clic a *Edit Type*. En la ventana *Type Properties* se carga el tipo de familia que se desea usar (Para este caso columnas redondas), se le asigna un nombre y se modifican las propiedades para que adquiera las dimensiones deseadas.



Paso III. Se ubica la pila en el nivel deseado con ayuda de los planos importados y se le asignan las restricciones respectivas a la pila en el panel de propiedades.



En la Figura 98 se muestran las cimentaciones de la casa de máquinas modeladas con el software. Al tratarse de elementos paramétricos y al tener asignadas restricciones que ligan estos elementos a niveles y otros elementos, si se presentan modificaciones en alguno de estos parámetros, el elemento se actualiza automáticamente.

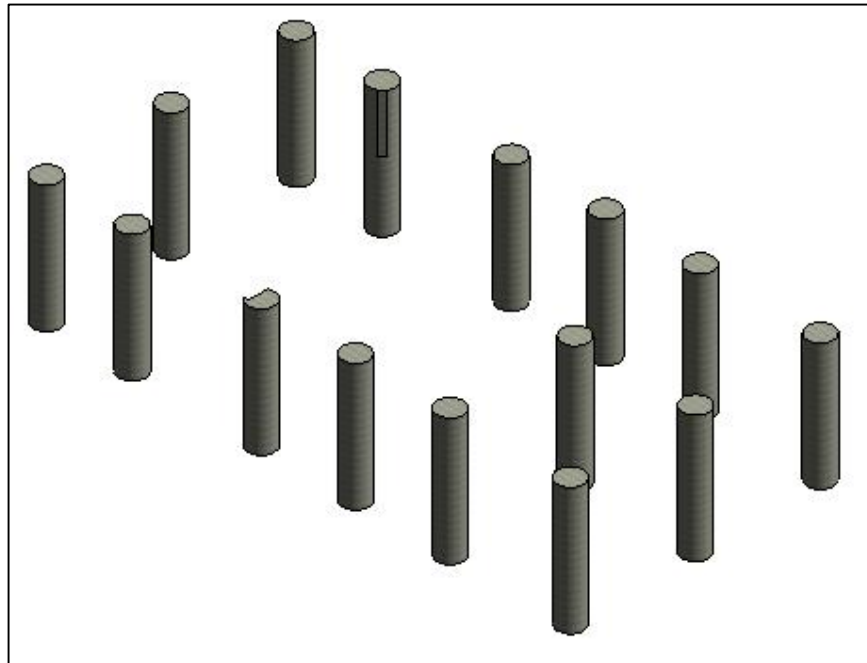


Figura 98. Cimentaciones de la casa de máquinas

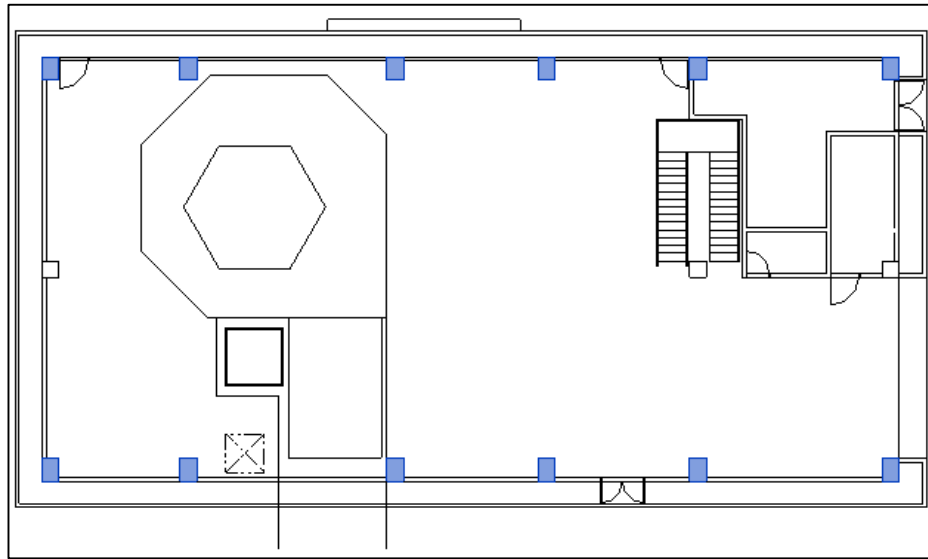
3) Columnas

Para representar las columnas de la casa de máquinas se usaron las familias por defecto de incluye **Revit** en su librería.

Paso I. Se selecciona la herramienta *Column* del panel *Structure*.

Paso II. En el panel de propiedades se da clic a *Edit Type*. En la ventana *Type Properties* se carga el tipo de familia que se desea usar (Para este caso columnas rectangulares), se le asigna un nombre y se modifican las propiedades para que adquiera las dimensiones deseadas.

Paso III. Se ubican las columnas en cada uno de los niveles con ayuda de los planos importados y se le asignan las restricciones respectivas a las columnas para que queden ligadas a los niveles y adquieran las dimensiones requeridas.



En la Figura 99 se muestran las columnas de la casa de máquinas modeladas con el software. Al igual que las cimentaciones; las columnas, al ser elementos paramétricos, se ajustan si se generan cambios en los elementos a los que están ligadas.

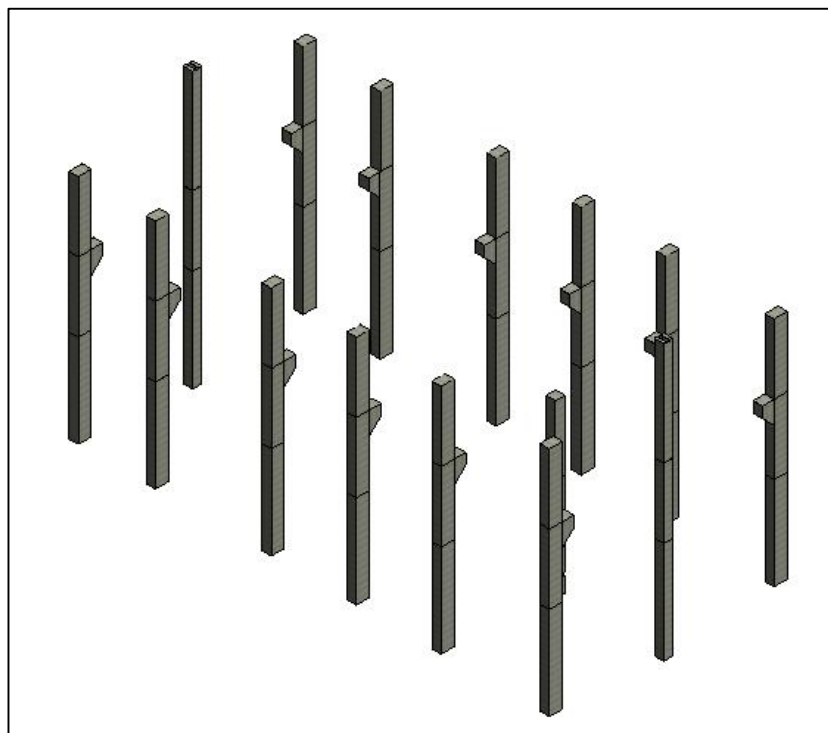


Figura 99.Columnas de la casa de máquinas

4) Vigas

Para modelar las vigas de la casa de máquinas se procedió de manera similar a como se hizo con las cimentaciones y las columnas, creando los diferentes tipos de vigas y asignándoles sus respectivas restricciones. Al igual que los otros elementos estructurales estas vigas se modifican automáticamente si presentan cambios en los elementos a los que están ligadas o si cambian las luces que las definen. En la Figura 100 se presenta el sistema de vigas de la casa de máquinas.

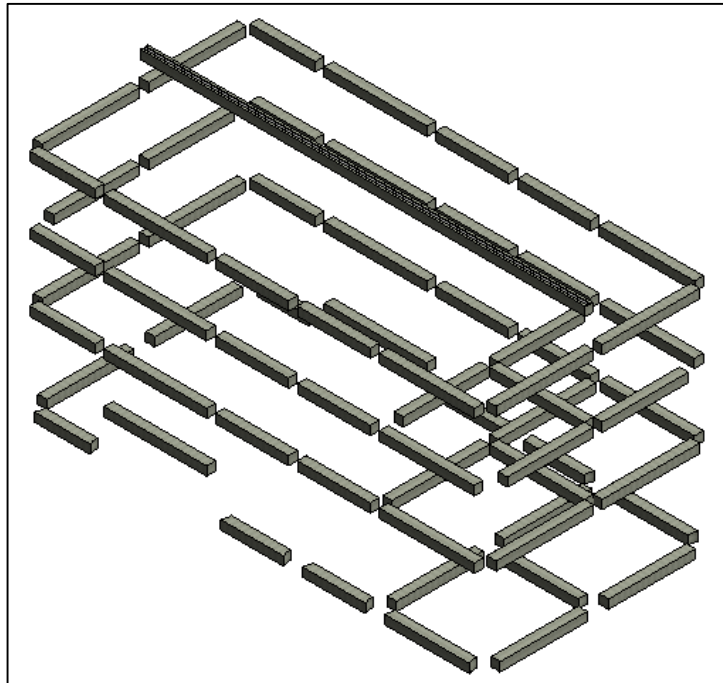
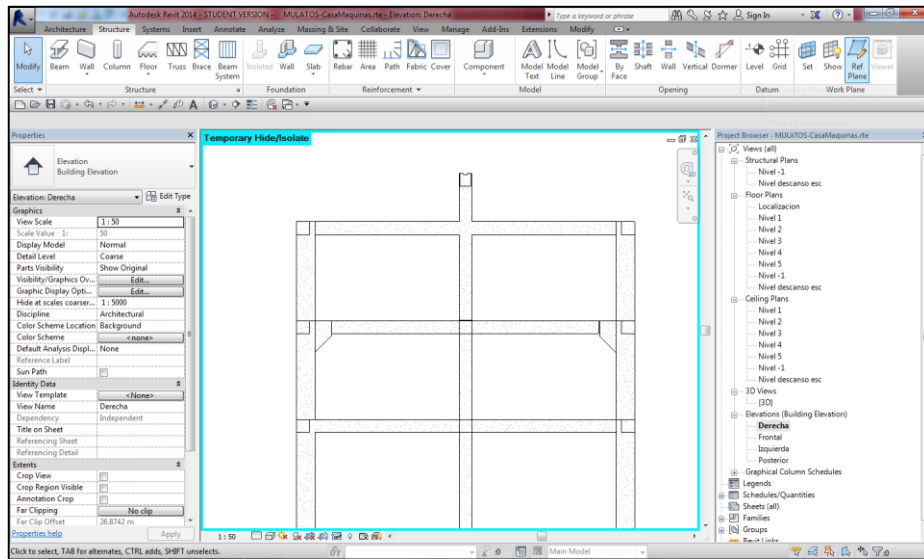


Figura 100. Sistema de vigas de la casa de máquinas.

5) Vigas cubierta

Paso I. Se crea el tipo de viga con las dimensiones requeridas como se hizo para los otros elementos estructurales.

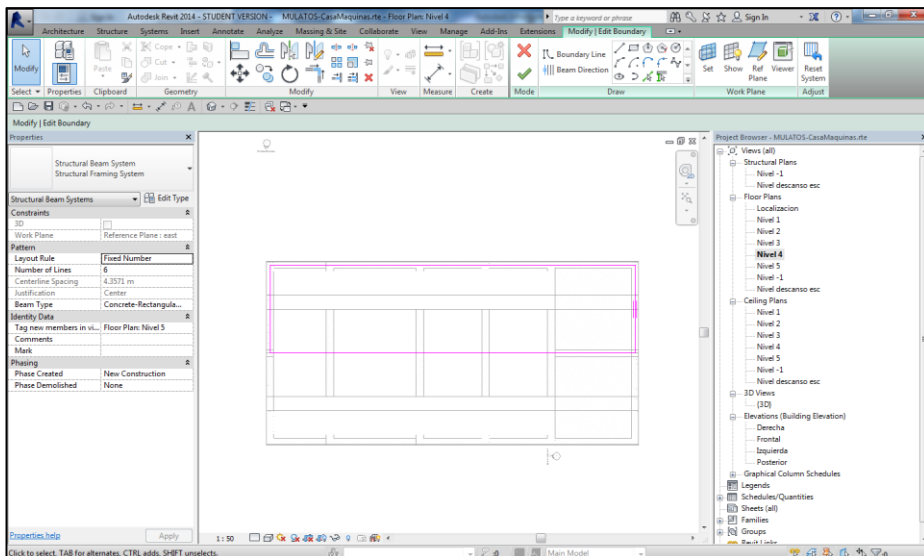
Paso II. Para crear las vigas de la cubierta fue necesario crear un plano de referencia entre las columnas del último nivel y la viga cabezal con la herramienta *Ref Plane* del panel *Work Plane*.



Paso III. Con el plano de referencia creado, se genera un sistema de vigas con la herramienta *Beam System* del panel *Structure*.

Paso IV. En el panel *Work Plane* se escoge el plano de referencia creado utilizando la herramienta *Set*.

Paso V. Se dibuja un rectángulo para definir la frontera del sistema de vigas y se define el número de líneas que tendrá el mismo.



En la Figura 101 se presenta el sistema de vigas creado junto con los demás elementos estructurales de la casa de máquinas.

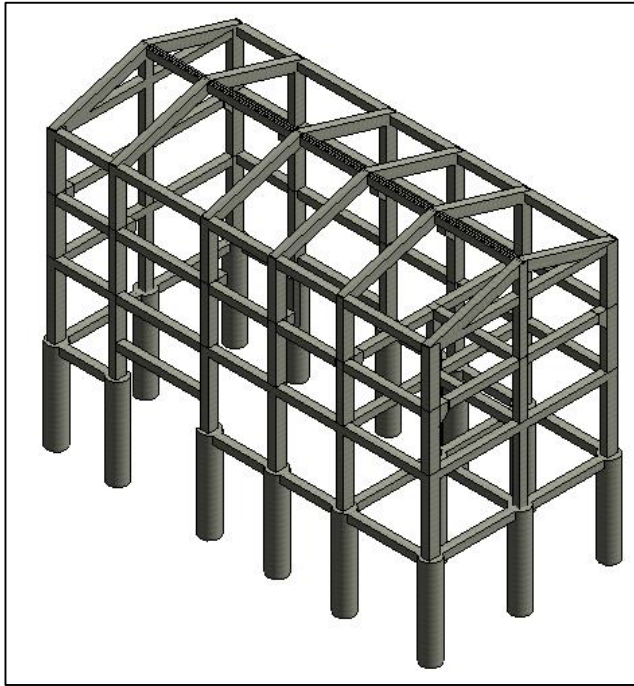


Figura 101. Sistema estructural casa de máquinas

6) Losas y cubierta

Las losas de la casa de máquinas se modelaron con la herramienta *Floor* del panel *Structure*. Inicialmente se crea el tipo de losa definiendo su espesor y características como se realizó para los demás elementos. Seguidamente se dibujan las fronteras de las losas calcándolas de los planos importados en cada nivel.

Para el foso de las unidades se utilizaron losas creadas de esta misma forma dándoles sus respectivas dimensiones.

La cubierta fue generada con la herramienta *Roof* del panel *Structures* a partir del plano de referencia creado para el sistema de vigas que la soportan.

En la Figura 102 se muestran las losas y la cubierta creadas para la casa de máquinas.

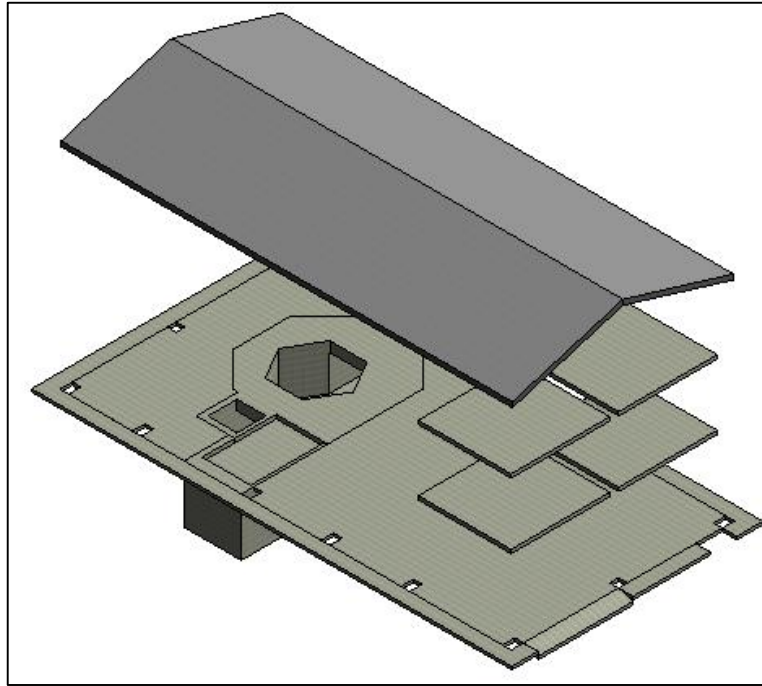


Figura 102. Sistema de losas y cubierta de la casa de máquinas

7) Elementos no estructurales

Los demás elementos no estructurales (Muros, puertas, ventanas y escaleras) de la casa de máquinas se modelaron siguiendo un planteamiento similar al de los elementos estructurales, calcando de los planos importados las geometrías en cada uno de los niveles y generando los tipos de elementos de acuerdo a las dimensiones, características y relación con los demás elementos del modelo. En la Figura 103 se presenta el modelo de la casa de máquinas integrando los elementos no estructurales.

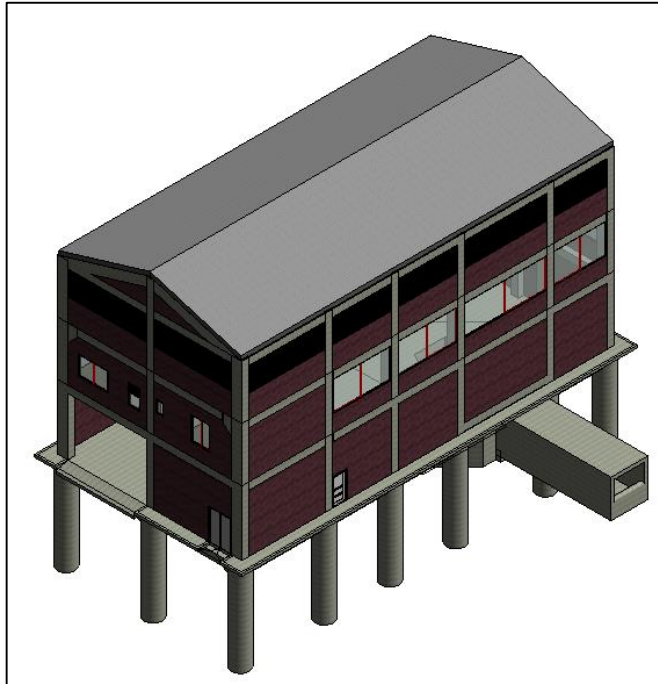
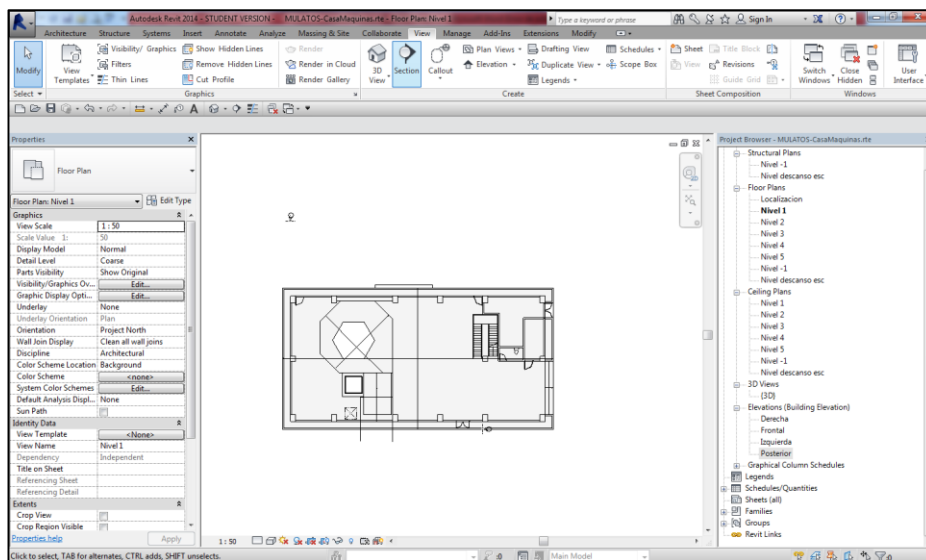


Figura 103. Modelo casa de máquinas

8) Generación de planos

Paso I. Para la generación de planos el software cuenta con la herramienta *Section* que permite sacar secciones, esta se encuentra en el panel *Create*. Para crear una sección, estando ubicado en la vista de uno de los niveles, se da clic en esta herramienta y se traza una línea por donde se desee obtener la sección.



En la Figura 104 se muestra una sección generada de esta forma.

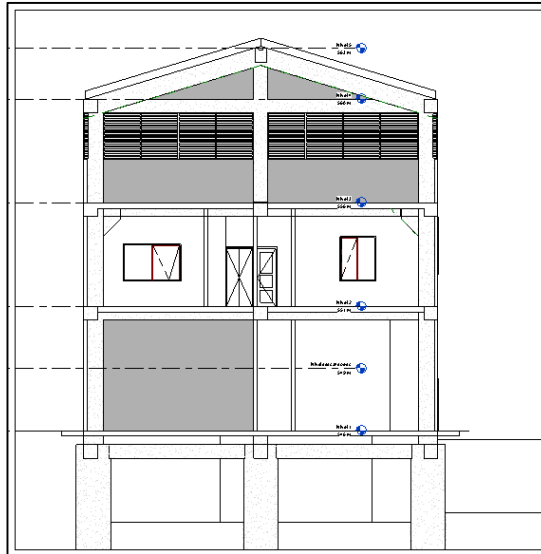
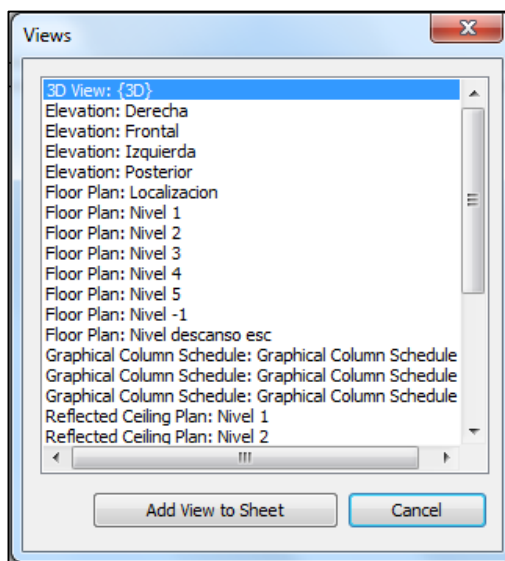


Figura 104. Sección casa de máquinas

Paso II. Teniendo generadas todas las secciones deseadas, para crear los planos con rótulos y plantillas se utiliza la herramienta *Sheet* del panel *Sheet Composition*. En la ventana que aparece se escoge la plantilla que se desea utilizar para los planos.

Con la herramienta *View* del panel *Sheet Composition* se escogen e insertan las vistas que se desean visualizar en el plano.



Paso III. Para el dimensionamiento y demás elementos de dibujo el programa ofrece una gran variedad de elementos en su barra de herramientas *Annotation*. Con estas herramientas se dimensionan los elementos, se generan detalles, se insertan ejes de referencia y todos lo necesario para la generación del plano.

En la Figura se muestra un ejemplo de los planos que se pueden generar usando el software.

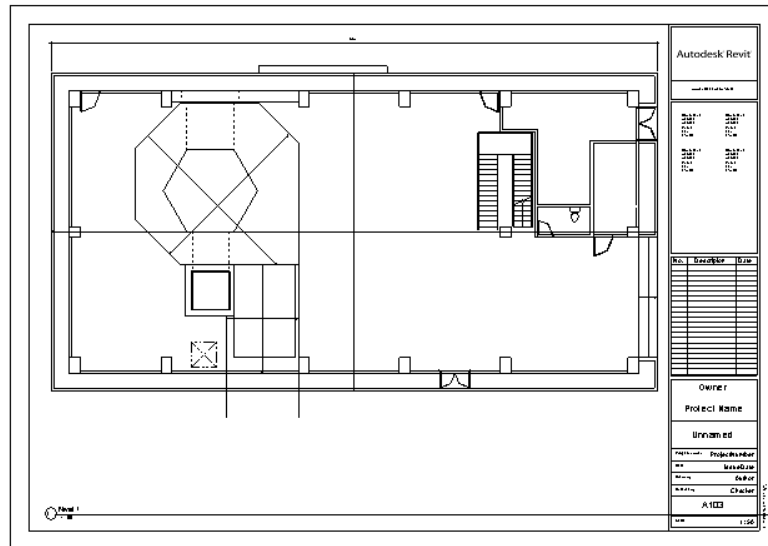
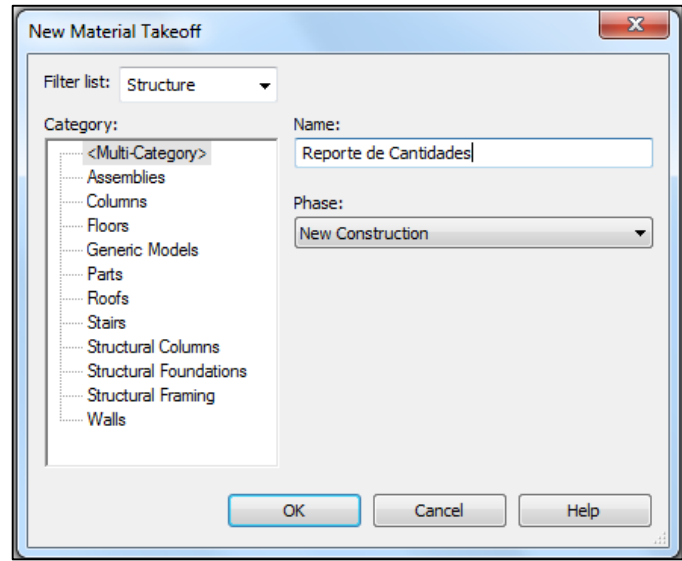
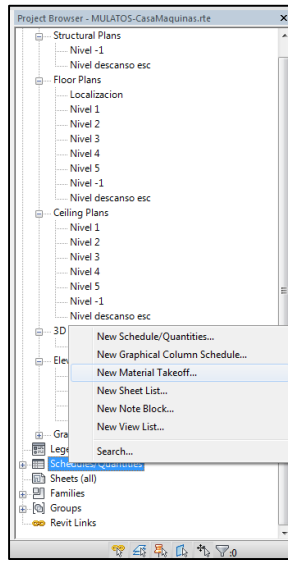


Figura 105. Plano en Revit de la casa de máquinas

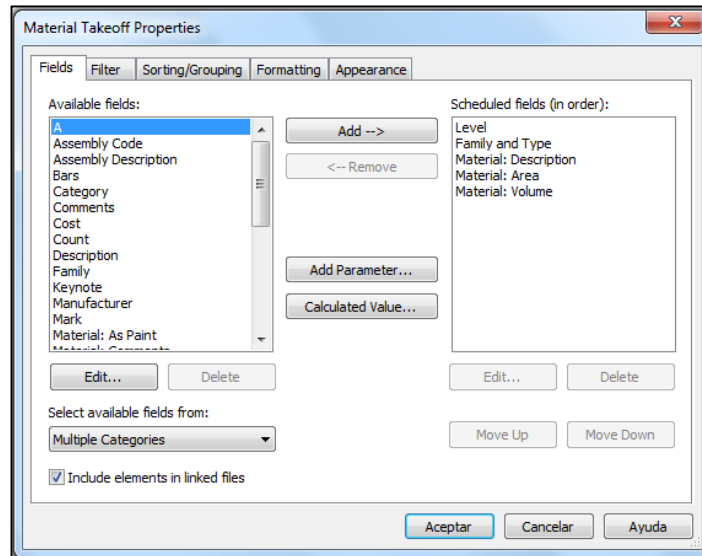
9) Cantidades de obra

Para obtener las cantidades de los principales ítems de las obras de casa de máquinas, se genera un reporte de materiales por medio del software.

Paso I. Se da clic derecho a la pestaña *Schedules/Quantities* del *Project Browser* y se elige la opción *New Material Takeoff*. En la ventana que se despliega, se escoge el tipo de reporte que se desea generar. Para este caso en el que se desea reportar todas las cantidades se escoge *Multi-Category*, en esta ventana también se le asigna el nombre al reporte.



Paso II. En la ventana que se despliega se seleccionan las categorías que se desean presentar en la tabla del reporte.



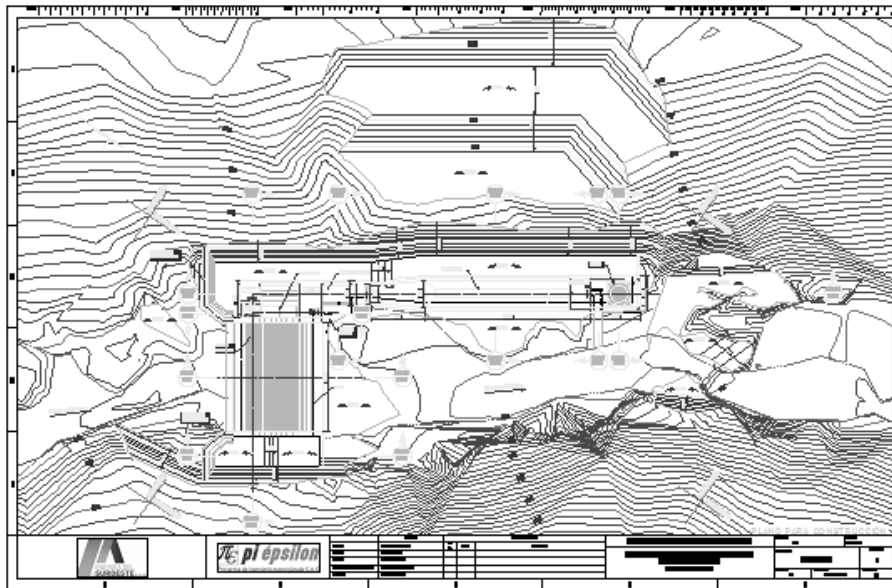
En la Figura 106 se muestra un fragmento del reporte de cantidades.

<Reporte de Cantidades>				
A	B	C	D	E
Level	Family and Type	Material: Description	Material: Area	Material: Volume
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	18.42 m ²	3.06 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	16.56 m ²	2.38 m ³
Nivel 1	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	16.80 m ²	2.30 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	9.41 m ²	1.28 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.21 m ²	2.00 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	10.61 m ²	1.46 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	10.61 m ²	1.46 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.80 m ²	2.09 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.80 m ²	2.09 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.14 m ²	1.99 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	9.41 m ²	1.28 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.21 m ²	2.00 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	10.61 m ²	1.46 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	10.61 m ²	1.46 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	17.28 m ²	2.48 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	17.27 m ²	2.48 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.80 m ²	2.09 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.80 m ²	2.09 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.80 m ²	2.09 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	14.80 m ²	2.09 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	11.28 m ²	1.58 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	16.08 m ²	2.30 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	12.48 m ²	1.76 m ³
	Concrete-Rectang	Cast-in-place concrete	12.48 m ²	1.76 m ³

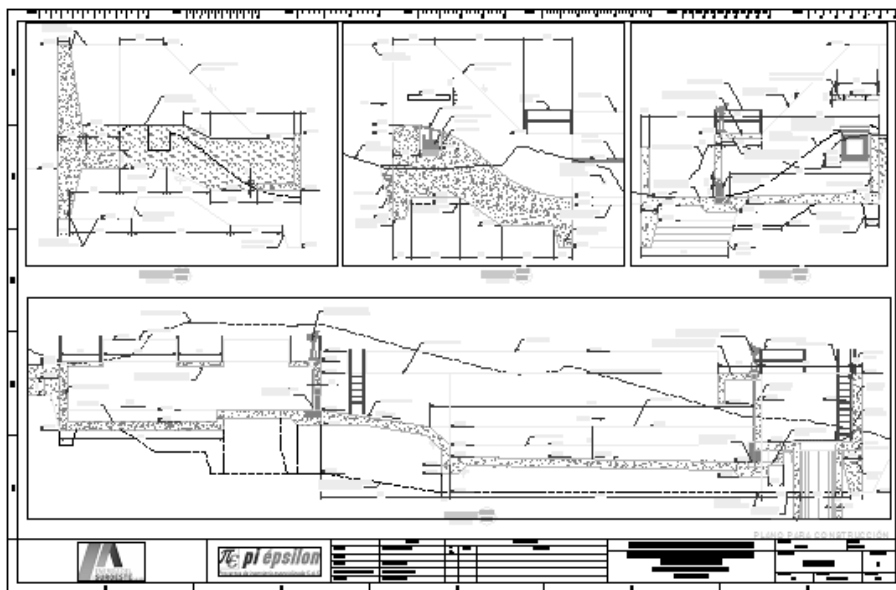
Figura 106. Reporte de cantidades de la casa de máquinas

6.4.4.2 Captación de respaldo

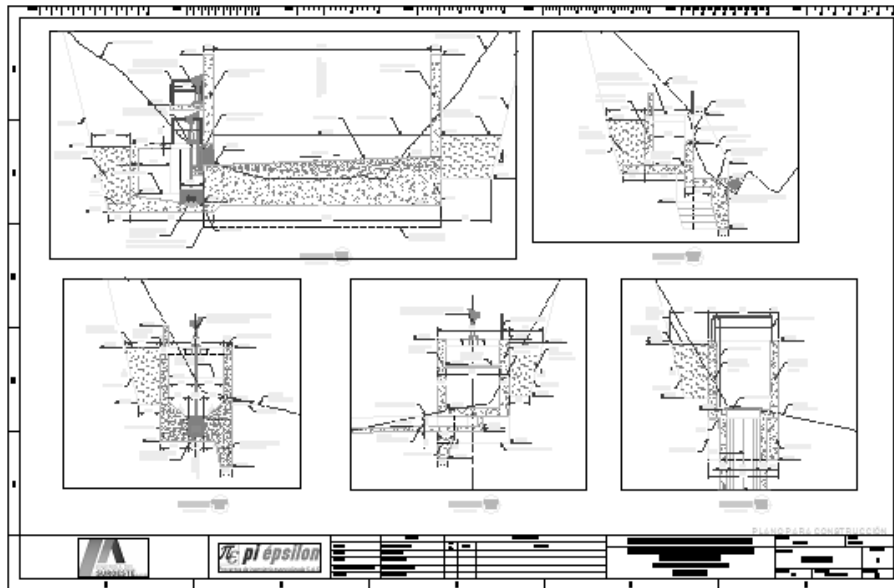
Para realizar el modelo de la captación de respaldo se partió de los planos en formato CAD, suministrados por Pi Épsilon (Figura 107). Adicionalmente se contó con un modelo 3D en formato CAD de las obras (Figura 108).



a) Planta general



b) Secciones I



c) Secciones II

Figura 107. Planos de la captación de respaldo

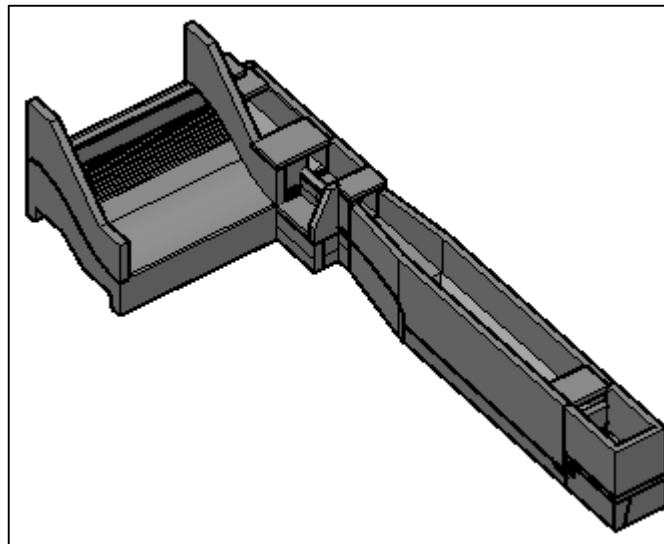
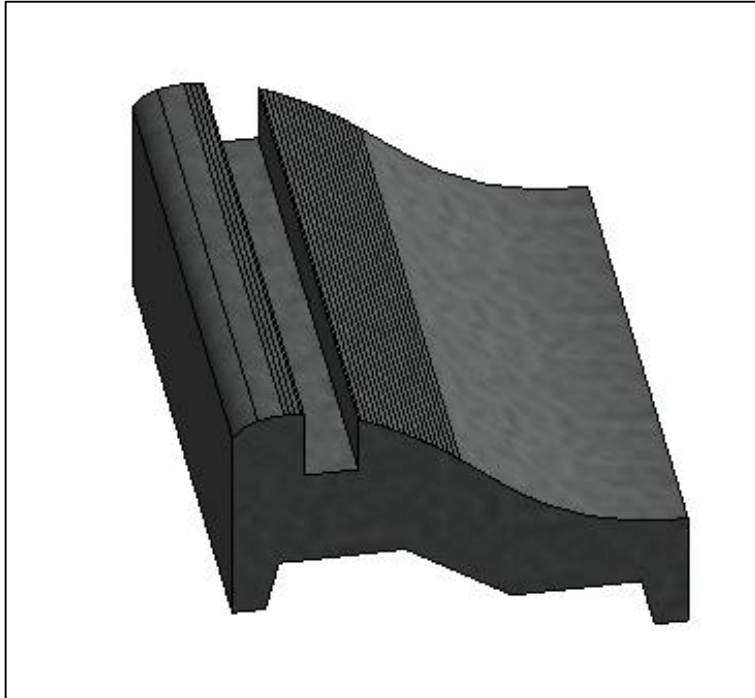


Figura 108. 3D captación de respaldo

Debido a las geometrías complejas de este tipo de obras, la creación de los elementos no se puede hacer a partir de las familias convencionales de Revit. Para crear estos elementos fue necesario partir del plano 3D y crear archivos en formato CAD para cada uno de los elementos que se fueran modelando, a partir de ellos se crearon familias posteriormente en el software **Revit**.

1) Importar elementos 3D

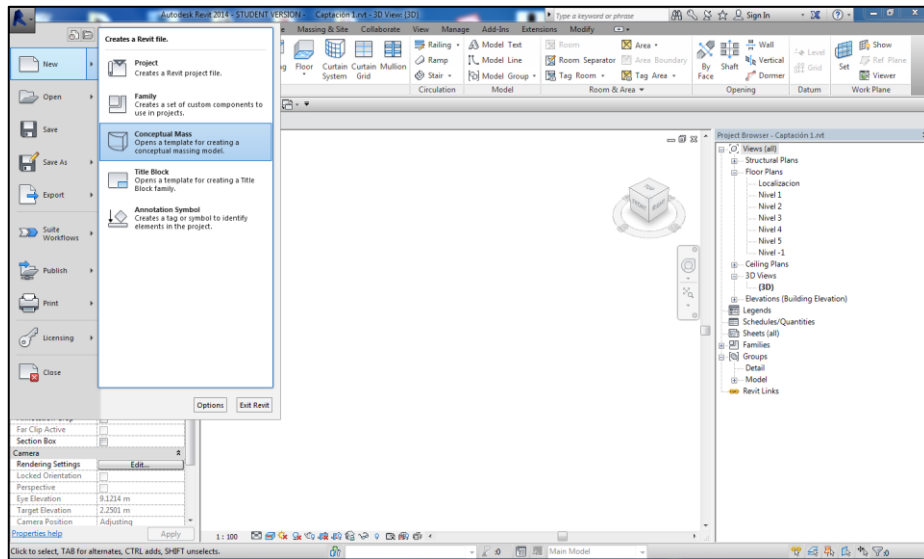
Para ubicar las obras fue necesario importar primero un elemento del plano CAD al software para tenerlo como referencia para ubicar el resto de los componentes, con la herramienta *Import CAD* del panel *Import* de igual forma a como se hizo para los planos de la casa de máquinas. Para el caso de la captación de respaldo se importó el vertedero de crecientes como referencia.



2) Creación de masas conceptuales

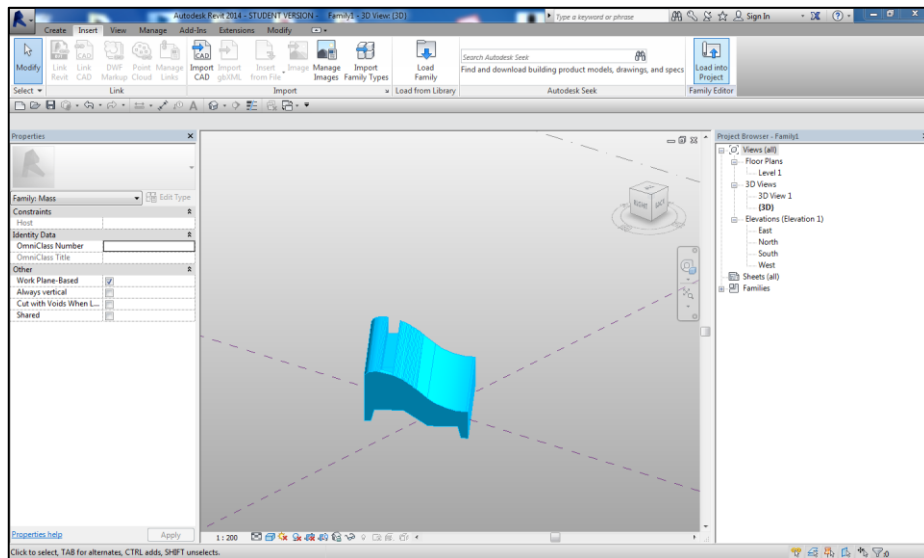
Para crear las familias de cada uno de los componentes de las que se desean representar es necesario crear masas conceptuales a partir de los elementos 3D en formato CAD.

Paso I. Se crea un archivo de **Revit** tipo *Conceptual Mass*.



Paso II. En la ventana que aparece se importa el elemento deseado en formato CAD utilizando la herramienta *Import CAD* del panel *Import*.

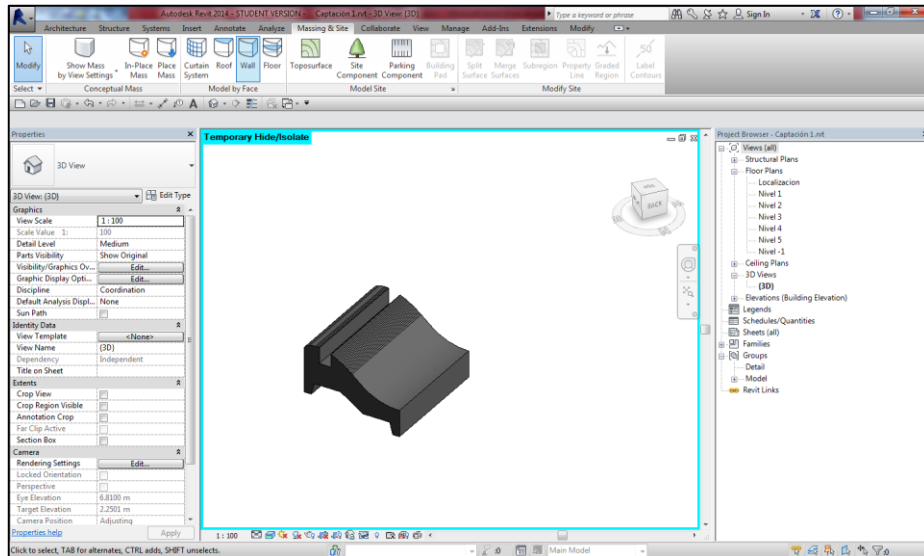
Paso III. Se guarda cada elemento y se cargan al proyecto con la herramienta *Load into Project* del panel *Family Editor*.



Al realizar este procedimiento, en el espacio de trabajo del modelo de las obras de captación de respaldo aparecen los elementos cargado como elementos tipo *Mass*.

3) Elementos paramétricos

A partir de las masas conceptuales que representan los elementos con geometrías complejas de las obras de derivación, se crean elementos paramétricos utilizando las herramientas *Roof* y *Wall* del panel *Model by Face*, con las cuales se crean muros y techos a partir de las caras de las masas conceptuales.



A partir de estos muros y techos, complementando con las familias de elementos convencionales de **Revit** (Muros, losas, columnas, etc), se crea el modelo de las obras de captación de respaldo. Estos elementos especiales siguen siendo elementos paramétricos que interactúan entre si y que se comportan igual que los elementos convencionales frente a cambios, actualizándose automáticamente y modificando su geometría.

4) Elementos no paramétricos

Debido a las características de las obras, hubo elementos que no se modelaron usando elementos paramétricos; al tratarse de objetos con geometrías complejas tanto en planta como en sección. Este tipo de elementos se modelaron como masas conceptuales pero después no se convirtieron en elementos de **Revit** como se venía haciendo, sino que se dejaron sin modificar.

Estas masas fueron insertadas en el modelo y ubicadas junto con los elementos paramétricos para completar la representación gráfica de las obras. En la Figura 109 se muestra el modelo generado para las obras de captación de respaldo.

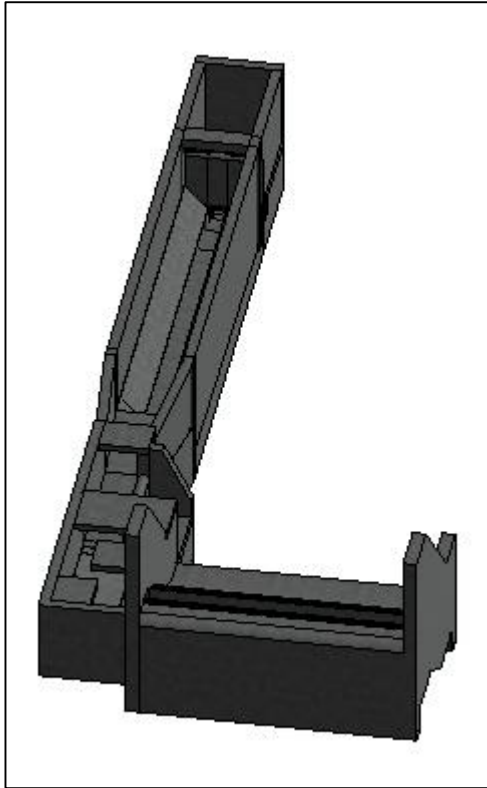


Figura 109. Modelo de la captación de respaldo

5) Generación de planos

La generación de planos se realiza de la misma manera que como se hizo para la casa de máquinas. En la Figura 110 se presenta una sección obtenida con la herramienta *Section* del panel *Create* y en la Figura 111 se presenta el ejemplo de un plano de las obras de captación de respaldo

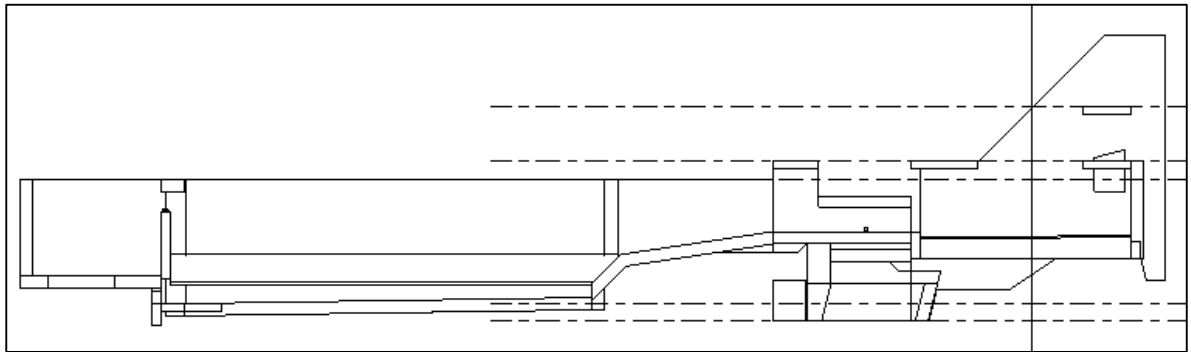


Figura 110. Sección captación de respaldo

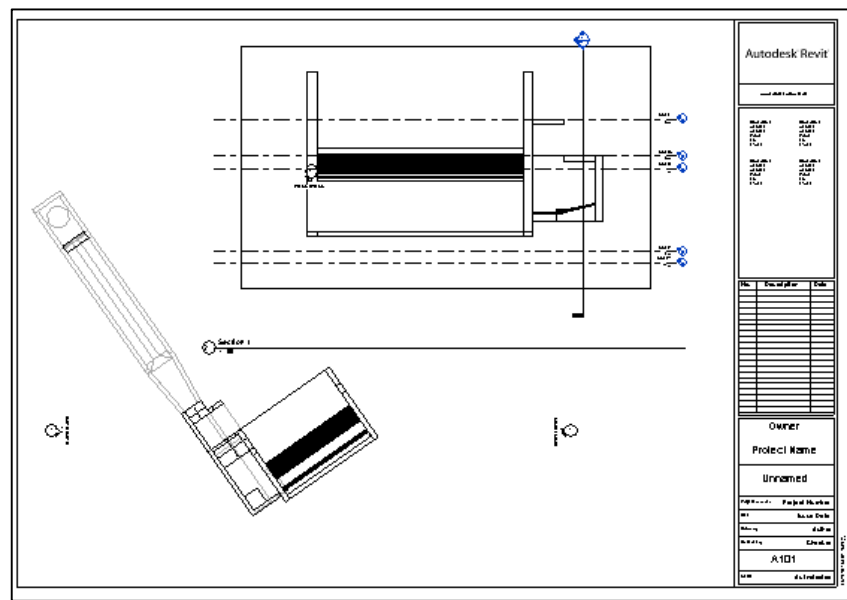


Figura 111. Plano en Revit de la captación de respaldo

6) Cantidades de obra

Para obtener las cantidades de los principales ítems de las obras de captación de respaldo, se genera un reporte de materiales por medio del software tal como se hizo para la casa de máquinas, sin embargo como este modelo tiene elementos no paramétricos, éstos no aparecen en el reporte de materiales, por lo que es necesario generar uno a parte para las masas. En la Figura 112 se muestra un fragmento del reporte de cantidades mientras que en la Figura 113 se presenta un fragmento de las cantidades de las masas.

<Reporte Cantidades>		
A	B	C
Family and Type	Material: Name	Material: Volume
Basic Wall: VERTEDERO	ConcretoAzud	200.16 m³
Basic Wall: MURO 1	ConcretoMuros	22.90 m³
Basic Wall: MURO 2	ConcretoMuros	23.47 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	9.37 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	3.84 m³
Basic Roof: LOSA ADUCCION	ConcretoLosaTerr	0.62 m³
Basic Roof: LOSA ADUCCION	ConcretoLosaTerr	0.04 m³
Floor: LOSA AEREA 25	ConcretoLosaAer	0.60 m³
Floor: LOSA AEREA 25	ConcretoLosaAer	0.60 m³
Basic Wall: LOSA ADUCCION 2	ConcretoLosaTerr	8.15 m³
Basic Wall: LOSA INCLINADA CANAL	ConcretoLosaTerr	2.74 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION 5	Default Wall	0.76 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION 6	ConcretoMuros	1.89 m³
Basic Wall: APOYO CANAL 2	ConcretoLosaTerr	0.12 m³
Basic Wall: APOYO CANAL 1	ConcretoLosaTerr	0.13 m³
Floor: LOSA LLAVE	ConcretoLosaTerr	2.72 m³
Basic Wall: LLAVE1	ConcretoLosaTerr	4.56 m³
Basic Wall: APOYO CANAL 3	ConcretoLosaTerr	0.20 m³
Basic Wall: LLAVE2	ConcretoLosaTerr	1.09 m³
Basic Wall: LLAVE2	ConcretoLosaTerr	1.29 m³
Floor: LOSA LLAVE 2	ConcretoLosaTerr	4.14 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	0.27 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	4.15 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	1.02 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	1.16 m³
Basic Wall: MURO ADUCCION	ConcretoMuros	1.37 m³
Basic Wall: CABEZOTE CANAL	ConcretoMuros	0.37 m³
Basic Wall: APOYO CANAL	ConcretoLosaTerr	0.66 m³

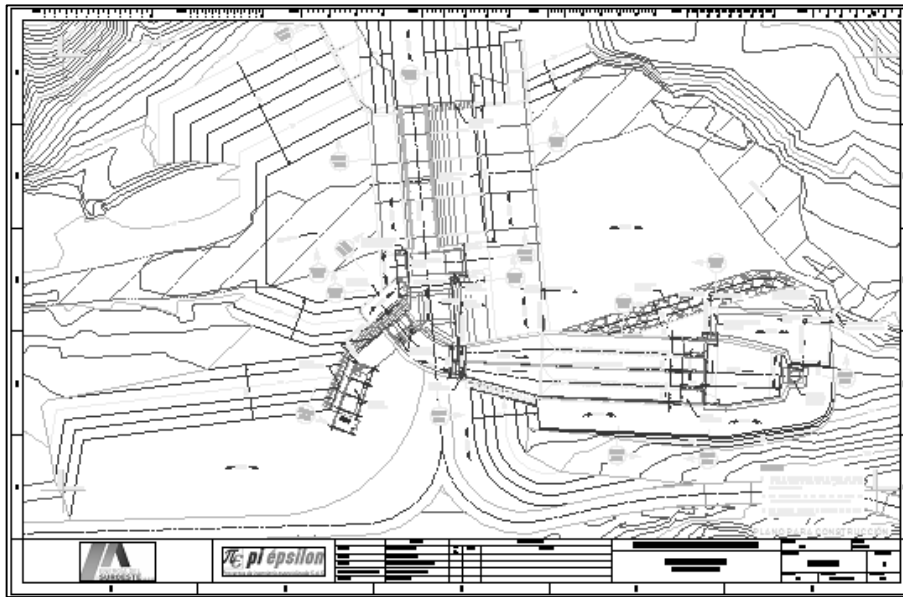
Figura 112. Reporte de cantidades de la captación de respaldo

<Mass Schedule>	
A	B
Family and Type	Gross Volume
base apoyo: b	1.23 m³
llaveS2: llaveS	
Descarga: Des	0.55 m³

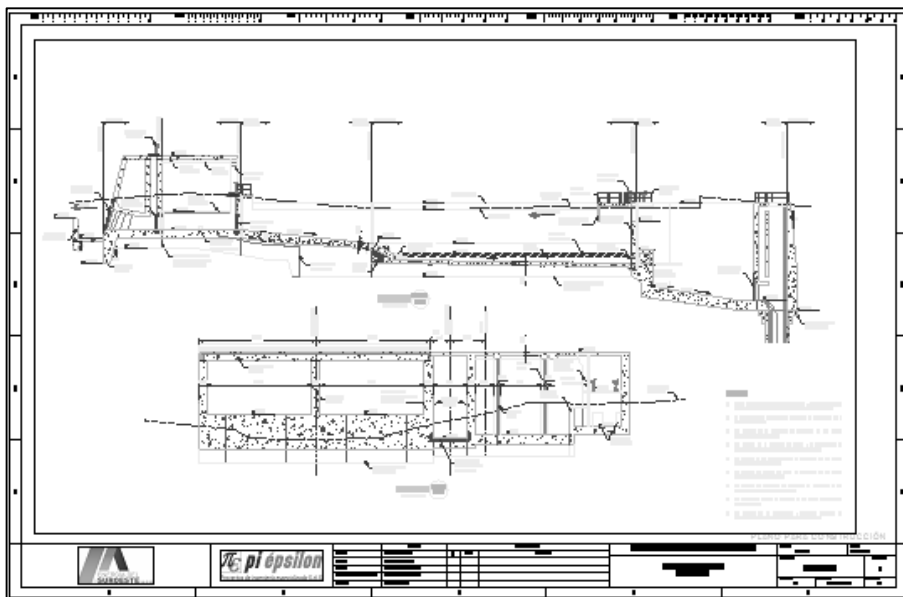
Figura 113. Reporte de volúmenes de masas de la captación de respaldo

6.4.4.3 Captación principal

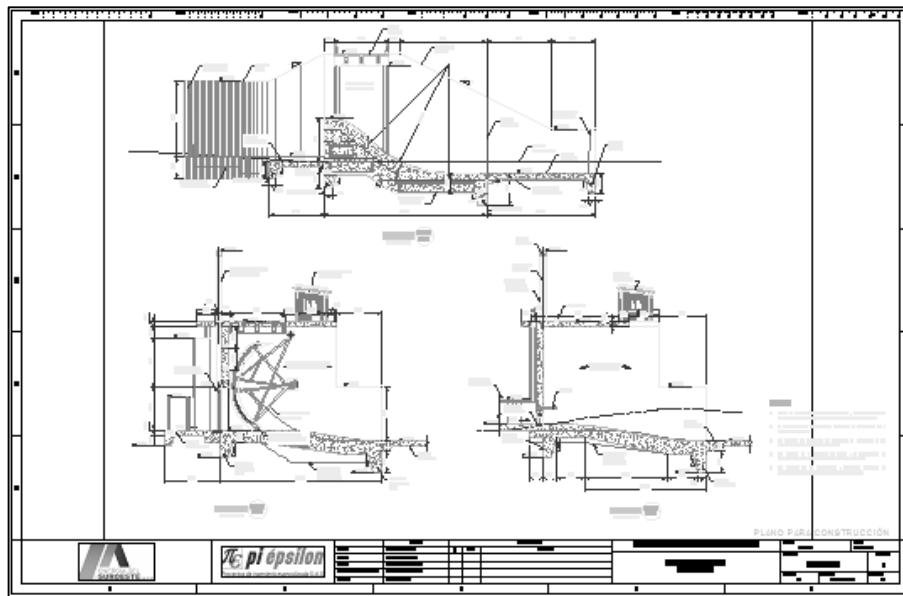
Para realizar el modelo de la captación de respaldo se partió de los planos en formato CAD, suministrados por Pi Épsilon (Figura 114). Adicionalmente se contó con un modelo 3D en formato CAD de las obras (Figura 115).



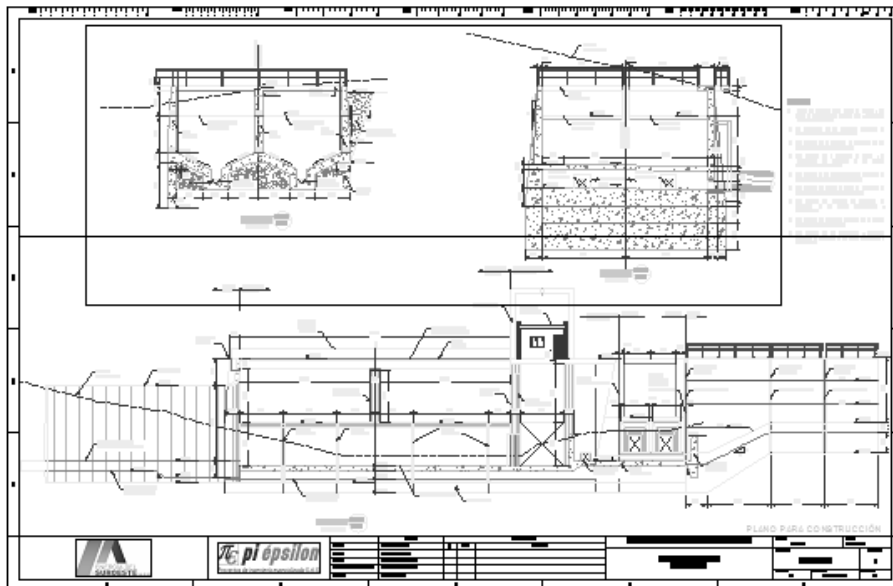
a) Planta general



b) Secciones I



c) Secciones II



d) Secciones III

Figura 114. Planos de captación principal

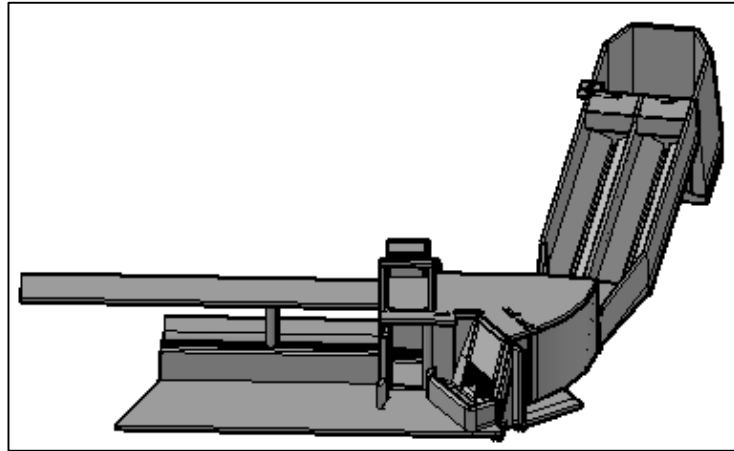


Figura 115. 3D captación principal

Debido a las geometrías complejas de la obra el modelo se realizó de igual manera que el modelo de la captación de respaldo, a partir de masas conceptuales de los diferentes elementos, convirtiéndolos que tienen geometrías no tan complejas a elementos paramétricos e integrando aquellos elementos con formas complejas tanto en planta como en secciones al modelo para su estimación de volúmenes y representación gráfica.

En la Figura 116 se muestra el modelo generado de la captación principal.

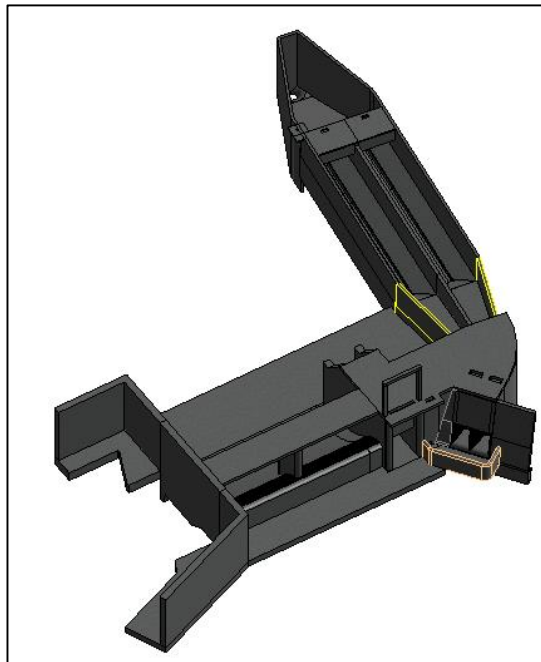


Figura 116. Modelo de la captación principal

7) Generación de planos

La generación de planos se realiza de la misma manera que como se hizo para la casa de máquinas. En la Figura 117 se presenta una sección obtenida con la herramienta *Section* del panel *Create* y en la Figura 118 se presenta el ejemplo de un plano de las obras de captación de respaldo

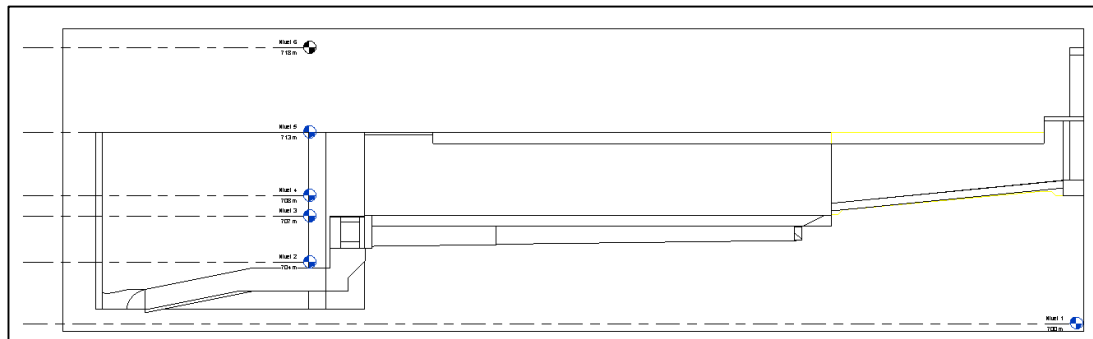


Figura 117. Sección captación principal

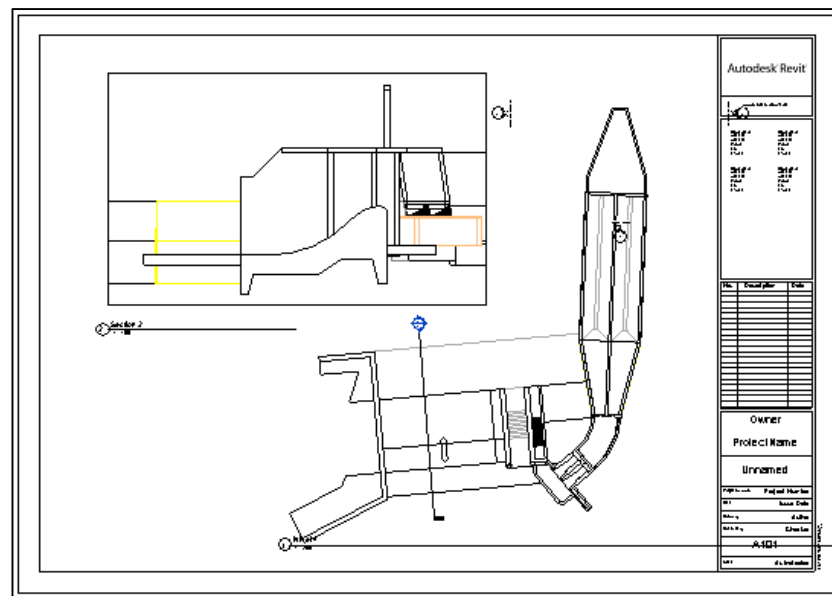


Figura 118. Plano en Revit de la captación principal

8) Cantidades de obra

Para obtener las cantidades de los principales ítems de las obras de la captación principal, se genera un reporte de materiales por medio del software tal como se hizo para la casa de máquinas y la captación de respaldo, sin embargo como este modelo tiene elementos no paramétricos, éstos no aparecen en el reporte de

materiales, por lo que es necesario generar uno a parte para las masas. En la Figura 119 se muestra un fragmento del reporte de cantidades mientras que en la Figura 120 se presenta un fragmento de las cantidades de las masas.

<Reporte de cantidades>		
A	B	C
Family and Type	Material: Name	Material: Volume
Basic Wall: VERTEDER	ConcretoAzud	1,201.90 m³
Floor: LOSA E=1.00	ConcretoLosaTerreno	138.91 m³
Floor: LOSA E=1.5	ConcretoLosaTerreno	109.17 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	184.74 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	44.43 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	190.99 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	109.25 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	84.67 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	41.93 m³
M_Concrete-Round-Co	ConcretoMuros	0.00 m³
M_Concrete-Round-Co	ConcretoColumnas	4.12 m³
M_Concrete-Round-Co	ConcretoMuros	0.00 m³
M_Concrete-Round-Co	ConcretoColumnas	4.12 m³
Floor: LOSA PUENTE E	ConcretoTableroPuente	62.50 m³
Basic Wall: VERTEDER	ConcretoAzud	104.51 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	172.87 m³
M_Concrete-Round-Co	ConcretoColumnas	7.46 m³
Basic Wall: MURO E=1.	ConcretoMuros	170.97 m³
M_Concrete-Round-Co	ConcretoColumnas	7.46 m³
Basic Wall: LOSA FON	ConcretoLosaTerreno	95.76 m³
Basic Wall: LOSADES	ConcretoLosaTerreno	47.79 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	19.59 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	15.32 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	13.22 m³
Basic Roof: LOSACAP	ConcretoLosaTerreno	122.02 m³
Basic Roof: LOSATAN	ConcretoLosaTerreno	145.74 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	3.87 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	69.03 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	12.92 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	65.53 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	5.41 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	11.56 m³
Basic Wall: MURO E=0.	ConcretoMuros	11.52 m³
Basic Wall: MENSULA	ConcretoMuros	60.41 m³
Floor: LOSA E=1.00	ConcretoLosaTerreno	424.40 m³

Figura 119. Reporte de cantidades de la captación principal

<Mass Schedule>	
A	B
Family and Type	Gross Volume
Pozo: Pozo	
LosaTanqueCarga: LosaTanqueCarg	137.36 m³
MurosTransicion: MurosTransicion	101.74 m³
Trompeta: Trompeta	
Family24: VertederoAproximacion	19.75 m³
Family25: Family25	14.77 m³

Figura 120. Reporte de volúmenes de masas de la captación principal

6.4.5 Integración de los modelos de las obras

Con el fin de visualizar los diferentes modelos integrados, se utilizó el software **Infraworks**. Este permite estudiar la interacción de las diferentes obras y brinda un concepto claro de cómo y donde se ubican cada una de ellas ya que el software permite desplazarse por todo el entorno de manera libre y hacer acercamientos a los sitios de interés, incluso moverse dentro de los objetos en 3D.

A continuación se explica de forma detallada como fue el proceso de integración de las obras.

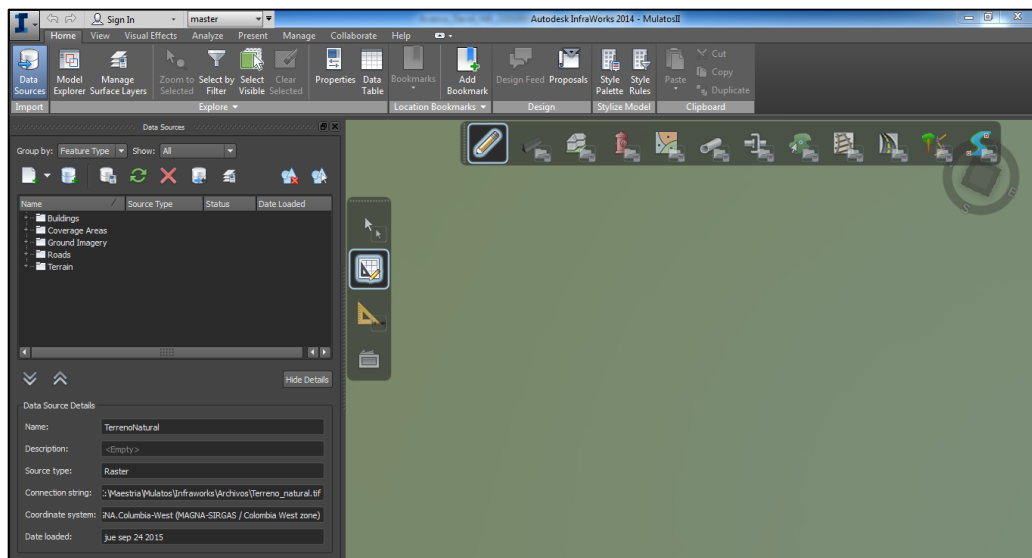
1) Archivos de entrada

Inicialmente fue necesario exportar aquellos generados en el software **AutoCAD Civil 3D** a un formato IMX y XML, y los generados en el software **Revit** a un formato FBX. Adicionalmente para la visualización de la zona se contó con el modelo superficie del terreno y la fotografía aérea en formatos TIF.

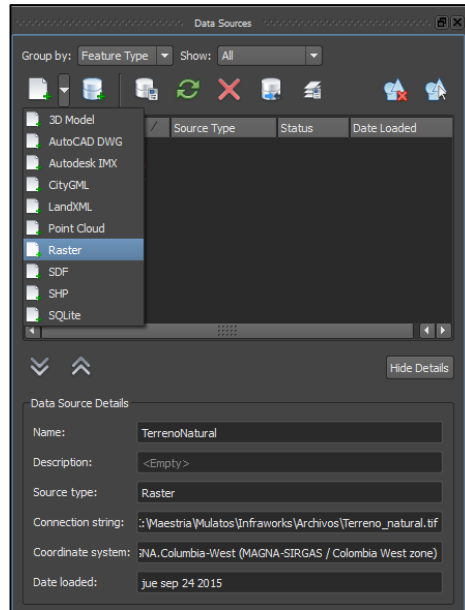
2) Importar imágenes del terreno

La imagen del terreno permite visualizar la zona de influencia de la obra de acuerdo a sus condiciones reales lo cual puede ayudar a contextualizar a los diseñadores y las diferentes personas involucradas en el proyecto.

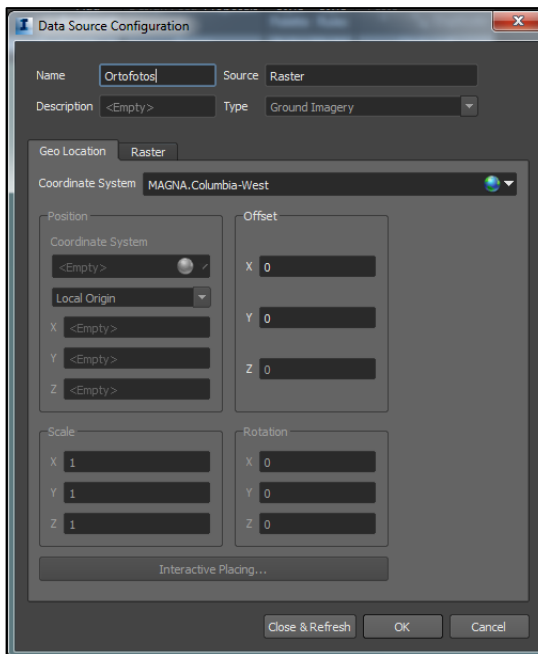
Paso I. Se despliega el panel *Data Sources* de la pestaña *Import*.



Paso I. Se despliega la herramienta *Add file data source* y se selecciona la opción *Raster*.



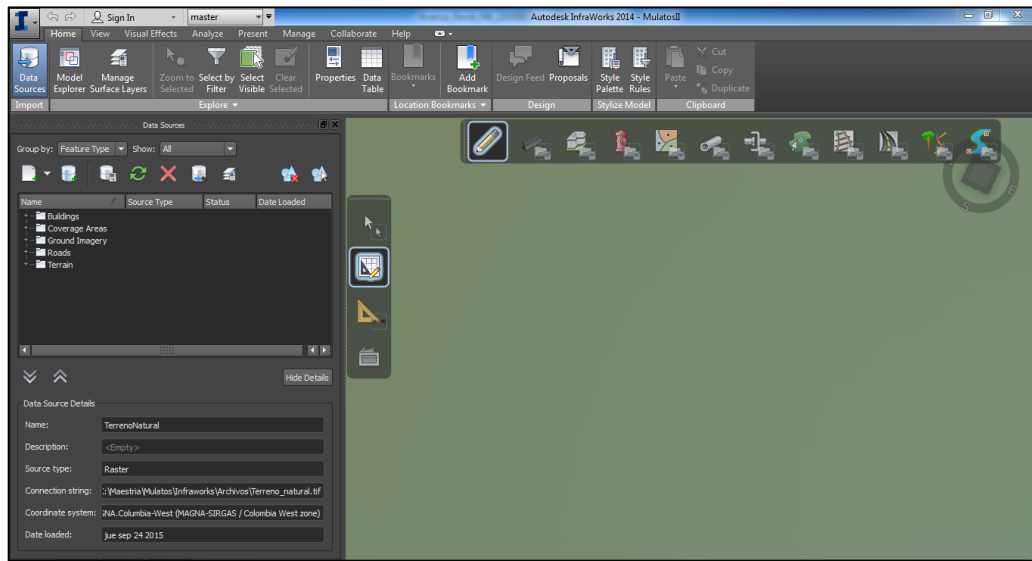
Paso II. El archivo importado aparece con el status “Not Configured”, para configurarlo se da clic derecho en éste. En la ventana que se despliega se asigna el sistema de coordenadas.



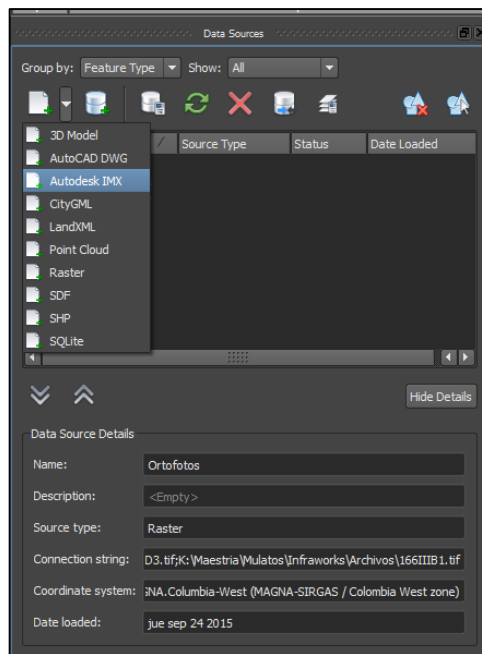
3) Importar superficies de terreno

Para la visualización del terreno modificado es necesario importar cada una de las superficies de las obras.

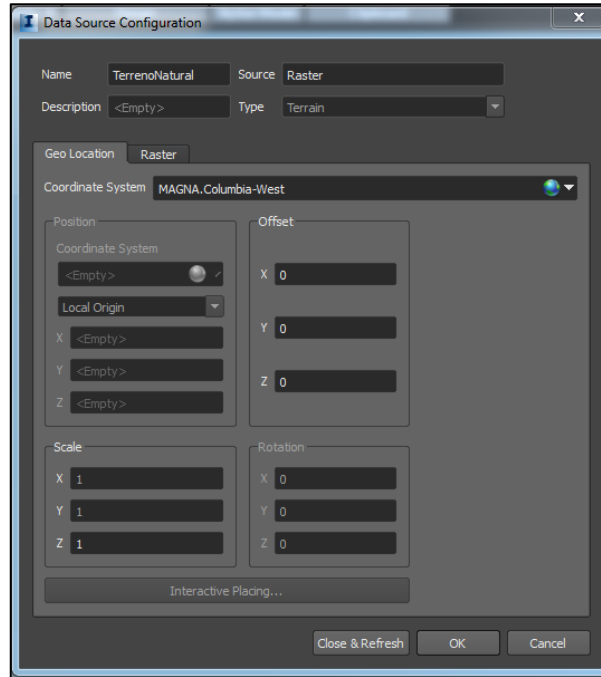
Paso I. Se despliega el panel *Data Sources* de la pestaña *Import*.



Paso II. Se despliega la herramienta *Add file data source* y se selecciona la opción *Autodesk IMX*.



Paso III. En la pestaña *Terrain* aparecen las superficies importadas con el status “Not Configured”, para configurarlas se da clic derecho en ellas. En la ventana que se despliega se asigna el sistema de coordenadas.



Teniendo la superficie del terreno y la fotografía aérea importadas el software las superpone y genera una vista en tres dimensiones de estas. En la Figura 121 se muestra la superficie de la zona del proyecto.

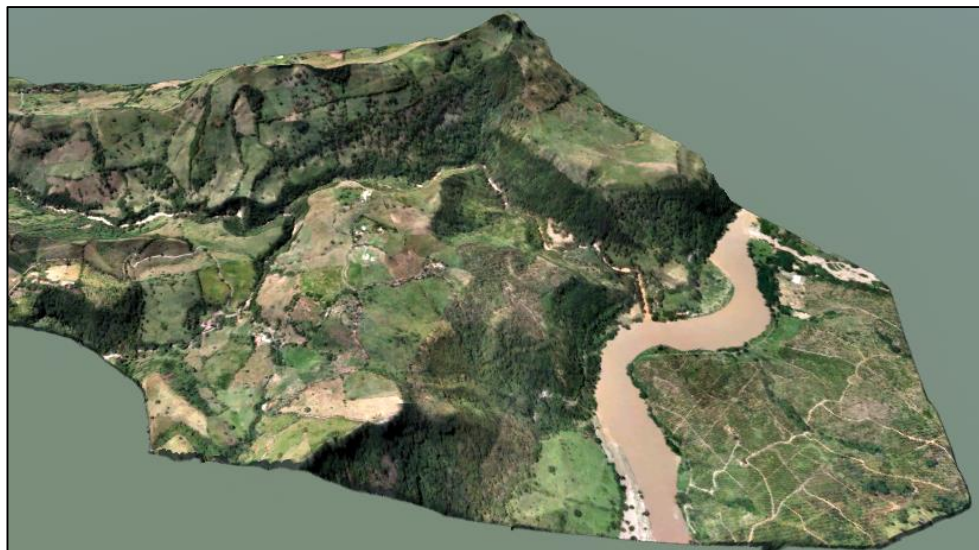


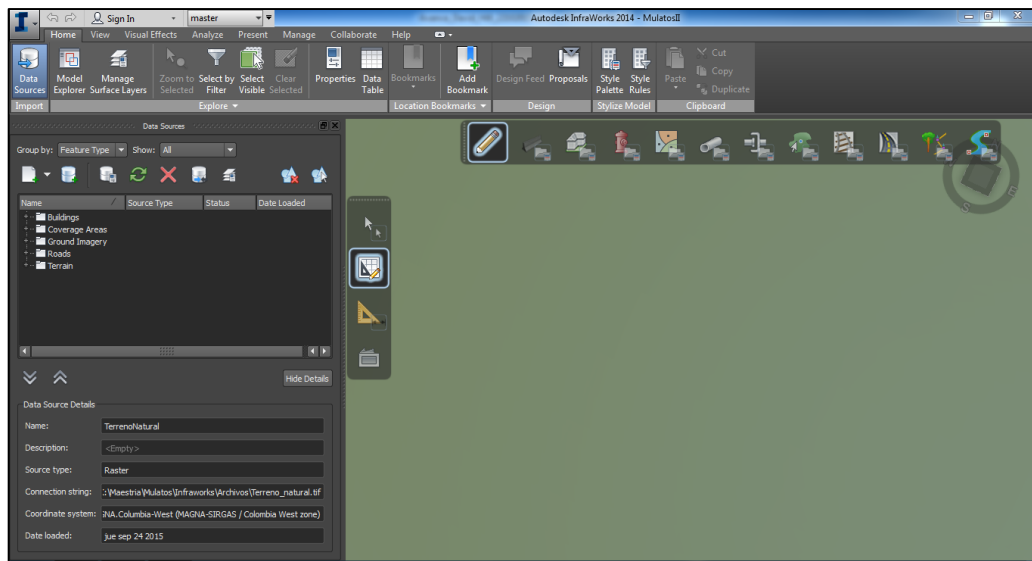
Figura 121. Superficie 3D de la zona del proyecto

Cuando ya se tengan todas las superficies configuradas, dependiendo del orden en que se encuentren organizadas, se superponen unas con otras simulando así los cortes y llenos generados por las excavaciones, vías y depósitos.

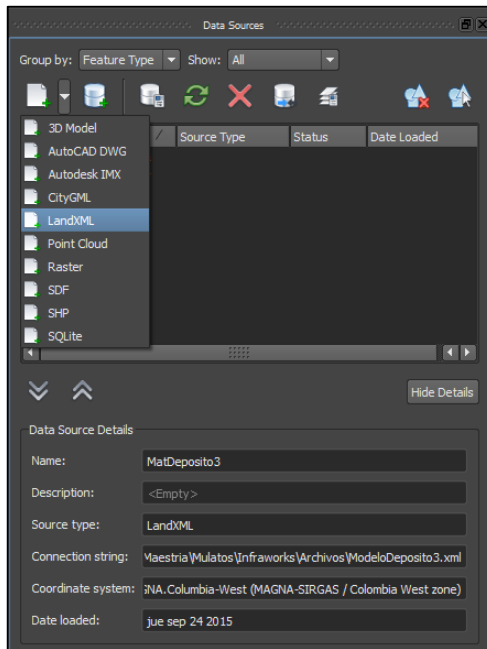
4) Áreas de cobertura

Con el fin de mejorar la apariencia física se importan también áreas de cobertura generadas a partir de parcelas creadas con los contornos de las diferentes excavaciones en el software civil y que fueron exportadas en formato XLM.

Paso I. Se despliega el panel *Data Sources* de la pestaña *Import*.

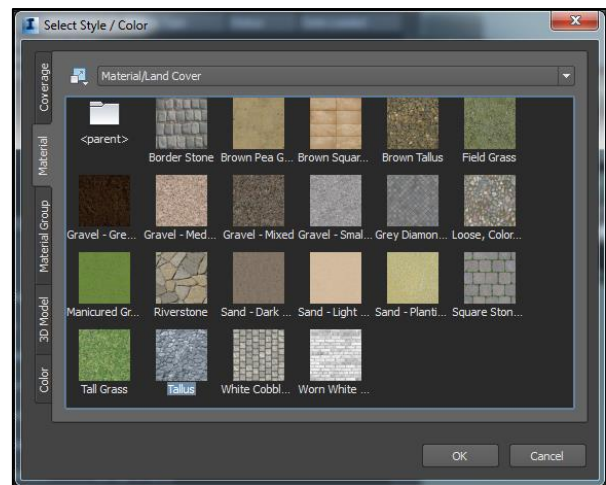
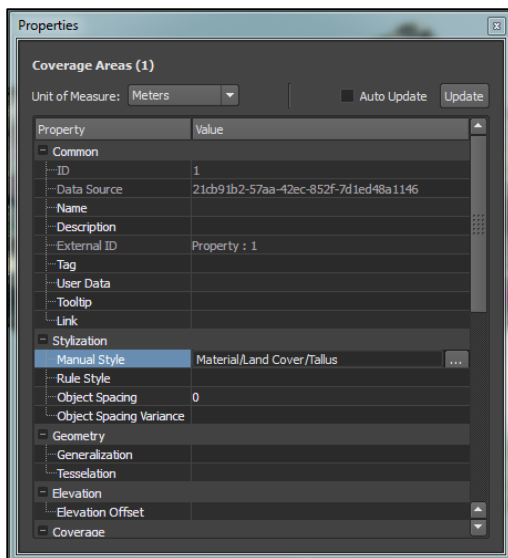


Paso II. Se despliega la herramienta *Add file data source* y se selecciona la opción *LandXML*.

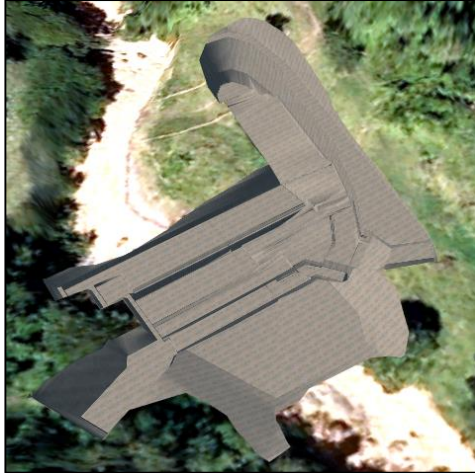


Paso III. Se configuran cada una de las áreas de cobertura de igual manera que las superficies para definir su ubicación con el sistema de coordenadas.

Paso IV. Con las áreas de cobertura configuradas, se seleccionan cada una de éstas y dando clic derecho se accede a sus propiedades. En el panel de propiedades en la pestaña *Manual Style* se selecciona el tipo de material para la visualización del área de cobertura.



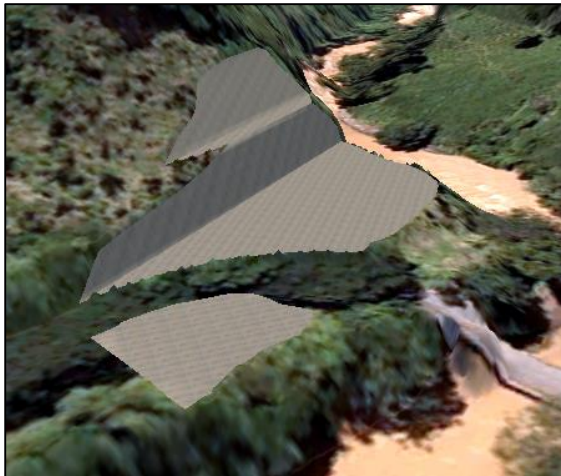
En la Figura 122 se muestran las obras del proyecto con sus respectivas áreas de cobertura.



a) Excavación Captación principal



b) Excavación Captación Aux



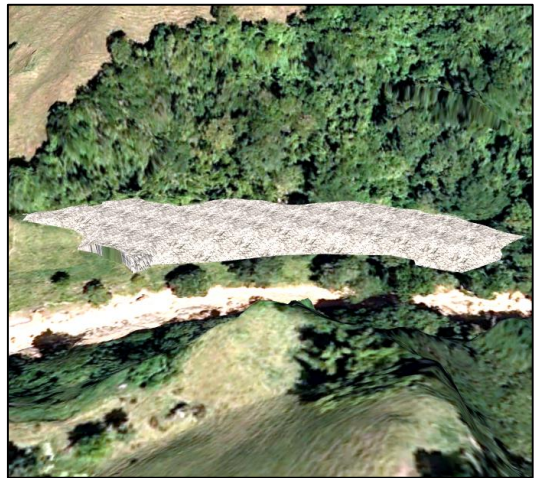
c) Plazoleta casa de máquinas



d) Depósito 3



e) Depósito 4



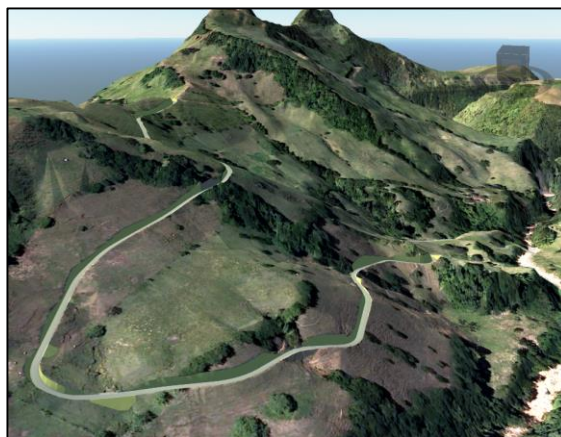
f) Depósito 5

Figura 122. Obras con área de cobertura del proyecto

5) Vías

Al importar los archivos en formato IMX de las diferentes obras, el software reconoce las entidades que contienen, entre ellos las vías. Estos elementos se deben configurar al igual que se realizó para las superficies y demás componentes.

En la Figura 123 se muestran las vías del proyecto en el modelo



a) Vía a captación principal



b) Vía a captación de respaldo



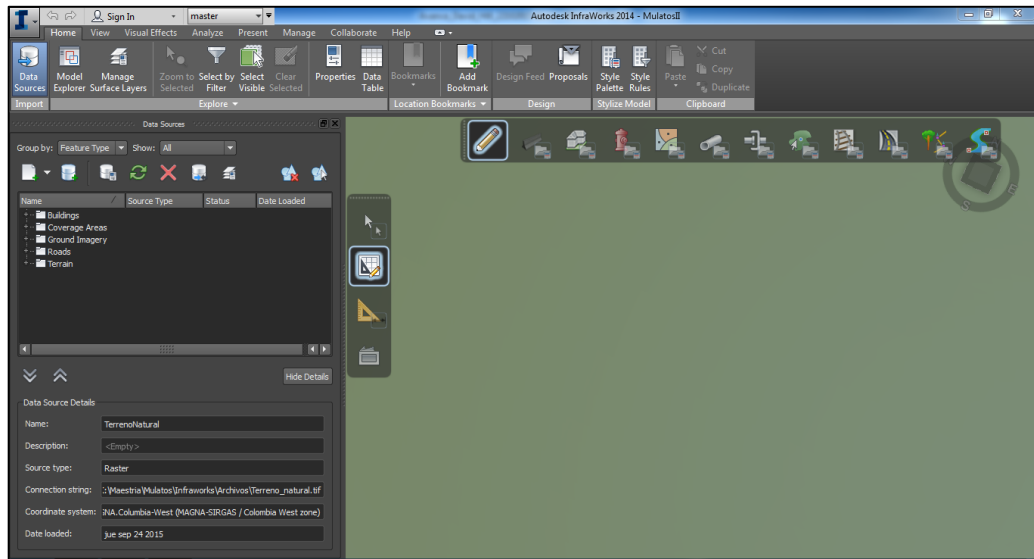
c) Vía de acceso al depósito 3

Figura 123. Vías del proyecto en el modelo

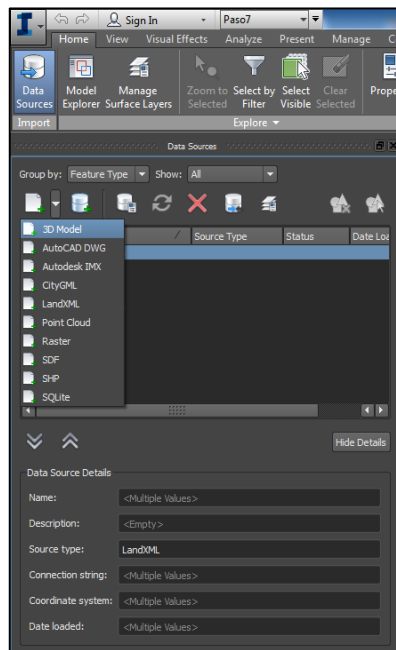
6) Modelos 3D de las obras

Finalmente se importan los modelos 3D de las diferentes obras.

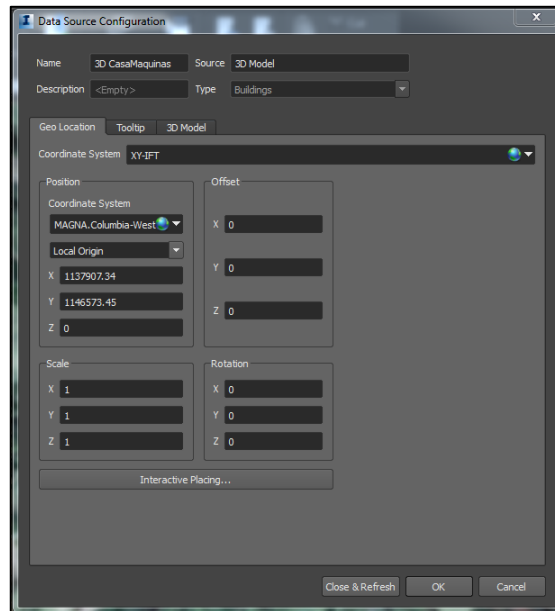
Paso I. Se despliega el panel *Data Sources* de la pestaña *Import*.



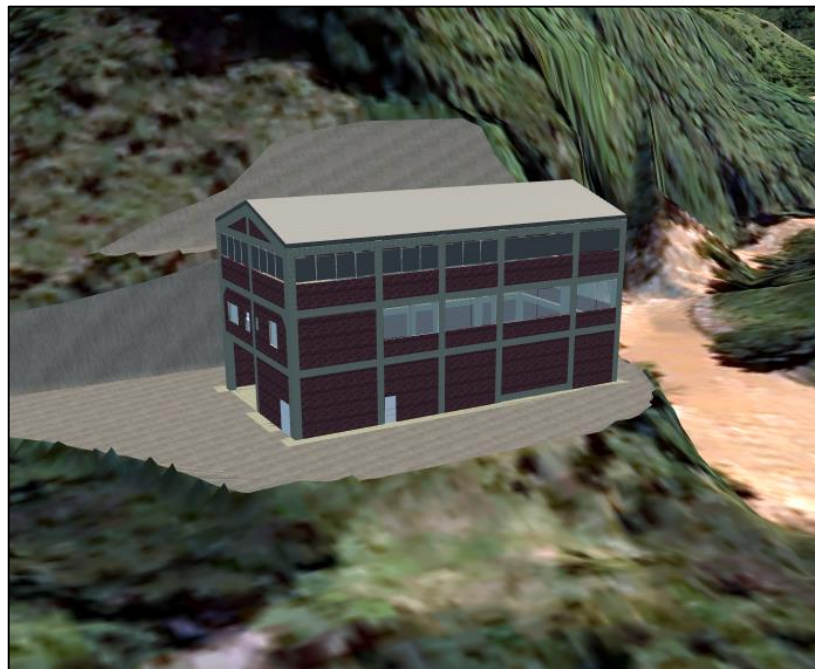
Paso II. Se despliega la herramienta *Add file data source* y se selecciona la opción *3D Model*.



Paso III. Debido a que los modelos 3D de las obras fueron realizados en el software **Revit** y éstos no se encuentran georeferenciados, es necesario configurar estos elementos asignándoles un sistema de coordenadas y definiendo la distancia desde el origen asignado en **Revit** a su ubicación real. Además se define el tipo de elemento que se va a importar.



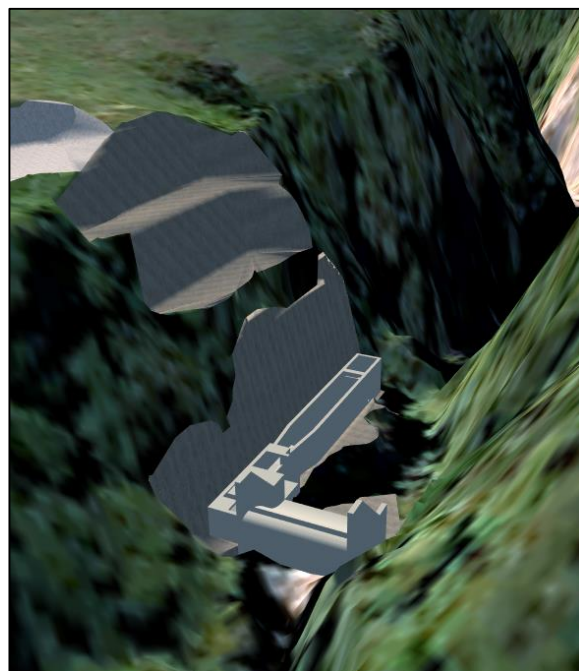
En la Figura 124 se presentan los elementos 3D importados a **Infracad**, integrados con los demás modelos de las obras.



a) Casa de máquinas



b) Captación principal



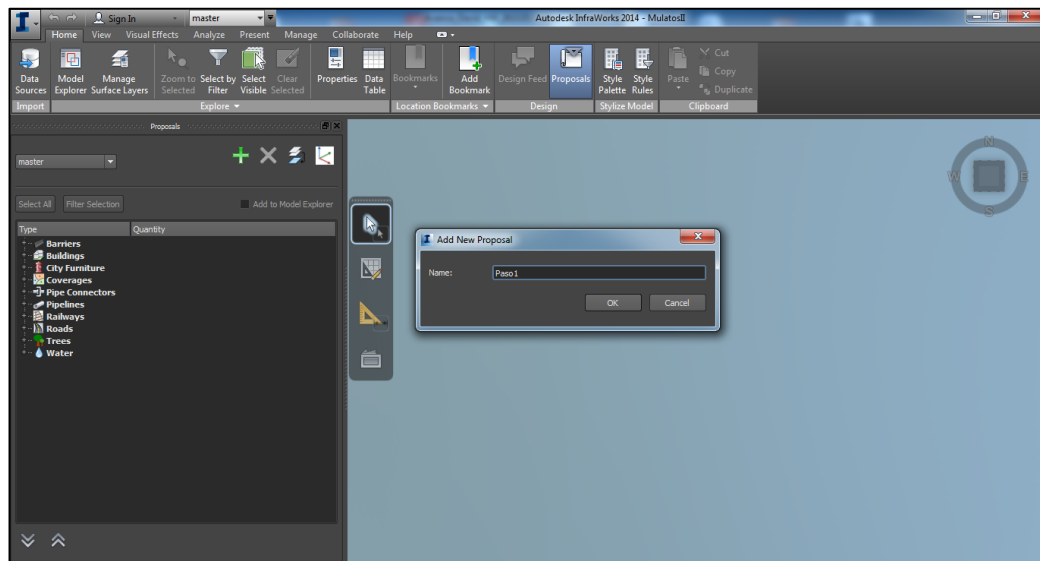
c) Captación de respaldo

Figura 124. Obras en 3D en el modelo

6.4.6 Simulación gráfica de la secuencia constructiva

Teniendo vinculados en **Infraworks** todos los archivos que representan las diferentes obras del proyecto se simuló de manera gráfica la secuencia constructiva del proyecto.




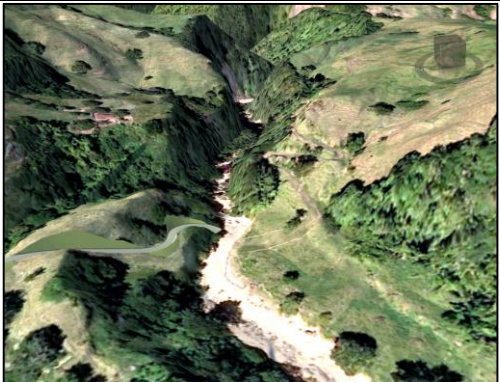
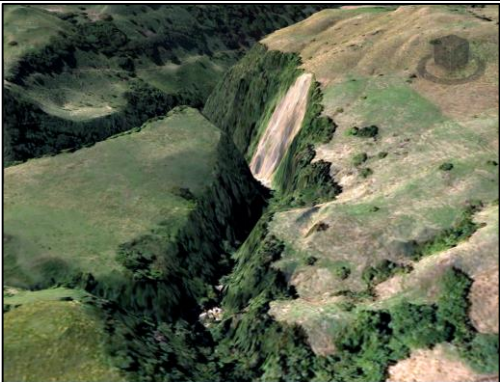

Con la herramienta *Proposals* del panel *Design* se crean propuestas en donde se eligen que elementos mostrar en el modelo.



Se realizaron 10 propuestas, representando cada una de las etapas de construcción finalizadas. En la primera etapa se construye la vía de acceso a la captación principal, en la etapa 2 se construye la vía a la captación de respaldo, en la etapa 4 se termina de conformar el depósito 4 con los materiales provenientes de las vías. A continuación, en las etapas 4 y 5 comienzan las obras en el frente de casa de máquinas con la vía de acceso al depósito 3 y la conformación de la plazoleta de casa de máquinas y subestación. En la etapa 6 se construyen las ataguías en la margen derecha de la captación principal y se realizan las excavaciones de la captación de respaldo. En la etapa 7 se realizan las excavaciones de la margen derecha en la zona de captación de respaldo. En la etapa 8 se construye la captación, descarga de fondo, desarenadores y tanque de carga de la captación principal, simultáneamente se construyen las obras de captación de respaldo.

En la Tabla 8 se muestra la representación de la secuencia constructiva de los principales frentes de obra del proyecto.

Tabla 8. Representación gráfica del proceso constructivo de las obras

Etapa	Captación principal	Captación de respaldo	Casa de máquinas
Terreno Natural			
1			









10



7 CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE LOS MODELOS

Después de realizar el modelo de las obras principales de la central hidroeléctrica Mulatos II, se concluye que la implementación de las herramientas BIM en el proceso de los diseños, constituye un gran beneficio para las firmas consultoras, debido a que son una herramienta innovadora que almacena información tanto gráfica, como descriptiva, que permite optimizar el proceso de diseño, integrar los productos que arrojan las diferentes disciplinas y detectar interferencias, lo cual ofrece una visión global y detallada del proyecto.

Adicionalmente, el hecho de emplear una herramienta BIM, permite a los ingenieros de cada área mantener sus diseños actualizados, debido a que este tipo de simulaciones mejoran la comunicación entre los profesionales pertenecientes a las diferentes disciplinas de trabajo, lo cual se traduce en beneficios y en la optimización del proceso de diseño.

La empresa consultora, al implementar este tipo de tecnologías se puede ver beneficiada ya que los modelos generados sirven de memoria de cálculo con el que se pueden sustentar las cantidades de obra presentadas en los presupuestos, de igual forma, estas cantidades son más precisas si se realiza un modelo BIM organizado.

En etapas de diseños conceptuales, al brindar una idea clara del entorno en el que se encuentra el proyecto, el uso de las herramientas facilita el planteamiento de alternativas óptimas para cada una de las obras del proyecto, además sirve de ayuda en trámites prediales y ambientales.

Al utilizar herramientas BIM, la empresa puede ahorrar tiempo en edición de planos debido a las opciones que se tienen para generar plantas y secciones donde se requiera y a su actualización automática a medida que se generen cambios en los modelos, lo que se traduce en una reducción en los costos para la empresa y en los plazos de entrega de los productos.

Las comunicaciones entre los diseñadores y los encargados de la construcción de las obras y la concepción de cada uno de los elementos que componen el proyecto mejoran, evitando malas interpretaciones de los planos lo que se puede ver reflejado en errores durante construcción.

Como herramienta de visualización, constituye un servicio importante al momento de presentar un portafolio de diseño hacia los clientes, lo cual genera un valor agregado al producto que la consultora ofrece, debido a que si se compara con el método convencional de presentación del proyecto (planos en 2D), en la etapa de diseño, brinda una mejor idea del resultado final del proyecto.

Cada uno de los modelos trabajados en este proyecto de grado, ofrece ciertas ventajas para determinados tipos de estructuras, por ello, la simulación se dividió en lotes, de donde se puede concluir que:

- El software **Autocad Civil 3D**, que fue empleado para la simulación de las vías, la conducción, las excavaciones y los depósitos de material, mejora la toma de decisiones y la optimización de los diseños, debido a que corresponde a un modelo con elementos paramétricos, haciendo más ágil el proceso de diseño y reduciendo los tiempos generados por reprocesos, al mantener ligados los diferentes componentes de las estructuras y actualizar los cambios generados en cada uno de ellos, además permite cuantificar las cantidades de obra, debido a que contiene herramientas destinadas exclusivamente para este fin, lo cual genera un ahorro en el tiempo que los diseñadores dedican a esta tarea y las entrega con un margen de error más bajo. Adicionalmente, este software también permite una visualización en 3D de las obras y de su interacción con el terreno natural lo que mejora la perspectiva del diseñador.
- **Revit**, que fue empleado para la simulación de las captaciones (principal y secundarias) y la casa de máquinas, permite identificar errores en una etapa previa a la construcción, debido a que integra los diferentes elementos y propiedades de estas estructuras, con el fin de evitar interferencias y colisiones, además, facilita el cálculo de cantidades de obra y ofrece un concepto más claro de lo que se está diseñando. La desventaja del software es la dificultad que presenta para la creación de familias a partir de geometrías complejas, lo que puede aumentar los tiempos de modelado, además debido al tipo de proyectos donde las geometrías varían mucho entre uno y otro, este proceso se debe repetir para cada uno de ellos.
- La integración de los modelos mediante el software **Infraworks** permite a los diseñadores visualizar el proyecto desde el punto de vista de la interacción entre las estructuras y el modelo del terreno natural (MDT), logrando una perspectiva real de la ubicación espacial de las obras y su relación con el entorno de trabajo.

Adicionalmente, esta herramienta permite plantear y observar la secuencia constructiva que requiere la ejecución del proyecto, realizar análisis de layout para determinar la localización de los campamentos, sitios de instalaciones provisionales y optimizar el flujo de trabajo.

Debido a que los software utilizados pertenecen a la misma casa matriz, se evitan problemas de interoperabilidad entre los modelos, facilitando su integración y la compilación de los modelos de las diferentes disciplinas.

BIBLIOGRAFÍA

Worldwatch Institute. (2013). *Worldwatch Institute*. Retrieved 1 de Febrero de 2015 from <http://www.worldwatch.org/node/9527>

XM S.A. (2014). *Informe Demanda de Energía*. Medellín.

Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2007). *Plan energético nacional 2006-2025*. Bogotá.

Breeze, P. (2005). Hydropower. In *Power Generation Technologies* (pp. 104-212). Oxford: Newnes.

Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). Building Information Modeling: Benefits, Risks and Challenges. *Proceedings of the 44th ASC National Conference*. Auburn: Auburn University.

US Army Corps of Engineers. (2015). *CAD-BIM TECHNOLOGY CENTER*. Retrieved 1 de Febrero de 2015 from <https://cadbim.usace.army.mil/BIM>

Kymmell, W. (2008). *Building Information Modelling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations*. The McGraw Hill Companies.

Duggal, V., Zolli, A., & Rush, S. (2000). *CADD Primer: A General Guide to Computer Aided Design and Drafting-CADD, CAD*. MailMax Publishing.

Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*. John Wiley & Sons.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Sacks, R., Eastman, C. M., & Lee, G. (2004). Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction*, 13, 291-312.

McKinney, K., Kim, J., & Howard, C. (1996). Interactive 4D-CAD. *Proceedings of the third Congress on Computing in Civil Engineering* (pp. 17-19). Anaheim: ASCE.

Koo, B., & Fischer, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of construction engineering and management*, 126 , 251-260.

Mahalingam, A., Kashyap, R., & Mahajan, C. (2010). An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects. *Automation in Construction*, 19 , 148-159.

Lee, G., Sacks, R., & Eastman, C. M. (2006). Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. *Automation in construction*, 15 , 758-776.

Cuesta, L., & Vallarino, E. (2000). Definiciones Básicas. In *Aprovechamientos Hidroeléctricos Tomo I* (p. 48). España: Piscegraf S.L.

NIBS. (2008). *United States National Building Information Modeling Standard, version1-Part 1: Overview, principles, and methodologies*. National Institute of Building Sciences.

Bentley. (2015). Retrieved 1 de Junio de 2015 from <http://www.bentley.com/en-US/Solutions/Buildings/About+BIM.htm>

Autodesk. (2015). Retrieved 01 de Junio de 2015 from <http://www.autodesk.com/solutions/building-information-modeling/overview>

Graphisoft. (2015). Retrieved 1 de Junio de 2015 from http://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/

Botero, L. F., & Acevedo, H. (2011). Aplicación de Tecnologías BIM para el modelado virtual de proyectos de construcción. *Informe de investigación* , 114-137.

Computer Integrated Construction (CIC) Research Program. (2010). *BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.0*. University Park: The Pennsylvania State University.

Kubba, S. (2012). Building Information Modeling. In *Handbook of green building design and construction: LEED, BREEAM, and Green Globes* (pp. 201-226). Waltham: Elsevier.

Kivits, R. A., & Furneaux, C. (2013). BIM: enabling sustainability and asset management through knowledge management. *The Scientific World Journal* .

Smith, P. (2014). BIM Implementation–Global Strategies. *Procedia Engineering*, 85 , 482-492.

National Building Specification. (2015). *NBS National BIM Report*. RIBA Enterprises.

BCA. (2013). *Singapore BIM Guide-Version 2*. Singapore: Building and Construction Authority.

BuildingSmart Australia. (2012). *National Building Information Modelling Initiative-Volume 1: Strategy*. Sydney: Department of Industry, Innovation, Science, Research and Tertiary Education.

McGraw Hill Construction. (2012). *The business value of BIM in North America: Multi-year trend analysis and user ratings (2007-2012)*. Bedford: McGraw Hill Construction.

Guo, F., Turkan, Y., Jahran, C., & Jeong, H. D. (2014). Civil Information Modeling Adoption by Iowa and Missouri DOT. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. ASCE.

US Army Corps of Engineers. (2012). *The US Army Corps of Engineers Roadmap for Life-Cycle Building Information Modeling (BIM)*. Champaign: USACE.

McGraw Hill Construction. (2012). *The business value of BIM for infrastructure*. McGraw Hill Construction.

McGraw Hill Construction. (2014). *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets*. McGraw Hill Construction.

L.Cuesta, & E.Vallarino. (2000). Definiciones Básicas. In *Aprovechamientos Hidroeléctricos Tomo I* (p. 48). España: Piscegraf S.L.

McGraw Hill Construction. (2014). The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets. *SmartMarket Report* .

Shim, C., Yun, N., & Song, H. (211). Application of 3D Bridge Information Modeling to Design. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction* (pp. 95-99). Elsevier.

Cho, D., Cho, H., Cho, N., & Kang, K. (2012). Parametric modelling based approach for efficient quantity takeoff of NATM-Tunnels. *Gerontechnology* .