

472063

## Modelos geológicos 3D con Civil3D e interacción con diseño de túneles

Alfonso Navarro  
SENER Grupo de Ingeniería

### Objetivos de aprendizaje

- Aprender a desarrollar modelos geológicas con el Plug-in Geotechnical Module C3D 2020
- Tratamiento de superficies y sólidos 3D para definir estratos geológicos
- Asociación de parámetros geotécnicos a estratos (solidos 3D) e Interacción de modelo geológico con modelos de estructuras (coordinación Navisworks – modelos federados)
- Ventajas de realizar modelos geológicos 3D en obras lineales.

### Descripción

El uso del Geotechnical Module de C3D 2020 así como otras funciones intrínsecas del Civil3D permite la realización de modelos geológicos 3D.

En este caso, el interés es la aplicación y desarrollo de modelos geotécnicos para obras civiles y las ventajas que los mismos aportan a la toma de decisiones en el trazado de todo tipo de obras en especial de túneles y otras obras subterráneas y de cimentación.

En esta clase se mostrará el proceso y flujos de trabajo de generación de modelos 3D, la asignación de información geotécnica a los estratos de terreno generados, y la interacción y superposición de estos modelos con el de otras disciplinas (ejemplo de un túnel).

## Oradores



Ingeniero de Caminos especialista en túneles y obras subterráneas con más de 9 años de experiencia trabajando en proyectos tanto nacionales como internacionales para clientes públicos y privados.

Experiencia de 2 años como ingeniero del departamento de túneles de CH2MHILL en Londres (Reino Unido) y posteriormente como ingeniero del departamento de túneles de MOTT MACDONALD en Reading (Reino Unido).

Desde hace 7 años hasta la actualidad como ingeniero de túneles y obras subterráneas dentro del departamento de geotecnia y obras subterráneas de la Sección de Ingeniería Civil de SENER.

Desde 2016, designado como BIM Champions de la disciplina de Geotecnia y Túneles, encargado de implementar la metodología BIM dentro de la disciplina. Involucrado en el desarrollo y aplicación de programas y plug-ins internos para transformar los procesos de diseño de túneles y modelos geológicos tradicionales a metodología BIM.

## Explicación y uso del Geotechnical Module de Civil 3D

Dentro del paquete de plug-ins disponibles para Civil3D de Autodesk, existe una Herramienta que permite desarrollar superficies de terreno que, aplicadas correctamente, se consigue la generación de un modelo BIM geotécnico del terreno.

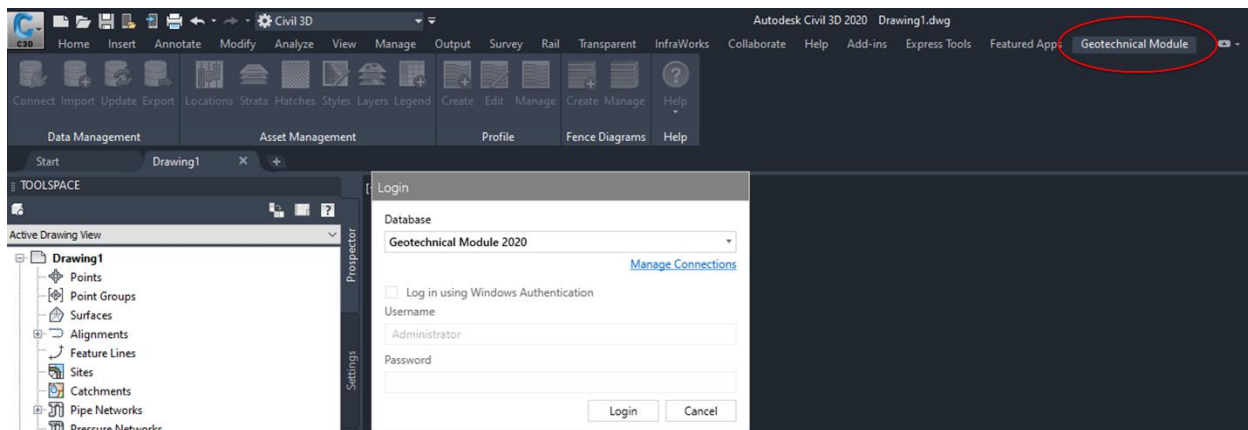


Figura 1. Interfaz de inicio del plug-in de Geotechnical Module de C3D

La versión incluida en C3D es gratuita, sin embargo, existe una versión Premium HoleBASE SI de la empresa Keynetix con un mayor potencial y más herramientas para la edición y creación de superficies geotécnicas, así como una gestión más integral de la información geotécnica del proyecto.

En esta demostración y ejemplos se ha usado la versión básica.

## Información y formato de los datos de entrada

Para que el Geotechnical Module pueda generar los sondeos y a partir de ellos desarrollar las superficies geotécnicas, se necesita importar los siguientes archivos:

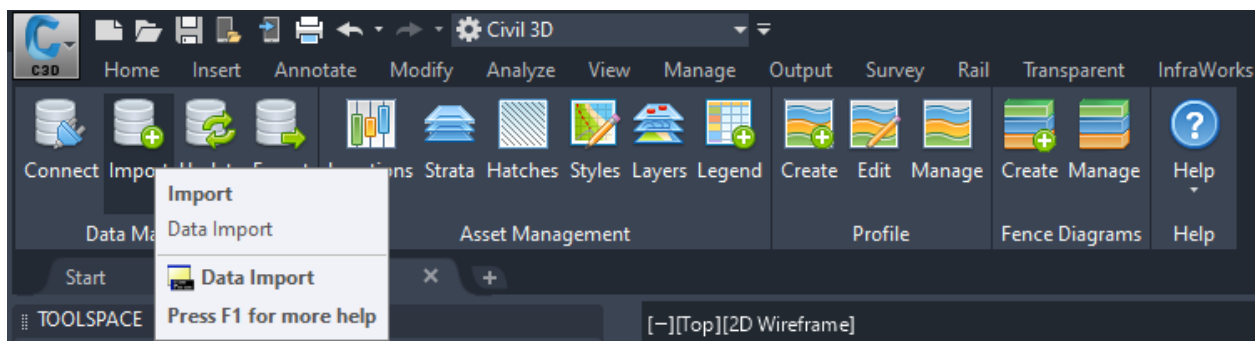


Figura 2. Vista del interfaz del Geotechnical Module en C3D

#### - Field Geological Description

Debe contener la información detallada de cada uno de los sondeos y los diferentes estratos y materiales que los componen. Los parámetros y el orden en el que deben ser introducidos es el siguiente:

- Location ID
- Depth Top
- Depth Base
- Legend Code
- Geology Code
- Geology Code 2
- BGS Lexicon
- Description

Location ID	Depth Top	Depth Base	Legend Code	Geology Code	Geology Code 2	BGS Lexicon	Description
S101	0	2.79	UG-2	Suelos Residuales	Qre		Arena arcillosa y limos arenosos
S101	2.79	10.09	UG-3	Toba GM-IV_V	TSC-alt		Toba Lapili alterada GM-IV_V
S101	10.09	18.24	UG-4	Brecha GM-IV_V	Br-alt		Bracha soldada alterada GM-IV_V
S101	18.24	34.08	UG-7	Aglomerado andelísito	QCS		Aglomerado andelísito R3-R5

Figura 3. Parámetros para el archivo Field Geological Description – Ejemplo de un sondeo S101

Hay que generar un único archivo con la definición de cada uno de los estratos de todos los sondeos que se implementen. El formato del archivo debe ser en CSV, donde toda la información de cada estrato quede definida en una columna, y cada parámetro esté separado con “,”. Ver siguiente ejemplo:

Location ID,Depth Top,Depth Base,Legend Code,Geology Code,BGS Lexicon,Description
S101,0,2.79,UG-2,Suelos Residuales,,Arena arcillosa y limos arenosos
S101,2.79,10.09,UG-3,Toba GM-IV_V,,Toba Lapili alterada GM-IV_V
S101,10.09,18.24,UG-4,Brecha GM-IV_V,,Bracha soldada alterada GM-IV_V
S101,18.24,34.08,UG-7,Aglomerado andelísito,,Aglomerado andelísito R3-R5

Figura 4. Vista del archivo Field Geological Description en formato CSV

#### - Location Details.

Ha de contener la siguiente información general de cada sondeo:

- Location ID
- Location Type
- Easting
- Northing
- Ground Level
- Final Depth (consejo: revisar que este dato coincida con la profundidad del último estrato de cada sondeo definida en el archivo anterior. Es un error muy frecuente).

Location ID	Location Type	Easting	Northing	Ground Level	Final Depth
S101	CP	466 168.06	2 135 985.73	2957	34.08

Figura 5. Parámetros para el archivo Location Details – Ejemplo de un sondeo S101

En este caso, también hay que generar un único archivo con la definición de cada uno de los sondeos que se implementen. El formato del archivo debe ser en CSV, donde toda la información general de cada sondeo esté definida en una columna, y cada parámetro está separado con “,”. Ver siguiente ejemplo:

Location ID	Location Type	Easting	Northing	Ground Level	Final Depth
S101	CP	466168.0557	2135985.7314	2957	34.08

Figura 6. Vista del archivo Location Details en formato CSV

Es necesario que ambos archivos contengan la información adecuado para evitar problemas. Cualquier pequeño error a la hora de importar los archivos, el Geotechnical Module avisará de errores y warnings que haga que no se lleguen a generar los sondeos correctamente.

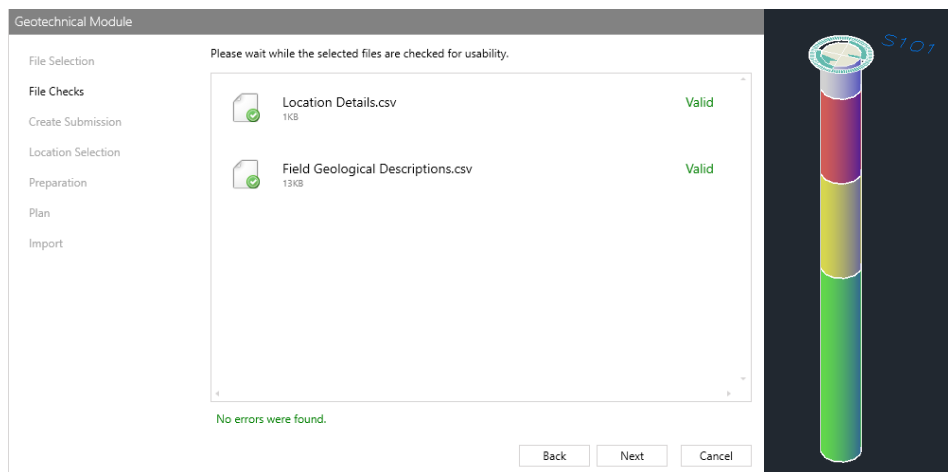


Figura 7. Importación – Comprobación de archivos y representación del sondeo S101 usado como ejemplo.

Una vez completados los pasos de importación, se generan los sondeos, agrupando los datos por el código geológico. Es esencial corregir el factor de exageración, en la pestaña “Locations” para conseguir que los elementos a generar (sondeos y superficies de estratos) tengan sus dimensiones reales en las tres direcciones. Por defecto, el módulo usa un valor de 5, pero para realizar un modelo adecuadamente es necesario poner valor 1.

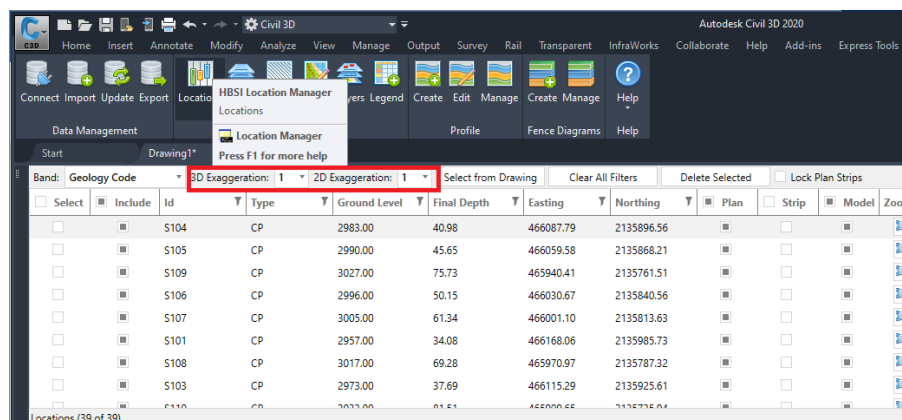


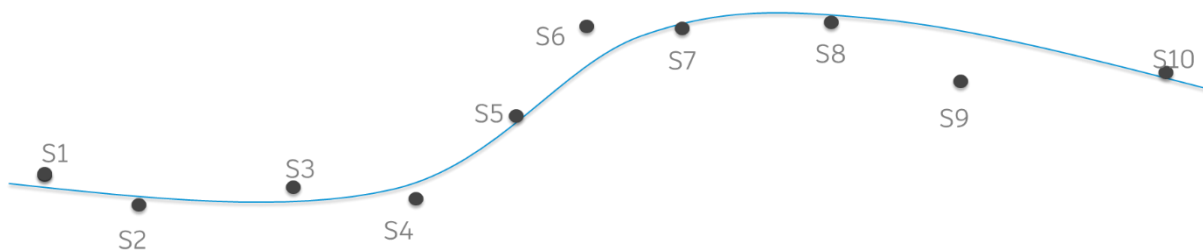
Figura 8. Pestaña Location – Verificación de sondeos y ajuste de la exageración 2d y 3D.



## Generación de superficies geotécnicas “primitivas”

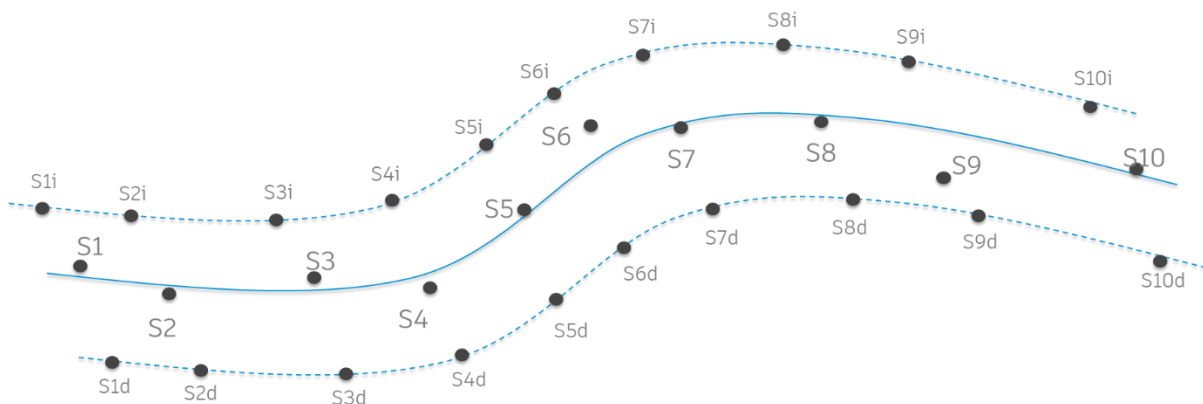
Con los sondeos importado en el módulo, el siguiente paso es la generación de las superficies de cada estrato.

El gran problema de las obras lineales es que los sondeos suelen hacerles cada bastante distancia entre ellos y casi siempre sobre la traza de la infraestructura lineal. Este hecho dificulta sustancialmente la realización de un modelo 3D geotécnico.



*Figura 9. Esquema de un eje en planta y la posición de sondeos a lo largo de la traza.*

Para solventar este problema lo ideal es aprovechar la información de estos sondeos y realizar sondeos “ficticios” a una distancia en paralelo (aproximadamente mismo PK) a ambos lados de la traza. De esta forma, se aumenta la densidad de sondeos y se consigue generar una banda de información geotécnica que nos permita poder producir un modelo 3D. Además poder disponer de un modelo con una anchura suficiente que en caso de pequeños ajustes del trazado en fases del proyecto y obra se puedan realizar sin problema.



*Figura 10. Inserción de sondeo ficticios, a ambos lados de la traza para poder desarrollar un modelo 3D.*

Si el número de sondeos e información geotécnica existente es deficiente, es esencial contar con la experiencia de un geólogo para poder analizar esta información y, con su conocimiento en la materia, poder interpretar la morfología de los estratos y así poder plantear una serie de sondeos ficticios adicionales que ayuden a que el modelo sea más realista y completo introduciendo información adicional interpretada que nos ayude a desarrollar un modelo 3D lo más detallado posible.

Estos sondeos ficticios se pueden alimentar de otros tipos de investigación geotécnica realizadas en el proyecto como calicatas, geofísica, mapas geológicos de la zona, y otra información geológica-geotécnica existente de proyecto realizados cercanos al nuestro y de las visitas de campo y mediciones in-situ de un geólogo y sus interpretaciones.

De esta forma, los archivos CVS contendrán la información tanto de los sondeos reales como de los sondeos ficticios adiciones que se añadan al modelo. El resultado se muestra a continuación.

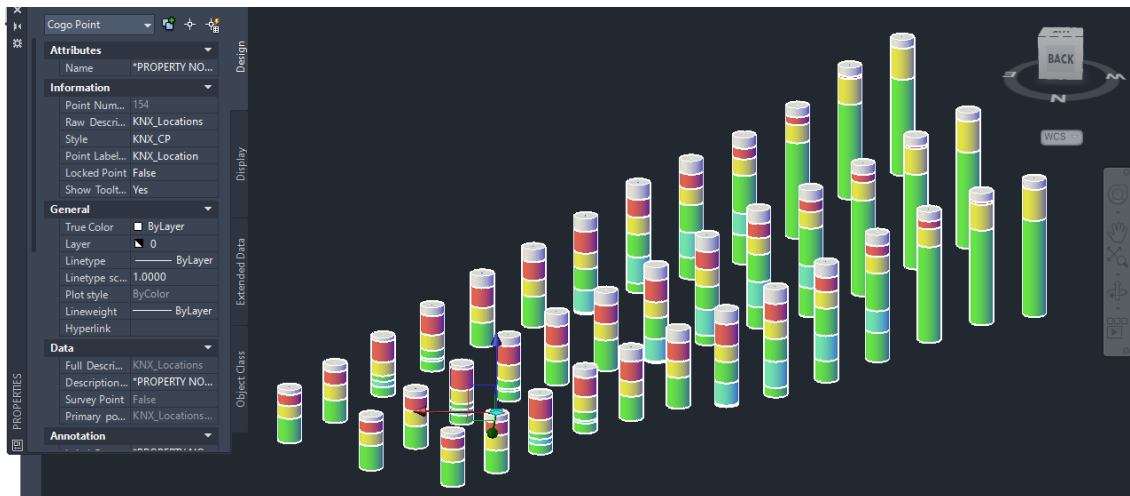


Figura 11. Representación de todos los sondeos (reales y ficticios) incluidos en los archivos CVS importados.

El siguiente paso es la definición de las superficies de contacto de cada estrato. Para ello, se debe ir a la pestaña Strata, donde se seleccionarán las superficies que se desee generar. De cada uno de los estratos es posible generar 2 superficies, la superior (top) y la inferior (base)

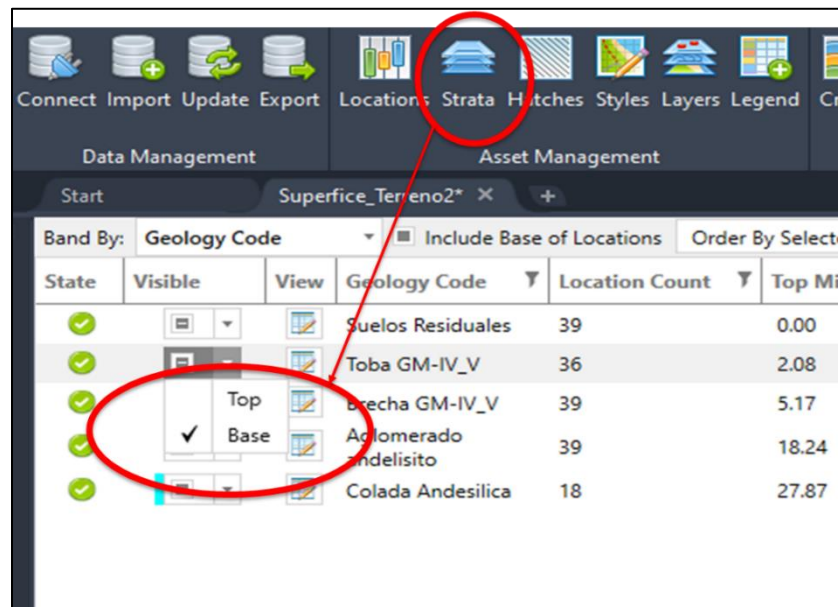
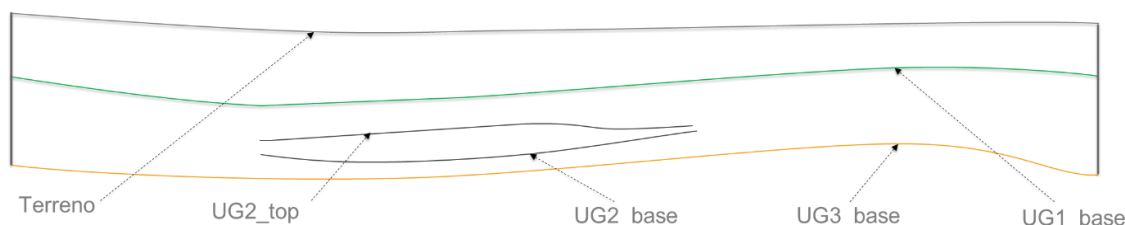


Figura 12. Pestaña Strata y opciones posibles para elección de superficies a generar de cada estrato

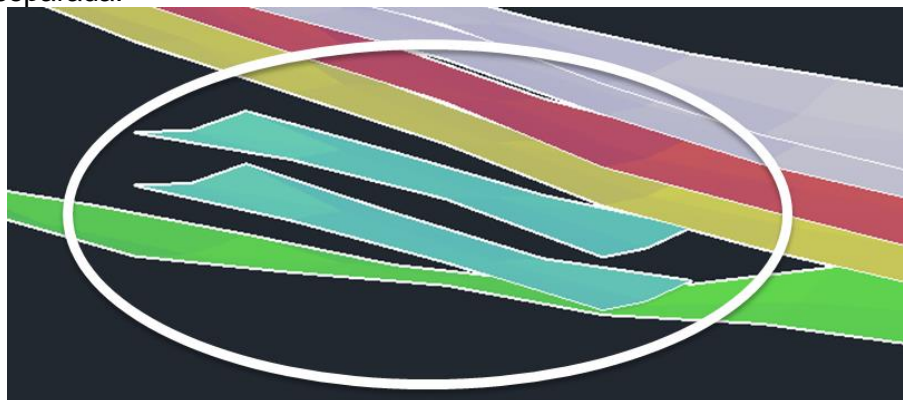
Es esencial optimizar la elección de superficies a usar. Para ello se recomienda seguir estas recomendaciones:

- Desarrollar el modelo siempre desde la base hasta superficie para facilitar la posterior generación de los sólidos 3D que permitan definir cada uno de los estratos
- El único caso en el que se necesita usar tanto la superficie Top y Base es para el modelado de lentejones (zonas de terreno que están incrustadas en otro terreno), como es el caso de la UG2 mostrada en la siguiente figura.



*Figura 13. Muestra de las superficies a usar para generar un modelo con estos estratos. Ejemplo*

- En el caso de existir varios lentejones del mismo material, se aconseja nombrarlos con diferentes sufijos para evitar que se unan en una misma superficie y se generen de manera separada.



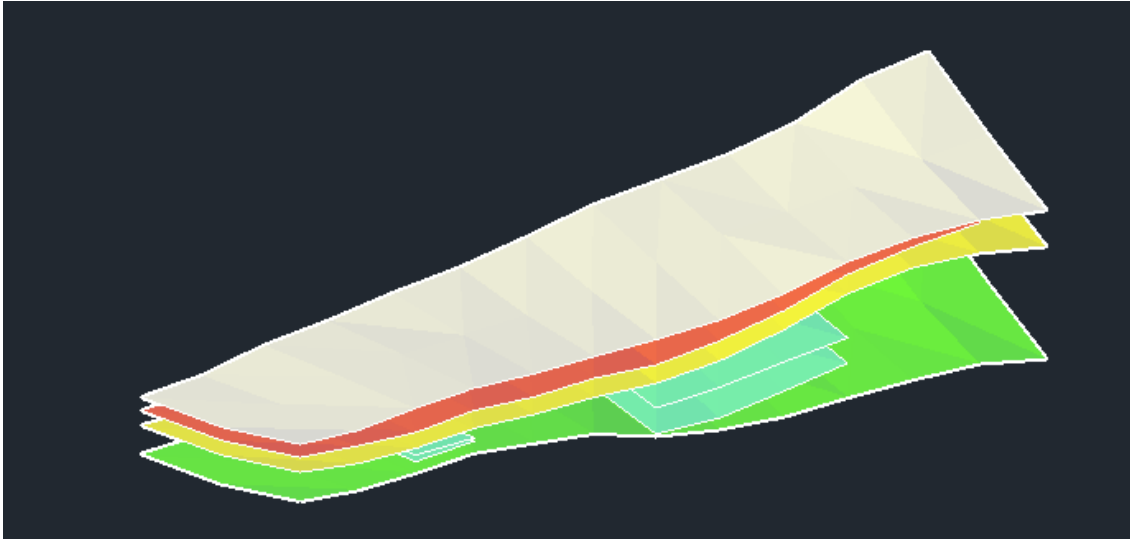
*Figura 14. Ejemplo de superficies para definir lentejones (2) en el modelo*

- La capa superior del modelo geológico será una superficie topográfica que será importada al archivo de Civil del modelo geotécnico de manera independiente. De no hacerlo así, y usar la superficie top del estrato más superficial, la superficie resultante no sería la real del terreno debido a que esta superficie interpola entre los datos geotécnicos de carácter puntual introducido.
- El nivel freático se recomienda generarlo como una superficie independiente en C3D a partir de un listado nube de puntos (x,y,z). Los puntos x,y pueden ser tomados de los sondeos usados, y asignarles la cota Z que deba tener el agua en cada uno de esos puntos.

El resultado final es la generación de las superficies “primitivas” del modelo geológico.



En el ejemplo usado el resultado obtenido sería el siguiente.



*Figura 15. Superficies “primitivas” resultantes a partir de los sondeos implantados en el Geotechnical Module*

## Tratamiento de superficies geotécnicas (refinado y ajustes)

Como se puede ver, el modelo geotécnico primitivo generado en el Geotechnical Module es muy básico, ya que las superficies son muy abruptas dado el reducido número de puntos/datos que se han podido usar para su generación.

Por otro lado, la naturaleza no entiende de líneas rectas y formas poligonales muy abruptas por lo que es conveniente intentar refinar y suavizar estas superficies primitivas procedentes de los datos geotécnicos en bruto introducidos en el módulo geotécnico y tratar estas superficies adecuadamente.

De esta forma, se recomienda usar las herramientas de edición de superficies propias de Civil3D y así poder ajustar las superficies con el objetivo de “naturalizar” los contactos y que éstos sean menos abruptos y más realistas.

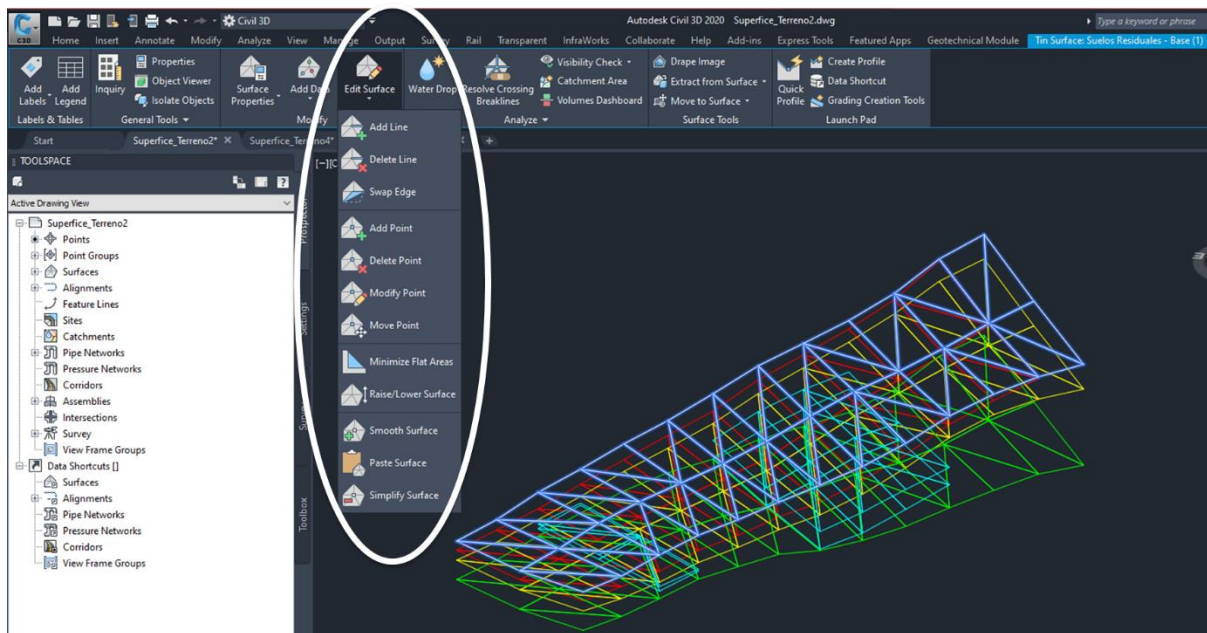
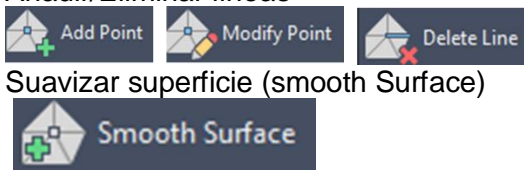


Figura 16. Opciones de edición de superficies y visualización "wireframe" de Superficies "primitivas" del modelo

Dentro de las opciones posible de edición cabe destacar:

- Añadir/Editar/Mover/Eliminar puntos
- Añadir/Eliminar líneas
- Suavizar superficie (smooth Surface)



Con estas alternativas, se puede realizar estos ajustes necesarios para dar sentido geológico al modelo. La opción de suavizar superficies, es de las más útiles para "naturalizar" las superficies.

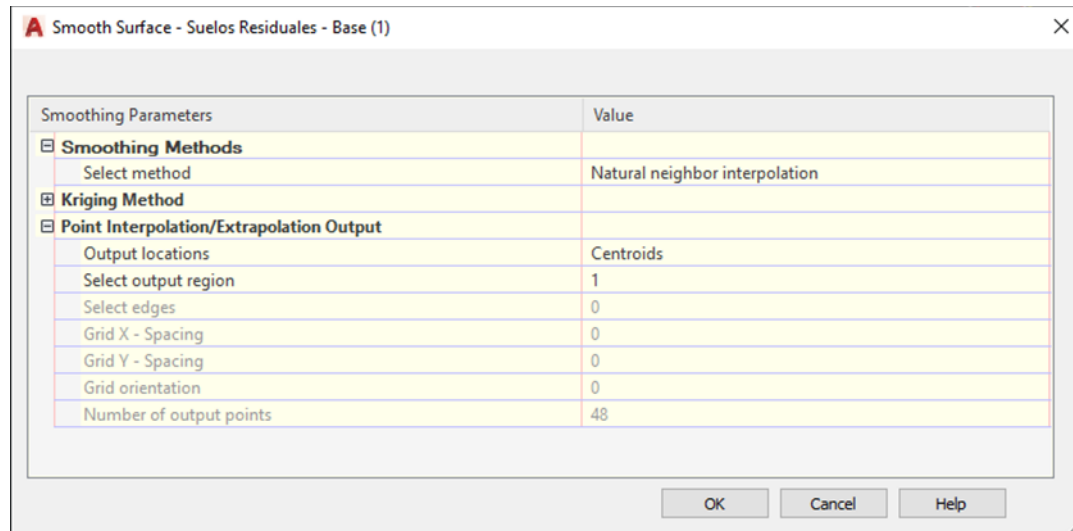


Figura 17. Cuadro diálogo para suavizar superficies.

Una vez realizados los ajustes requeridos, se obtienen unas superficies más refinadas.

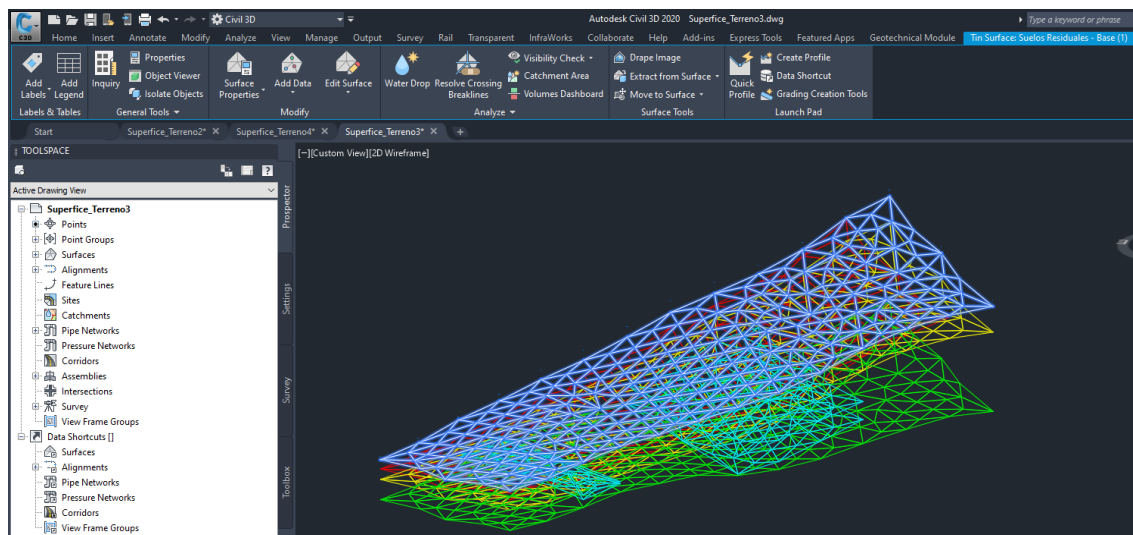


Figura 18. Superficies "refinadas" resultantes del modelo geotécnico

Un problema recurrente, es el hecho de que, a mayor refinamiento, mayor complejidad de la superficie y por tanto mayor peso de los archivos. Encontrar un equilibrio entre refinamiento de estas superficies y capacidad computacionales de los equipos con los que se trabaja es esencial para que sea manejable la realización de modelos geotécnicos.

## Generación de los volúmenes (Sólidos 3D) - Estratos terreno

Una vez se dispone de las superficies de los estratos refinadas, se procede a desarrollar los sólidos 3D que definan las unidades geotécnicas del modelo.

La forma de realizar este proceso adecuadamente es generando los sólidos desde la base del modelo hasta la superficie mediante la herramienta de C3D denominada “Extract Solid from Surface”

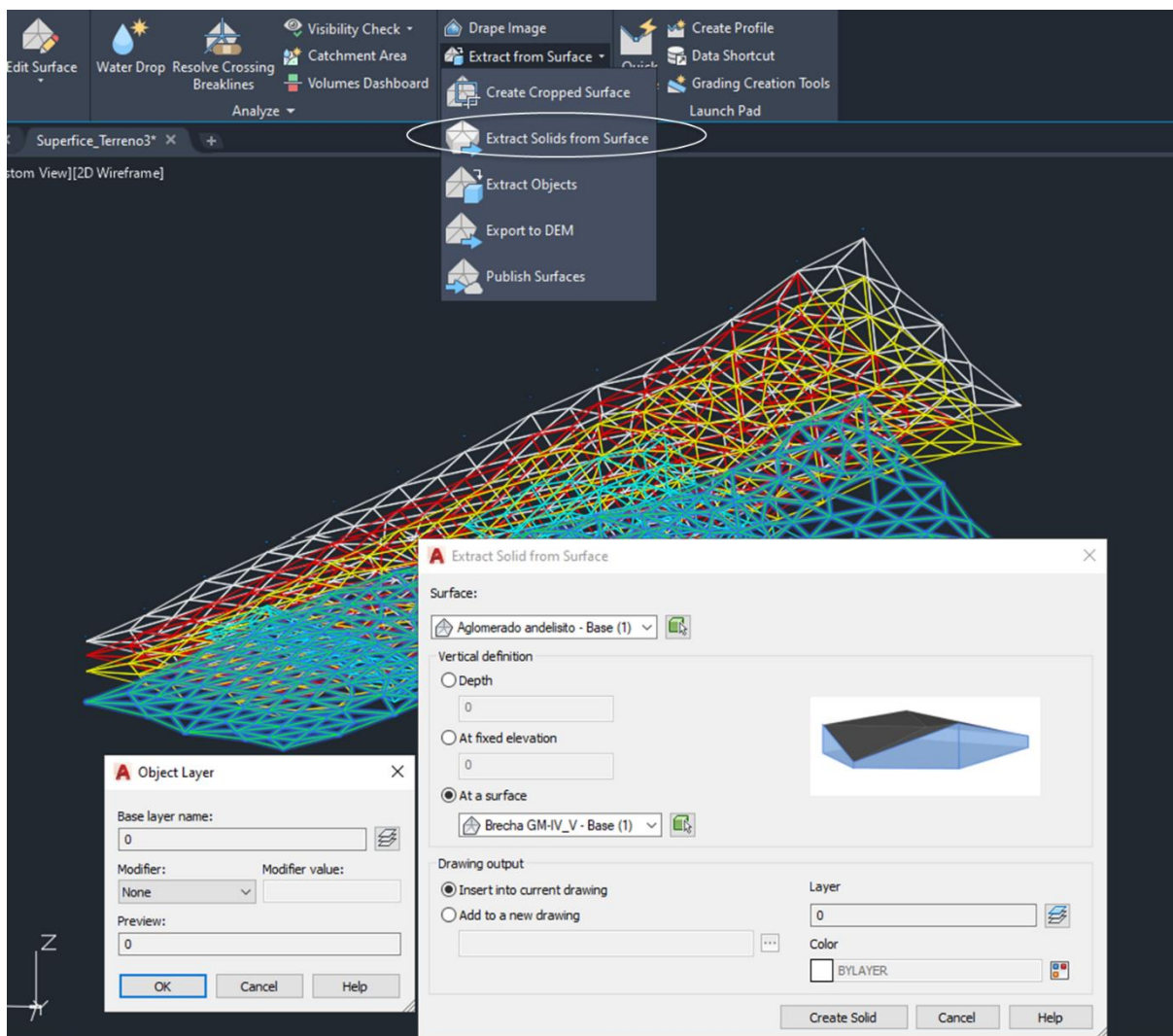
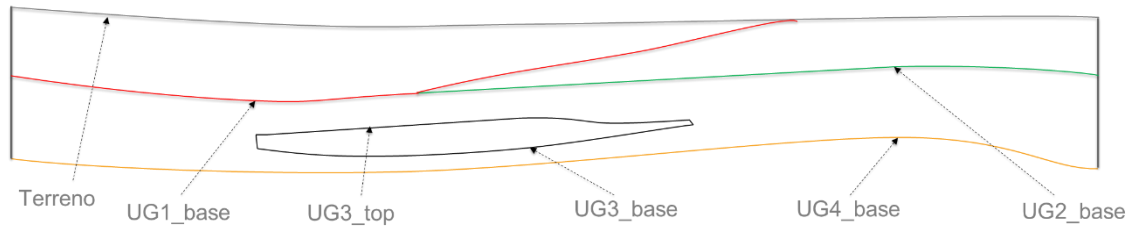


Figura 19. Superficies “refinadas” resultantes del modelo geotécnico

Dada la complejidad y distribución de los estratos (lentejones, discontinuidades...), en ocasiones es necesario ayudarse de sólidos auxiliares y realizar operaciones booleanas (sumas, intersecciones, restas...) para añadir o sustraer sólidos y poder generar los sólidos 3D definitivos.



Vamos a ver unos ejemplos prácticos que suelen darse con mucha frecuencia a la hora de generar estos estratos.



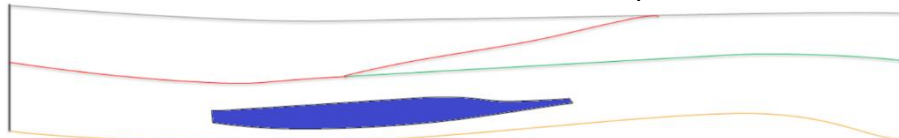
*Figura 20. Ejemplo de perfil de superficies del que generar los sólidos 3D de cada estrato*

- Generar Sólidos UG4 y UG3:

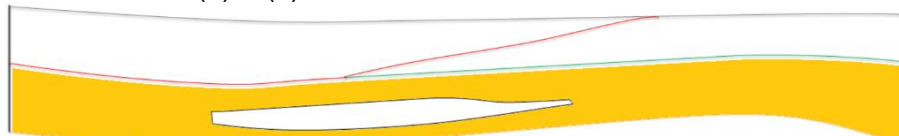
1. Extract Solid from Surface UG4\_base to UG2\_Base



2. Extract Solid from Surface UG3\_base to UG3\_top -> Solid 3D UG3



3. Subtract Solid (1) – (2) -> Solid 3D UG4

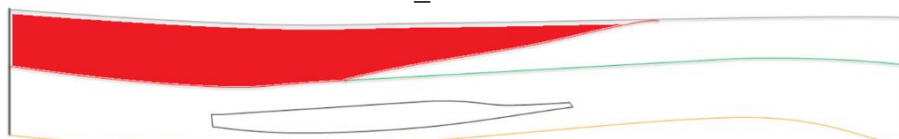


- Generar Sólidos UG2 y UG1:

1. Extract Solid from Surface UG2\_base to Terreno

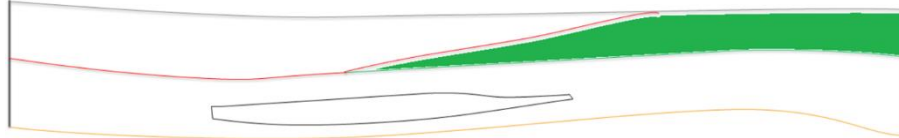


2. Extract Solid from Surface UG1\_base to Terreno -> Solid 3D UG1

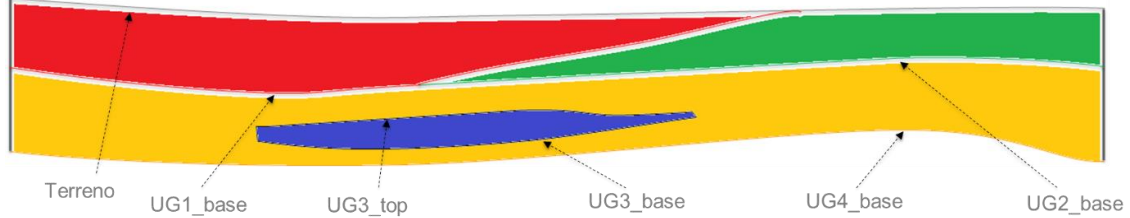




3. Subtract Solid (1) – (2) -> Solid 3D UG2

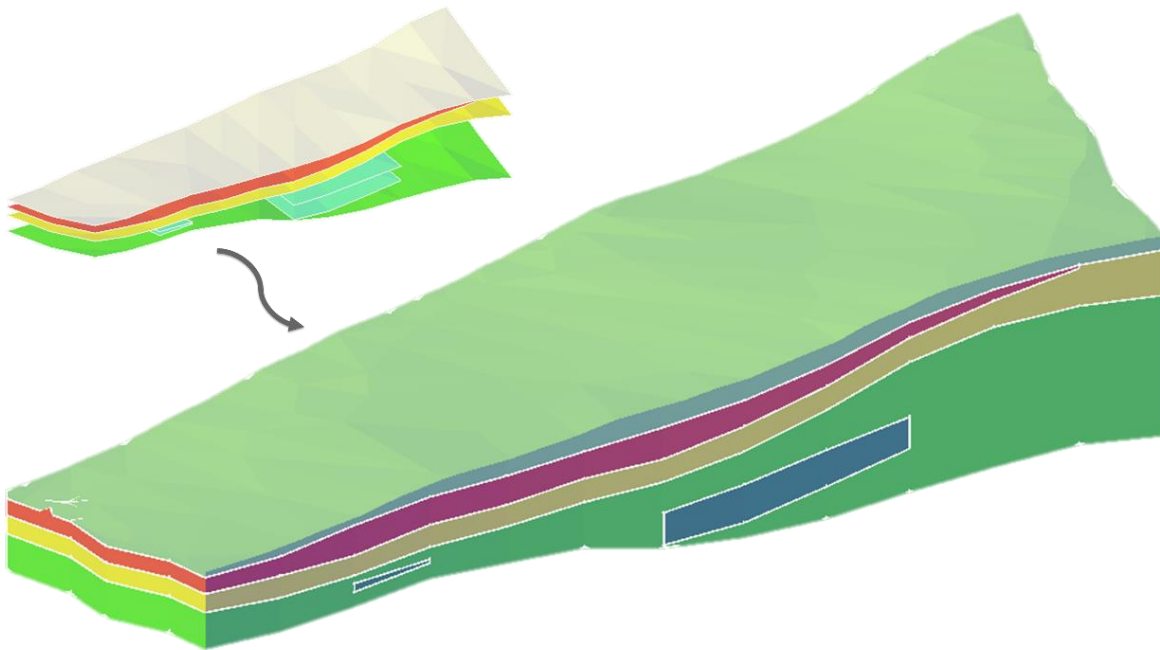


- Resultado final del modelo



*Figura 21. Ejemplo - Sólidos 3D de cada estrato generados*

Realizado este mismo tipo de operaciones y comandos anteriormente explicados, podemos generar los estratos del modelo geotécnico



*Figura 22. Resultado - Sólidos 3D de cada estrato del modelo geotécnico*

## Implementación de información geotecnia al modelo 3D

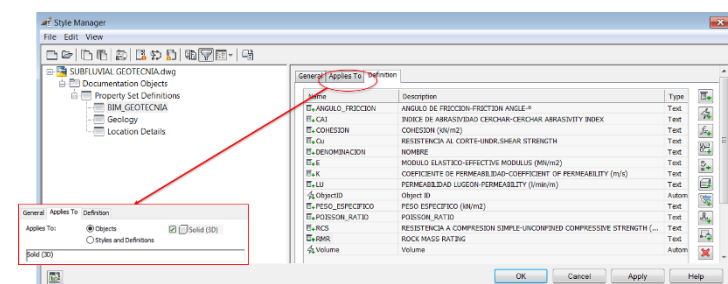
Tras definir geométricamente el modelo 3D geotécnico del proyecto, el siguiente paso es configurar los Property Sets que genera automáticamente el Módulo de Geotecnia para así poder incluir algún parámetro adicional y la configuración de exportación a IFC.

Los Property Sets que genera automáticamente el Módulo de Geotecnia son los Location Details y Geology

Para introducir la información geotecnia de cada estrato y sus características geomecánicas más relevantes, hay que añadir un nuevo elemento dentro del Property Set (Style Manager).

Se puede denominar “BIM\_GEOTECNIA” y así poder asignar a las superficies los parámetros correspondientes.

Se generarán los parámetros en la plantilla del proyecto, y se dispondrá de una lista base de parámetros en el archivo de Excel de proyecto que iremos incorporando a los objetos y a los archivos del proyecto.



PARÁMETRO GEOTÉCNICO	SIMBOLOGÍA	SI UNIT
ROCK MASS RATING	RMR	----
Peso específico	g	kN/m3
Resistencia a compresión simple	RCS	MPa
Ángulo de fricción	f	(°)
Cohesión	c'	kN/m2
Resistencia al corte	cu	kN/m2
Módulo elástico	E	MPa
Poisson Ratio	u	----
Índice de abrasividad Cerchar	CAI	----
Permeabilidad	k	m/s
Permeabilidad (Lugeon)	L.U.	l/min/m

Figura 23. Property Set (Style Manager) – Definición de un nuevo set de propiedades geotécnicas

Para asignar los parámetros a cada estrato, se ha de seleccionar manualmente, yendo a la pestaña de Extended Data de Navegador de C3D, y pinchando en el icono inferior para así poder añadir el Property Set creado para tal fin.

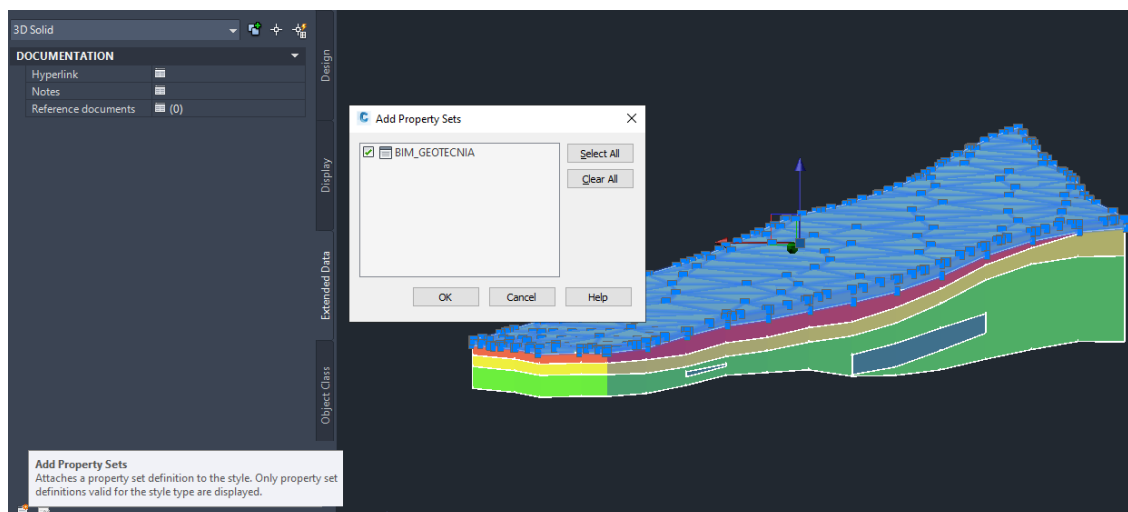


Figura 24. Asignar el Property Set creado con las características geomecánicas a cada estrato del modelo

Una vez añadido, aparecerán disponibles todos los parámetros en dicha ficha y se procederá a rellenar los parámetros asociados a cada uno de los estratos del modelo.

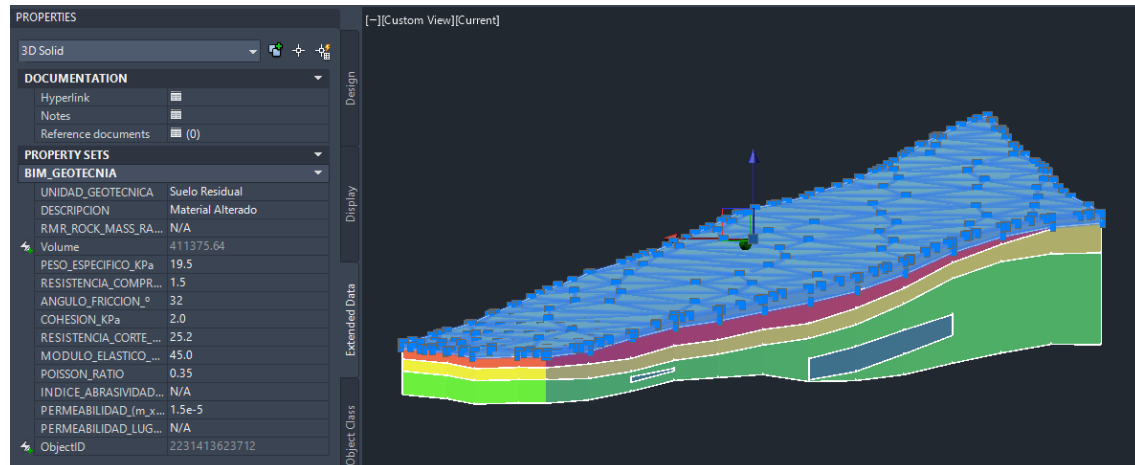


Figura 25. Resultado y visualización de las características geomecánicas asignadas a cada estrato del modelo

El resultado de los modelos de geotecnia se exportará en 2 archivos independientes, uno para los sondeos y otro para los estratos con la información gráfica y los metadatos asignados. Estos modelos se compartirán con el resto de disciplinas para que formen parte del Modelo Federado General del proyecto.

Adicionalmente, desde C3D o Navisworks, se puede añadir como base de datos, mediante el uso de hyperlinks, el registro e información geotécnica de los sondeos, y los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio realizados. De esta forma poder dejar constancia y trazabilidad de los datos de partida usados para la generación del modelo y de la caracterización geotécnica realizada.

Finalmente, se exportarían ambos modelos en formato IFC. El resultado es un modelo en Navisworks, u otro visualizador, en el que se pueden consultar los datos geotécnicos que hemos introducido a través de los distintos archivos Excel usados (sondeos y parámetros) y la base de datos geotécnica de referencia.

## Flujos de trabajo - Creación modelo geotécnico 3D

A modo de resumen, y tras los apartados anteriormente explicados, el flujo de trabajo para generar un modelo BIM geotécnico 3D se muestra a continuación:

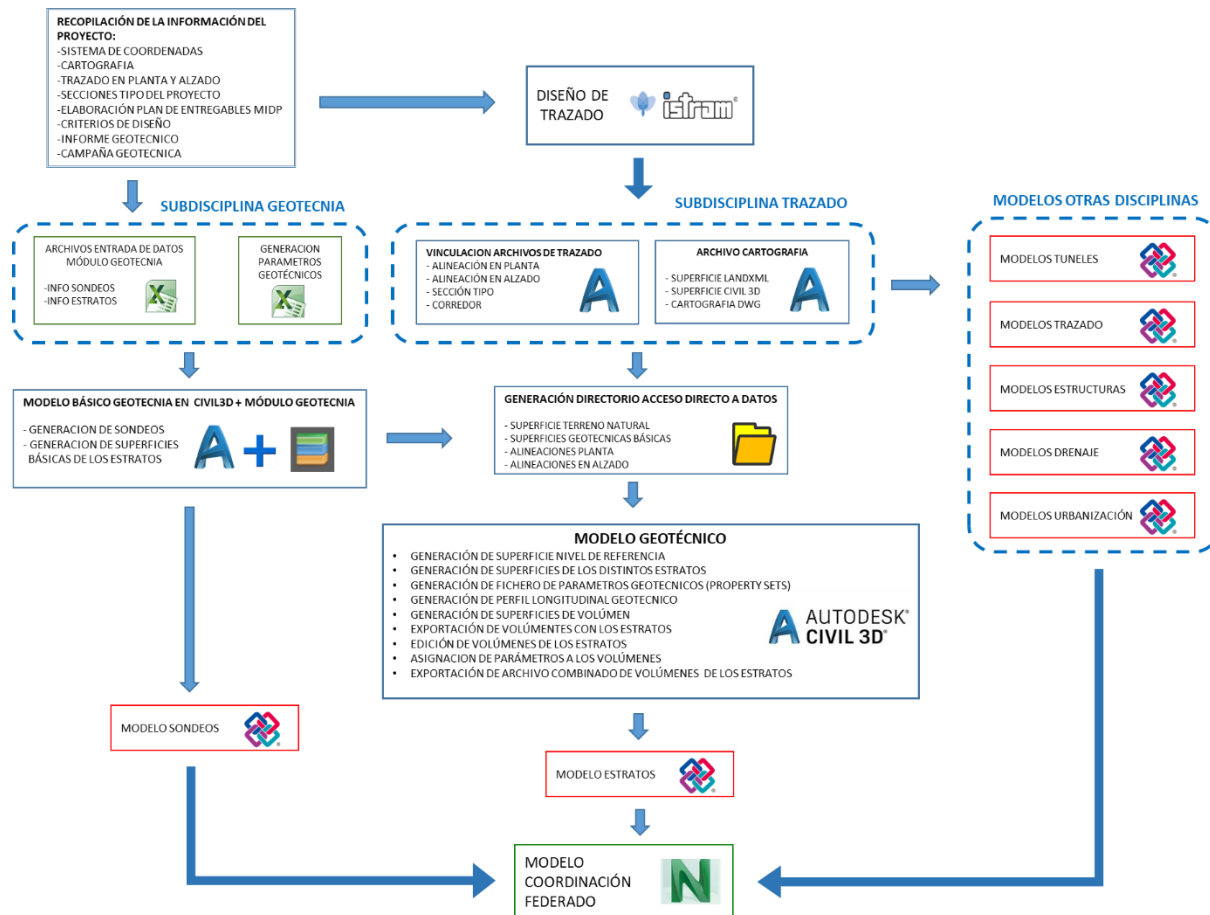
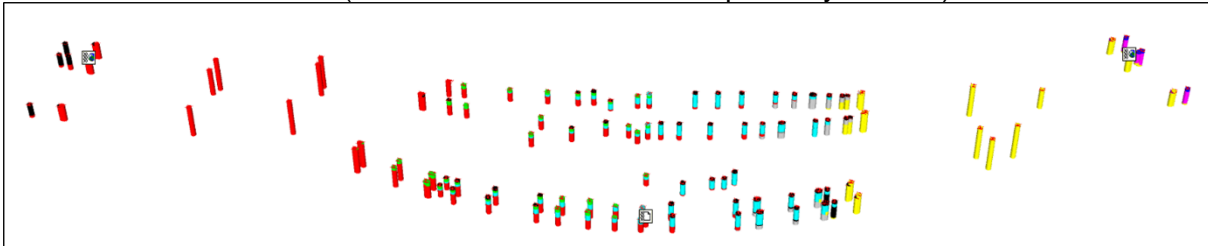


Figura 26. Flujo de trabajo y esquema del proceso de generación de un modelo BIM geotécnico.

## Ejemplo práctico de generación de modelo geotécnico en un proyecto de túnel.

Aplicando los mismos principios y operaciones realizadas en el ejemplo de esta clase, se ha llevado a cabo una prueba en un proyecto de mayor envergadura, donde finalmente se termina generando los 2 modelos con información geotécnica.

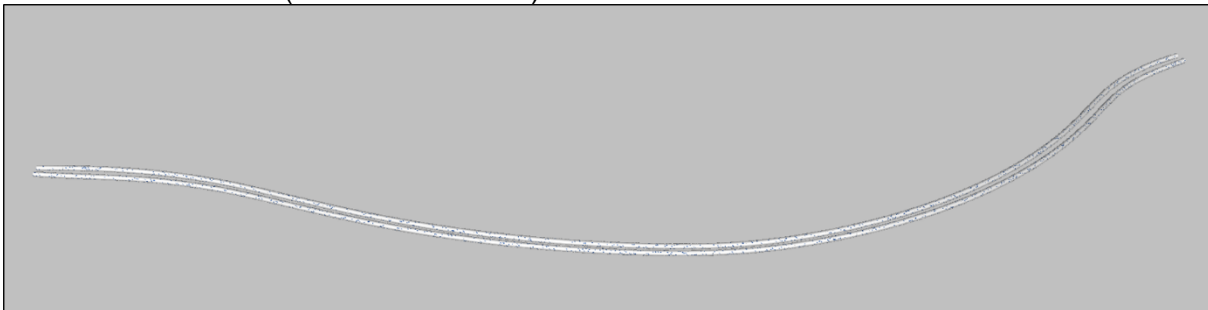
- Modelo de los sondeos (reales con la información de partida y ficticios)



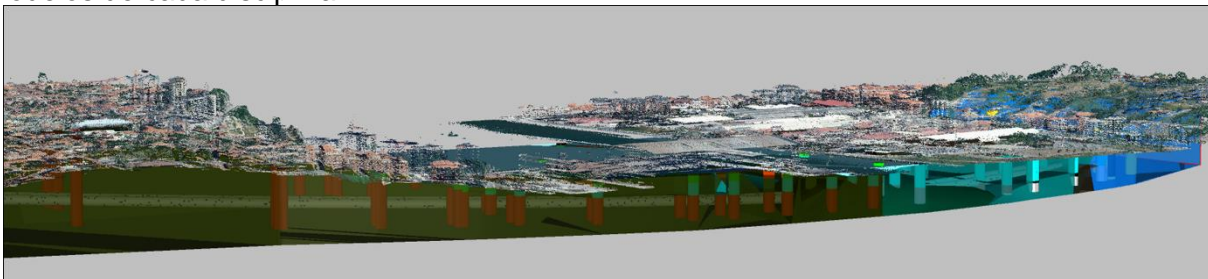
- Modelo geotécnico 3D con los estratos del terreno y sus propiedades geomecánicas.



- Modelo de trazado (túnel en este caso).



Resultando el siguiente modelo BIM federado (Navisworks), donde se han incluidos todos los modelos de cada disciplina.



*Figura 27. Modelo federado (Navisworks) de un proyecto de túnel incluyendo el modelo geotécnico y los sondeos*



## Conclusiones

- Geotechnical Module de Civil 3D es una herramienta muy útil para generar un modelo geotécnico 3D
- Se requiere un detallado procesamiento de datos e información geotécnica para preparar el Data Set a usar para generar el modelo (sondeos a importar en el plug-in).
- Es esencial que intervenga un geólogo experto en la generación del modelo para aportarle el adecuado sentido técnico y que el modelo sea representativo de la geología de la zona del proyecto.
- Inconvenientes: no es sencilla la incorporación de nuevos datos al modelo y requiere el reprocesado de todas las superficies y generación de nuevos sólidos 3D. Hay que explorar alternativas y soluciones para mejorar ese flujo de trabajo y hacer que sea más dinámico la actualización de los modelos geotécnicos generados mediante este método y evitar este re-trabajo en fases de proyecto posteriores e en obra.
- Genera gran valor en proyectos y especiales en los de obras de subterráneas.
- Se permite una interacción y ayuda a la toma de decisiones en fases iniciales de proyecto de índole geológico-geotécnico.
- Se mejora la coordinación entre disciplinas y proporciona toda la información geotécnica del proyecto al estar toda ella incorporada en el modelo BIM resultante.
- Se recomienda intentar pedir al sondista/empresa geotécnica encargada de realizar la campaña geotécnica del proyecto que genere un archivo ACS con estos datos. Ello supondrá un ahorro de tiempo sustancial de procesamiento de datos y preparación del archivo de entrada. Una opción a recomendar es incluir en la especificación técnica y oferta a empresa sondista especializada estos requisitos en los entregables que hagan).
- A mayor refinamiento mayor complejidad de la superficie y mayor peso de los archivos. Hay que encontrar un equilibrio entre refinamiento y capacidad computacional de los equipos con los que se trabaja para que sea manejable la realización de modelos geotécnicos.
- Un aspecto relevante es el tamaño del modelo geotécnico. Al igual que otros modelos BIM como puede ser un túnel o un puente, es conveniente partir los modelos en tramos para que su manejo sea asequible por el usuario y el equipo informático que dispone. Esto conlleva a particiones de tamaños no superiores a 2-4 km máx en función del equipo que se use y de la complejidad geotécnica del modelo (no es lo mismo un modelo simple y horizontal de una zona como la geología de una ciudad como Londres, que la complejidad de una geología volcánica como la de Guadalajara (México) donde hay una variabilidad de estratos y lentes elevadas).
- Incorporar todo tipo de información geotécnica al modelo (tanto a los sólidos generados como a los sondeos usados).

A modo de resumen final destacar que lo que se intenta explicar en esta clase ha sido la forma de generar un modelo geotécnico (no geológico) donde se identifiquen las diferentes unidades y estratos como sus parámetros geotécnicos. Y así, poder compartir esta información con las demás disciplinas (puentes, para el cálculo de las cimentaciones, túneles para el cálculo de los revestimientos primario y secundario, drenaje para el cálculo de infiltraciones y dimensionamiento de los sistemas de drenaje en estructuras subterráneas, trazado para el análisis de material de excavación y posible aprovechamiento o transporte a vertedero...)

En fase de obra, este modelo se puede seguir actualizando, y en fase de explotación, esta información puede resultar no ser tan esencial, pero sí que puede ser de gran utilidad para identificar algún problema (filtración, deformación en estructuras) y poder analizar si el terreno en esa zona puede tener influencia o ser el origen de dicho problema.