



**Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA GEOLÓGICA**

Curso 2022-2023

Título del TFM

**“Metodología BIM en geología -geotecnia
aplicado a un proyecto ferroviario”**

Título en inglés

*“BIM methodology in geology - geotechnics applied
to a railway project”*

KELLY MISHELLE IZA FLORES

TUTOR: DAVID JIMÉNEZ MOLINA



Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid

MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA GEOLÓGICA

Curso 2022-2023

Título del TFM

**“Metodología BIM en geología - geotecnia
aplicado a un proyecto ferroviario”**

Título en inglés

*“BIM methodology in geology - geotechnics applied
to a railway project”*

KELLY MISHELLE IZA FLORES

TUTOR: DAVID JIMÉNEZ MOLINA

Fdo.:



Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense de Madrid

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

D./Dña. KELLY MISHALLE IZA FLORES
con NIF 50341133K, estudiante del Máster EN INGENIERÍA GEOLÓGICA en
la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid
en el curso 2022-2023, como autor/a del trabajo de fin de máster titulado
METODOLOGÍA BIM EN GEOLOGÍA - GEOTECNIA APLICADO A
UN PROYECTO FERROVIARIO
y presentado para la obtención del título correspondiente,
cuyo/s tutor/es son: DAVID JIMÉNEZ MOLINA

DECLARO QUE:

El trabajo de fin de máster que presento está elaborado por mí y es original. No copio, ni utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones de cualquier obra, artículo, memoria, o documento (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en las referencias bibliográficas. Así mismo declaro que los datos son veraces y que no he hecho uso de información no autorizada de cualquier fuente escrita de otra persona o de cualquier otra fuente. De igual manera, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Madrid, a 31 de JULIO de 2023

Fdo.:

Agradecimientos

A vosotros, por estar siempre.

Resumen

Este texto ejemplifica la implantación de la metodología BIM en el área de geología – geotecnia. Metodología que atiende al aprovechamiento de recursos digitales actuales mediante modelos digitales y bases de datos. Dando en un contexto global un sistema colaborativo de trabajo.

A lo largo de esta redacción se exponen todos los conceptos necesarios, para comprender la magnitud de alcance en un proyecto ferroviario de gran extensión con un contexto geológico - geotécnico complejo, por la heterogeneidad de los materiales presentes, pues son materiales con cambios geomecánicas importantes.

De este modo, a través de los primeros capítulos se puede observar una valoración en detalle, del concepto de BIM, en primera instancia de forma global para posteriormente sintetizar en el área que nos abarca, y, de las herramientas que han permitido desarrollar la metodología.

A medida que se avanza en la narrativa, se entrará en el marco geológico-geotécnico, donde se plasman las unidades geotécnicas adoptadas, así como las diversas patologías asociadas a cada una de las unidades que discurren a lo largo del trazado. Con la finalidad de transmitir el alcance que puedan suponer estas patologías, se ha mencionado de manera breve la obra lineal en su conjunto.

Fundamentalmente, se ha abordado la sistemática de trabajo tradicional en contraposición a la adopción de esta nueva forma de interactuar con la información, pues se parte, además, de la hipótesis de la existencia de un cierto grado de incertidumbre en las representaciones gráficas tradicionales.

La metodología de trabajo adoptada ha consistido en un tratamiento de datos, la creación de una base de datos, y la realización de dos modelos. Tras los cuales se ha realizado una valoración global atendiendo a los resultados.

En definitiva, a lo largo del texto se valora geotécnicamente la viabilidad de implantación de esta nueva metodología en un proyecto concreto ya redactado en fase constructiva.

Se deja a valor del propio lector, dadas los resultados y conclusiones, el contemplar la implantación en otro tipo de proyectos.

ÍNDICE

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
Capítulo 2 OBJETIVO	2
Capítulo 3 METODOLOGÍA	3
3.1. BIM	4
3.1.1. ¿Qué es el BIM?	4
3.1.2. ¿Qué es un archivo IFC?	7
3.1.3. ¿Qué es el COBie?	8
3.1.4. Modelos	9
3.2. gINT / gINT Civil Tools Professional	9
3.2.1. gINT	10
3.2.2. gINT Civil Tools Professional	10
3.3. Leapfrog Works	11
3.3.1. Datos de partida	12
3.3.1.1. Topografía	12
3.3.1.2. Investigaciones	13
3.3.1.3. Elementos complementarios	14
3.3.2. Generación de modelo	14
3.3.2.1. Superficies	14
3.3.2.2. Modelo	16
Capítulo 4 PROYECTO	17
4.1. Geología	17
4.2. Geotecnia	18
4.2.1. Obra de Tierra	21
4.2.1.1. Obras de Tierra	21
4.2.1.1.1. Desmontes	21
4.2.1.1.2. Rellenos	22
4.2.1.2. Estructuras	22
4.2.1.2.1. Viaductos	22
4.2.1.2.2. Pasos Superiores	23
4.2.1.2.3. Pantallas	23
4.2.1.2.4. Muros	23
4.2.1.3. Túnel	23
4.2.2. Marco geológico - geotécnico	24
Capítulo 5 TRABAJO REALIZADO	26
5.1. Base De Datos	26
5.1.1. Collar	26
5.1.2. Lithology	27
5.2. Cartografía Geológica	27
5.3. MDT	28
5.4. Modelado	29
5.4.1. Modelado De Investigaciones	29
5.4.2. Modelado Geológico-Geotécnico	31
Capítulo 6 RESULTADOS	42
6.1. Modelado 3D	42
6.2. Conjeturas	42
Capítulo 7 CONCLUSIONES	43
7.1. Ventajas	43
7.2. Inconvenientes	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ÍNDICE ILUSTRACIONES	46
ÍNDICE TABLAS	46
ANEXO N.º 1 SECCIÓN LONGITUDINAL	1
ANEXO N.º 2 SECCIÓN TRANSVERSAL	2

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de estos años en el área de geología - geotecnia se ha establecido una metodología tradicional a la hora de representar los datos obtenidos de las investigaciones, no obstante, en la actualidad lo que se está buscando es implantar una metodología adaptada a las nuevas tecnologías que nos permita obtener una recopilación de los datos de forma más eficiente y, por ende, un intercambio de información eficaz con el resto de las áreas.

El proyecto que ha servido como ejemplo para la redacción de este TFM está basado en la construcción de una línea ferroviaria en Gran Canaria. Se ha elaborado, en consecuencia, un modelo geológico – geotécnico que refleja la metodología, y da unas nociones del potencial de esta forma de trabajo.

A lo largo de los siguientes capítulos se obtendrán, por tanto, las directrices básicas para comprender en que consiste la metodología BIM, así como las pautas necesarias para adaptar la disciplina de geología -geotecnia de un proyecto basado en metodología clásica, a este sistema inteligente. Cabe mencionar, que no hay que olvidar que el objeto principal está dirigido hacia un proyecto concreto, por lo que meramente debe ser tomado como guía y no de forma irrefutable.

1.1. Antecedentes

Para la realización del presente texto, se parte del conocimiento geológico – geotécnico de un proyecto ya redactado. Debido a los derechos de confidencialidad no se aportan datos concretos que comprometan el proyecto y su localización exacta, no obstante, el desarrollo no se verá afectado debido a que el objetivo de este texto es reflejar las innovaciones que se están implantando en el área.

La zona de emplazamiento del proyecto se sitúa en la isla de Gran Canaria, donde se prevé la construcción de una línea ferroviaria de una gran extensión (7.000 m).

Estructuralmente, consta de una plataforma que transcurre por un túnel de casi 2 km de longitud y más de 80 m de profundidad, para dar paso a un viaducto de más de 100 m, y posteriormente discurrir mediante una alternancia de desmontes, túneles artificiales y rellenos. Geotécnicamente, se trata de una zona compleja debido a la variabilidad de materiales de origen volcánico que se encuentran en la zona, pues representan cambios litológicos de gran envergadura. Dentro de los cuales existen riesgos de deslizamientos o vuelcos de bloques, descalces por erosión diferencial, caída de pequeños fragmentos de roca y/o derrubios, así como, oquedades que pueden ser colapsables. Hay que tener en cuenta, por tanto, los cambios en el comportamiento geomecánico de los materiales.

Capítulo 2 OBJETIVO

El principal objetivo de este TFM es transmitir al lector unas directrices básicas de las nuevas formas de representar y tratar los datos en el área de geología – geotecnia, de forma que sirva de punto de partida en caso de querer profundizar en el desarrollo de esta metodología o en vistas de aplicación en algún proyecto.

Con la finalidad de trasladar de forma fehaciente esta metodología se ha tomado un proyecto ferroviario realizado con metodología clásica como punto de partida para la adaptación de esta nueva forma de trabajo.

Entiéndase, como metodología clásica, la forma de representación de los datos mediante estimaciones visuales en el perfil geológico – geotécnico (plano ortogonal a la planta que pasa por el eje) que parten de una caracterización geotécnica previamente realizada mediante un análisis cuantitativo. Cuando se hace alusión a estimaciones, cabe mencionar que no es respecto a los datos obtenidos, pues son veraces, sino al hecho de que generalmente las investigaciones por problemas de accesibilidad o por el propio planteamiento de la campaña no pasan por el trazado, generando por consiguiente la proyección de las investigaciones y, por tanto, de las unidades geotécnicas de forma aproximada.

Si hacemos referencia a esta nueva forma de trabajo, también denominada metodología BIM, hay que recalcar que lo que se persigue es tratar los datos de forma centralizada y dinámica, mediante la implantación de un sistema colaborativo, que permita la interacción con el resto de las disciplinas a la par que se minimizan errores en un corto plazo. Aplicada al área de geología – geotecnia, en contraposición a la metodología tradicional, se contempla sobre todo en los perfiles geológicos - geotécnicos, puesto que se pasa de tener representaciones mediante estimaciones, a tener representaciones más exactas, basadas en superficies generadas mediante interpolaciones. Representaciones que sirven de base para cálculos de estabilidades, establecimiento de cimentaciones de estructuras, estudios de vibraciones, ...

Cabe mencionar que esta metodología no queda exenta de presentar inconvenientes, pues entran en juego diversos factores, principalmente el número de investigaciones de partida, los recursos disponibles para llevarla a cabo, y los técnicos que llevan a cabo su elaboración.

El proyecto que se ha tomado de ejemplo persigue exactamente dada su complejidad, dejar en claro las grandes aportaciones que supone la integración en un proyecto desde la parte geotécnica, como se desarrolla, y los principales factores a tener en cuenta para su implantación.

Capítulo 3 METODOLOGÍA

Hasta ahora el trabajo que se elaboraba, ha consistido en la obtención de los datos y su posterior estudio, entendiendo por estudio a la caracterización geotécnica. De forma objetiva, estas unidades son representadas en los planos contenidos en la traza. Se habla, por ende, del levantamiento gráfico en 2D (planos referentes a planta y perfil geológico-geotécnico), aunque cuantitativamente las investigaciones son verídicas, cualitativamente la representación de los límites de cada una de las unidades presenta un cierto grado de incertidumbre al ser estimaciones. Esto aplica, inclusive al resto de secciones que sirven de base de cara a realizar cálculos de estabilidad, e incluso a la información transmitida al resto de disciplinas como a estructuras. Se ha observado, en este sentido, que se trata de un sistema que en cierta medida es mejorable, y dado los avances tecnológicos se ha considerado objeto de estudio de esta tesina.

El enfoque que se ha adoptado, por tanto, tiene carácter cualitativo, teniendo en cuenta que se trata de una mejora a nivel representativo y de gestión de los datos, que van ligados a una posterior mejora cuantitativa al repercutir en los cálculos obtenidos con las secciones. Sin embargo, no hay que dejar de lado, que el carácter cuantitativo, tanto de los datos de partida, como de las herramientas usadas hace que sea posible el desarrollo de este.

El método de recogida de datos ha sido plausible pues se parte de una recopilación de datos ya concretados al tratarse de un proyecto ya redactado. Estos datos, de carácter cuantitativo, han sido gestionados mediante los softwares de Excel, gINT.

Para el tratamiento de los datos, se realizaron testeos de varias herramientas que permitiesen una mejor optimización de los resultados de los modelos geológicos - geotécnicos, finalmente, Leapfrog Works fue el seleccionado debido a su potencial, en contraposición, a otros softwares como GEO05, el cual fue descartado, debido a su corto alcance para proyectos más amplios como el que se aborda en este TFM.

Tanto para los resultados de los modelos de investigaciones, como para la recogida de datos, las herramientas fueron seleccionadas en base al aprovechamiento de recursos ya disponibles en la organización.

La metodología se sustenta, por tanto, en la obtención de los datos, en base al estudio de los datos, las herramientas que permiten el tratamiento de estos datos, y el criterio del técnico o grupo de técnicos implicados. Como se ha mencionado anteriormente, al partir de unos datos que ya han sido objeto de estudio, por ser extraídos de un proyecto ya redactado, se ha estimado que se parte de datos con una alta fiabilidad, en caso omiso, debe contemplarse que este es también, un factor de muy importa para tener en cuenta.

Tanto para este proyecto como para otro tipo de proyecto que deba ser adaptado o iniciado con esta metodología, se debe contemplar una serie de pautas que deben cumplirse.

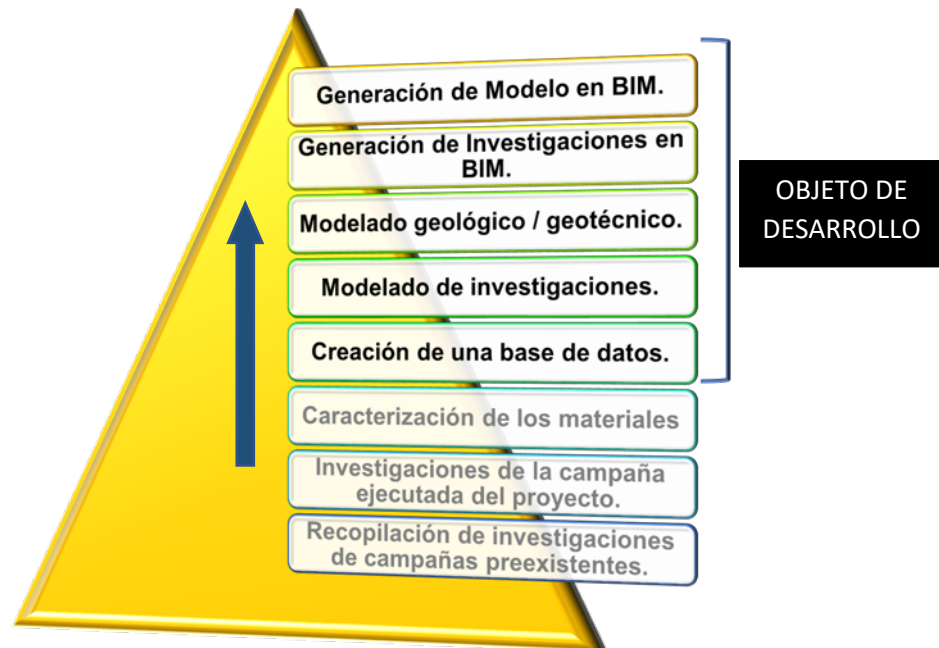


Ilustración 1 Pautas de aplicación metodología BIM geología – geotecnia

Tal como se refleja en la imagen superior (*Ilustración 1*) los tres primeros apartados, son pautas comunes entre ambas metodologías, siendo los superiores el objetivo de desarrollo de los siguientes capítulos.

Se ha considerado que, para una correcta evaluación del presente proyecto, hay que entender en primera instancia en que consiste la metodología BIM, así como el funcionamiento de las diversas herramientas que en este caso han sido las seleccionadas para su ejecución. A continuación, se exponen estos conceptos.

3.1. BIM

3.1.1. ¿Qué es el BIM?

La metodología BIM o Building Information Modeling es una metodología de trabajo en la que lo que se persigue es obtener una mejor optimización de los recursos mediante la centralización de la información de un proyecto de construcción. Esta información va desde las etapas de diseño, planificación de costes, etapa constructiva, incluso las desarrolladas con posterioridad. Por tanto, al referirnos a BIM, se hará referencia a toda la vida útil de las infraestructuras que abarcan dicho proyecto de construcción.

En la siguiente imagen (*Ilustración 2*) se puede observar el ciclo de vida a modo esquemático.

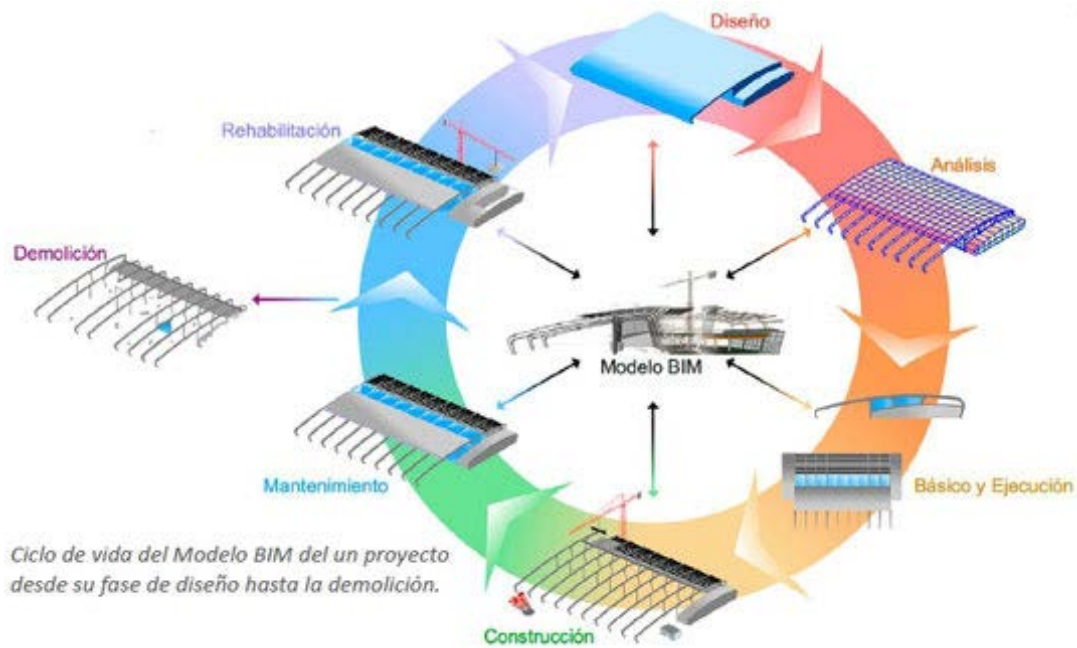


Ilustración 2 "Ciclo de vida del modelo BIM de un proyecto desde su fase de diseño hasta la demolición de ©buildingSMART Spain, 2023"

Si se desarrolla en profundidad se habla de las siete dimensiones de BIM. Se encuentran, por tanto: 1D, 2D, 3D, 4D, 5D, 6D y 7D. A continuación, se hace una mención de cada una de las dimensiones.

1D. Hace referencia a la "idea" a desarrollar. Siendo una primera estimación del proyecto.

2D. Se realiza la preparación del software a utilizar para modelar y se delimita el ciclo de vida del proyecto. Se produce la generación de las primeras salidas gráficas en 2D, entre otros. Por tanto, se puede hablar de "boceto".

3D Se produce la generación del "modelo BIM" que contendrá toda la información disponible hasta el momento, y será actualizada constantemente a medida que se desarrollan las fases posteriores a lo largo de toda la vida útil.

4D En todo proyecto se ha de considerar la planificación, hasta ahora considerado como estático pasa a ser la dimensión del "tiempo".

5D Mediante la variable tiempo se evalúan los "costos" de operación y de los materiales. Se trata de una estimación de los gastos lo que permite tener un mayor control de la productividad del proyecto.

6D Se trata de la fase de simulación de las alternativas que han sido consideradas en el proyecto, hasta alcanzar la que permita una mejor optimización, es conocida como Green BIM o BIM verde.

7D A modo general se trata de la guía a seguir a lo largo del ciclo de vida del proyecto, al permitir mantener una monitorización de este, se trata de la “gestión” que puede ser aplicada en cualquier fase de un proyecto.

Actualmente, en España la implementación de esta metodología se está desarrollando mediante las administraciones públicas del Estado, por lo que ya se pueden encontrar en diferentes licitaciones públicas. Un ejemplo de ello es el que está llevando a cabo ADIF (Ilustración 3).

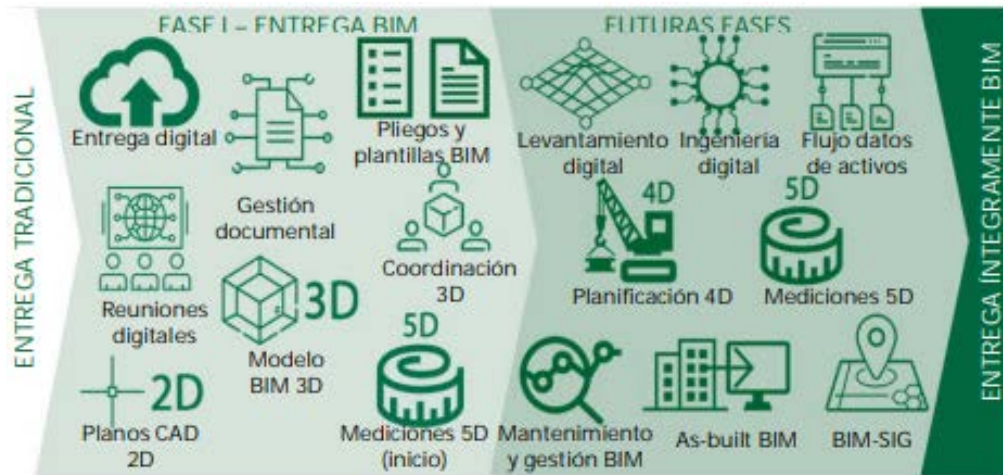


Ilustración 3 Futuros entregables en ADIF. Imagen extraída del "Tríptico Informativo de Implementación BIM en ADIF"

Con vista de lo que supone la nueva forma de gestionar la información han surgido nuevos roles que son necesarios para esta implementación, tal como se observa en el siguiente esquema, se trata de los actores BIM (Ilustración 4).

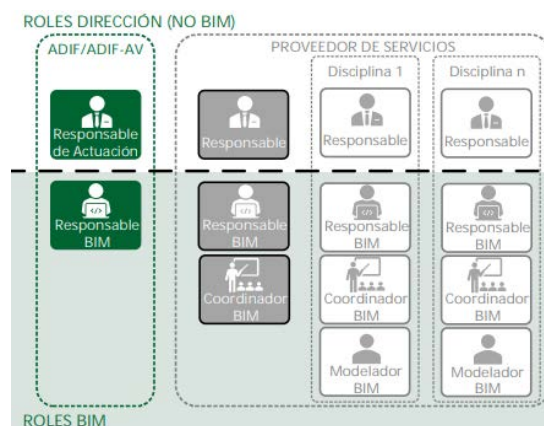


Ilustración 4 Esquema de actores BIM en ADIF. Imagen extraída del "Tríptico Informativo de Implementación BIM en ADIF"

En lo referido al área que nos abarca se integran los roles de coordinador y modelador BIM.

Cabe mencionar que hoy en día los roles que se asignan pueden ir variando de una organización a otra, así, por ejemplo, según los manuales “Guía de apoyo: Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM” (BuildingSMART Spanish Chapter, 2023) se adopta la siguiente tabla resumen que usa como referencia la clasificación de las normas ISO 19650 en referencia a adjudicador, adjudicatario principal y adjudicatario entrando en juego roles del ámbito organizativo y de proyecto (Ilustración 5).

Tabla resumen roles en el ámbito de la organización y del proyecto

Nivel		Roles que incorporan BIM	Roles especializados en BIM	Roles que incorporan o especializados en BIM
Estratégico (ámbito organización)		Responsable de la organización	Responsable BIM de la organización	
Táctico (ámbito organización)		Responsable de área	Responsable BIM de área	
Operativo (ámbito proyecto)	Adjudicador	Responsable del activo	Responsable BIM del activo	Técnicos
	Adjudicatario Principal	Responsable del encargo	Responsable BIM del encargo	
	Adjudicatario	Responsable del equipo	Responsable BIM del equipo	

Ilustración 5 “Tabla resumen roles en el ámbito de la organización y del proyecto de ©BuildingSMART Spanish Chapter, 2023, p. 8”.

Así pues, el rol de modelador del área de geología y geotecnia entraría dentro del rol de técnicos especializados en BIM según los manuales de BuildingSMART Spain.

3.1.2. ¿Qué es un archivo IFC?

Con la finalidad de mantener un intercambio de datos estándar abierto que permita una mayor interoperabilidad debida a su versatilidad de adaptabilidad a diversos softwares se desarrolló el formato de salida de archivos “.IFC”.

En primera instancia se hará hincapié en las siglas, que para el formato .IFC viene siendo Industry Foundation Classes.

Se trata de un formato de código en abierto que está establecido según la norma ISO 16739. Actualmente, norma UNE-EN ISO 16739-1:2020 “Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos (ISO 16739-1:2018) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020)”.

El formato IFC nos proporcionará un archivo de carácter universal que permite una representación gráfica (tridimensional) de tipo dinámico, es decir, objetos en 3D con tablas dinámicas de información.

Cuando se habla del formato .IFC hay que tener en cuenta las especificaciones asociadas al formato, comúnmente sería la versión del formato. Así, en caso de que los objetos, propiedades y geometrías sufran mejoras o sean un añadido nuevo se hablará de una nueva especificación, que grosso modo aumentará con esas adiciones las posibilidades de una mayor interoperabilidad. Actualmente, se encuentran las siguientes especificaciones:

- “*Industry Foundation Classes 2x3 (.IFC)*”. Se trata del formato de salida más usado debida a su gran compatibilidad con los diversos softwares.
- “*Industry Foundation Classes 4.0 (.IFC)*”. En esta especificación se produce una extensión hacia infraestructuras, se produce una mejora en los elementos estructurales, arquitectónicos e información de los elementos lineales. Además de permitir la interoperabilidad BIM con GIS y el intercambio a 4D y 5D.
- “*Industry Foundation Classes 4.3 RC3 (.IFC)*”. Las infraestructuras incluyen extensiones que abarcan puentes, túneles, ferrocarriles, canales, puertos y carreteras.

Por ende, de los modelos entregables se obtendrán los outputs de los volúmenes litológicos en formato .IFC, en el área que nos abarca actualmente son exportados mediante la especificación 2x3. No obstante, ¿cómo se obtendrá la información referente a investigaciones, litologías, asociados a esos volúmenes? Aquí, es donde entra una nueva terminología COBie.

3.1.3. ¿Qué es el COBie?

El COBie o Construction Operations Building Information Exchange es un archivo generalmente con extensión “.xlsx”, que “contendrá *toda la información de activos referentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de un proyecto*”. (U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL) (2021,09,04)).

En este sentido, en el área que nos abarca, se ha establecido un archivo con información con codificaciones asociadas a cada objeto litológico que integra cada una de las investigaciones ejecutadas de forma que la información sea concordante.

Por tanto, en un entregable en fase de diseño se han de generar dos modelos, el geológico-geotécnico, el de investigaciones, así como el archivo COBie, todos ellos han de ser enviados al coordinador BIM asignado al proyecto con la finalidad de que lo integre en el modelo BIM.

3.1.4. Modelos

Cuando se hace alusión a los modelos BIM, hay que tener en cuenta que cada disciplina generará sus propios modelos, dentro de un proyecto al ser tratados de forma independiente son denominados modelos simples.

Cuando se tratan todos ellos en conjunto, cada uno con su propio contenedor de información, se consigue el modelo BIM federado, que en última instancia es el entregable final.

Cabe mencionar que los modelos BIM federados podrán realizarse por disciplinas englobando todas las fases o tramos que lo conformen; por tramos o fases, incluirá todas las disciplinas implicadas en esa fase o tramo; o por proyecto, conllevaría en conjunto todos los tramos o fases con sus respectivas disciplinas asociados a cada uno de ellos. Se refleja de manera visual (*Ilustración 6*) a continuación.

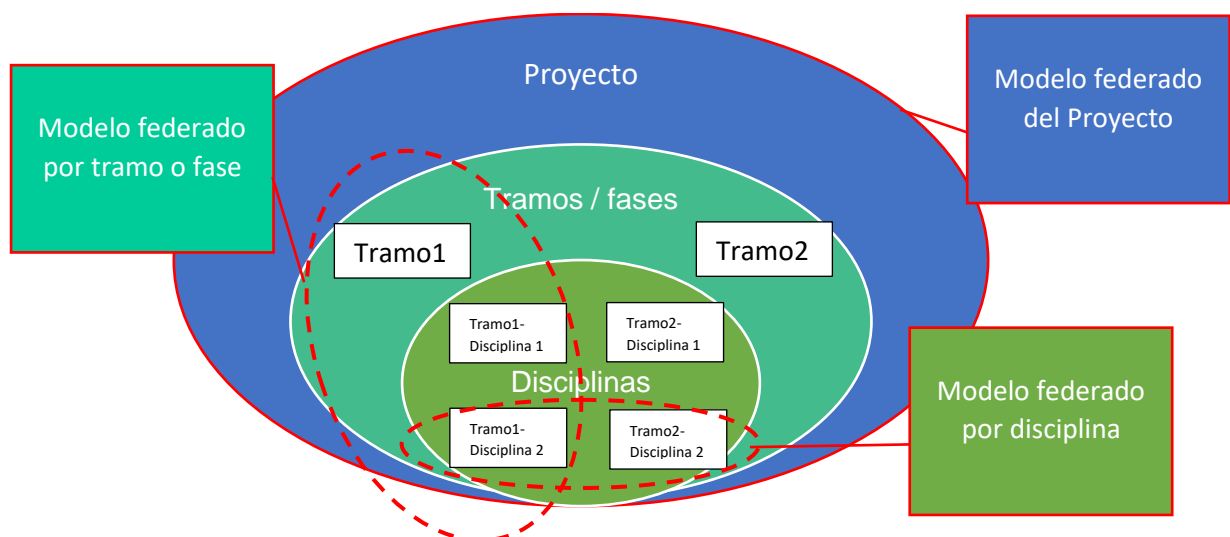


Ilustración 6 Jerarquía Modelos Federados

3.2. gINT / gINT Civil Tools Professional

gINT y gINT Civil Tools, son softwares desarrollados por la casa de Bentley Systems en conjunto con Seequent, empresa de software dirigida a las ciencias de la tierra.

A modo introductorio, la funcionalidad de gINT, ha sido actuar como base de datos, mientras que gINT Civil Tools Professional se ha utilizado como salida gráfica para el modelado de las investigaciones, cabe mencionar la existencia de una versión premium que no ha podido ser testada, se trata de Gint Civil Tools Professional Plus. En los siguientes apartados se han desarrollado estos dos conceptos.

3.2.1. gINT

El objeto de una base de datos en lo referido a geología y geotecnia es primordial a la hora de llevar grandes proyectos, ya que suelen abarcar diversas fases, lo que a su vez conlleva más de una campaña geotécnica, y, por ende, un mayor número de investigaciones cada una con sus respectivos ensayos geotécnicos.

Debido a la versatilidad a la hora de organizar la información, y la posibilidad de adaptar la base de datos a cada proyecto específico, se ha considerado óptimo la utilización de gINT (*Ilustración 7*) para el proyecto que se abarca. A continuación, se nombran las investigaciones geotécnicas que se han integrado en la base de datos (*consultar capítulo 9.1. BASE DE DATOS*).

- Sondeos.
- Calicatas.
- Geofísica.
 - Sísmica de Refracción
 - Tomografía eléctrica

Aunque en este proyecto no se ha aplicado, cabe mencionar que gINT es un software que cuenta con funcionalidades adicionales, como el monitoreo de campañas en curso, generación directa de registros de sondeos, DPSH, entre otros.



Ilustración 7 Visualización escena de trabajo de gINT como base de datos

3.2.2. gINT Civil Tools Professional

gINT Civil Tools Professional (*Ilustración 8*) es una herramienta que sirve para la creación de modelos 3D. Se trata de un software que cuenta con su propio apartado dirigido a dibujo y a geotecnia, permitiendo desarrollar modelos basados en secciones. No obstante, debido a que son volúmenes generados que parten de un perfil realizado de forma digital pero manual, no ha sido viable su utilización en el modelo geológico-geotécnico al ser de una gran extensión.

En este proyecto la funcionalidad de gINT Civil Tools Professional ha sido generar la salida gráfica de los modelos de las investigaciones.

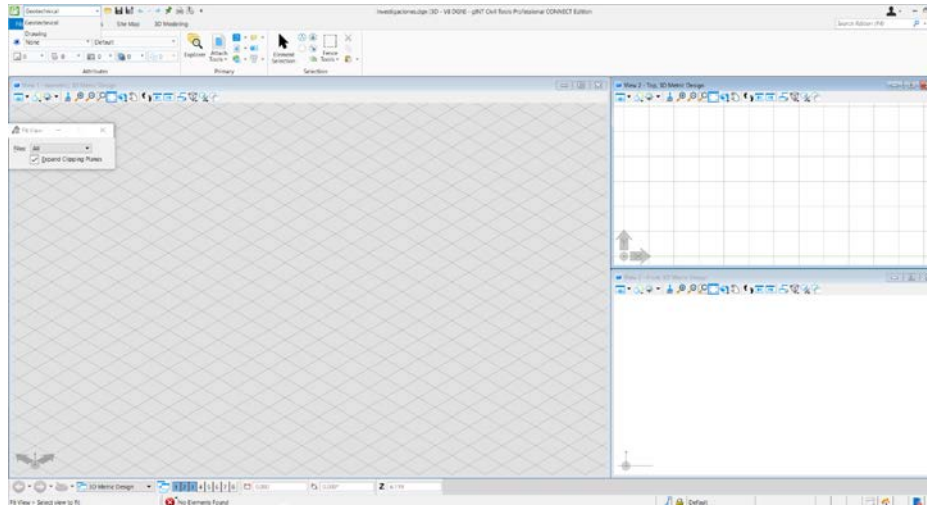


Ilustración 8 Visualización de escena de trabajo de gINT Civil Tools

A continuación, se presenta una tabla (Tabla 1) con los tipos de importaciones y exportaciones que son admitidos.

IMPORT			EXPORT			
Common File Types	Exchange File Types	3D Modeling File Types	Common File Types	Exchange File Types	3D Modeling File Types	Visualización File Types
DWG (*.dwg)	DXF (*.dxf)	ACIS (*.sat)	2D	PDF (*.pdf)	ACIS (*.sat)	Google Earth (*.kml)
DGN (*.dgn)	CGM (*.cgm)	3DS (*.3ds)	DWG (*.dwg)	CGM (*.cgm)	OBJ (*.obj)	Luxology (*.lxo)
Cell Library (*.cel)	FBX (*.fbx)	SketchUp (*.skp)	Design Library (*.dgnlib)	Collada (*.dae)	Parasolids (*.x_t)	SVG (*.svg)
DGNLIB (*.dgnlib)	JT Format (*.jt)	3DM (*.3dm)	Redline (*.rdl)	DXF (*.dxf)	SketchUp (*.skp)	U3D (*.u3d)
Redline (*.rdl)	IGES (*.igs)	Stereolithography (*.stl)	V8 Format Design (*.dgn)	FBX (*.fbx)	Stereolithography (*.stl)	VRML (*.vrm)
Sheet (*.s)	IFC (*.ifc)	Parasolid (*.x_t)	V7 Format Design (*.dgn)	IGES (*.igs)		VUE (*.vob)
DgnDB (*.idgnb)	RFA (*.rfa)	OBJ (*.obj)	Visible Edges (*.hln)	JT Format (*.jt)		
Imodel (*.imodel)	STEP (*.stp)			STEP (*.stp)		
Shapefile (*.shp)	Land XML (*.xml)					
Text (*.txt)						
Image						
MIF/MID (*.mif)						
TAB (*.tab)						

Tabla 1 Formatos de importación y exportación admitidos en gINT Civil Tools Professional

3.3. Leapfrog Works

Leapfrog Works es un software perteneciente a la casa de Seequent que actúa de forma independiente dentro de Bentley Systems. Actualmente, la versión es la 2023.1.1.

El software está dirigido al modelado geológico 3D dentro del ámbito de la ingeniería civil y el medio ambiente, se trata de un software que se ha desarrollado tomando como base LeapfrogGEO, software dirigido al modelado 3D dentro de la industria minera (localización de reservorios, estimaciones de reservas, entre otros). El software está basado en la función matemática denominada interpolación que da lugar a modelos implícitos dinámicos.

A modo introductorio, los modelos en Leapfrog Works se obtienen mediante la generación de volúmenes que parten de la creación de superficies. En los siguientes apartados se explican detenidamente las funciones a modo de guía.

3.3.1. Datos de partida

Los modelos pueden ser generados a partir de una cartografía geológica, mediante investigaciones e incluso con datos geofísicos complementarios entre otros. A continuación, se hace alusión a cada uno de ellos.

3.3.1.1. Topografía

La topografía sirve como superficie de partida del modelo, y se podrá generar mediante la importación de un MDT, mallas de superficie, puntos, o líneas GIS, que podrán ser tanto de tipo áster o vectorial.

El tipo de elemento utilizado repercutirá en la topografía de salida que adopte el modelo. Lo idóneo es contar con un MDT adaptado al proyecto y que se cargue directamente en el modelo, no obstante, no siempre es posible debido a que en ocasiones se presentan errores en la malla que impiden que sea utilizada directamente como topografía, por ejemplo. En estos casos se puede recurrir a una extracción de puntos para generar “top mesh” mediante el algoritmo de triangulación. Cabe mencionar que es recomendable intentar solucionar dichos errores en el nativo de origen (*Software Microstation*).

Uno de los puntos a destacar es la resolución de la topografía, que va a depender del grado de detalle que se requiera del modelo, así, a mayor resolución mayor tiempo de procesado. Aunque grosso modo se puede mantener la resolución que aparece por defecto.

Dentro de “Topography” se encuentra una de las funciones básicas más importantes, se trata de “set clipping boundary”, que permitirá delimitar el modelo según sea requerido mediante el efecto caja. Esta debe quedar incursionada dentro de la topografía de forma contraria se obtendrá un error (*Ilustración 9*).

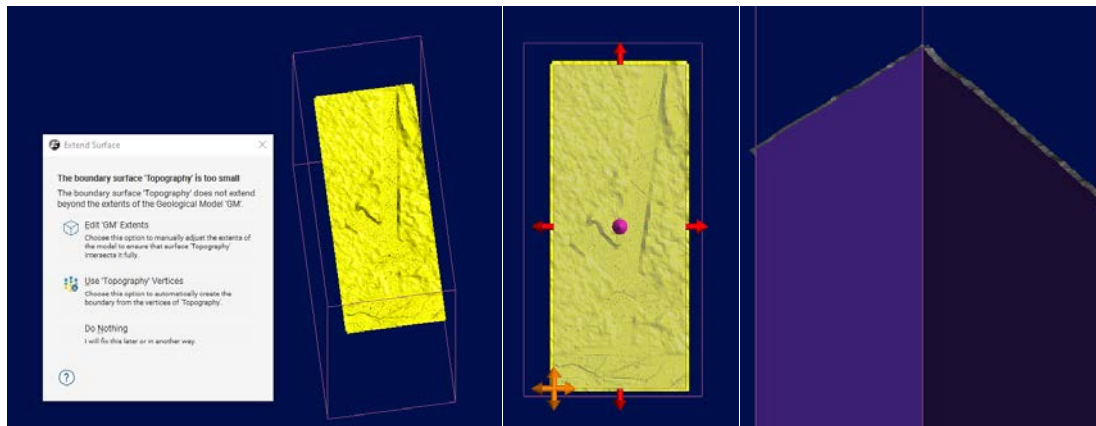


Ilustración 9 Clipping boundary fuera de los límites topográficos (izq.), no se genera boundary, y dentro de los límites (dcha.), se genera boundary

3.3.1.2. Investigaciones

Las investigaciones o reconocimientos han de ser importados mediante “Borehole Data”. Al referirnos a reconocimientos se hace alusión a los sondeos, DPSH, CPTU, calicatas, en definitiva, a cualquier tipo de investigación considerada dentro del COBie, inclusive puntos referentes al nivel freático o cualquier dato complementario que se haya incluido en dicho archivo.

Los formatos de importación que se admiten son:

- Ascii Text Files (.asc)
- AGS Files (.ags)
- Data Files (.dat)
- CSV Text Files (.csv)
- TSV Text Files (.tsv)
- Plain Text Files (.txt)

Respecto a la forma de importación se puede realizar cargando los archivos desde una ubicación local del archivo (import borehole), vía ODBC (import borehole vía ODCB) y mediante OpenGround (import borehole OpenGround).

Dentro de la sección “borehole data” de manera adicional se pueden realizar diversas combinaciones si se cuenta con más de una campaña, como agrupaciones de litologías que faciliten el modelado, generación de campañas planificadas, así como la consiguiente estimación esperada, aplicación de un algoritmo de filtrado mediante la función “Query filter”, e incluso obtener un análisis de los datos mediante la función “statistics”.

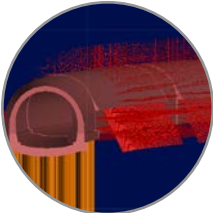
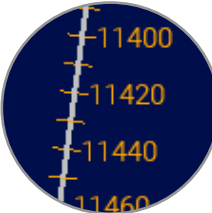
Como la finalidad de este texto no es el tratamiento estadístico de los datos no se ha ahondado en esta función, no obstante, se mencionan las opciones que pueden ser de aplicación:

- Tablas de estadísticas (Table of statistics)
- Tablas de dispersión (Scatter Plot)
- Diagramas de Q-Q (Q-Q Plot)
- Diagramas de caja (Box Plot)
- Gráficos univariados (Interval Length Statistics)

3.3.1.3. Elementos complementarios

Los elementos complementarios que permitirán adaptar el modelo, de forma directa o indirecta se enlistan, a continuación:

- Líneas GIS.
- Polilíneas. Se trata de líneas con presencia de polaridad al contar con tangentes. A modo ejemplo se adjunta una polilínea.
- Puntos.
- Discos estructurales.
- Datos geofísicos.
- Mapas.
- Diseño. Presenta dos opciones de entrada.

 <p>Importación de Modelos (Import designs)</p> <p>Los diseños que se pueden insertar son tales como estructuras, carreteras, túneles,... Los formatos de sa</p> <ul style="list-style-type: none"> •DGN (.dgn) •DWG (.dwg) •DXF (.dxf) 	 <p>Importación de alineaciones (Import alignments)</p> <p>Hace alusión al eje o trazado del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> •LandXML (.xml)
--	---

3.3.2. Generación de modelo

3.3.2.1. Superficies

Mediante “surface chronology” se accede a los algoritmos de superficies que permitirán la creación de superficies litológicas mediante una interpolación automática.

No es habitual que la superficie generada se ajuste completamente a lo que se requiere, por lo que se recurre a la edición mediante polilíneas, discos estructurales o líneas GIS.

Las superficies que se pueden generar responden a cuatro algoritmos (*Ilustración 10*): de tipo depósito, de tipo erosivo, de intrusión o de tipo vena. Tal como se refleja en la siguiente figura.

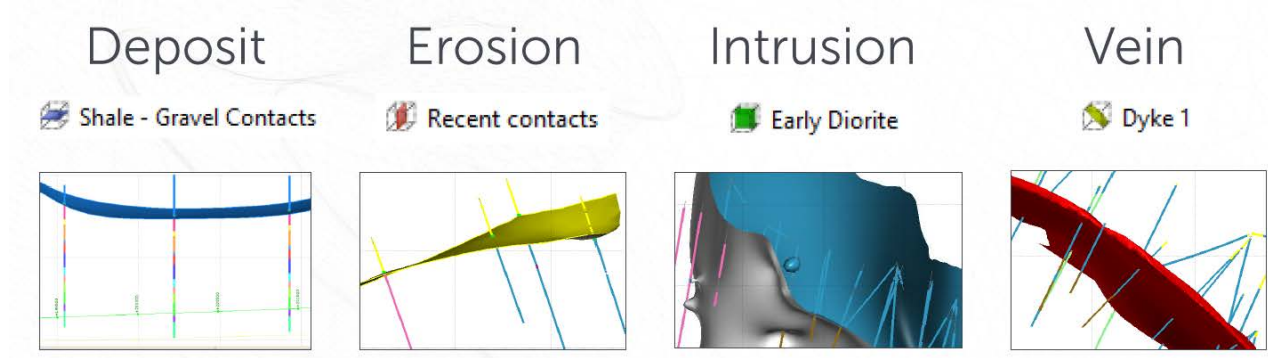


Ilustración 10 Imagen extraída de la guía de Leapfrog Works

Aunque las superficies dan una idea del tipo de material al que va dirigido su uso no siempre es aplicado siguiendo ese criterio, un ejemplo de ello es el uso de erosión para un material de tipo deposicional. Las superficies referidas a depósito nos sirven en el caso de que no nos interese suprimir el material subyacente interceptado, en caso contrario se usará la superficie erosiva (*Ilustración 11*).

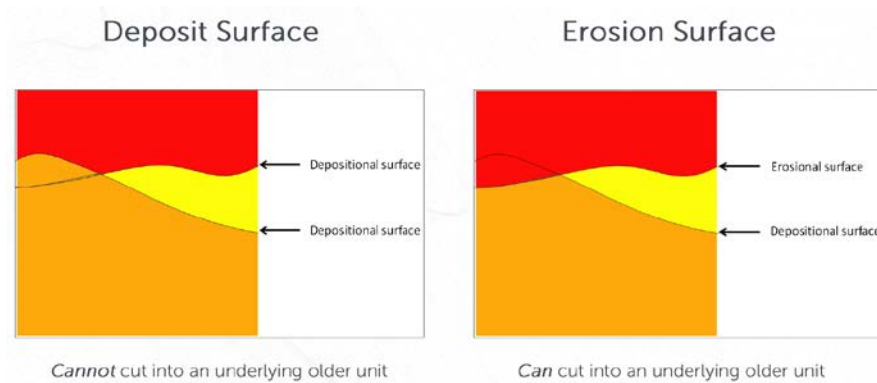


Ilustración 11 Diferencia Superficie Depósito - Superficie Erosiva. Imagen extraída de la guía de Leapfrog Works

Al igual que ocurre con la superficie de depósito y la de erosión, pasa con la de tipo intrusivo. No siempre corresponde a este cuerpo geológico, sino que puede ser usado para generar un material tipo bloque errático, por ejemplo. La superficie intrusiva se genera mediante puntos de contacto (*Ilustración 12*) que generarán una superficie con doble polaridad, la cual podrá ser modificada, según el grado de detalle que se desee, recurriendo para ello a:

- Proporciones del elipsoide (ellipsoid ratios). Según la dirección del eje se podrán añadir valores que influirán en la forma y fuerza del elipsoide.
 - Valor mínimo. Eje Azul ortogonal al plano formado por los ejes rojo y verde.
 - Valor medio. Eje Rojo.
 - Valor máximo. Eje Verde.

- Dirección. (dip, dip azimuth, pitch).
- Interpolador.
- Otros (discos estructurales, polilíneas o puntos).

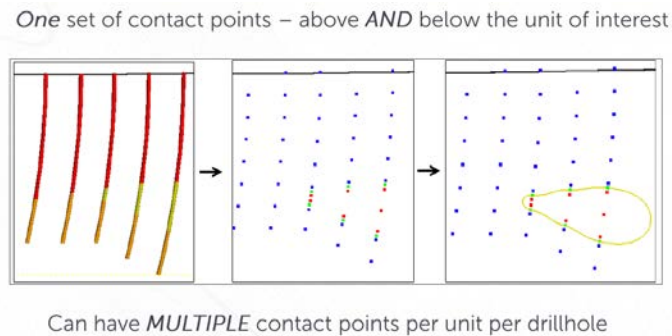


Ilustración 12 Superficie tipo intrusiva. Imagen extraída de la guía de Leapfrog Works

A modo general, cada superficie puede mantener la misma resolución que se ha aplicado al modelo, o por el contrario ser ajustada según el criterio que se considere.

3.3.2.2. Modelo

La función de “geological model” permite crear tanto modelos como se necesiten, en caso de tener un proyecto conformado por varias fases, por ejemplo. De forma adicional existe la opción de “refined model” que va dirigido a la obtención de un modelo de detalle.

Un modelo generalmente es refinado cuando se cuenta con un gran número de unidades, que previamente han sido agrupadas de forma que, al ser utilizadas como litología principal en el primer modelo (modelo base), permita en segunda instancia generar un modelo de detalle con todas las unidades iniciales. Cabe mencionar que previamente hay que generar una tabla que enlace los grupos y subgrupos de forma que se utilice como litología del modelo base el de los grupos y al refinarse los subgrupos, en caso de no realizarse dicha tabla, sería imposible realizar el refinado de los subgrupos (litología de detalle).

Mediante la activación de las diversas capas que conformen el modelo se obtendrán los outputs de cada volumen litológico.

En la siguiente tabla (*Tabla 2*) se representan los formatos de exportación:

EXPORT		
Leapfrog Model Files (*.lfm)	Geomcom Files (*.tri)	AutoCAD Drawing Files (2013/LT2013) (*.dwg)
Leapfrog Works Attribute Binary Mesh Format (*.msh)	Datamine Files (*.pt.asc, *_tr.asc)	Bentley Drawing Files (*.dgn)
GOCAD Files (*.ts)	Micromine Files (*.MMpt.dat, *_MMtr.dat)	Industry Foundation Classes 2x3 (*.ifc)
DXF Files (11/12[AC1009]) (*.dxf)	DXF Polyface Files (11/12[AC1009]) (*.dxf)	Industry Foundation Classes 4.0 (*.ifc)
Surpac Files (*.str, *.dtm)	Alias Wavefront Object Files (*.obj)	Industry Foundation Classes 4.3 RC3 (*.ifc)

Tabla 2 Formatos de exportación de los Modelos Geológicos-geotécnicos

Capítulo 4 PROYECTO

4.1. Geología

El encuadre geológico de la zona que se ha utilizado como objeto de este TFM se sitúa concretamente en Gran Canaria, cuya formación se sitúa sobre la placa africana al igual que el resto de las islas aledañas.

Se cree que es una formación cuyo origen se debe a la existencia de un punto caliente que ha sido capaz de emerger en superficie diversas formaciones volcánicas como cuerpos rocosos fundidos a gran profundidad.

La zona de estudio presenta en su mayoría materiales de la formación Roque Nublo. En las zonas superficiales de la zona se encuentran materiales litológicos de origen detrítico de la época del plioceno y cuaternario que han sido producidos por coladas volcánicas y diversos episodios erosivos, encontrándose en las capas inferiores materiales pertenecientes a la época del Mioceno.

A continuación, se puede observar el mapa geológico general de la Isla de Gran Canaria (*Ilustración 13*).

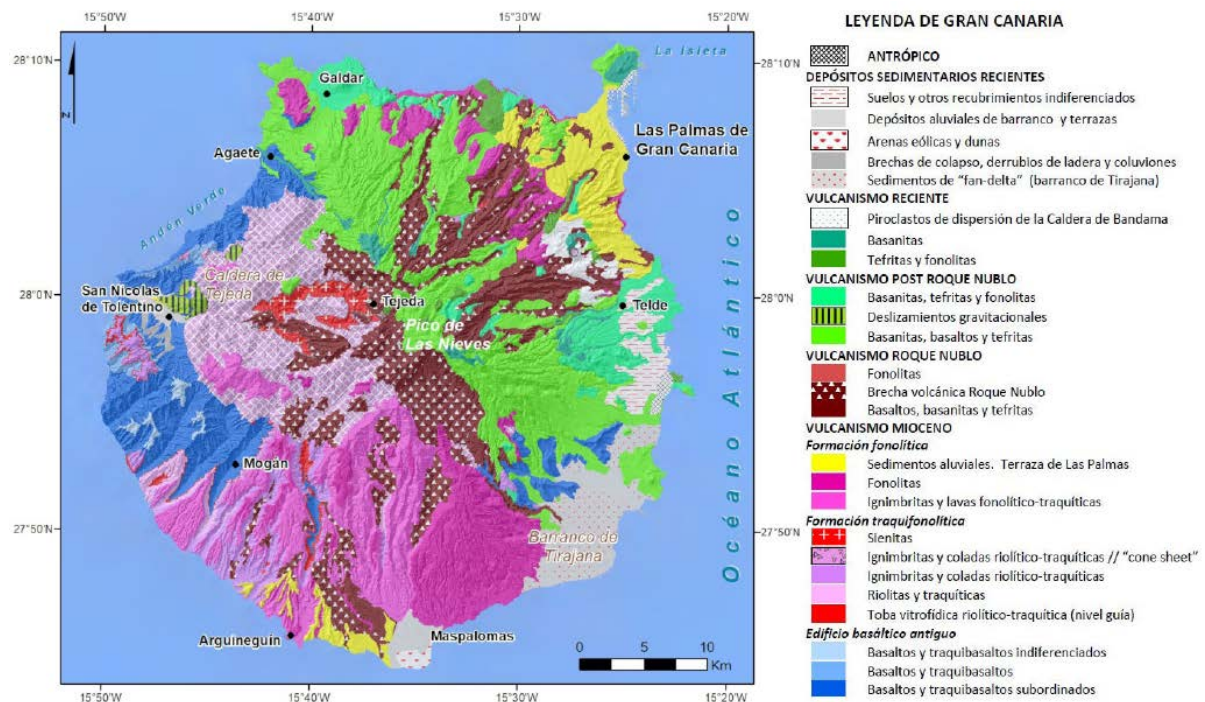


Ilustración 13 "Origen de los datos geológicos: Mapa Geológico 1M (2015) del ©Instituto Geológico y Minero de España (IGME)"

La leyenda geológica (*Ilustración 14*) de la zona de proyecto y que han sido adoptados también en el modelo, presenta las siguientes formaciones.

LEYENDA		
	CUATERNARIO – RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD HUMANA	
	AV	Vertidos
	AS	Suelos Eluviales
	AE	Explanaciones Zonas Urbanas
	HOLOCENO	
	QCOL	Coluviales
	PD	Piroclastos de dispersión
	QT	Terrazas Aluviales
	QBCO	Depósitos de Barranco
	HOLOCENO - PLEISTOCENO	
	PSHBa	Lava basanítica reciente
	PLEISTOCENO	
	PCA	Sedimentos de conglomerados y arenas
	PS-CH	Roca alterada y suelos encalichados
	PBNS	Almagres
	PPR	Piroclastos soldados
	PBN	Lavas Basaníticas
	PCP	Conos piroclásticos
	PLIOCENO	
	PLCAR	Capa superior de la formación detrítica las palmas
	PLCA	Capa media de la formación detrítica las palmas
	PLB	Coladas basaníticas
	MIOCENO	
	MT	Coladas piroclásticas
	MCA	Capa media de la formación detrítica las palmas
	MBV	Brechas
	MI	Tobas e ignimbritas
	MSE	Sedimentos epiclásticos

Ilustración 14 Leyenda Geológica-Geotécnica

4.2. Geotecnia

Las investigaciones geotécnicas tienen como finalidad darle propiedades al terreno, pudiendo coincidir con el número de capas geológicas existentes en la zona objeto de estudio, o por el contrario ampliarse o reducirse a un menor número, pero siempre atendiendo a agrupaciones con características geotécnicas similares, en este caso la leyenda anteriormente citada ha sido la adoptada.

A continuación, se nombran las investigaciones in situ del proyecto.

- *Sondeos mecánicos.* Se realizan con la finalidad de obtener un reconocimiento de los materiales litológicos atravesados mediante la obtención de testigos de los que se extraen muestras que se envían posteriormente a laboratorio (muestra alterada MA,

muestra inalterada MI, testigo parafinado TP). Durante su ejecución se realizan principalmente ensayos tipo SPT para la obtención de la resistencia del terreno.

- *Calicatas mecánicas.* Son investigaciones cuya finalidad es conseguir una descripción litológica y toma de muestras de los primeros metros (generalmente sacos de muestra alterada, MA) permitiendo obtener en laboratorio la granulometría de los materiales excavados.
- *Perfiles Sísmicos de refracción.* Se trata de un método geofísico, que consiste en la determinación de las velocidades de propagación de ondas P (ondas compresivas) con el objetivo de obtener una distribución de velocidades verticales con las diferentes formaciones geológicas, pudiéndose hallar mediante correlaciones la ripabilidad / excavabilidad de las formaciones geológicas, además, de determinar la profundidad de sustrato rocoso.
- *Tomografía eléctrica.* Es un tipo de prospección geofísica utilizado para caracterizar el terreno (capas de subsuelo asociadas a rangos de resistividad) mediante valores de resistividad aparente obtenidos por las medidas de intensidad y diferencia de potencial. Dichas medidas se obtienen con la introducción de corriente eléctrica continua a través de dos electrodos conectados a una fuente con una intensidad determinada conocida, y otros dos electrodos se encargarán de proporcionar la diferencia de potencial.

En la tabla siguiente, se reflejan el número de investigaciones, que sirvieron de base para el desarrollo de este TFM. Cabe mencionar que al tratarse de un proyecto ya redactado que ha sido adoptado a esta metodología, la caracterización geotécnica ha sido la del propio proyecto de partida, pues de otra forma no se hablaría de adaptación.

Tipo de Investigación	Profundidad Máxima (m)	Tipo de función	Campaña
ST 12+830	25	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
ST 13+920	50,3	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
ST 14+900	35,1	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SV 15+230	10	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SE 15+650	12,5	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
ST 16+000	17	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
ST 16+710	13	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SV 17+340	13	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SV 17+640	10	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
ST 18+250	10	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SV 18+760	10,1	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SV 19+430	10,55	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
SV 19+910	10	Sondeo de rotacion	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
ST 300+410	36	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
ST 300+590	39,2	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
ST 300+890	86,2	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
ST 301+110	57	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
ST 301+520	75,25	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
ST 301+710	71,6	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO

Tipo de Investigación	Profundidad Máxima (m)	Tipo de función	Campaña
ST 301+980	80,8	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
ST 302+270	30,05	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SV 302+390	20,22	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SV 302+540	30	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 302+880	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 303+580	30,2	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 304+780	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 304+820	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 304+860	15	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 304+920	25	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 305+220	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 305+950	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 305+970	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 306+380	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 306+400	20	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 306+680	15	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 306+740	15	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 306+820	15,2	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 307+070	22,4	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 307+090	22	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 307+240	25	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SE 307+310	15	Sondeo de rotacion	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
SC 208+790	30,5	Sondeo de rotacion	
C 1	2,1	Calicata	
C 2	2,5	Calicata	
C 3	1,1	Calicata	
C 4	0,7	Calicata	
C 5	0,9	Calicata	-21
C 6	1,8	Calicata	
C 7	3	Calicata	21
CD 16+460	3,1	Calicata	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
CD 16+580	2,8	Calicata	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
CD 17+980	2,9	Calicata	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
CE 18+080	1,4	Calicata	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
CE 18+570	2,1	Calicata	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
CE 19+100	1,3	Calicata	ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
CD 302+690	2,5	Calicata	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
CD 303+470	2,9	Calicata	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
CE 305+040	0,4	Calicata	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
CD 305+720	0,75	Calicata	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
CD 306+200	1,4	Calicata	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
CD 306+920	1,3	Calicata	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO

Tabla 3 Investigaciones que han servido de base para el modelado, con la profundidad y tipo de proyecto.

Tal como se puede observar en la tabla superior (Tabla N.º 3), el número de sondeos que han servido de base para este proyecto han sido 42, de los cuales 14 son registros de estudios previos, y 18 los del propio proyecto. Respecto, al número de calicatas en total han sido 19, de las cuales 13 son de estudios previos y 6 del propio proyecto.

Haciendo alusión al número de ensayos in situ realizados como los recopilados de investigaciones previas y que han sido tratados en la base de datos, son: 15 ensayos

presiométricos, 10 ensayos de permeabilidad, de los cuales 4 han sido de tipo Lugeon y 6 de tipo Lefranc, el resto se reflejan, a continuación (*Tabla N.º 4*).

MI	MS	MA	SPT	PC	TP	TR	TS	SACO	caja
16	1	33	108	2	58	60	4	32	4

Tabla 4 Número total de muestra

Aunque para el proyecto se llegaron a realizar ensayos geofísicos, cabe mencionar que aún son un objeto por explorar para ser representados en BIM.

No obstante, hay que considerar que en otros proyectos dependiendo de los parámetros buscados se realizan otro tipo de investigaciones adicionales, como: ensayos de penetración dinámica superpesada DPSH, ensayo de penetración dinámica ligera DPL, ensayos de penetración dinámica pesada DPH, ensayos de penetración estática CPT, ensayo de piezocono CPTU...

Atendiendo al proyecto que nos abarca se desarrolla en los siguientes apartados el tipo de obra lineal, así como el encuadre geológico - geotécnico.

4.2.1. Obra Lineal

El proyecto constructivo de más de 7.000 m (7 km) consta de una serie de infraestructuras que, dada la variabilidad, se nombran de forma breve a modo orientativo, a continuación.

4.2.1.1. Obras de Tierra

4.2.1.1.1. Desmontes

En el tramo que nos abarca se contempla en total 10 desmontes, incluidos uno relacionado al emboquille sur, así como cuatro relacionados al túnel artificial, dos de forma permanente, y dos de carácter provisional.

La altura máxima se da en el desmonte relacionado al emboquille sur siendo de 32 m, y la altura mínima de 2,5 m en el tramo final. En general son desmontes sin mucha altitud.

Longitudinalmente esta obra de tierra representa casi el 55% del trazado total, en cifras se habla de unos 4800 m.

De modo general, en el proyecto los taludes establecidos son de 1H/2V en roca, con retaluzados de 1H/1V en los tres metros más superficiales, y en los desmontes provisionales taludes de 3H/2V en el del emboquille sur y de 1H/4V en roca.

A modo general el fondo del desmonte presentará material tipo roca, PBN, PPR, y PSCH. Que en primera instancia, no necesitan saneo. Únicamente, se contempla al final del primer túnel

el saneamiento y posterior relleno con material de coronación del primer metro debido a la potencial expansividad de la unidad MT.

Por tanto, el material afectado por la excavabilidad corresponderá a los materiales: AE, AV, QEL, PS-CH, PLCAR, PBN, MT, PCP y PPR.

4.2.1.1.2. Rellenos

En conjunto, los rellenos existentes en el trazado corresponden a los estribos de los viaductos que atraviesan los barrancos.

La altura máxima de los rellenos es de 5,5 m y la altura mínima de 1,5 m. La media se mantiene entre los 4 y los 5 m.

Longitudinalmente, el 5% del trazado discurre en relleno siendo en cifras unos 370 m en total.

Por el contraste de datos aportados de desmontes y de rellenos, se contempla que las excavaciones son superiores al material necesario para relleno, por lo que no se consideró necesaria la utilización de grandes préstamos.

El relleno, por tanto, será de tipo pedraplén, atendiendo a los materiales disponibles de las excavaciones, y el talud de 2H/1V, debido al equilibrio de las propiedades resistentes y de deformación entre material excavado y material usado para relleno.

En los rellenos que partan con una base de la unidad AV, se ha considerado necesario un saneamiento de 1,5 m mínimo, al no ser un material adecuado para apoyo de rellenos.

Para rellenos de media ladera habrá que analizar con mayor detalle la estabilidad de los materiales.

4.2.1.2. Estructuras

4.2.1.2.1. Viaductos

El trazado contempla la construcción de seis viaductos. El tramo más largo que se presenta es de 250 m y el más corto de 50 metros.

Las unidades de cimentación del conjunto de viaductos corresponden en modo general a las unidades PBN y QT-QBCO.

Debido al número de viaductos, y con fines de transmitir al lector una noción de los parámetros geotécnicos, se mencionan las características del viaducto más largo, el cual consta de dos estribos y nueve pilas. Las cargas admisibles de esta estructura son de 5,0 kp/cm² en los estribos, y de 4,0 kp/cm² en las pilas centrales. Los asientos varían entre 0,05 cm y 0,70 cm.

Encontrándose los más altos en las zonas centrales. Respecto a los planos de apoyo varían entre 56,9 m y 76,0 m de cota, siendo las cotas más bajas las correspondientes a las pilas centrales.

4.2.1.2.2. Pasos Superiores

A lo largo del trazado se prevé la construcción de 4 pasos superiores. La longitud de cada uno es de 40,5 m.

Las unidades de cimentación del conjunto de pasos superiores corresponden en modo general a la unidad PBN.

Debido al número de pasos superiores, y con fines de transmitir al lector una noción de los parámetros geotécnicos, se mencionan las características del paso superior con mayor cota del plano de apoyo, el cual consta de dos estribos y dos pilas. Las cargas admisibles de esta estructura son de 3,55 kp/cm² en los estribos, y de 6,0 kp/cm² en las pilas. Los asientos varían entre 0,05 cm y 0,10 cm. Encontrándose los más altos en las pilas. Respecto a los planos de apoyo varían entre 96,9 m y 107,5 m de cota, siendo las cotas más bajas las correspondientes a las pilas.

4.2.1.2.3. Pantallas

Tanto en el emboquille sur, como en los túneles artificiales, se prevé pantallas en algunos de los márgenes (izquierdo o derecho), en total son 9 pantallas. La longitud máxima de 335 m corresponde al túnel entre pantallas, y la longitud más pequeña de 36 m a la pantalla del emboquille sur.

4.2.1.2.4. Muros

Se prevé construir varios muros, dos con depósitos de vertido, y otros dos de 144m y 80 m de longitud, respectivamente.

Las unidades de cimentación del conjunto de muros corresponden en modo general a las unidades PBN, PCA, Y PS-CH.

4.2.1.3. Túnel

El túnel discurre a lo largo aproximadamente 2.000 m incluido el emboquille artificial en la zona sur cuya longitud es de 155 m, la cobertera máxima se da alrededor de los 400 m desde el p.k. inicial, siendo su valor de 87 m. El diámetro que presenta es de 10, 35 m.

Las unidades geotécnicas que atraviesa la excavación mayormente son MT y MVB, siendo al final del tramo una pequeña parte de PLB.

Las filtraciones, son una patología a tener en cuenta a lo largo del trazado del túnel, puesto que aunque mayormente el nivel freático se encuentra por debajo de la rasante, en ciertas zonas aparece sobre esta.

4.2.2. Marco geológico - geotécnico

En la zona de emplazamiento los materiales son mayoritariamente de procedencia volcánica. Dada su no homogeneidad, se ha considerado necesario mencionar las diversas afecciones geotécnicas de los materiales. A continuación, se mencionan las unidades geotécnicas, así como su posible afección a la obra lineal.

- A lo largo del trazado se contemplan materiales superficiales de vertidos, AV, y de suelos eluviales, AS, que, debido a su baja compacidad, no se consideran aptos para cimentaciones superficiales.
- En las zonas de barranco se encuentran los materiales QBCO, son materiales que presentan una compacidad que tiende a ser muy densa, por lo que presenta las características resistentes necesarias para considerarlo apto para cimentaciones superficiales, teniendo en cuenta que se trata de materiales granulares con una presencia considerable de limos y arenas en su matriz. Unidad que se encontrará en mayor medida en los viaductos.
- La unidad PS-CH, roca alterada y suelos encalichados, se presenta a lo largo de trazado generalmente en las zonas más superficiales, existiendo por debajo de estas unidades más resistentes. No se consideran, por tanto, unidades que deban ser usadas como cimentación superficial.
- Tanto los materiales de lavas basaníticas, PBN, como los materiales de coladas basaníticas, PLB, presentan ciertos problemas de estabilidad debido a la presencia de intercalaciones de niveles de almargres y de niveles escoriáceos que dan como resultado vuelcos y deslizamientos de bloques o cuñas, descalce de bloques por erosión diferencial, caídas de derrubios y/o pequeños fragmentos de roca. Estructuralmente, se tratan de materiales que no son recomendables para cimentaciones superficiales cuando el grado de alteración es superior a IV. Otra de las problemáticas geotécnicas para tener en cuenta de este tipo de unidades es la valoración del tamaño de bloques con tendencia al desprendimiento.
- Los conos piroclásticos, PCP, son materiales conformados por escorias encalichas y lapillis con un alto grado de soldadura. Aunque son aptas para ser usadas como cimentación superficial por presentar una compacidad muy densa, debe considerarse los posibles colapsos en zonas tensionales.

- Los piroclastos soldados, PPR, son unidades que aparecen en intercalación con la unidad PBN, coladas basaníticas. Se trata de materiales que presentan una compacidad densa, pero con resistencia baja, por lo que se debe considerar su tendencia a sufrir colapsos en zonas tensionales. Los materiales que lo conforman son tobas, piroclastos soldados, y en algunas zonas almagres. Por tanto, no se consideran materiales recomendables para ser usados como cimentación.
- Las coladas piroclásticas, MT, representan el material con mayor excavación del túnel, también presente en zonas de muro-pantalla. Se trata de un material que se clasifica geotécnicamente como suelo duro o roca blanda, conformado por materiales de depósitos piroclásticos con porosidad y vesículas, así como diversos grados de soldadura. Al ser un material muy complejo, presenta un comportamiento plástico al ser alterado debido a formaciones de suelo y arcilla. Son materiales que pueden ser expansibles al entrar en contacto con agua.
- Brechas, MBV, es un material que cuando es excavado y/o alterado presenta un comportamiento con cierto grado de plasticidad y expansibilidad. Este material se encuentra en la zona del emboquille sur y en las pantallas del túnel artificial.

Tal como se ha contemplado existen problemáticas geotécnicas que, en este proyecto en concreto, resultan de interés, dada la heterogeneidad de los materiales.

La presencia de almagres y de niveles escoriáceos de resistencia baja y alta deformabilidad hacen que, al intercalarse con materiales de mayor resistencia, se generen inestabilidades, así como posibles asentamientos diferenciales. Así mismo, no hay que olvidar, que los almagres son materiales conformados por arcillas que pueden presentar plasticidad y ser expansivos.

Existen otro tipo de complejidades como la existencia de posibles oquedades, o zonas con tendencia al colapso en zona tensionales. Por tanto, es de interés el desarrollo, de la metodología en este tipo de proyectos, dada la complejidad y/o variabilidad de los materiales en su conjunto.

Cabe mencionar que la localización de estas patologías será más controlable, a medida que se multipliquen el número de ensayos.

Capítulo 5 TRABAJO REALIZADO

5.1. Base De Datos

5.1.1. Collar

Se trata del archivo que contiene los datos de localización de las investigaciones, y está constituido por cuatro columnas fundamentales.

A continuación, se puede observar el archivo que ha sido creado con los datos de las investigaciones disponibles de la zona del proyecto (*Tabla 3*).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Hole_ID	East_X	North_Y	Elev_Z	Max_Depth	Tipo_de_funcion	Funcion	FK	Fecha_inicio	Fecha_fin	Campaña	Empresa_consultora	Comentarios
1	ST 12-830			45.00	25.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	300-425	28/11/2010	27/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
2	ST 13-920			90.00	50.30	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	301-175	22/11/2011	25/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
3	ST 14-900			96.60	36.10	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-300	02/11/2010	08/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
4	SV 15-230			74.00	10.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-600	24/11/2010	26/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
5	SE 16-650			97.00	12.90	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	303-850	24/11/2010	24/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
6	ST 16-000			107.00	17.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	304-100	04/12/2010	06/12/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
7	ST 16-710			107.00	13.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	304-810	22/11/2010	24/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
8	SV 17-240			107.00	13.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	305-440	03/12/2010	04/12/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
9	SV 17-640			97.40	10.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	305-740	24/11/2010	25/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
10	ST 18-250			103.60	10.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-350	11/11/2010	11/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
11	SV 18-760			95.00	10.10	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-040	10/11/2010	10/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
12	SV 19-430			95.00	10.95	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-710	23/11/2010	30/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
13	SV 19-910			46.10	10.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	307-200	02/11/2010	02/11/2010			ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
14	ST 300-410			54.20	36.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	300-425	12/10/2011	21/10/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
15	ST 300-590			64.50	39.20	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	300-595	25/10/2011	30/10/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
16	ST 300-890			117.00	88.20	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	300-890	31/10/2011	16/11/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
17	ST 301-110			92.50	57.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	301-110	19/07/2011	28/07/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
18	ST 301-520			125.80	75.25	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	301-520	19/12/2011	10/01/2012	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
19	ST 301-710			125.10	71.60	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	301-720	02/08/2011	17/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
20	ST 301-980			141.00	89.80	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-005	22/11/2011	16/12/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
21	ST 302-270			97.00	30.05	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-270	28/07/2011	03/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
22	SV 302-290			73.10	20.22	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-295	22/07/2011	02/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
23	SV 302-440			79.00	30.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-440	26/07/2011	01/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
24	SE 302-880			94.30	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	302-880	03/08/2011	08/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
25	SE 303-580			106.50	30.20	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	303-590	12/09/2011	23/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
26	SE 304-780			106.00	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	304-775	22/08/2011	24/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
27	SE 304-820			101.50	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	304-815	17/08/2011	19/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
28	SE 304-860			90.20	15.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	304-860	25/08/2011	26/11/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
29	SE 304-920			86.50	25.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	304-915	19/08/2011	21/10/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
30	SE 305-220			110.40	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	305-220	24/08/2011	26/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
31	SE 305-950			108.00	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	305-950	18/08/2011	19/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
32	SE 305-970			106.20	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	305-960	19/08/2011	22/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
33	SE 306-380			83.30	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-385	15/09/2011	18/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
34	SE 306-400			97.50	20.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-395	12/08/2011	15/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
35	SE 306-680			63.00	15.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-680	10/08/2011	12/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
36	SE 306-740			62.50	15.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-740	16/08/2011	18/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
37	SE 306-820			73.00	15.20	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	306-820	04/08/2011	07/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
38	SE 307-070			84.50	22.40	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	307-070	27/07/2011	28/07/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
39	SE 307-090			82.40	22.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	307-080	28/07/2011	01/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
40	SE 307-240			50.20	25.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	307-240	18/08/2011	23/08/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
41	SE 307-310			71.50	15.00	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	307-310	20/08/2011	22/09/2011	INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO		
42	SC 208-790			47.00	30.50	Sondeo de rotacion	FUN.GEO.020.020.010	208-790	27/04/2012	28/04/2012			
43	C 1				2.10	Calicata	FUN.GEO.020.010	302-600					
44	C 2				2.50	Calicata	FUN.GEO.020.010	302-680					
45	C 3				1.10	Calicata	FUN.GEO.020.010	306-600					
46	C 4				0.70	Calicata	FUN.GEO.020.010	302-700					
47	C 5				0.90	Calicata	FUN.GEO.020.010	306-680					
48	C 6				1.80	Calicata	FUN.GEO.020.010	307-200					
49	C 7				3.00	Calicata	FUN.GEO.020.010	307-273					
50	CD 16-460			110.00	3.10	Calicata	FUN.GEO.020.010						ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
51	CD 16-880			80.00	2.80	Calicata	FUN.GEO.020.010						ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
52	CD 17-680			112.00	2.90	Calicata	FUN.GEO.020.010						ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
53	CE 18-080			112.00	1.40	Calicata	FUN.GEO.020.010						ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
54	CE 18-670			110.00	2.10	Calicata	FUN.GEO.020.010						ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
55	CE 19-190			102.00	1.20	Calicata	FUN.GEO.020.010						ESTUDIO GEOTECNICO PREVIO
56	CD 302-690			92.50	2.50	Calicata	FUN.GEO.020.010						INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
57	CD 303-470			108.30	2.90	Calicata	FUN.GEO.020.010						INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
58	CE 305-040			99.50	0.40	Calicata	FUN.GEO.020.010						INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
59	CD 305-720			104.40	0.75	Calicata	FUN.GEO.020.010						INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
60	CD 306-200			96.50	1.40	Calicata	FUN.GEO.020.010						INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO
61	CD 306-920			81.80	1.30	Calicata	FUN.GEO.020.010						INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA EL PROYECTO

Tabla 5 Collar

Tal como puede observarse en la *Tabla 4* la primera fila denominada "Hole ID" corresponde a la identificación de las prospecciones, en este caso sondeos y calicatas, la segunda "East_X", la tercera "North_Y" y la cuarta "Elev_Z" hacen alusión a las coordenadas UTM de cada una de ellas, y la quinta denominada "Max_Depth" a la profundidad de cada prospección. Como suplemento en este caso se han añadido columnas con la información que se ha considerado relevante, tales como: el tipo de sondeo, la codificación asociada, fechas de ejecución y finalización, así como, la campaña a la que pertenece, la empresa consultora y un apartado para los comentarios.

El archivo ha sido creado en extensión “.xlsx” que posteriormente ha sido transformado en la extensión “.csv” para poder importarlo a Leapfrog Works.

5.1.2. Lithology

Es el archivo que contiene los datos relacionados con la litología. A continuación, se muestra una imagen con el archivo que se ha generado.

	A	B	C	D	E	F	G
	Hole_ID	From	To	Geology_ID	Geology	Sistema/Periodo	Serie/Época
1							RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
2	ST 12-830	0	3	AE	EXPLANACIONES Y ZONAS URBANIZABLES (arenas y gravas)	CUATERNARIO	HOLOCENO
3	ST 12-830	3	6	QBCCO	DEPOSITOS DE BARRANCO (gravas arenosas)	CUATERNARIO	MIOCENO
4	ST 12-830	6	9	MBV	BRECHAS VOLCANICAS (bloque y fragmento de roca en matriz cineritica)	TERCIARIO	MIOCENO
5	ST 12-830	9	25	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
6	ST 13-820	0	3	AV	VERTIDOS (arenas, grava y restos antropicos)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
7	ST 13-820	3	4.3	QBCCO	DEPOSITOS DE BARRANCO (gravas arenosas)	CUATERNARIO	HOLOCENO
8	ST 13-820	4.3	12.45	PSBba	LAVAS BASANITICAS RECIENTES (basaltos y basaltos escoriaceos)	CUATERNARIO	HOLOCENO- PLEISTOCENO
9	ST 13-820	12.45	22.1	MBV	BRECHAS VOLCANICAS (bloque y fragmento de roca en matriz cineritica)	TERCIARIO	MIOCENO
10	ST 13-820	22.1	50.3	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
11	ST 14-800	0	4.2	AE	EXPLANACIONES Y ZONAS URBANIZABLES (arenas y gravas)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
12	ST 14-800	4.2	5	Hueco			
13	ST 14-800	5	9.4	AE	EXPLANACIONES Y ZONAS URBANIZABLES (arenas y gravas)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
14	ST 14-800	9.4	36	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
15	SV 16-230	0	10	QBCCO	DEPOSITOS DE BARRANCO (gravas arenosas)	CUATERNARIO	HOLOCENO
16	SE 16-650	0	12.5	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
17	ST 16-000	0	2.3	AV	VERTIDOS (arenas, grava y restos antropicos)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
18	ST 16-000	2.3	9.8	PPR	PIROCLASTOS SOLDADOS (lapilli y escorias soldadas)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
19	ST 16-000	9.8	17	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
20	ST 16-710	0	2.8	AS	SUELOS ELUVIALES Y RECUBRIMIENTOS ("SORRIBAS") (arenas limoarcillosas con suelos de aportacion ("sorribas"))	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
21	ST 16-710	2.8	7.95	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
22	ST 16-710	7.95	8.45	PPR	PIROCLASTOS SOLDADOS (lapilli y escorias soldadas)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
23	ST 16-710	8.45	9.95	PBNs	ALMAGRES (arena arcillosa)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
24	ST 16-710	9.95	10.15	PPR	PIROCLASTOS SOLDADOS (lapilli y escorias soldadas)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
25	ST 16-710	10.15	13	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
26	SV 17-340	0	1.3	AS	SUELOS ELUVIALES Y RECUBRIMIENTOS ("SORRIBAS") (arenas limoarcillosas con suelos de aportacion ("sorribas"))	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
27	SV 17-340	1.3	3.7	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
28	SV 17-340	3.7	13	PPR	PIROCLASTOS SOLDADOS (lapilli y escorias soldadas)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
29	SV 17-640	0	0.5	PS-CH	NIVELES DE SUELOS ENCALICHADOS Y ROCA ALTERADA (costras carbonatadas y basaltos alterados)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
30	SV 17-640	0.5	7.95	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
31	SV 17-640	7.95	9.5	PBNs	ALMAGRES (arena arcillosa)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
32	SV 17-640	9.5	10	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
33	ST 18-250	0	6.8	PS-CH	NIVELES DE SUELOS ENCALICHADOS Y ROCA ALTERADA (costras carbonatadas y basaltos alterados)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
34	ST 18-250	6.8	10	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
35	SV 18-760	0	0.9	QBCCO	DEPOSITOS DE BARRANCO (gravas arenosas)	CUATERNARIO	HOLOCENO
36	SV 18-760	0.9	10.1	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
37	SV 18-430	0	3.45	QBCCO	DEPOSITOS DE BARRANCO (gravas arenosas)	CUATERNARIO	HOLOCENO
38	SV 18-430	3.45	10.95	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
39	SV 19-910	0	1.1	QBCCO	DEPOSITOS DE BARRANCO (gravas arenosas)	CUATERNARIO	HOLOCENO
40	SV 19-910	1.1	10	PBN	LAVAS BASANITICO-NEFELINITICAS (basaltos)	CUATERNARIO	PLEISTOCENO
41	ST 300-410	0	2.1	AE	EXPLANACIONES Y ZONAS URBANIZABLES (arenas y gravas)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
42	ST 300-410	2.1	3.25	PLB	COLADAS BASANITICAS, BASALTICAS Y TEFRITAS (basaltos)	TERCIARIO	PLIOCENO
43	ST 300-410	3.25	7.8	MCA	Mb. INFERIOR DE FORMACION DETRITICA DE LAS PALMAS (gravas y arenas)	TERCIARIO	MIOCENO
44	ST 300-410	7.8	15.85	MBV	BRECHAS VOLCANICAS (bloque y fragmento de roca en matriz cineritica)	TERCIARIO	MIOCENO
45	ST 300-410	15.85	26.6	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
46	ST 300-410	26.6	36	MI	IGIMBRITAS SOLDADAS (tobas ignimbriticas soldadas)	TERCIARIO	MIOCENO
47	ST 300-690	0	3.5	AE	EXPLANACIONES Y ZONAS URBANIZABLES (arenas y gravas)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
48	ST 300-690	3.5	9.45	MCA	Mb. INFERIOR DE FORMACION DETRITICA DE LAS PALMAS (gravas y arenas)	TERCIARIO	MIOCENO
49	ST 300-690	9.45	16.7	MBV	BRECHAS VOLCANICAS (bloque y fragmento de roca en matriz cineritica)	TERCIARIO	MIOCENO
50	ST 300-690	16.7	33.95	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
51	ST 300-690	33.95	36.5	MBV	BRECHAS VOLCANICAS (bloque y fragmento de roca en matriz cineritica)	TERCIARIO	MIOCENO
52	ST 300-690	36.5	39.2	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
53	ST 300-890	0	0.5	AE	EXPLANACIONES Y ZONAS URBANIZABLES (arenas y gravas)	CUATERNARIO	RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
54	ST 300-890	0.5	4	PLCA	Mb. MEDIO DE FORMACION DETRITICA DE LAS PALMAS (arenas y gravas)	TERCIARIO	PLIOCENO
55	ST 300-890	4	39.1	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO
56	ST 300-890	39.1	74.6	MBV	BRECHAS VOLCANICAS (bloque y fragmento de roca en matriz cineritica)	TERCIARIO	MIOCENO
57	ST 300-890	74.6	86.2	MT	TOBAS E IGIMBRITAS (tobas piroclasticas masivas)	TERCIARIO	MIOCENO

Tabla 6 Lithology

Como se puede observar la *Tabla 5* contiene una primera fila denominada “Hole ID” al igual que en el archivo “Collar”, esto permite la correlación de ambas tablas cuando son importadas a Leapfrog Works, las siguientes columnas denominadas “From” y “To” equivalen a los intervalos litológicos de cada investigación, la cuarta “Geology_ID” representa el identificador de la litología, y la quinta denominada “Geology” refleja la descripción geológica. De manera adicional cabe mencionar que se pueden añadir columnas suplementarias, en este caso se han añadido, “sistema/periodo”, “serie/época”.

El archivo que se ha creado en extensión “.xlsx” ha sido convertido al formato “.csv” para importarlo a Leapfrog Works.

5.2. Cartografía Geológica

En un proyecto el primer paso que ha de realizarse es consultar en los portales oficiales del Estado la cartografía geológica y geotécnica que se encuentren disponibles de la zona de estudio, de forma que se pueda realizar una primera visualización de la geología regional de la zona, que será la base de punto de partida para la cartografía que ha de realizarse específicamente para el proyecto.

En el proyecto que nos abarca se parte de una cartografía geológica geotécnica ya definida donde las unidades de partida (*Ilustración 15*) han sido:

LEYENDA		
CUATERNARIO – RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD HUMANA		
AV	Vertidos	
AS	Suelos Eluviales	
AE	Explanaciones Zonas Urbanas	
HOLOCENO		
QCOL	Coluviales	
PD	Piroclastos de dispersión	
QT	Terrazas Aluviales	
QBCO	Depósitos de Barranco	
HOLOCENO - PLEISTOCENO		
PSHBa	Lava basanítica reciente	
PLEISTOCENO		
PCA	Sedimentos de conglomerados y arenas	
PS-CH	Roca alterada y suelos encalichados	
PBNS	Almagres	
PPR	Piroclastos soldados	
PBN	Lavas Basaníticas	
PCP	Conos piroclásticos	
PLIOCENO		
PLCAR	Capa superior de la formación detrítica las palmas	
PLCA	Capa media de la formación detrítica las palmas	
PLB	Coladas basaníticas	
MIOCENO		
MT	Coladas piroclásticas	
MCA	Capa media de la formación detrítica las palmas	
MBV	Brechas	
MI	Tobas e ignimbritas	
MSE	Sedimentos epiclásticos	

Ilustración 15 Cartografía geológica geotécnica

5.3. MDT

Para un proyecto lo ideal es la obtención de una nube de puntos mediante sistemas topográficos.

Para este proyecto, el Modelo Digital Del Terreno (MDT) que se ha utilizado ha sido el de la base de datos disponible en el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Siendo el paso de malla utilizado de 2x2 m.

5.4. Modelado

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, los modelos que se han obtenido han sido dos, uno referente a investigaciones y otro en relación con el modelado geológico-geotécnico, en los siguientes apartados se contempla el desarrollo de cada uno de ellos.

5.4.1. Modelado De Investigaciones

Las investigaciones parten de la base de datos que ha sido generada mediante gINT, que posteriormente han sido importados a gINT Civil Tools.

Los pasos que se han seguido han sido:

- Creación de un proyecto en gINT Civil Tools con extensión “.dgn”.
- Selección de la escena de trabajo, en este caso no se ha trabajado con *drawings* sino con *Geotechnical*.
- Se accede a la pestaña *gINT Projects*, y mediante *Database Connectivity* se elige el tipo de base de datos. En este caso ha sido *gINT .gpj Project*.
- A través de *File*, se selecciona la base de datos creado mediante gINT (.gpj). Así como la librería asociada a esta (.glb). Posteriormente se debe añadir las tablas que se requieran (*Ilustración 16*).

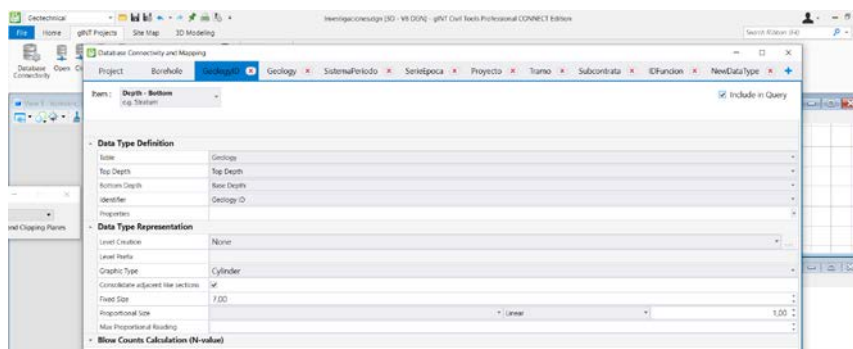


Ilustración 16 Database Connectivity gINT Civil Tools Professional

- Una vez se han cargado las tablas asociadas a las investigaciones se procede a la representación gráfica. Esto se conseguirá mediante la pestaña de *gINT Project* y la selección de *Query All*, si se quiere representar todas las investigaciones, o *Query*, si se requiere representar únicamente las investigaciones seleccionadas (*Ilustración 17*).

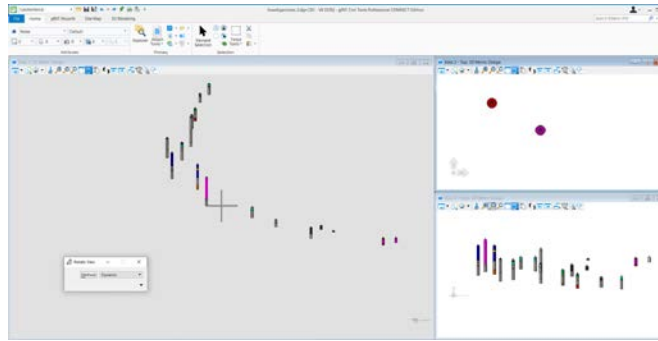


Ilustración 17 Representación de investigaciones

- Mediante *Level Manager*, se pueden modificar los colores de capa y adaptarlos a los códigos de color RGB asociado a cada uno de ellos (*Ilustración 18*). Cabe mencionar que, en la leyenda que ha de reflejarse en el COBie, cada litología ha de ir asociada a una codificación de color RGB que será idéntica en todas las formas de representación.

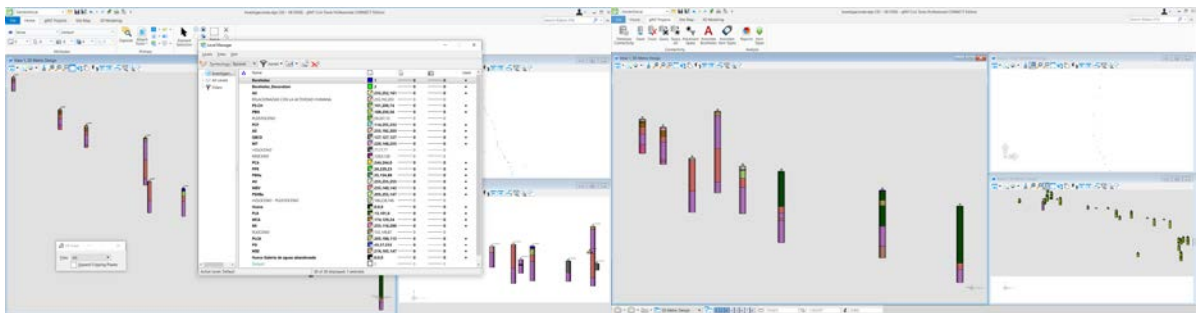


Ilustración 18 Level Manager. Codificaciones de color de capa (izq.) e investigaciones ya con el cambio (dcha.).

- Finalmente, mediante la pestaña de *gINT Projects* se selecciona *Annotate item types*. Se visualizarán las etiquetas que se quieran reflejar, en este caso ha sido la referida a la investigación (*Ilustración 19*).

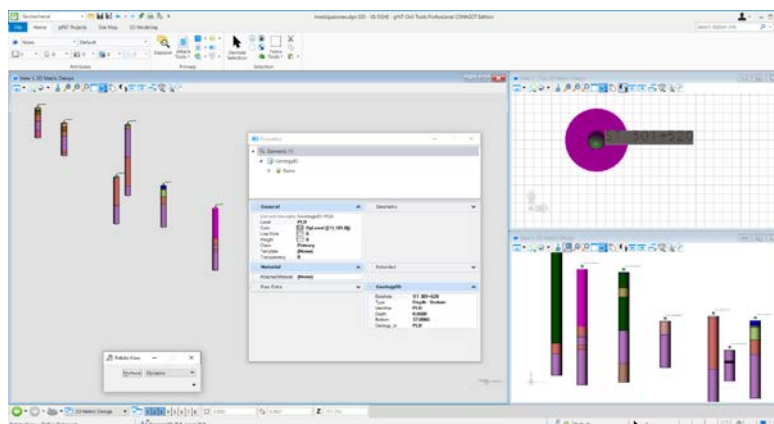


Ilustración 19 Investigación con etiquetas activas.

El modelado de investigaciones obtenido, que ha de ser exportado en el formato nativo “.dgn”, se refleja a continuación (*Ilustración 20*).

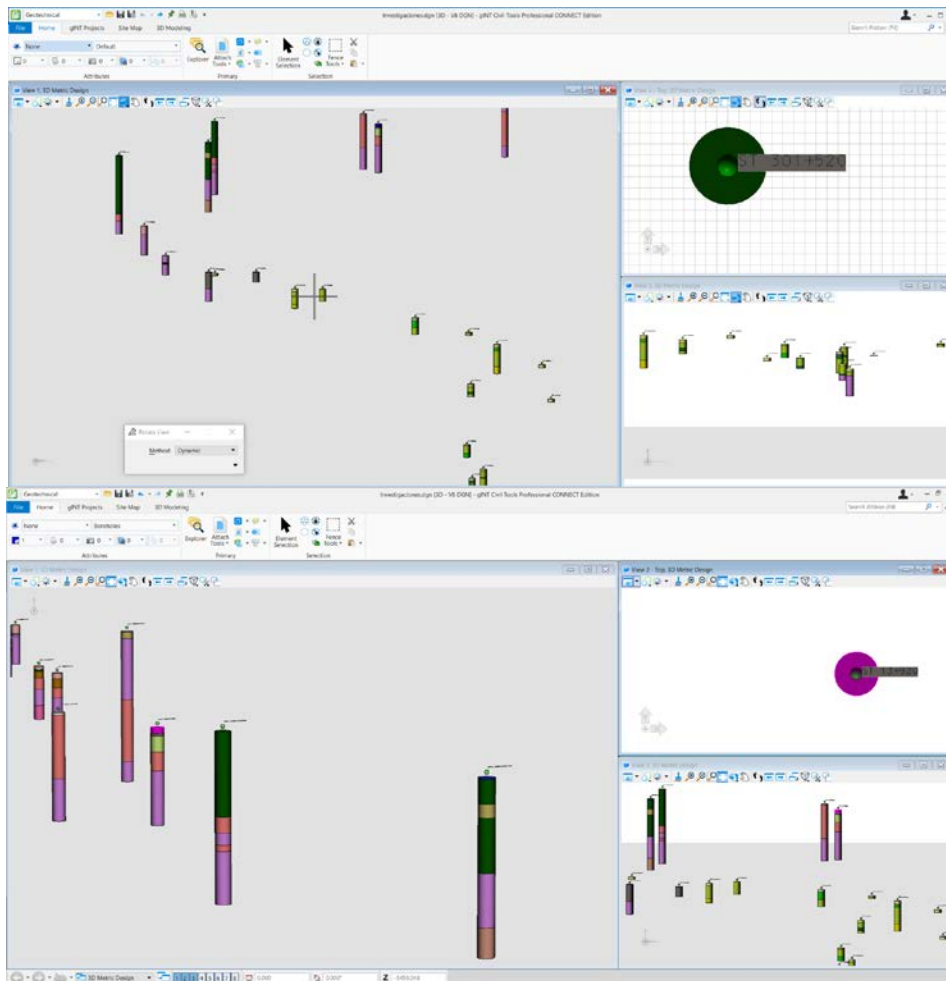


Ilustración 20 Modelo de Investigaciones Final

5.4.2. Modelado Geológico-Geotécnico

Tal como se ha mencionado al inicio de esta tesina, se parte de un proyecto ya redactado, por lo que en consecuencia se cuenta con información geológica geotécnica tanto de planta como perfiles ya definidos. Por lo que para adaptar el proyecto en la parte geológica geotécnica a la metodología BIM ha sido necesario ajustar el modelo a estos datos.

Las pautas que se han seguido para generar el modelo han sido:

- Generación de las diversas hojas que componen planta y perfil en extensión PDF a formato JPG.
- Importación de estas hojas al modelo haciendo uso de la herramienta de georreferenciación, tanto en planta como en perfil, siendo estos últimos georreferenciados respecto a la vertical, tomando como guía la topografía y el eje de

trazado. En las siguientes imágenes se refleja cómo queda la escena de trabajo (*Ilustración 21*).

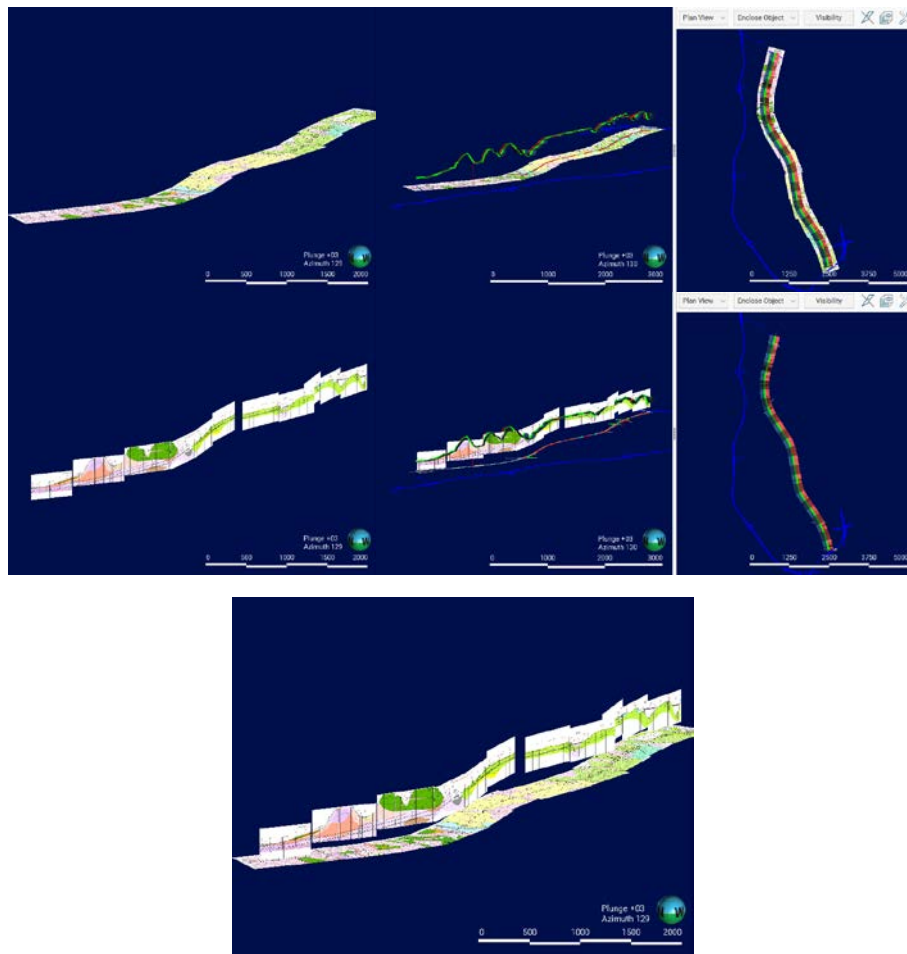


Ilustración 21 Escena de trabajo con planta y perfil georreferenciados atendiendo a la traza del proyecto.

Las imágenes de la planta al ser georreferenciadas pueden ser ajustadas a la topografía quedando por consiguiente como se muestra a continuación (*Ilustración 22*):

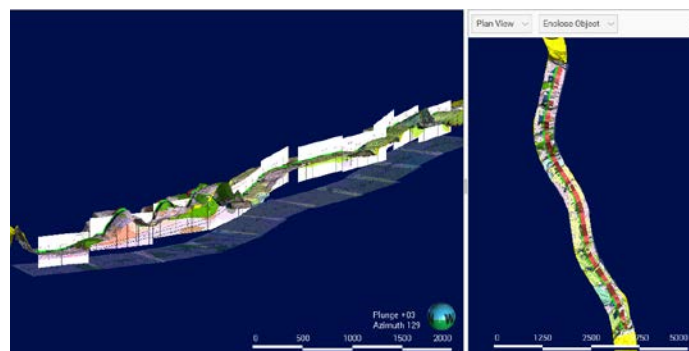


Ilustración 22 Cartografía sobre topografía.

- Se realiza la importación de los datos de las investigaciones (“collar.csv” y “lithology.csv”) mediante la herramienta “Borehole data” (*Ilustración 23*).

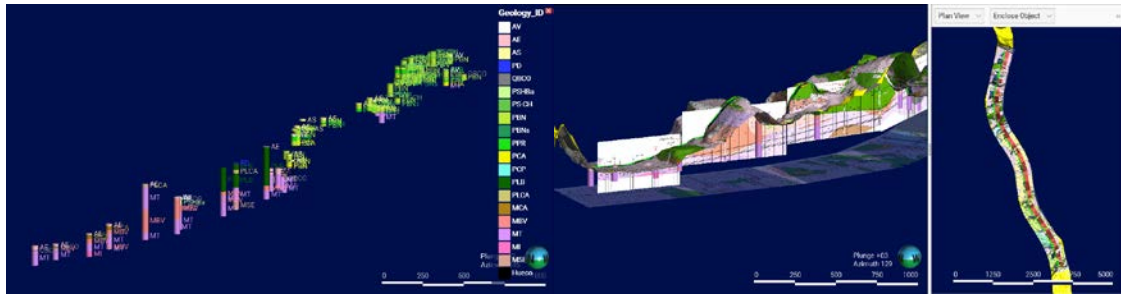


Ilustración 23 Investigaciones Importadas

- Se procede a la creación del modelo mediante la herramienta “Geological Model”. Se establecerá por tanto los límites del modelo, así como la resolución y columna litológica seleccionada para modelar. Se obtiene un volumen general denominado “Boundary”, que será nuestra base de partida del modelo (Ilustración 24).

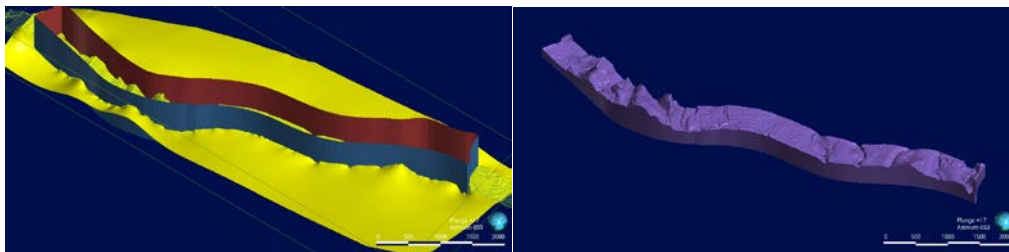


Ilustración 24 Boundary modelo

Cabe mencionar, que previamente se ha creado en “Borehole Data” agrupaciones referentes a cada agrupación contemplada en la columna Serie/Época (Ilustración 25).

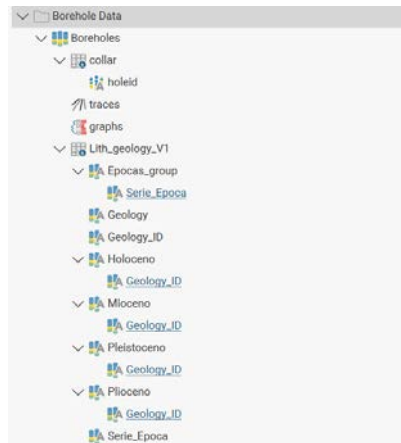


Ilustración 25 Agrupaciones litológicas creadas mediante Borehole Data

- Estas agrupaciones a su vez contendrán intervalos con los nombres litológicos de cada una de ellas, así, por ejemplo, para la época Miocena se ha obtenido (Ilustración 26):

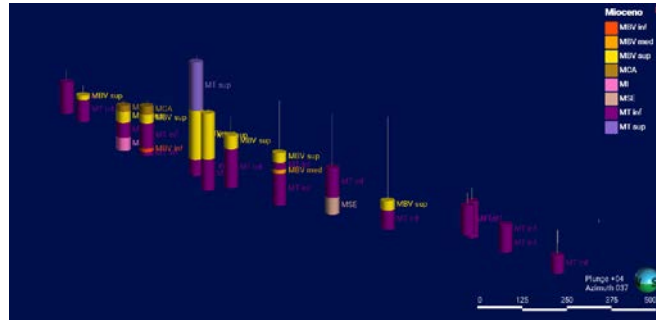
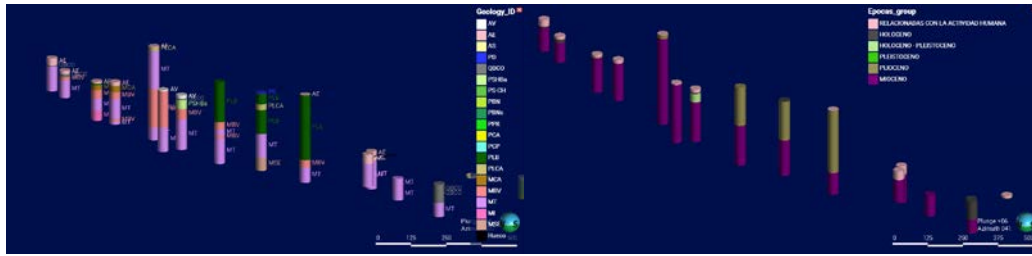


Ilustración 26 Agrupaciones época Miocena

- Para el modelo general base se ha contemplado la creación de superficies, que harán referencia a las agrupaciones referentes a la columna Serie/Época, se refleja en la siguiente imagen (Ilustración 27).

LEYENDA	
	RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD HUMANA
	HOLOCENO
	HOLOCENO - PLEISTOCENO
	PLEISTOCENO
	PLIOCENO
	MIOCENO

Ilustración 27 Agrupaciones de la columna Serie/Época

Para el modelo general se han creado superficies de carácter erosivo, se contemplan a modo general en la imagen inferior (Ilustración 28). El orden que se ha empleado en la creación de superficies es determinante, en este caso están ordenadas de forma que las capas inferiores son erosionadas por las superiores.

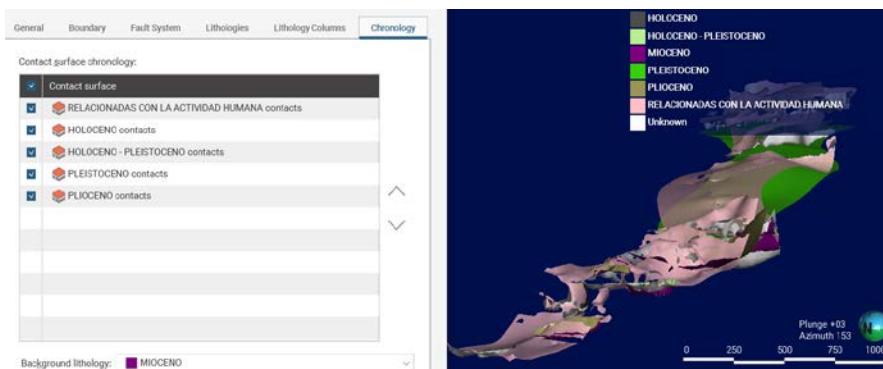


Ilustración 28 Capas superficiales modelo base

A continuación, se muestra la formación de cada una de las superficies.

- **Superficie – “Plioceno”**

La superficie del plioceno (*Ilustración 29*) ha sido creada atendiendo a la base litológica, como suplementos se han utilizado, discos estructurales, así como polilíneas.



Ilustración 29 Superficie – “Plioceno”

- **Superficie- “Pleistoceno”**

La superficie pleistocena (*Ilustración 30*) se ha creado en base a la litología, como suplemento se ha añadido discos y una polilínea.

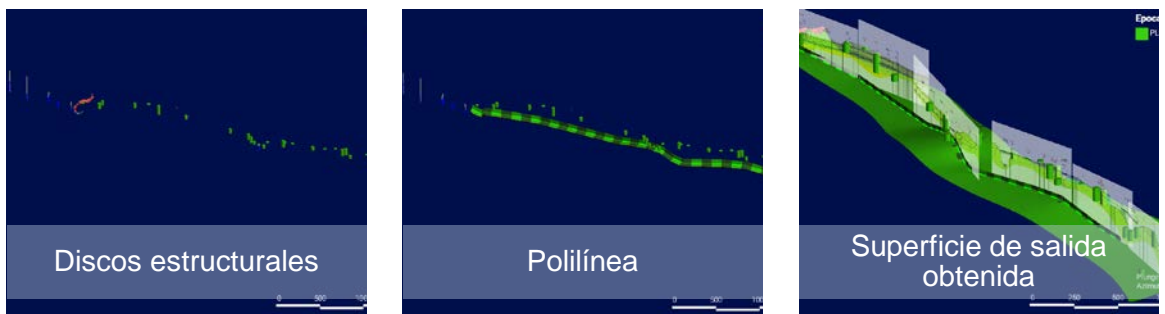


Ilustración 30 Superficie - “Pleistoceno”

- **Superficie – “Holoceno – Pleistoceno”**

La superficie holoceno-pleistoceno (*Ilustración 31*) se ha creado en base a la litología, se han utilizado como suplemento discos estructurales y una polilínea.

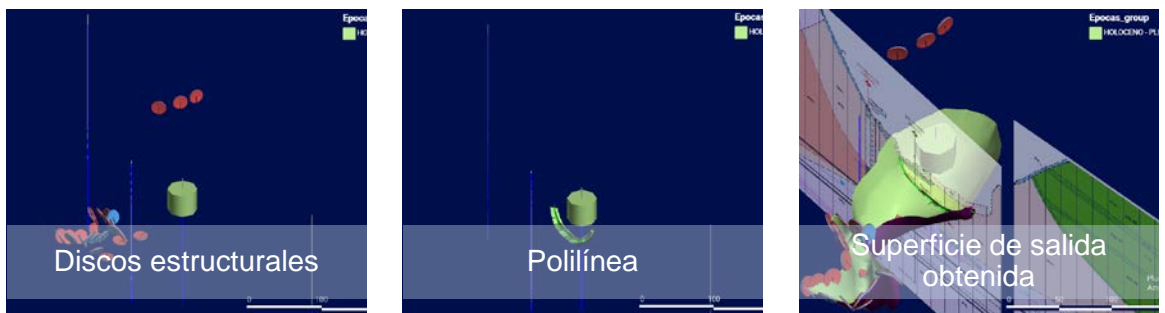


Ilustración 31 Superficie - “Holoceno-Pleistoceno”

- *Superficie – “Holoceno”*

La superficie holocena (*Ilustración 32*) se ha creado en base a la litología, como suplemento se han añadido discos estructurales.

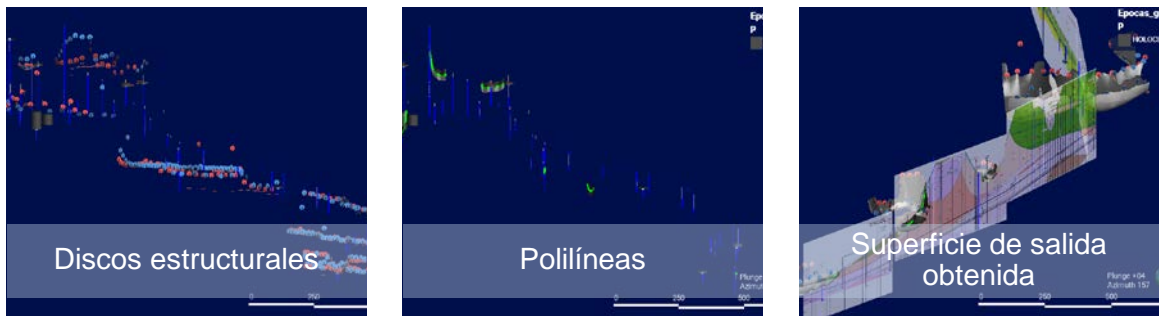


Ilustración 32 Superficie - "Holoceno"

- *Superficie – “Relacionadas con la actividad Humana”*

La superficie relacionada con la actividad humana (*Ilustración 33*) se ha creado en base a la litología, como suplemento se han añadido discos estructurales y polilíneas.



Ilustración 33 Superficie - "Relacionadas con la actividad Humana"

Una vez activas las capas que conforman el modelo base se han obtenido los siguientes outputs (*Ilustración 34*).

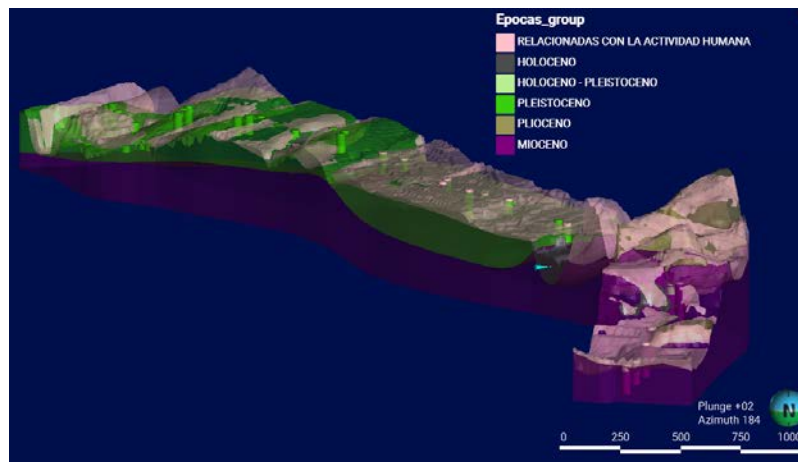


Ilustración 34 Modelo Base

- El modelo refinado se ha obtenido mediante el modelamiento independiente de cada uno de los outputs litológicos obtenidos del modelo base, a modo general en cada uno se ha aplicado como base litológica las tablas con subgrupos creados de cada Serie/Época.

Las pautas que se han aplicado han sido:

- *Output - “Relacionadas con la actividad humana”*

Se han creado superficies de tipo erosivas obteniendo como outputs los volúmenes referentes a AV, AS y AE (consultar leyenda).

Se han creado superficies de tipo erosivas obteniendo como outputs los volúmenes referentes a AV, AS y AE (consultar leyenda) (Ilustración 35).

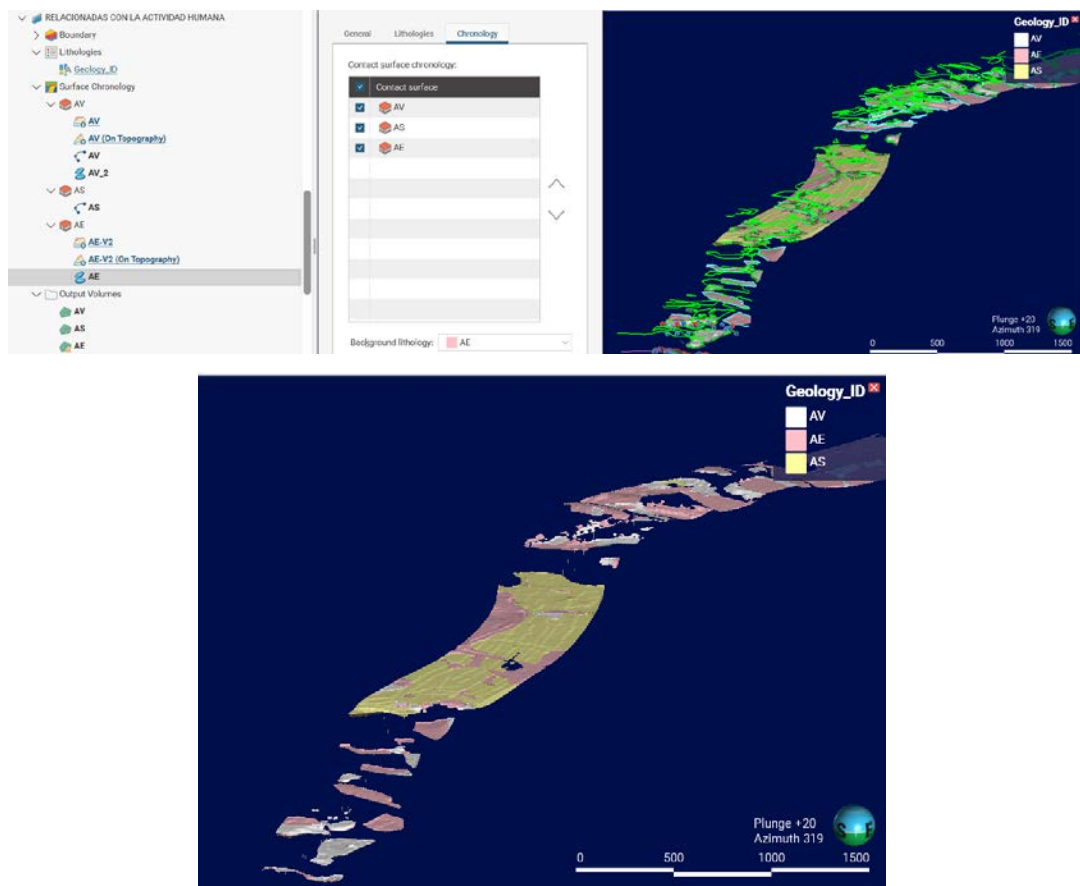


Ilustración 35 Output - "Relacionadas con la actividad humana"

- *Output - “Holoceno”*

Se han creado superficies erosivas que han dado como outputs los volúmenes de QCOL, PD, QT y QBCO (consultar leyenda) (Ilustración 36).

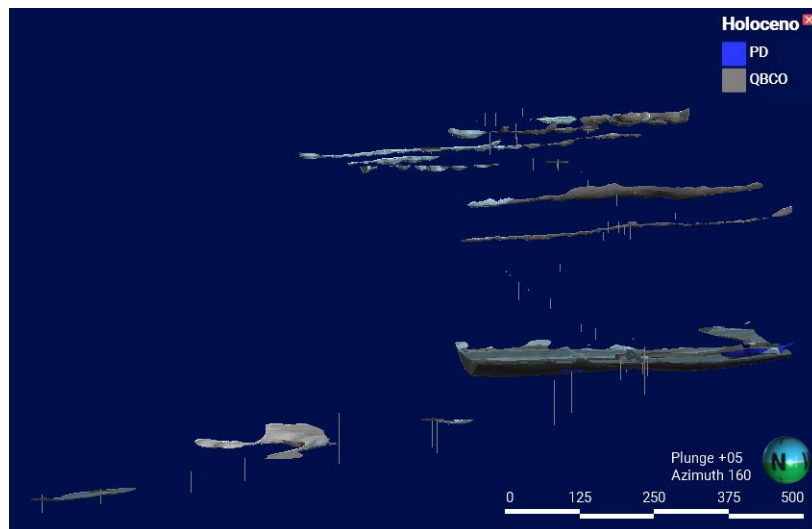
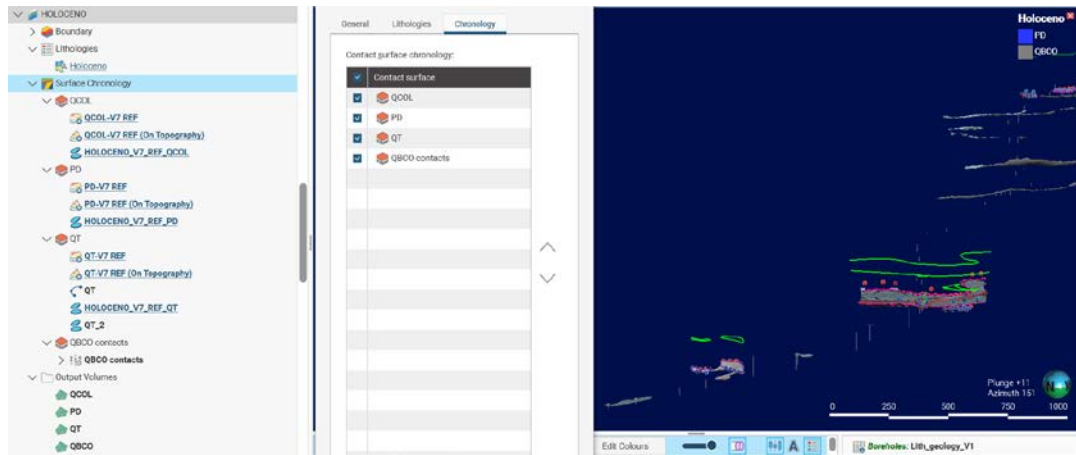


Ilustración 36 Output - "Holoceno"

- **Output - "Pleistoceno"**

Se han creado en primera instancia superficies erosivas de las unidades litológicas de PCP y PBN, consecuentemente las superficies superiores de la unidad PPR y PBNs se han creado mediante superficies intrusivas al ser unidades dispersas. Posteriormente se ha introducido una superficie de tipo erosiva para la unidad PS-CH que ha erosionado ciertas partes de las unidades anteriormente mencionadas. Finalmente, la unidad PCA, se ha dividido mediante subgrupos como PCA sup y PCA inf, siendo la primera añadida como una superficie intrusiva y la última como superficie erosiva.

Por ende, se han obtenido como outputs los volúmenes de PCA inf, PCA sup, PS-CH, PBNs-4, PBNs-3, PBNs-2, PBNs-1, PPR-6, PPR-5, PPR-4, PPR-3, PPR-2, PPR-1, PBN y PCP (*Ilustración 37*).

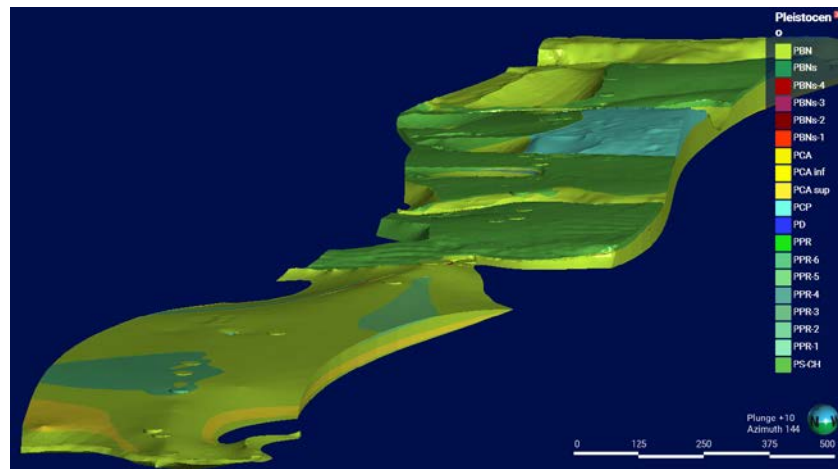
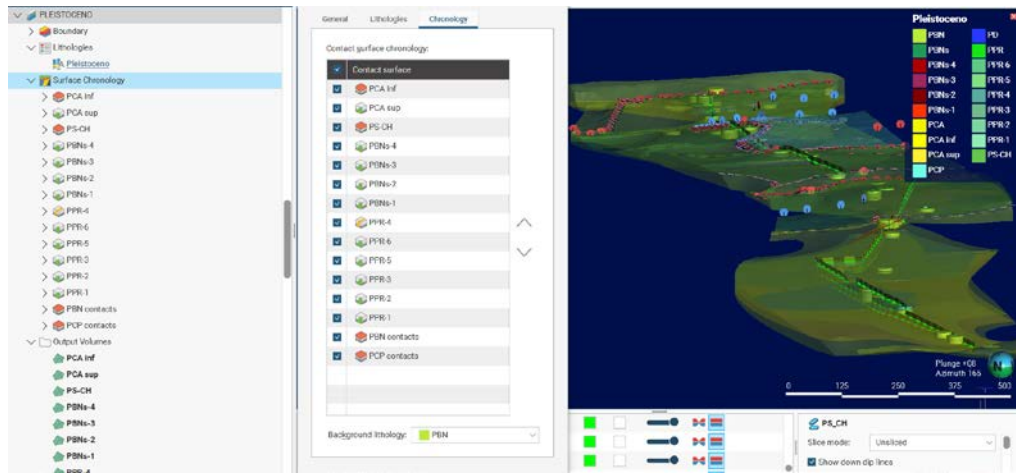
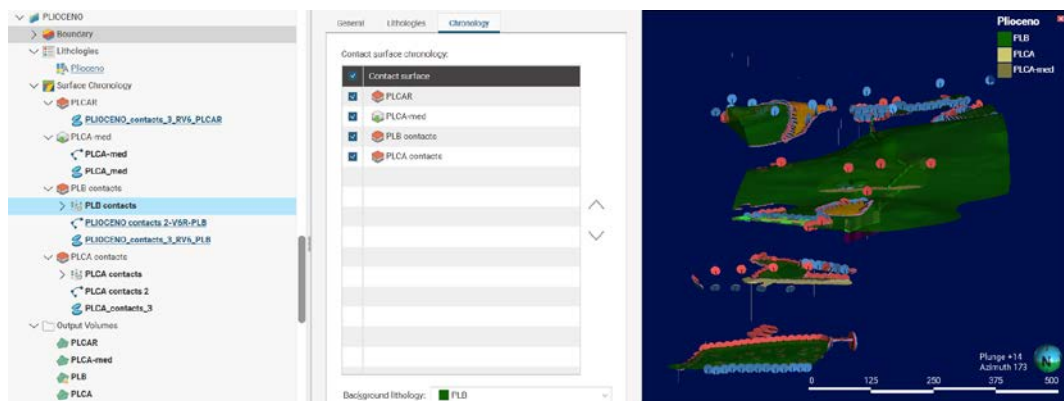


Ilustración 37 Output – “Pleistoceno”

- **Output - “Plioceno”**

Para el plioceno se han creado en primer lugar superficies erosivas para las unidades litológicas PLCA y PLB, posteriormente se añadió una superficie de tipo intrusivo para PLCA-med (unidad creada en los subgrupos) y por último se añadió una de tipo erosivo para PLCAR.

Los outputs de salida en este caso han sido PLCAR, PLCA-med, PLB y PLCA (Ilustración 38).



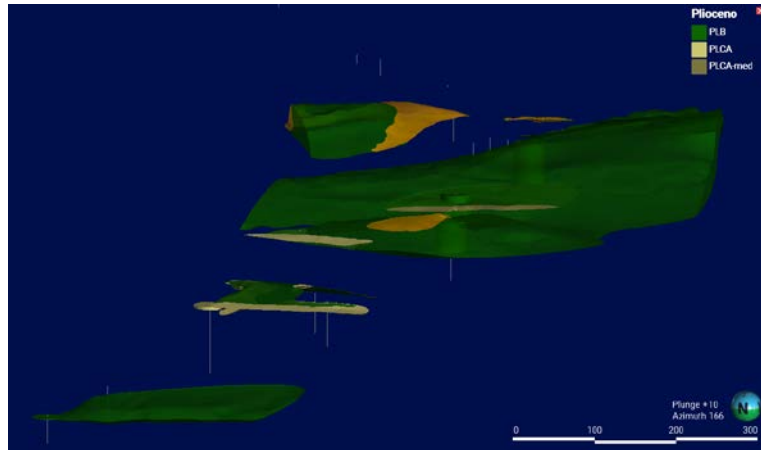


Ilustración 38 Output - "Plioceno"

- **Output - "Mioceno"**

Para la edad miocena se han creado superficies de tipo depósito para las unidades MSE, MI y MT inf. Consecuentemente se ha creado una superficie intrusiva para la unidad MBV inf, y de tipo vena para MBV med. Las superficies superiores fueron realizadas mediante superficies de tipo depósito para MBV sup, MCA y MT sup. Por tanto, los outputs finales obtenidos han sido PLCA, MT sup, MCA, MBV sup, MBV med, MBV inf, MT inf, MI y MSE (*Ilustración 39*).

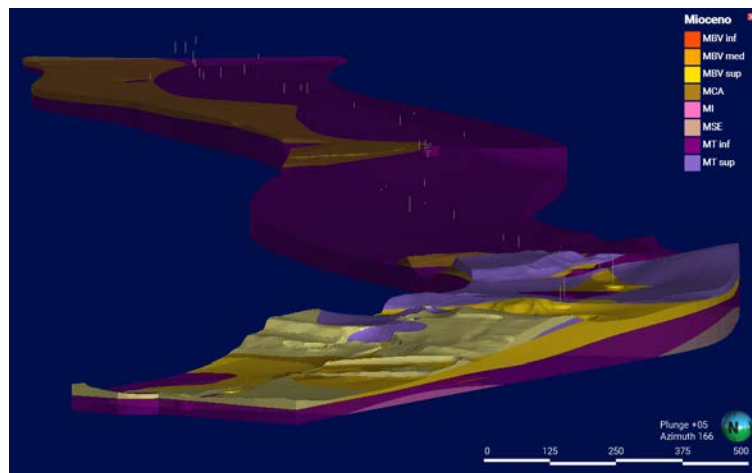
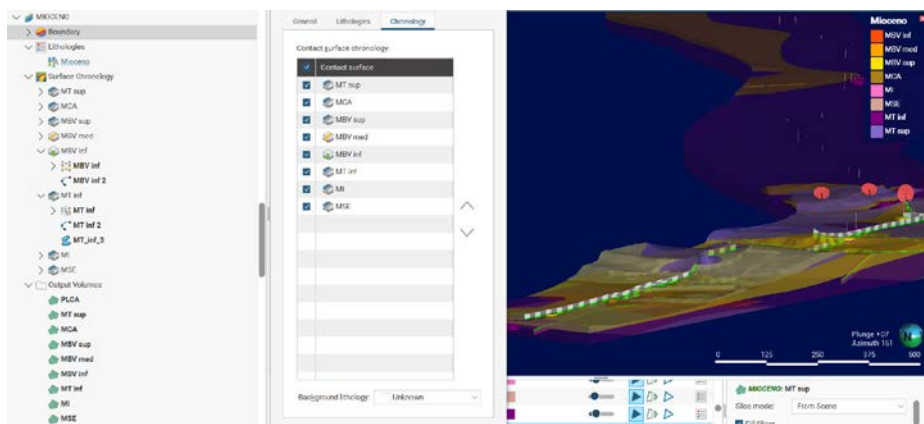


Ilustración 39 Output - "Mioceno"

Una vez activas todas las capas superficiales que conforman cada uno de los outputs modelados del modelo base, se han obtenido los siguientes outputs finales (*Ilustración 40*).



Ilustración 40 Modelo Refinado. Según la normativa BIM se trata del modelo simple que ha de ser federado

Capítulo 6 RESULTADOS

6.1. Modelado 3D

Tal como se ha podido comprobar, los tipos de materiales que se sitúan en las zonas de emplazamiento presentan ciertas patologías que pueden acarrear problemas en las obras que se contemplan, de ahí la utilidad de implantar este tipo de metodología, y la importancia en los resultados obtenidos.

Para el presente proyecto el resultado que se ha obtenido es un modelo 3D que funciona como modelo inteligente, es decir, un modelo 3D con información útil que va a reducir los tiempos en futuros trabajos mediante una recopilación visual de las características de cada material litológico, permitiendo, además, exportar secciones a lo largo de la traza (*Anexo N.º 1*) y/o generar secciones transversales en zonas de interés (*Anexo N.º 2*).

La traza, como se ha plasmado en el apartado de “Obra Lineal” consta de una gran variedad de estructuras y movimientos de tierra. Englobando estas obras, se atiende a un gran movimiento de tierras, debido a excavaciones, o bien por construcción de desmontes, por excavación del túnel, o por cimentaciones. El contar con este tipo de metodología, ha permitido tener una valoración más concreta de los volúmenes de cada uno de los materiales atravesados, sobre todo los de mayor problemática geotécnica (almagres, niveles ecoriaceos, ...). Permitiendo ajustar así, la valoración y reutilización de cada uno de ellos. Pues al presentar características diversas y en base a conocer la magnitud de alcance de cada uno de ellos, resulta una medida preventiva en vista a la etapa constructiva. Dando paso, incluso, a un replanteamiento o alcance del tipo de soluciones de las afecciones.

Por tanto, el modelo ha permitido tener una valoración cuantitativa de materiales, así como cualitativa, en un contexto global del proyecto.

6.2. Conjeturas

A medida que se ha ido desarrollando el presente proyecto, se ha podido hallar una metodología de trabajo para la implementación BIM en el área, no obstante, se ha observado a lo largo de esta tesina que aún existen fases por desarrollar, como las investigaciones geofísicas, que se conciben poder ser desarrolladas siguiendo los mismos patrones, pero partiendo de datos en bruto con los que no se han contado, la creación de librería personalizada, ... E incluso contemplar la modificación de la metodología pautada en vistas a una mayor eficiencia, valiéndose para ello de herramientas diferentes, que trabajen, por ejemplo, en la nube, ampliando así, el espacio colaborativo.

Capítulo 7 CONCLUSIONES

A lo largo de este TFM se han podido establecer ventajas e inconvenientes que serán tratados en los siguientes apartados.

7.1. Ventajas

La interoperabilidad que presenta con otras áreas ha permitido establecer una intercomunicación entre disciplinas, dando como resultado una mayor productividad. Se ha concebido mediante la compatibilidad entre los distintos softwares, los formatos de importaciones de mayor uso han sido: *.dgn*, *.dxf*, *.dwg*, *.ifc*.

Tal como se ha mencionado al principio de este texto, la metodología clásica se basa en una salida gráfica en 2D (perfil y guitarra geotécnica) realizada de forma manual, lo que implicaba un mayor incremento de dedicación de horas al proyecto (horas del técnico más horas de delineación), sin embargo, se ha contemplado a lo largo de este TFM que mediante la construcción de un modelo 3D se obtienen tantas salidas gráficas como se deseen permitiendo que las horas invertidas en construirlo no se vean afectadas en caso de que cambie el trazado como ocurriría de forma tradicional, se elimina, por tanto, la necesidad de retrabajos que deban ser reiniciados.

En el “Capítulo 6 BIM”, se ha contemplado que el modelado es meramente una parte de un proyecto BIM, pues entra dentro de un escenario 360º, donde lo que cuenta no es meramente el 3D, sino, que atiende a un conjunto de etapas denominadas las dimensiones BIM (1D, 2D, 3D, 4D, 5D, 6D, 7D) siendo el tema tratado solo una de ellas, quedando el resto de las dimensiones por ahondar y desarrollar en futuras investigaciones, pues implican y juegan un lugar determinante para un desarrollo sostenible mediante el aprovechamiento de los recursos.

La adaptabilidad y el gran número de información tratada hace que el espacio de trabajo tridimensional sea dinámico, y modificable al permitir la integración de nuevos datos, se habla por tanto de reutilización.

La reutilización del modelo en futuras fases hace que se pueda mantener un control visual y numérico del avance del proyecto. Siendo los valores numéricos los volúmenes referidos a terraplenes, desmontes, ... Y el control visual, a la detección de materiales que pueden constituir afecciones importantes en el proyecto, pues en ciertos casos se requieren implantar medidas de mitigación.

7.2. Inconvenientes

La mayor desventaja que se ha encontrado con esta metodología es lo relativamente nueva que es el área. Pues implica ir adaptando y desarrollando proyectos a medida que se produce en una línea paralela el I+D, pieza clave en el proceso actual de transición.

En los entregables, la obtención de las salidas gráficas 2D del modelo 3D dependerán del número de reconocimientos ingresados, siendo el margen de error proporcional al número de investigaciones disponibles, y el técnico y/o técnicos implicados, por lo que siempre existirá un cierto grado de incertidumbre, pues al final se trata de una interpretación en base a unas herramientas y un criterio determinado.

En conclusión, en el caso de este TFM se ha ahondado en la implantación de la metodología BIM a un proyecto ya redactado, lo que ha implicado un trabajo inverso respecto a lo planteado para un proyecto en fase cero. No obstante, las directrices que se han marcado dan una guía básica para su implantación.

En un análisis global, la implicación del área de geología y geotecnia en la metodología BIM, como se ha podido comprobar a lo largo de esta tesina, repercute de manera significativa (movimientos de tierras, interacción con estructura, drenaje, ...) en un proyecto. Para este proyecto en concreto, el objetivo de su implantación ha sido el aumentar la calidad, mejorar la planificación, así como la búsqueda de la reducción de riesgos e incertidumbre tanto en la etapa constructiva como la de operación y mantenimiento, todas ellas ligadas a los ODs.

Se trata, por tanto, de un método de trabajo con un gran potencial, dada su versatilidad y su interoperabilidad. No obstante, no hay que olvidar que al final en el área geotécnica, esta metodología no es más que un apoyo disponible para un mejor gestión y análisis de un proyecto, pues aún es necesario llevar a cabo de manera aislada el estudio geotécnico. Además, existen líneas de investigación aún por desarrollar, tales como la simplificación de la base de datos mediante la generación de librerías personalizadas que sean adaptadas a cada proyecto en un formato estándar denominado “.ags”.

En definitiva, la implantación de esta metodología implica un aprovechamiento de las herramientas digitales actuales, que permiten elevar, el proyecto a otro nivel al producirse la reducción de tiempos y costes, a la vez que se reducen las incertidumbres e incrementa la calidad. Por tanto, no es meramente un trabajo implícito en el modelo 3D, sino una nueva forma de trabajo colaborativo donde se tienen en cuenta los procesos, las personas y las herramientas como bases fundamentales para su desarrollo, dejando de lado los trabajos individuales y segmentados.

BIBLIOGRAFÍA

Rodríguez-González, F., J. Pérez-Torrado, J.L. Fernández-Turiel, M. Aulinas, R. Paris y C. Moreno-Medina (2018). The Holocene volcanism of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Maps*, 14, 620-629.

UNE-EN ISO 16739-1:2020 Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos (ISO 16739-1:2018) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020)

UNE-EN ISO 19650-2:2019 Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 2: Fase de desarrollo de los activos. (ISO 19650-2:2018) Comité técnico CTN 41 Construcción, de la Asociación Española de Normalización (UNE) Julio 2019 (versión corregida en junio 2020)

UNE-EN ISO 19650-3:2021 Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM. Parte 3: Fase de operación de los activos. (ISO 19650-3:2020) Comité técnico CTN 41 / SC 13 Organización de modelos de información relativos a la edificación y la obra civil, de la Asociación Española de Normalización (UNE) junio 2021.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (2022,03). Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data AGS4 Edition 4.1.1.

Instituto Geológico Nacional (2023,26,01). *Origen de los datos geológicos: Mapa Geológico 1M (2015) del ©Instituto Geológico y Minero de España (IGME)*, https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag_sismotectonicas/can_grancanaria.html

BuildingSMART Spanish Chapter (2023). Informe anual 2021. Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM – GUÍA DE APOYO, <https://www.buildingsmart.es/bim/>

U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL) (2021,09,04). Construction-Operations Building Information Exchange (COBie), <https://www.wbdg.org/bim/cobie>

Datgel (2023) Gint Civil Tools Tutorial Version 6.01, <https://docs.datgel.com/dgd-tool/latest/professional/user-guide/gint-civil-tools-tutorial>

Seequent, The Bentley Subsurface Company (2023) Help and Resources for Leapfrog Works 2023.1., <https://help.seequent.com/Works/2023.1/en-GB/Content/intro.htm>

ADIF/ADIF Alta Velocidad (2021) Tríptico Informativo. Implementación BIM en ADIF, <https://intranet.tecniberia.es/wp-content/uploads/archivos-intranet/Documentaci%C3%B3n/Tr%C3%ADptico%20Informativo.%20Implementaci%C3%B3n%20BIM%20en%20ADIF.pdf?boxtype=pdf>

Seequent, The Bentley Subsurface Company (2023) Leapfrog Works Surface Types Version 2023.1 [Leapfrog Works Surface Types \(seequent.com\)](https://www.seequent.com/Leapfrog-Works-Surface-Types)

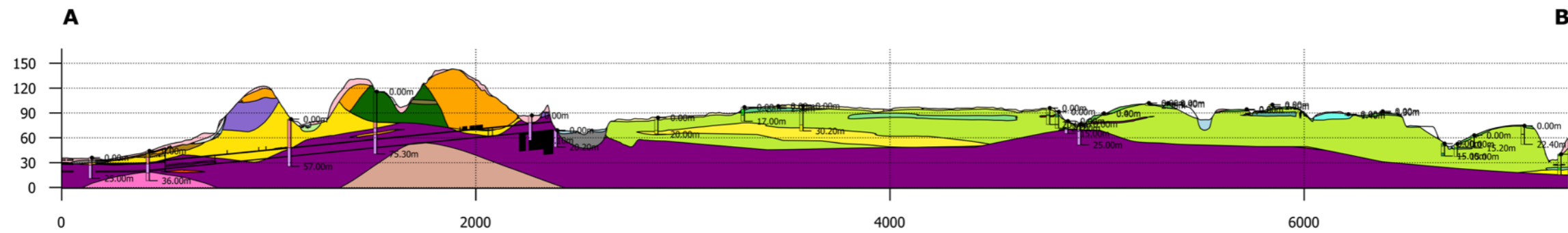
ÍNDICE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 PAUTAS DE APLICACIÓN METODOLOGÍA BIM GEOLOGÍA – GEOTECNIA.....	4
ILUSTRACIÓN 2 "CICLO DE VIDA DEL MODELO BIM DE UN PROYECTO DESDE SU FASE DE DISEÑO HASTA LA DEMOLICIÓN DE ©BUILDINGSMART SPAIN, 2023".....	5
ILUSTRACIÓN 3 FUTUROS ENTREGABLES EN ADIF. IMAGEN EXTRAÍDA DEL "TRÍPTICO INFORMATIVO DE IMPLEMENTACIÓN BIM EN ADIF"6	
ILUSTRACIÓN 4 ESQUEMA DE ACTORES BIM EN ADIF. IMAGEN EXTRAÍDA DEL "TRÍPTICO INFORMATIVO DE IMPLEMENTACIÓN BIM EN ADIF".....	6
ILUSTRACIÓN 5 "TABLA RESUMEN ROLES EN EL ÁMBITO DE LA ORGANIZACIÓN Y DEL PROYECTO DE ©BUILDINGSMART SPANISH CHAPTER, 2023, P. 8".....	7
ILUSTRACIÓN 6 JERARQUÍA MODELOS FEDERADOS	9
ILUSTRACIÓN 7 VISUALIZACIÓN ESCENA DE TRABAJO DE GINT COMO BASE DE DATOS	10
ILUSTRACIÓN 8 VISUALIZACIÓN DE ESCENA DE TRABAJO DE GINT CIVIL TOOLS.....	11
ILUSTRACIÓN 9 CLIPPING BOUNDARY FUERA DE LOS LÍMITES TOPOGRÁFICOS (IZQ.), NO SE GENERA BOUNDARY, Y DENTRO DE LOS LÍMITES (DCHA.), SE GENERA BOUNDARY	13
ILUSTRACIÓN 10 IMAGEN EXTRAÍDA DE LA GUÍA DE LEAPFROG WORKS.....	15
ILUSTRACIÓN 11 DIFERENCIA SUPERFICIE DEPÓSITO - SUPERFICIE EROSIVA. IMAGEN EXTRAÍDA DE LA GUÍA DE LEAPFROG WORKS....	15
ILUSTRACIÓN 12 SUPERFICIE TIPO INTRUSIVA. IMAGEN EXTRAÍDA DE LA GUÍA DE LEAPFROG WORKS	16
ILUSTRACIÓN 13 "ORIGEN DE LOS DATOS GEOLÓGICOS: MAPA GEOLÓGICO 1M (2015) DEL ©INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME)".....	17
ILUSTRACIÓN 14 LEYENDA GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA	18
ILUSTRACIÓN 15 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA GEOTÉCNICA	28
ILUSTRACIÓN 16 DATABASE CONNECTIVITY GINT CIVIL TOOLS PROFESSIONAL	29
ILUSTRACIÓN 17 REPRESENTACIÓN DE INVESTIGACIONES	30
ILUSTRACIÓN 18 LEVEL MANAGER. CODIFICACIONES DE COLOR DE CAPA (IZQ.) E INVESTIGACIONES YA CON EL CAMBIO (DCHA.)	30
ILUSTRACIÓN 19 INVESTIGACIÓN CON ETIQUETAS ACTIVAS.	30
ILUSTRACIÓN 20 MODELO DE INVESTIGACIONES FINAL.....	31
ILUSTRACIÓN 21 ESCENA DE TRABAJO CON PLANTA Y PERFIL GEORREFERENCIADOS ATENDIENDO A LA TRAZA DEL PROYECTO.	32
ILUSTRACIÓN 22 CARTOGRAFÍA SOBRE TOPOGRAFÍA.	32
ILUSTRACIÓN 23 INVESTIGACIONES IMPORTADAS	33
ILUSTRACIÓN 24 BOUNDARY MODELO.....	33
ILUSTRACIÓN 25 AGRUPACIONES LITOLÓGICAS CREADAS MEDIANTE BOREHOLE DATA	33
ILUSTRACIÓN 26 AGRUPACIONES ÉPOCA MIOCENA.....	34
ILUSTRACIÓN 27 AGRUPACIONES DE LA COLUMNA SERIE/ÉPOCA.....	34
ILUSTRACIÓN 28 CAPAS SUPERFICIALES MODELO BASE.....	34
ILUSTRACIÓN 29 SUPERFICIE – "PLIOCENO"	35
ILUSTRACIÓN 30 SUPERFICIE - "PLEISTOCENO"	35
ILUSTRACIÓN 31 SUPERFICIE - "HOLOCENO-PLEISTOCENO"	35
ILUSTRACIÓN 32 SUPERFICIE - "HOLOCENO"	36
ILUSTRACIÓN 33 SUPERFICIE - "RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA"	36
ILUSTRACIÓN 34 MODELO BASE	36
ILUSTRACIÓN 35 OUTPUT - "RELACIONADAS CON LA ACTIVIDAD HUMANA"	37
ILUSTRACIÓN 36 OUTPUT - "HOLOCENO"	38
ILUSTRACIÓN 37 OUTPUT – "PLEISTOCENO"	39
ILUSTRACIÓN 38 OUTPUT - "PLIOCENO"	40
ILUSTRACIÓN 39 OUTPUT - "MIOCENO"	40
ILUSTRACIÓN 40 MODELO REFINADO. SEGÚN LA NORMATIVA BIM SE TRATA DEL MODELO SIMPLE QUE HA DE SER FEDERADO	41

ÍNDICE TABLAS

TABLA 1 FORMATOS DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN ADMITIDOS EN GINT CIVIL TOOLS PROFESSIONAL	11
TABLA 2 FORMATOS DE EXPORTACIÓN DE LOS MODELOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS.....	16
TABLA 3 INVESTIGACIONES QUE HAN SERVIDO DE BASE PARA EL MODELADO, CON LA PROFUNDIDAD Y TIPO DE PROYECTO.	20
TABLA 4 NÚMERO TOTAL DE MUESTRA.....	21
TABLA 5 COLLAR.....	26
TABLA 6 LITHOLOGY	27

Sección Longitudinal



Legend

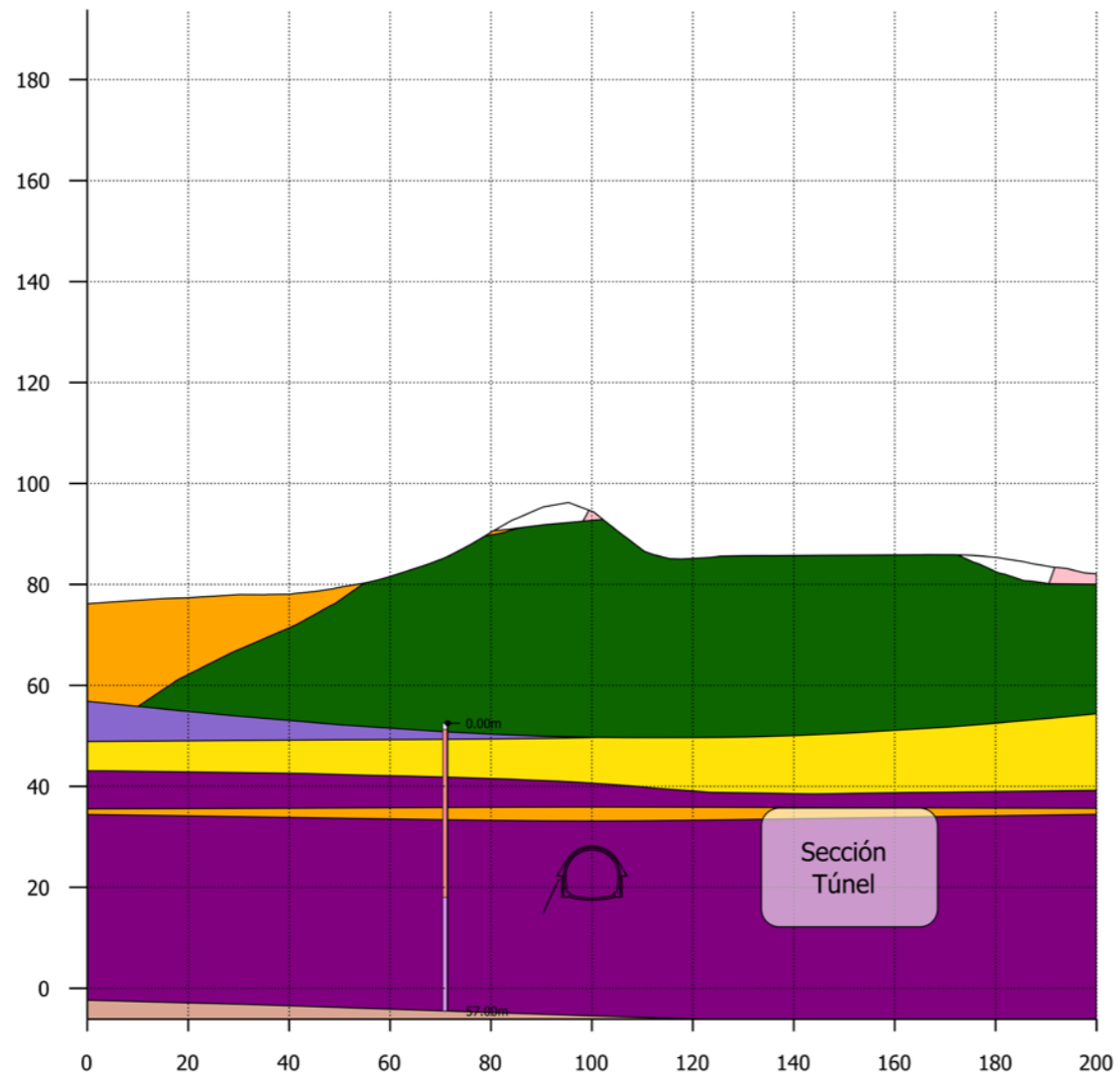
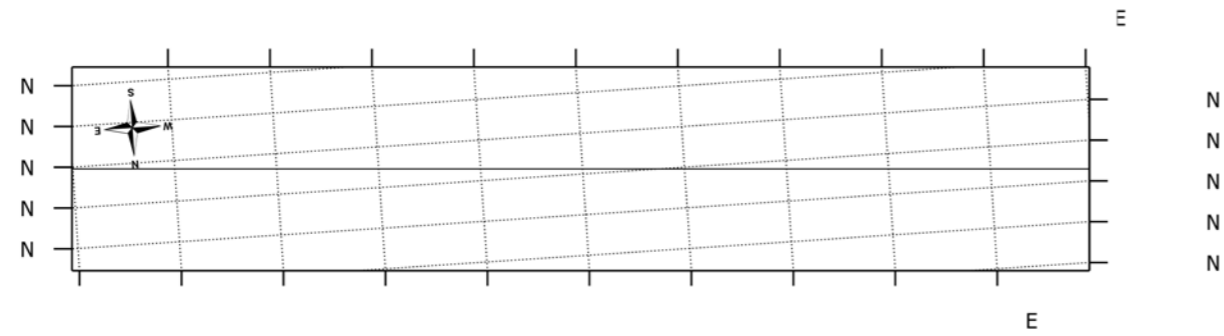
Geology_ID

AV	PSHBa	PCA	MBV
AE	PS-CH	PCP	MT
AS	PBN	PLB	MI
PD	PBNs	PLCA	MSE
QBCO	PPR	MCA	Hueco

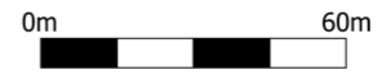


Responsible dept. -	Technical reference -	Creator -	Approved by -		
Legal owner -		Document type -		Document status -	
		Title SECCIÓN LONGITUDINAL		Identification number ANEXO N.º 1	
		Rev. -	Date of issue -	Sheet	

Sección Transversal



- Legend**
- Geology_ID**
- AV
 - AE
 - AS
 - PD
 - QBCO
 - PSHBa
 - PS-CH
 - PBN
 - PBNs
 - PPR
 - PCA
 - PCP
 - PLB
 - PLCA
 - MCA
 - MBV
 - MT
 - MI
 - MSE
 - Hueco



Responsible dept. -	Technical reference -	Creator -	Approved by -
Legal owner -	Document type -		Document status -
		Title SECCIÓN TRANSVERSAL	Identification number ANEXO N. 02
		Rev. -	Date of issue -
		Sheet -	