



# Modelos geológicos en 3D de la isla de Tenerife

Ilazkiñe Iribarren Rodríguez

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) i a través del Dipòsit Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) y a través del Repositorio Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service and by the UB Digital Repository ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



# MODELOS GEOLÓGICOS EN 3D DE LA ISLA DE TENERIFE

*Itzkiñe Iribarren Rodríguez*

Programa de Doctorado de Ciencias de la Tierra

Departamento de Geodinámica y Geofísica

Universitat de Barcelona

**Joan Martí Molist**  
*Director*

**Joan Manuel Vilaplana**  
*Tutor*



Barcelona 2014

## Capítulo 4

# METODOLOGÍA

El proceso general de este trabajo se inició con una revisión bibliográfica de los estudios de geología y geofísica existentes sobre la isla de Tenerife. De esta forma situamos el punto de partida de este trabajo en los avances científicos que se han dado hasta la actualidad sobre el tema principal de nuestro estudio que es la determinación de la estructura geológica interna de la isla y su relación con los riesgos volcanológicos.

Antes de comenzar a modelizar, fue necesario preparar los datos de entrada siguiendo unas pautas que se indican a continuación. Empezando por la geología del subsuelo, lo primero fue obtener los ficheros de ubicación y topología de las galerías y pozos en SIG (formato shapefile, tipo .shp) así como las fichas que recogen las descripciones geológicas de las perforaciones. Estas fichas se encuentran en formato analógico de papel y fue preciso hacer copias de las originales. Todo este material fue proporcionado por el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF).

Para poder fusionar estos datos (las descripciones y la topología de las perforaciones) hubo que definir las unidades volcano-estratigráficas con las que se iba a trabajar. Esto se hizo en base a criterios volcano-estratigráficos (ver Tablas 2.2 y 2.3) y de forma que fuesen un número de unidades manejables a escala de toda la isla. Se creó una base de datos (en el programa Excel, tipo .xls) para los pozos y otra para las galerías; éstas debían contener la información topológica, de localización y unidades geológicas a lo largo de la traza. Así tendremos las perforaciones asociadas a la geología en dos formatos: 1) En SIG (shapefile) para su visualización en 2D y 3D a través de ArcMap y ArcScene, respectivamente. 2) En Excel como una base de datos adaptable para su importación en otros softwares. (Figura 4.1)

Tanto ArcMap como ArcScene son componentes principales de ArcGis®, conjunto de programas de procesamiento geoespacial de Esri, que se utilizan sobre todo para ver, editar, crear y analizar datos geoespaciales. ArcMap está centrado en la creación de mapas, mientras que ArcScene está destinado a la visualización en 3D. Los datos en formato shapefile se tratan y proyectan, por lo tanto, con estos programas.

Antes de pasar a la modelización, fue conveniente cotejar la coherencia de los datos geológicos del subsuelo visualizándolos en conjunto con la topografía y la geología de superficie. Era un aspecto importante para asegurarnos de que la información que íbamos a seguir manejando fuese congruente.

Una vez se tuvo la información geológica digitalizada y en la base de datos, el siguiente paso fue introducirla en el programa de modelización. Se utilizaron dos paquetes de software: RockWorkos14 y 3D Geomodeller. (Figura 4.1)

RockWorks14 es una versión del programa que pertenece a la insignia RockWare®, siendo uno de los estándares usado en las industrias del petróleo, geotecnia y minería para visualización de datos del subsuelo. Permite visualizar mapas, registros de sondeos, secciones transversales, diagramas tipo fence, modelos sólidos y volumetría.

Geomodeller™ es una herramienta de software para el modelado geológico 3D que pertenece a Intrepid Geophysics®, empresa dedicada al desarrollo de software y servicios para empresas destinadas a los recursos terrestres e industrias geotécnicas, y que fue inicialmente desarrollado por el BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Francia).

Hay que destacar que ambos programas están diseñados para su aplicación en minería, petróleo y geotecnia. Sin embargo, el uso que se le va a dar en este trabajo es algo particular, principalmente porque el terreno a tratar es volcánico, implicando esto una estratigrafía totalmente distinta a la de terrenos sedimentarios. Tras diferentes pruebas, se decidió hacer uso del 3D Geomodeller como herramienta principal, ya que se adaptaba mejor a los objetivos del trabajo que desarrollamos.

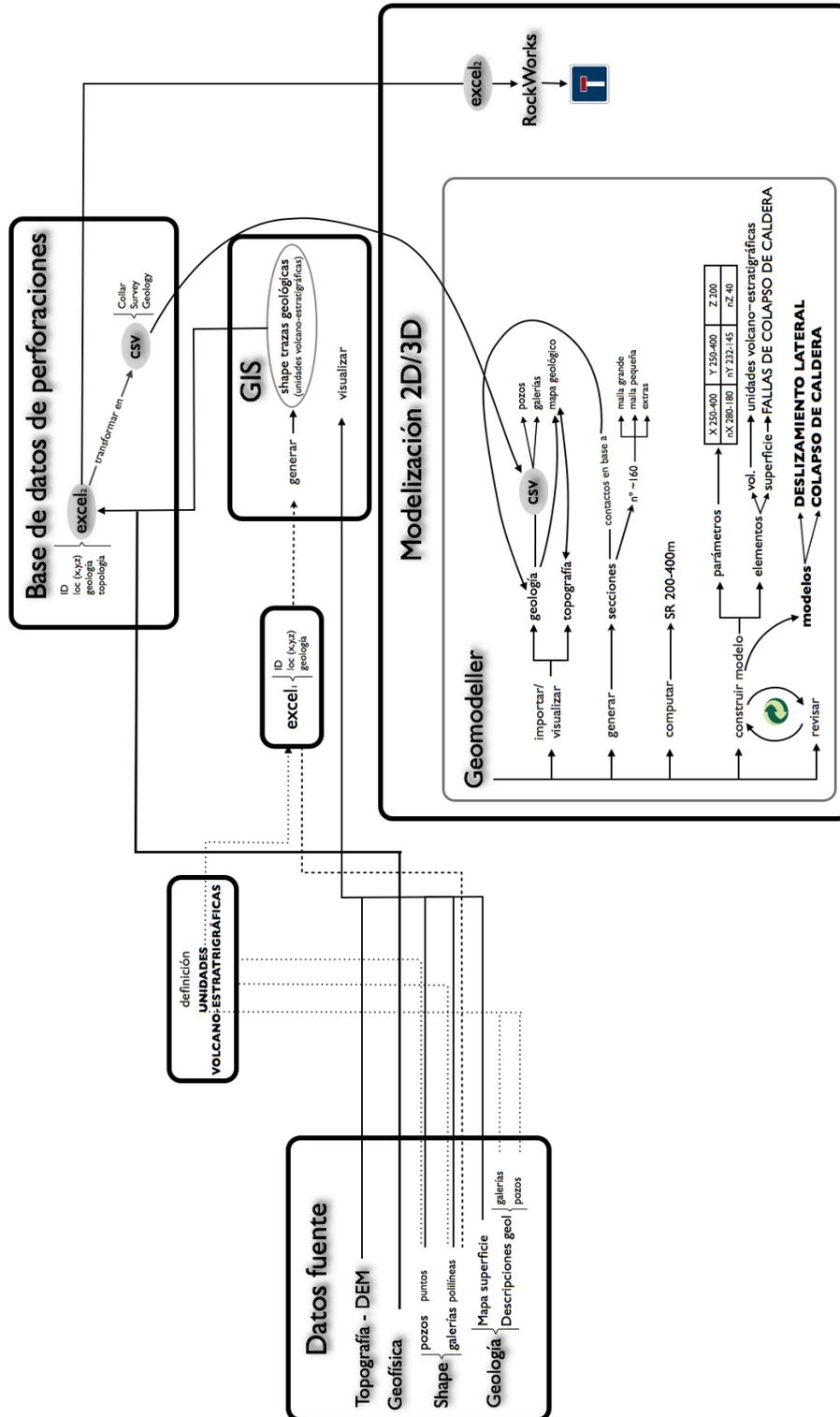


Figura 4.1 Diagrama de proceso de construcción de los modelos

## **4.1 BASE DE DATOS**

---

La base de datos está diseñada como tránsito entre las descripciones geológicas del subsuelo aportadas por el CIATF y los archivos con formato específico de las perforaciones a importar en los software de modelización geológica. Se trata de tablas en las que se recoge la información de las perforaciones (topológica, geológica y geográfica entre otras). Dado que las excavaciones se pueden clasificar según pozos y galerías, cuya topología es totalmente distinta, se realizaron ficheros específicos para las perforaciones verticales y las horizontales de forma individual.

Se exportaron con ArcMap las tablas de atributos correspondientes a cada uno de los ficheros shapefile (pozos y galerías). En estas tablas, se recogió información tal como nombre de la obra, código, número de ramales, longitud, coordenadas de inicio, municipio,... (para más información ver capítulo de presentación de los datos). Tras cotejar los datos de las tablas de atributos, se obtuvo un registro total de 2123 ramales de galerías, que vienen a ser 1053 galerías en total y 400 pozos.

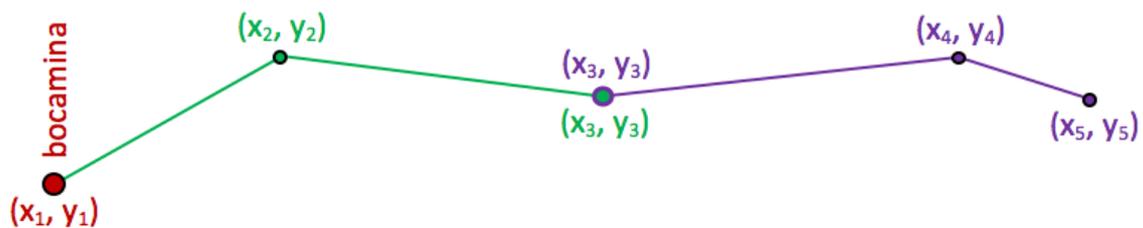
Las columnas básicas de las que deben constar las bases de datos de las perforaciones para su posterior importación en software de modelización son:

- ✓ Identificación de la perforación
- ✓ Localización, coordenadas de inicio de la perforación (x,y,z)
- ✓ Topología (longitud, azimut y orientación) de la perforación
- ✓ Registro geológico

La identificación de las obras se basa en los códigos de las perforaciones. En el caso de los pozos no se requiere ningún cambio. Las galerías, al ser obras que se ramifican, necesitan una identificación por cada ramal que haga referencia a su vez a la galería que pertenecen. La solución que se le dio a esto fue combinar el código de la obra con el número del ramal. Esto es totalmente válido para la base de datos y para su uso en ArcGis, sin embargo hubo que volver a renombrar las galerías para su importación en 3D Geomodeller, ya que los 11 dígitos resultantes de la combinación del código de obra y ramal resultaban problemáticos.

Las coordenadas de inicio de las perforaciones están contenidas en la tabla de atributos de los archivos shapefile. (ver capítulo 3.1.1 Geometría: archivos shapefile)

Siendo las galerías perforaciones de unos 2x2 m (alto x ancho) dentro de una isla que mide unos 75x30 km, se podría simplificar la geometría de estas perforaciones en líneas, objetos unidimensionales. Con lo cual, la representación de la geología sobre estas líneas, vendrá acotada por cifras que indiquen longitud (o profundidad) a lo largo de su traza. Además, en referencia a la topología de las perforaciones, como ya se apuntado antes, se diferencia entre los pozos y las galerías. Para los pozos la perforación es vertical, con lo que la orientación tendrá un valor constante 0 y el azimut será igualmente constante indicando una dirección vertical que avanza hacia abajo. La topología de las galerías se calculó a partir de los puntos que forman las polilíneas. En la Figura 4.2 se muestra un esquema de la traza de una galería que atraviesa dos unidades volcano-estratigráficas distintas.



**Figura 4.2:** Ejemplo de coordenadas de una galería con tramos de diferentes unidades volcano-estratigráficas

El cálculo de la dirección de la galería se realizó en base a la siguiente fórmula del Excel:

“= SI (prueba lógica; valor si verdadero; valor si falso)”

Donde,

**A:**  $x_1 - x_0 > 0$

**B:**  $\gamma = 90 - \alpha = 90 - \text{GRADOS}(\text{ATAN}((y_1 - y_0):(x_1 - x_0)))$

**C:**  $\gamma = 270 - \alpha = 270 - \text{GRADOS}(\text{ATAN}((y_1 - y_0):(x_1 - x_0)))$

Siendo la fórmula final ésta:

= SI( $x_1 - x_0 > 0$ ;  $90 - \text{GRADOS}(\text{ATAN}((y_1 - y_0):(x_1 - x_0)))$ ;  $270 - \text{GRADOS}(\text{ATAN}((y_1 - y_0):(x_1 - x_0)))$ )

A esta información básica hubo que añadirle la geología que se describe en las fichas analógicas del CIATF de una forma esquemática. Esta simplificación o síntesis

de la geología tenía la dificultad añadida de estar basada en descripciones geológicas realizadas por diferentes técnicos y en periodos de tiempo distintos, por lo que los criterios no son totalmente uniformes. Hubo que definir las unidades geológicas en base a criterios volcano-estratigráficos, estando enfocadas a un fácil manejo para la importación en sistemas de referencia geográfica y modelización geológica. Por lo que se trabajó principalmente con grupos, aunque también se incluyeron formaciones cuando éstas no estaban representadas por los grupos principales. Las unidades y abreviaturas (GCOD) que se utilizaron se explican a continuación.

**SANT** (Series Antiguas): comprende a las series basálticas antiguas del complejo de escudo basáltico (Anaga, Teno y Roque del Conde).

**DANT** (Dorsal Antigua): dentro del complejo de escudo basáltico recoge los materiales más antiguos del volcanismo basáltico reciente que se registra en los dos rifts y zona extensional del Sur (Dorsal NE, NW y zona volcánica Sur)

**DREC** (Dorsal Reciente): se trata de la exposición más reciente del complejo de escudo basáltico y engloba los materiales más recientes del volcanismo basáltico reciente de las tres zonas extensionales (Dorsal NE, NW y zona volcánica Sur)

**CANA** (Cañadas): engloba a los grupos de Cañadas inferior y superior del complejo central.

**TPV** (Teide-Pico Viejo): hace referencia a la formación Teide-Pico Viejo, la exposición más reciente del complejo central.

**MORG** (Mortalón Güímar): depósito de avalancha del valle de Güímar

**MORI** (Mortalón Icod): depósito de avalancha del Valle de Icod

**MORO** (Mortalón La Orotava): depósito de avalancha del Valle de La Orotava

Las unidades de Tenerife se recogen en la Tabla 2.3, sin embargo debemos tener en cuenta que la información geológica del subsuelo está principalmente basada en las series que definió Fúster (1968), por lo que hubo que establecer una correspondencia entre ambos sistemas de unidades. (ver Tabla 4.1)

<b>FÚSTER et al 1968</b>	<b>En este trabajo</b>	<b>Descripción</b>
<b>SERIE I</b>	SANT	Series Antiguas del escudo basáltico
<b>SERIE II</b>	DANT	Parte antigua de las dorsales (escudo basáltico)
	CANA	Base de Cañadas (Lower Group)
<b>CAÑADAS</b>	CANA	Cañadas (Upper Group)
<b>SERIE III</b>	TPV	Teide-Pico Viejo
	DREC	Parte intermedia de las dorsales (escudo basáltico)
<b>SERIE IV</b>	DREC	Volcanismo histórico (escudo basáltico)
<b>Mortalón</b>	MORO	Depósito de avalancha de La Orotava
	MORI	Dep. avalancha de Icod
	MORG	Dep. avalancha de Güímar

*Tabla 4.1 Correspondencias entre las unidades definidas por Fúster (1968) y este trabajo.*

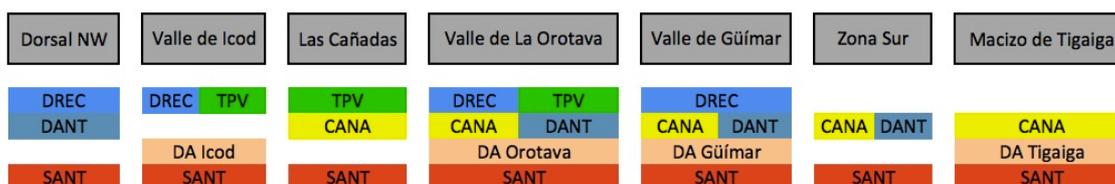
Para el cometido de registrar la geología sobre las trazas lineales de las galerías y pozos, se añadieron en la tabla de la base de datos 3 columnas nuevas: GSTART, GEND, GCOD. La síntesis de esta base de datos está recogida en el Apéndice (página 209).

**GSTART:** Indica la longitud de la perforación (siendo el valor 0m la superficie topográfica) a la que se comienza a registrar una unidad volcano-estratigráfica.

**GEND:** Indica la longitud de la perforación a la que se finaliza el registro de una unidad volcano-estratigráfica.

**GCOD:** Indica con siglas la unidad volcano-estratigráfica que se registra en el tramo.

Dada la extensión del área de trabajo y la dispersión heterogénea de los materiales volcánicos, las columnas volcano-estratigráficas muestran diversidad según el área en que nos centremos. (ver Tabla 4.2)



**Tabla 4.2** Columnas estratigráficas de distintas zonas de la isla de Tenerife.

**DREC** Dorsal reciente; **TPV** Teide-Pico Viejo; **DANT** Dorsal antigua; **CANA** edificio Cañadas; **DA Icod** Depósito de avalancha de Icod; **DA Orotava** Depósito de avalancha de La Orotava; **DA Güímar** Depósito de avalancha de Güímar; **DA Tigaiga** Depósito de avalancha de Tigaiga; **SANT** Serie basáltica antigua.

Además de los datos geológicos del subsuelo, se disponía de los datos del estudio de magnetotelúrica (Coppo et al., 2008) que está centrado en la depresión de Las Cañadas del Teide. Hay 199 puntos que indican el z-conductor, el cual se ha interpretado como el contacto entre la Formación Teide-Pico Viejo (TPV) y el Grupo Cañadas (CANA). Al realizar esta conversión se tradujeron los valores de magnetotelúrica (x,y,z-conductor) en pozos verticales dándole una potencia a la unidad Teide-Pico Viejo que fuese desde la z-topográfica hasta la z-conductora y añadiendo un espesor mínimo de la unidad Cañadas después (de 1 m) para que quedase patente el contacto entre ambas unidades.

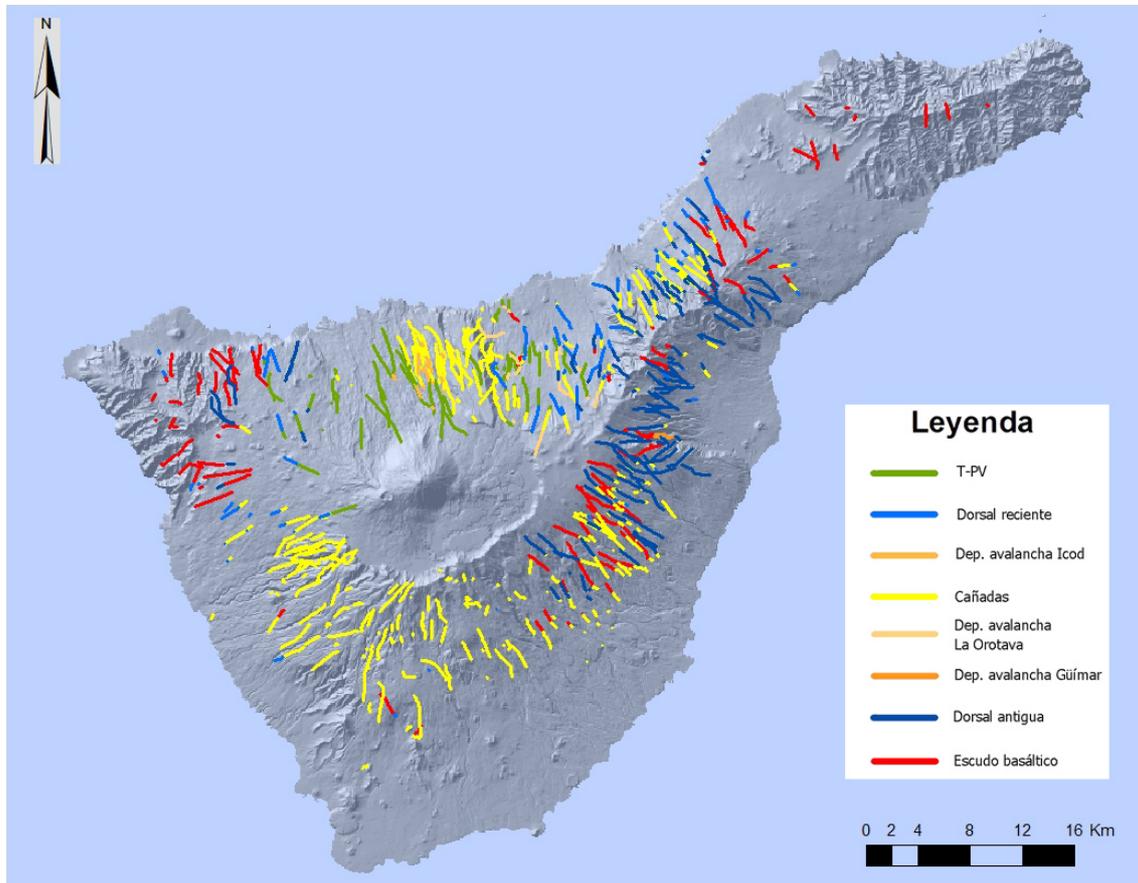
## 4.2 VISTAS 2D, ARCMAP

De la misma forma que se observan las trazas de las galerías en un mapa 2D, es posible visualizar el registro geológico de las galerías sobre la misma traza. Este trabajo se puede hacer con la aplicación ArcMap.

Una vez se cargan el shapefile de las galerías y la tabla Excel que contiene las columnas GSTART, GEND y GCOD se debe hacer un “join” entre ambos. Para cortar

las polilíneas en base a las profundidades del registro geológico se usó un script (A. Felpeto) que considera las longitudes de las columnas de GSTART y GEND.

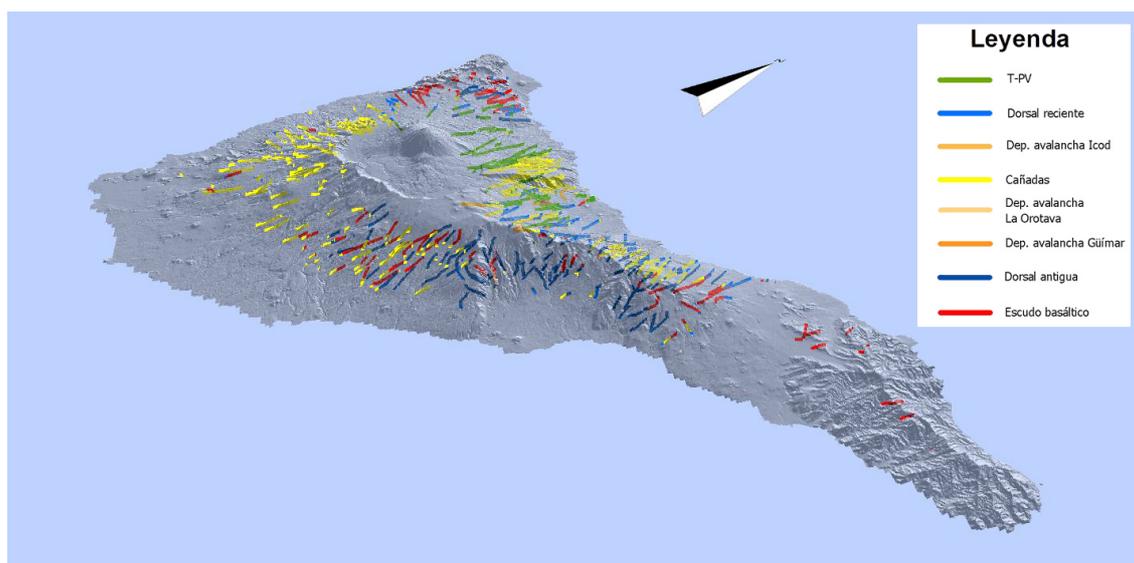
Así se pudo visualizar el cambio de la geología a lo largo de las trazas de las galerías en un mapa. (Figura 4.3)



*Figura 4.3 Mapa de Tenerife con el registro geológico de las galerías representado en ArcMap*

### **4.3 VISTAS 3D, ARCSCENE**

Una primera visualización de la geología de las galerías en 3D se puede realizar por medio de la aplicación ArcScene perteneciente a ArcGis. A través de esta aplicación se pudo ver el registro geológico del subsuelo en la profundidad real a la que se encuentran perforadas las obras en relación a la topografía (Figura 4.4). Pero tanto en ArcMap como en ArcScene no es posible visualizar de una forma sencilla el registro de los pozos, por variar éste en la vertical.



*Figura 4.4 Vista 3D de Tenerife y el registro de la geología de las galerías en ArcScene. La escala vertical está exagerada 1H:1,5V*

## **4.4 EL SOFTWARE DE MODELADO: GEOMODELLER™**

A pesar de existir otros softwares de modelado como podría ser el RockWorks, finalmente nos decantamos por el uso de GeoModeller para la modelización geológica en 3D de la isla de Tenerife. Las herramientas de modelización en 3D principalmente se han aplicado a la industria del petróleo, donde se trabaja con datos sísmicos en 3D. Sin embargo, en la geología clásica, se trabaja con datos dispersos, donde se desconoce qué hay entre las muestras, ya sean éstas mapas geológicos, secciones o perforaciones.

GeoModeller fue desarrollado originalmente por el BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) y ha sido utilizado por servicios geológicos como el IGME obteniendo buenos resultados contrastados en modelos 3D de diferentes dominios geológicos (Gumiel et al., 2009, Cervel y Bernat, 2013). Este software está diseñado para ensamblar en un mismo modelo 3D datos geológicos procedentes de fuentes diversas y asegurar su coherencia geométrica utilizando herramientas geológicas como mapas, cortes geológicos y sondeos, al fin y al cabo datos geológicos en superficie y en profundidad. Los modelos que se obtienen son coherentes y respetan los datos de partida, pudiendo representarlos en mapas geológicos, en secciones o como volúmenes en 3D definidos por superficies obtenidas mediante triangulación (triangulated surfaces). Otras de las ventajas que ofrece el programa son la cómoda

entrada de nuevos datos y que está provisto de una agradable interfaz gráfica que es usada por el geólogo para testear y refinar las interpolaciones realizadas y finalmente construir los modelos 3D. Además de todo lo dicho, el manejo del programa es sencillo y la licencia bastante accesible.

GeoModeller utiliza un método de interpolación geoestadístico de un campo potencial en 3D en función de puntos de contacto geológicos y datos de orientación. Por lo tanto, la determinación 3D de los cuerpos geológicos se realiza mediante un método de interpolación basado en algoritmos de campo potencial, en donde los límites geológicos (contactos) son superficies equipotenciales (isolíneas en 2D e isosuperficies en 3D) y los datos de orientaciones son gradientes de potencial. El campo equipotencial es interpolado por co-kriging de incrementos y sus funciones derivadas (Lajaunie et al., 1997). Siendo el objetivo del programa conseguir que las relaciones geológicas y estructurales que se obtienen en el modelo se aproximen con el mayor rigor posible a la realidad (Gumiel et al., 2010).

Igualmente es importante la definición de la pila estratigráfica que se introduce en el proyecto de GeoModeller, ya que en ella se define la secuencia temporal de las unidades geológicas que se encuentran en el área de proyecto, a la vez que se define la relación de yacencia que muestran entre sí (normal o erosiva). Excepto en algunos casos sedimentarios, los cuerpos geológicos no se presentan en toda el área de estudio, sino que finalizan sobre otra superficie (relación de onlap) o bien pueden ser erosivas respecto a unidades estratigráficas previas (relación de erode). El software presenta la ventaja de poder definir un parámetro de conducta (onlap y erode) que controla estas relaciones respecto a cuerpos geológicos de campos potenciales previamente interpolados (Calcagno et al., 2006).

Cabe decir que el programa presenta algunas desventajas como que no informa cuantitativamente del grado de incertidumbre o error del modelo construido, cierta dificultad en el etiquetado de las imágenes, así como el escaso desarrollo del visor 3D.

## ***4.5 MODELIZACIÓN GEOLÓGICA EN 3D***

---

La síntesis de la modelización en 3D con el software GeoModeller se resume en la Figura 4.5. El software lo que requiere a la hora de comenzar un nuevo proyecto son



### 4.5.1 PLANTEAMIENTO DE LOS PROYECTOS EN GEOMODELLER

Este programa de modelización geológica en 3D se fundamenta en los registros geológicos de perforaciones. Dado que uno de los objetivos era comprobar cuál de las dos hipótesis del origen de Las Cañadas (colapso vertical o deslizamiento lateral) es más coherente con los datos del subsuelo, se trabajó sobre ambos supuestos por separado. Para realizar esto, se crearon al menos dos proyectos que parten con las mismas características y datos brutos, pero que se desarrollaron de forma diferente según la hipótesis en la que se basaban (el levantamiento de los perfiles difiere en la zona central de la isla para cada una de las ideas). Se trata de construir dos modelos teóricos que concuerden con la geología conocida tanto de superficie como del subsuelo, siguiendo las dos hipótesis de generación de la caldera de Las Cañadas.

Se definió el área de trabajo del proyecto según el marco en el que se engloban todas las perforaciones de las que se tiene registro geológico del subsuelo. Los límites vienen dados en coordenadas utm (312000,3100000) y (384000,3158000). (Figura 4.6)

Project Extent					
XMin	312000.0	XMax	384000.0	XExtent	72000.0 m
YMin	3100000.0	YMax	3158000.0	YExtent	58000.0 m
ZMin	-4000.0	ZMax	4000.0	ZExtent	8000.0 m

**Figura 4.6** Cuadro de propiedades del proyecto. En el recuadro anaranjado se pueden ver las dimensiones.

La topografía del proyecto vino definida por un archivo tipo *.semi* con un paso de malla de 200mx200m que abarcaba todo el área de trabajo. Este archivo fue generado a partir de la batimetría con celdas de 100m y la topografía con celdas de 25m. No era objeto de estudio el modelo de la parte submarina, sin embargo la batimetría es necesaria para realizar los modelos por encima de la cota del nivel de mar porque a la

hora de modelizar los volúmenes, la batimetría y la topografía tienen un papel relevante en el cálculo. Los modelos por encima de la cota 0 darían morfologías totalmente diferentes si en la zona del mar por defecto se diese un valor de 0 al relieve.

### **LA PILA ESTRATIGRÁFICA**

La columna o pila estratigráfica se definió de la forma que sigue para ambos proyectos (Figura 4.7), siendo la relación de las distintas unidades erosivas entre sí, a excepción de la basal (series basálticas antiguas del escudo basáltico). Estas relaciones de yacencia tienen su relevancia en el cómputo de los modelos, y es que el terreno volcánico sobre el que se realizó el trabajo las condicionó totalmente. La distribución de las unidades y contactos laterales en terrenos volcánicos difiere de la estratigrafía sedimentaria.

#### UNIDADES VOLCANO-ESTRATIGRÁFICAS

##### LEYENDA



*Figura 4.7 Columna estratigráfica definida en GeoModeller*

Las fases de crecimiento iniciales del complejo de escudo basáltico son mucho anteriores al inicio del complejo central, pero desde que comenzó este segundo, ambas han sido activas, intercalando sus emisiones. Teniendo en cuenta que el programa

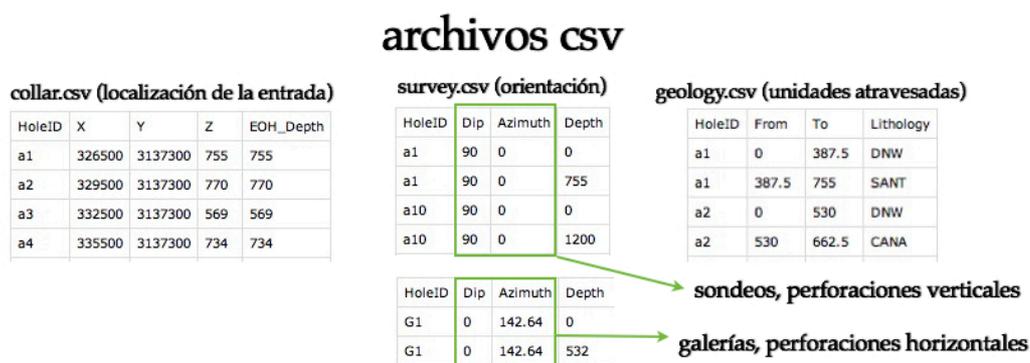
requiere de una columna estratigráfica donde no puede haber dos formaciones contemporáneas, y que la distinción de unidades como Cañadas superior e inferior no son bien conocidas para todo el área, así como la distinción de las distintas fases de las zonas de rift, hay unidades que se repiten en la columna, pero cuya división se ha realizado para poder intercalar otras unidades en la columna. Dentro de este conjunto de unidades de la dorsal se diferencian las coladas de Las Narices del Teide, que destacan por superponerse a la unidad Teide-Pico Viejo.

En lo referente a los depósitos de avalancha, hasta ahora, al visualizar en 2D los registros geológicos del subsuelo, no se ha diferenciado entre el depósito de avalancha del Valle de Icod y de la parte inferior del macizo de Tigaiga. Es durante el transcurso del 2D al 3D cuando se diferencian los registros, asignando al depósito de Tigaiga los que quedan exclusivamente debajo del Macizo, y al Valle de Icod los que quedan dentro o en el mismo límite de este valle.

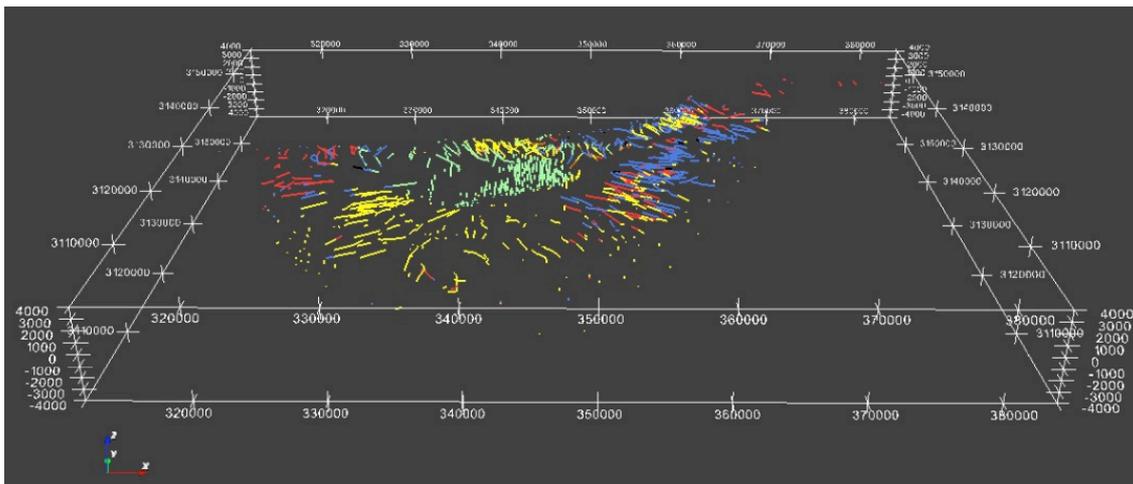
### **DATOS OBSERVABLES: IMPORTACIÓN DE LAS PERFORACIONES Y GEOLOGÍA DE SUPERFICIE**

La importación de las perforaciones se hizo en tres archivos tipo csv: collar, survey y geology (Figura 4.8). Se introdujeron por separado los pozos, las galerías y los pozos de magnetotelúrica (Figura 4.9). Sumando un total de 857 perforaciones:

- 472 galerías
- 186 pozos
- 199 pozos traducidos de datos magnetotelúricos

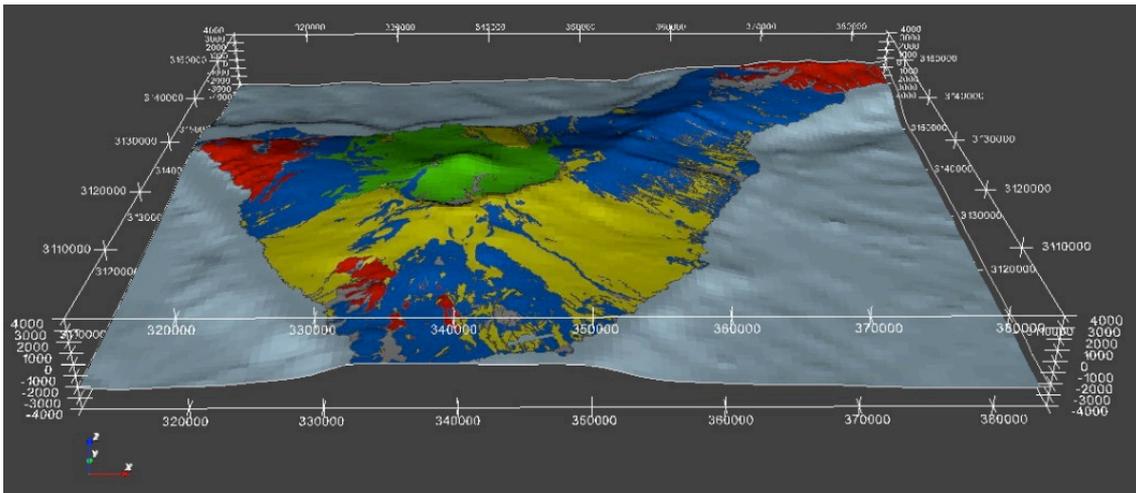


**Figura 4.8** Aspecto de los archivos tipo “csv” de pozos y galerías



**Figura 4.9** Vista de las perforaciones en el proyecto de GeoModeller

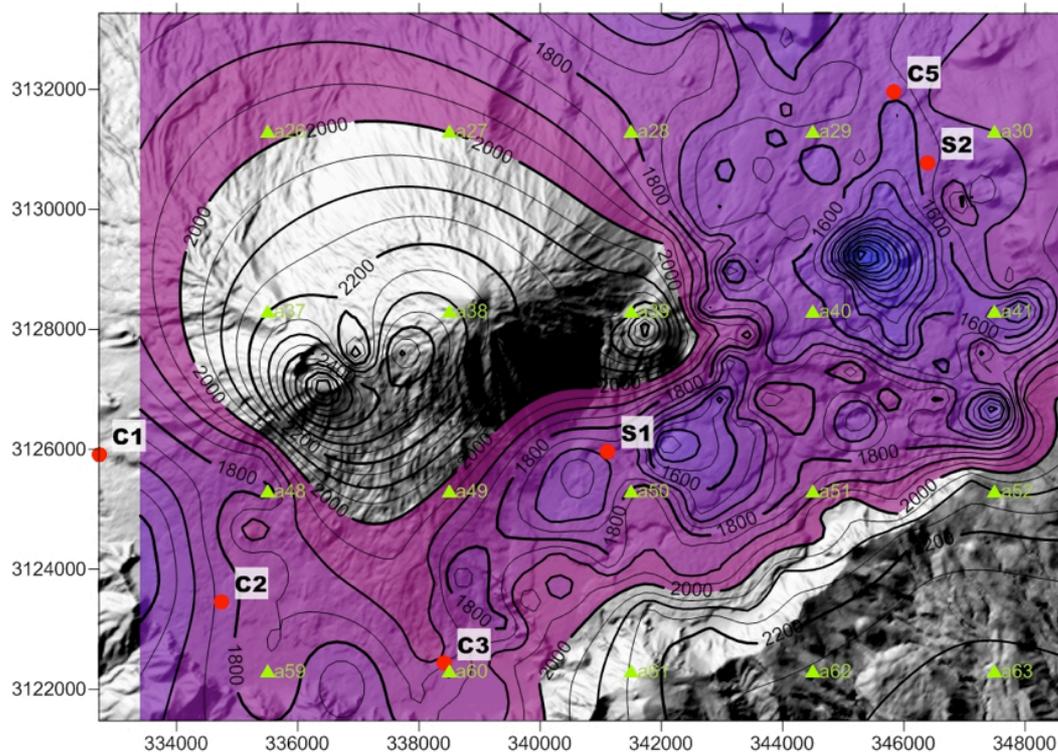
La Figura 4.9 representa la geología observable del subsuelo de Tenerife y constituye la base para la construcción de los modelos teóricos que presentamos en el capítulo 5, referidos a la geología teórica que debería corresponder a cada una de las dos hipótesis de formación de la caldera de Las Cañadas. En este sentido, hay que remarcar que la parte de geología conocida mediante galerías y pozos es muy reducida ya que en realidad se trata de secciones verticales u horizontales unidimensionales, tal como se observa en la Figura 4.9, correspondiendo la zona gris entre las líneas de colores a zonas con geología desconocida. La interpolación entre distintas galerías y pozos no deja de ser una interpretación teórica que podría corresponder o no con la realidad. Por ello, dichas interpolaciones se usan en este trabajo con la única finalidad de completar la información necesaria para la elaboración de los modelos teóricos que presentamos en el capítulo 5, sin que esto signifique necesariamente una representación de la geología real. Para completar la información expuesta en la Figura 4.9, a la superficie topográfica se le acopló una imagen del mapa geológico simplificado de la isla, basado en el mapa del IGME (Figura 4.10). Esta información permite inferir la geología de la parte central de Tenerife, tanto de superficie como del subsuelo, aspecto no cubierto con la información de las galerías. Con esto ya tuvimos toda la información en bruto que se dispone para desarrollar los modelos geológicos teóricos de la isla.



**Figura 4.10** Vista de la geología simplificada sobre el relieve topográfico de Tenerife

### 99 POZOS VIRTUALES

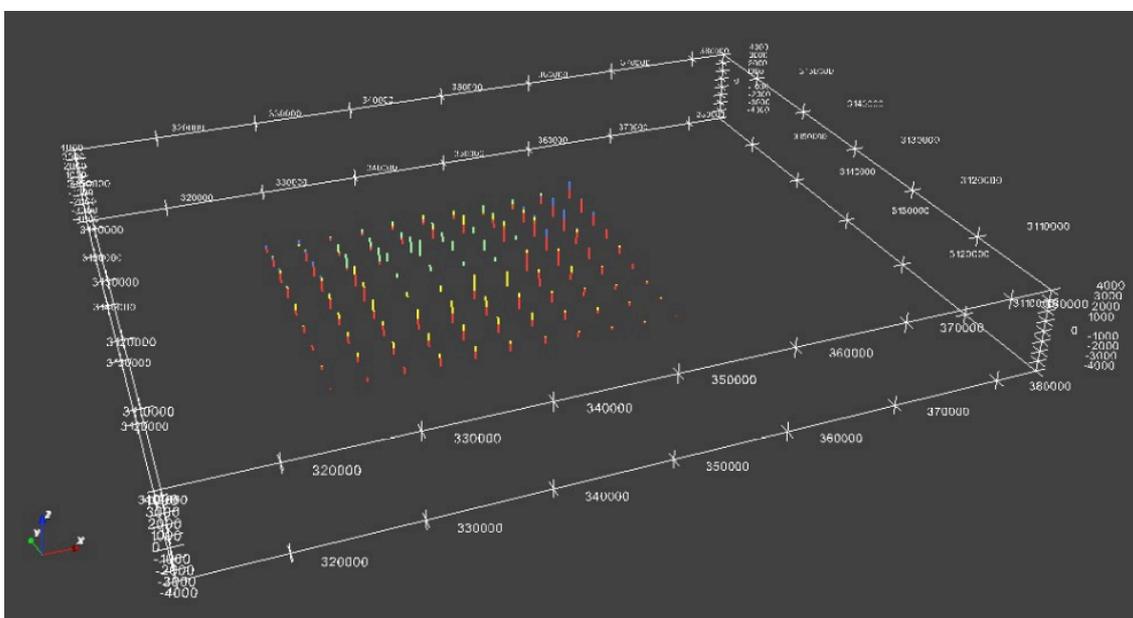
Una de las áreas de mayor interés en este trabajo se sitúa en la caldera o depresión de Las Cañadas. Esta zona es la que menos información geológica del subsuelo contiene, pero existen estudios geofísicos como el trabajo de Coppo et al., (2008), por lo que se construyó una malla de sondeos virtuales con una separación entre ellos de 3km x 3km.



**Figura 4.11** Ubicación de la red de sondeos virtuales (triángulos verdes) en la zona de Las Cañadas y Teide-Pico Viejo, sondeos de investigación (puntos rojos). Curvas de nivel deducidas de los valores de z-conductor del estudio magnetoteléurico de Coppo et al. (2008).

El registro geológico de estos sondeos virtuales se hizo en base a la geología de superficie y la extrapolación de la información geológica de los pozos de investigación (Figura 4.19) y galerías que quedan en su entorno, así como con la ayuda de los datos magnetoteléuricos para la zona de Las Cañadas (Figura 4.11), considerando la z-conductora como contacto entre los materiales de Cañadas superior y Teide-Pico Viejo.

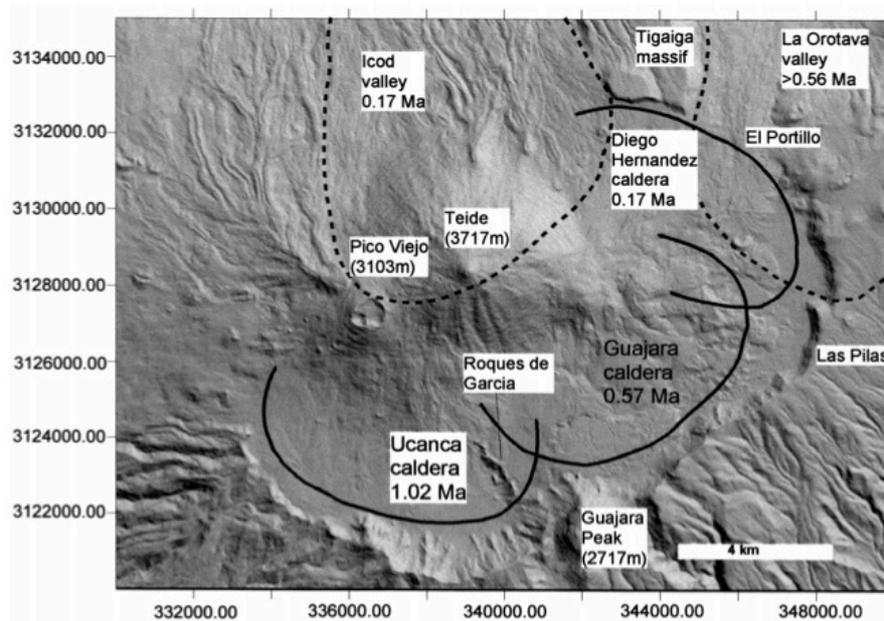
Estos pozos (Figura 4.12) sirven principalmente para ayudar en el levantamiento de las secciones verticales. Las mallas regulares de 3 x 3 km y la de 6 x 6 km se hacen coincidir con esta red de sondeos virtuales, para no volver a tener que hacer ningún tipo de extrapolación con sus datos. Sin embargo, cabe destacar que el peso que se les ha dado a estos registros es menor que el de los datos del subsuelo reales.



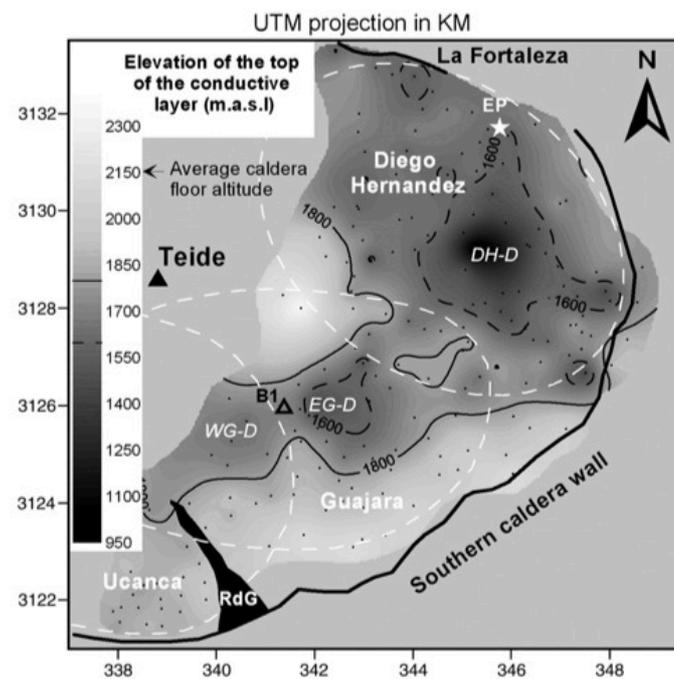
*Figura 4.12 Vista de la malla de sondeos virtuales*

### **FALLAS**

En el caso de los modelos que se basan en la hipótesis del colapso de caldera vertical se definieron las fallas de los colapsos de Ucanca, Guajara y Diego Hernández. La morfología de las fallas está basada en Martí and Gudmundsson (2000) (Figura 4.13), Coppo et al. (2008) (Figura 4.14) y Coppo et al. (2010).



**Figura 4.13** Extraída de Martí and Gudmundsson (2000). Delimitan las calderas de colapso con líneas negras y los deslizamientos de Icod y La Orotava con líneas discontinuas.



**Figura 4.14** Extraída de Coppo et al. (2008). Las líneas discontinuas blancas delimitan las calderas, las líneas discontinuas negras son las isolíneas de 1600 y 1800 msnm obtenidas por métodos audiomagnetotéluricos

Su edad disminuye en sentido W-E, siendo la de Diego Hernández la más reciente, que cortará en parte a la de Guajara. Y Guajara a su vez cortará a Ucanca que es la más antigua. (Figura 4.15)

Stops on →	CaldDH	CaldGuajara	CaldUcanca	
CaldDH				✓
CaldGuajara	✓			✓
CaldUcanca	✓	✓		✓
	✓	✓	✓	•

*Figura 4.15 Relación de las fallas de caldera de colapso entre sí*

Las fallas afectan a la unidad Cañadas y a todo lo que la precede. Son las emisiones basálticas más recientes de la dorsal y la unidad Teide-Pico Viejo las que no se ven afectadas por las fallas, pero que sin embargo, se amoldan a la morfología generada en su consecuencia.

Debido a limitaciones procedentes del programa 3D Geomodeller, las fallas no afectan en el modelo a las series basálticas de la parte antigua de la dorsal (de color azul) ni tampoco a las series basálticas antiguas (de color rojo). Tener en cuenta que los resultados se verán condicionados.

### **ALGUNAS CONSIDERACIONES MÁS PARA RECONSTRUIR LA CALDERA**

Las dos hipótesis sobre las que se trabajó debían encajar con los datos existentes. Tanto la geología de superficie, como la magnetotelúrica, o las relaciones geológicas que se observan en campo. En este apartado se expresan otros criterios más utilizados para la reconstrucción de la zona de Las Cañadas al levantar las secciones que intersectan esta área. Las cotas y espesores que se expresan a continuación son orientativos, ya que se han tomado cotas de puntos distanciados entre sí para los cálculos.

La densidad de puntos del estudio magnetotelúrico es mayor en la zona oeste de la caldera de Las Cañadas. Precisamente ahí se observa un descenso importante en la superficie de contacto entre la capa conductora y la resistiva, que vienen a interpretarse como el contacto entre la formación de Cañadas superior y Teide-Pico Viejo. El máximo que se observa bajo Pico Viejo podría ser debido a la acción hidrotermal del sistema Teide-Pico Viejo. Igualmente se observa otro máximo bajo Montaña Blanca. En las imágenes se pueden ver las variaciones de esta superficie combinadas también con la superficie topográfica. Los valores de la z-conductora oscilan entre los 775 y 2808 m.

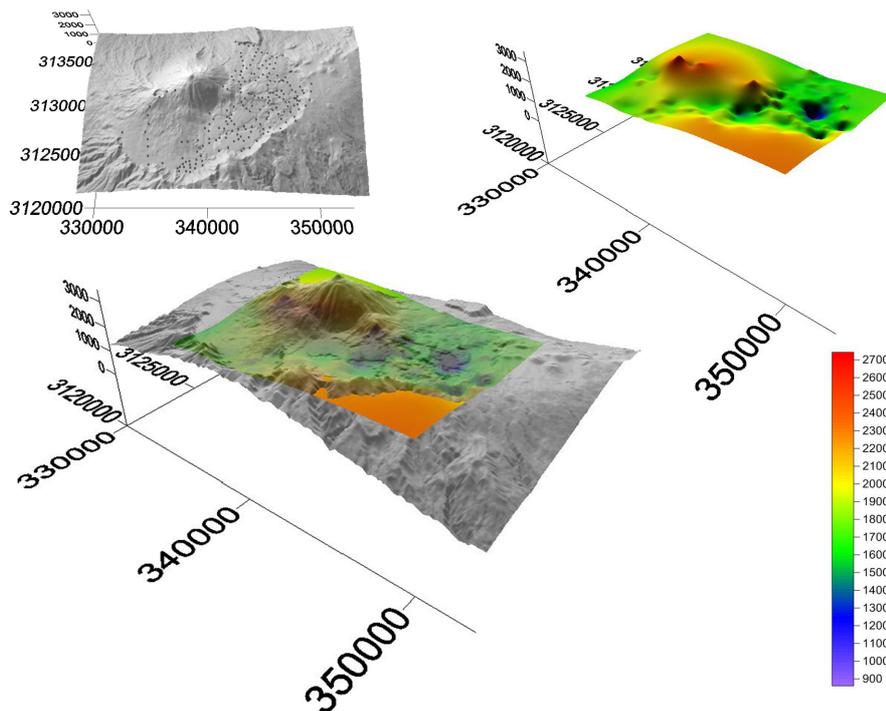


Figura 4.16 Representación de la z-conductora deducida del estudio magnetotelúrico de Coppo et al. (2008) con una perspectiva desde el SE hacia el NW. Arriba a la izq. localización de los puntos en la zona de Las Cañadas del Teide; arriba dcha. superficie de la z-conductora; Abajo la misma vista de la superficie obtenida por métodos magnetotelúricos bajo el sombreado topográfico.

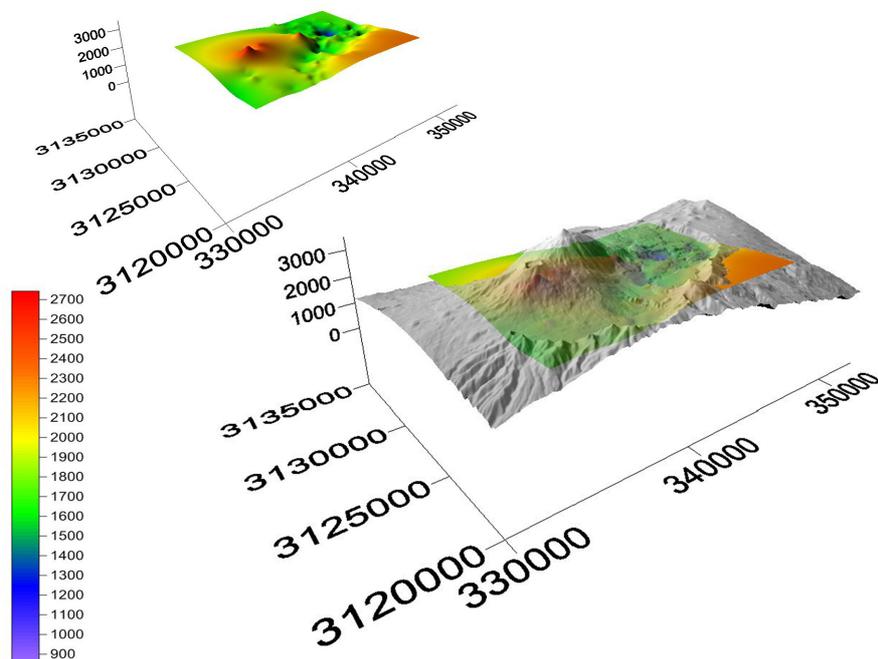
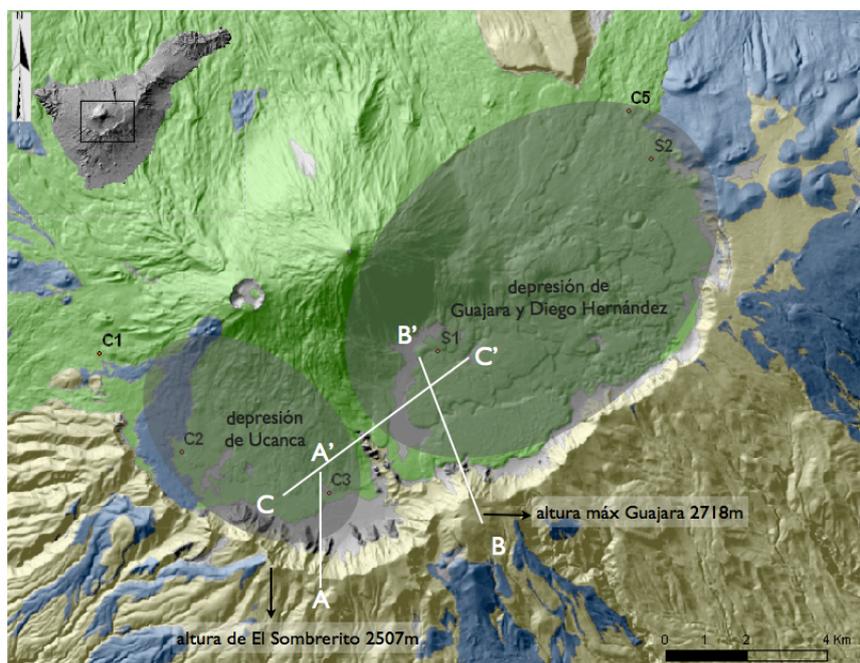


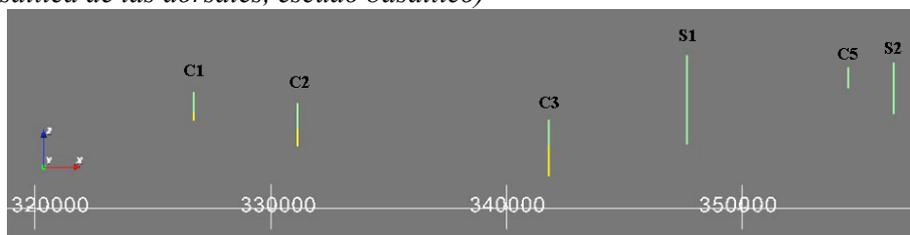
Figura 4.17 Representación de la superficie z-conductora y los puntos del estudio de Coppo et al. (2008). A la izq. la superficie de la z-conductora. A la dcha. la misma superficie bajo el sombreado topográfico.

El contacto entre las unidades Teide-Pico Viejo y Cañadas estará principalmente condicionado por los valores magnetotelúricos (z-conductor) y teniendo en cuenta los sondeos de investigación de la zona de Las Cañadas (Figuras 4.11, 4.16 y 4.17).

Respecto al espesor de la formación de Cañadas, se consideraron las observaciones de campo y los sondeos de investigación existentes en la zona de Las Cañadas para estimar su potencia. Este razonamiento se puede observar en los esquemas que siguen. Se tuvo en cuenta la máxima potencia de la pared visible de la caldera de Las Cañadas, el desnivel entre las zonas de Guajara y Ucanca separadas por Los Roques de García y los sondeos de investigación del proyecto SPA15 y del Cabildo de Tenerife (Figuras 4.18 y 4.19). Las cotas que se han considerado en los esquemas son puntuales (cotas de cimas de montes y de sondeos), por lo que las estimaciones resultantes son estimaciones mínimas.



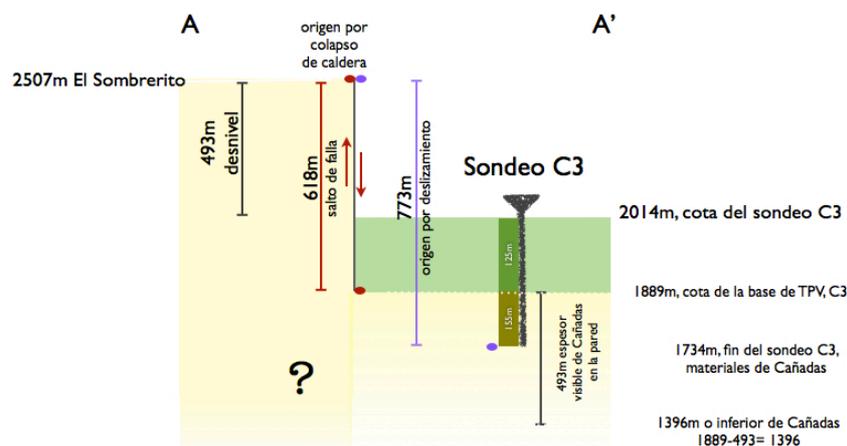
**Figura 4.18** Localización de las secciones A-A', B-B' y C-C' en la zona de la caldera de Las Cañadas, mapa geológico simplificado (verde: Teide-Pico Viejo; amarillo: Cañadas; azul: series basáltica de las dorsales, escudo basáltico)



**Figura 4.19** Vista de los sondeos de investigación (Cx, proyecto SPA15; Sx, sondeos del Cabildo de Tenerife) con registro geológico en una vista lateral del proyecto en 3D. No se muestra la escala vertical porque el punto de fuga de la imagen hace que el valor de la Z varíe a lo largo del eje Y para cada una de las perforaciones.

En la parte más antigua de la depresión de Las Cañadas (la parte W), entre el Cedro y Los Roques de García, la pared sur de la depresión tiene una altura máxima de 2507 m en El Sombrero, mientras que la llanura de la depresión está a una cota de

2014 m en el punto del sondeo C3 (Figura 4.18). Esto implica que la unidad de Cañadas se expone a día de hoy unos 493 m en la pared. Los sondeos de investigación C2 y C3 que se encuentran en esta área alcanzaron la base de la unidad Teide-Pico Viejo y perforaron además 100 y 155 m de la unidad Cañadas, respectivamente. Consecuencia de esto es que para la zona de Ucanca, el espesor mínimo observable de la Fm Cañadas es de 618 m (considerando el sondeo C3 respecto al Sombrerito). Sin embargo no se puede calcular el espesor real de la unidad Cañadas, estando su base a una cota inferior a los 1396 m. (corte A-A', Figura 4.20 y corte C-C' Figura 4.22). Así mismo, dependiendo de si se toma en consideración una hipótesis u otra para la formación de la caldera, este espesor mínimo podría representar el salto mínimo de falla, en el caso de un origen por colapso, o un espesor mínimo de la Fm Cañadas, al que habría que sumar otros 155 m, en el caso de un origen por deslizamiento.

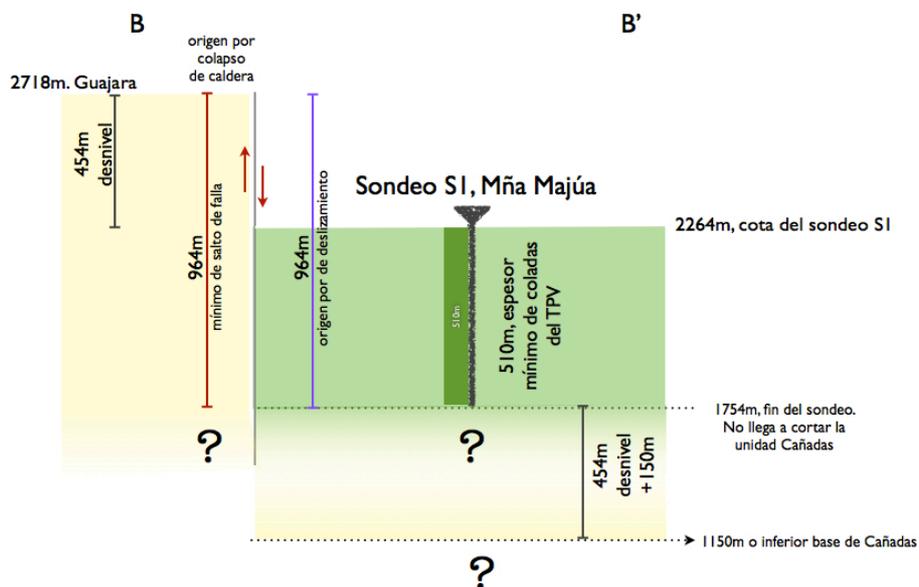


**Figura 4.20** Esquema de espesores, cotas y sondeos para el perfil A-A' en la zona de la caldera de Ucanca y pared sur de Las Cañadas

La depresión de Ucanca, respecto a la de Guajara, tiene una diferencia topográfica de 150 a ambos lados de los Roques de García.

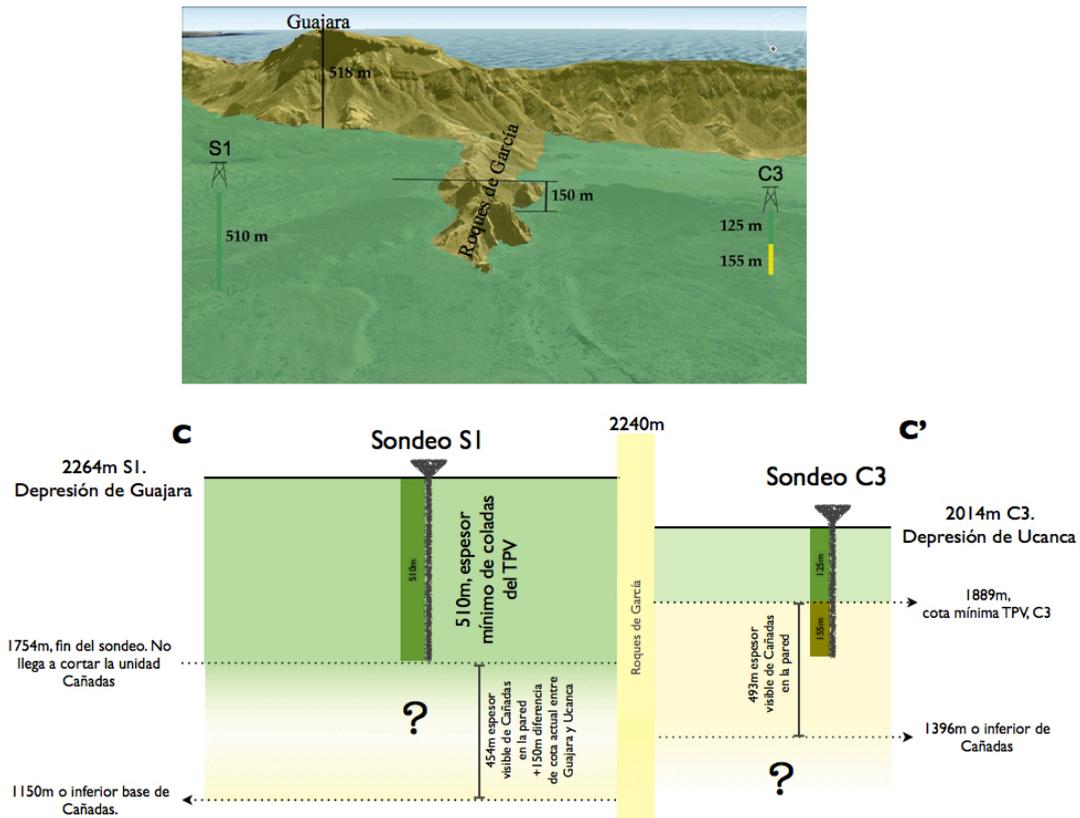
La pared sur de la caldera de Las Cañadas alcanza una cota máxima de 2718 m, en la conocida cumbre de Guajara. En esa zona el desnivel de la pared con superficie de la caldera a la cota de S1 es de 454 m. Este sondeo registra 510 m de materiales pertenecientes a la unidad Teide-Pico Viejo, sin haber profundizado más. Por lo tanto, en esta zona de Guajara el espesor mínimo observable de la Fm Cañadas es de 964 m, el cual correspondería a un salto de falla en el caso de un origen por colapso caldérico o al espesor mínimo de la formación removido por la formación del landslide en el caso de un origen por deslizamiento (perfil B-B', Figuras 4.18 y 4.21). La base de Teide-Pico Viejo según el sondeo S1 debe ser inferior a los 1754 m, pero si además consideramos

la z-conductora del estudio de Coppo et al. (2008), vemos que en torno al sondeo S1 está entre los 1650 y 1700 m. Lo que resulta más difícil de estimar es el espesor de la unidad Cañadas para la depresión al E de Los Roques de García, que debe ser superior a los 604 m (suma de los 454 de desnivel hasta el pico de Guajara y el desnivel en los Roques de García entre ambas depresiones, 150 m).



**Figura 4.21** Esquema de espesores, cotas y sondeos de investigación para el perfil B-B' en la zona de la caldera de Guajara y pared sur de Las Cañadas

En la Figura 4.22 se puede ver un esquema de la zona transversal a Los Roques de García y la pared sur de la caldera en este entorno. En estos esquemas no se han dibujado los sondeos de investigación S2 y C5, que quedan al este de la caldera, donde la unidad Teide-Pico Viejo alcanza cotas inferiores a los 1773 y 1927 m, ya que no llegan a perforar el contacto con Cañadas. Para la zona oriental de la caldera se tuvieron en cuenta también los valores de magnetotelúrica que alcanzan cotas mínimas de 775 m, con una morfología de embudo. Pero a rasgos generales, se puede decir que los valores se encuentran entre los 1600 y 1800 m para el contacto entre Teide-Pico Viejo y Cañadas.



**Figura 4.22** Esquema de espesores, cotas y sondeos de investigación para el perfil C-C' en la zona de Las Cañadas, perpendicular a Los Roques de García. En la imagen superior, obtenida del GoogleEarth vista de norte a sur, se ven los Roques de García y la pared de Las Cañadas con un sombreado amarillo correspondiente a la unidad geológica de Cañadas y el relleno de Teide-Pico Viejo con un sombreado verde.

### LOS DEPÓSITOS DE AVALANCHA

Aparecen 4 tipos de depósitos de avalancha en los registros de las perforaciones. Se han diferenciado en base a sus localizaciones el del Valle de Güímar, Valle de La Orotava, Valle de Icod y el del macizo de Tigaiga. Para los dos modelos estos depósitos se dibujan de manera similar en el caso de Güímar y Tigaiga. En el caso de La Orotava sobre el nivel del mar, los modelos dan resultados similares. Sin embargo el planteamiento de la interpretación en los levantamientos del Valle de Icod fue diferente.

Para el caso del modelo de colapso de caldera, se dibujaron los contactos del depósito de avalancha del Valle de Icod limitándolos a las zonas en que se registraba bajo el subsuelo. Esto quiere decir que su extensión será la mínima según la localización de los registros del subsuelo. Y para el modelo de deslizamiento, se extendió el contacto lateralmente desde las zonas de registro (E del valle) bajo las lavas del Teide llegando hasta el límite morfológico del oeste del propio Valle de Icod. Longitudinalmente, según el eje del valle, se extendió bajo las lavas de Teide-Pico Viejo bajo el mar, hasta

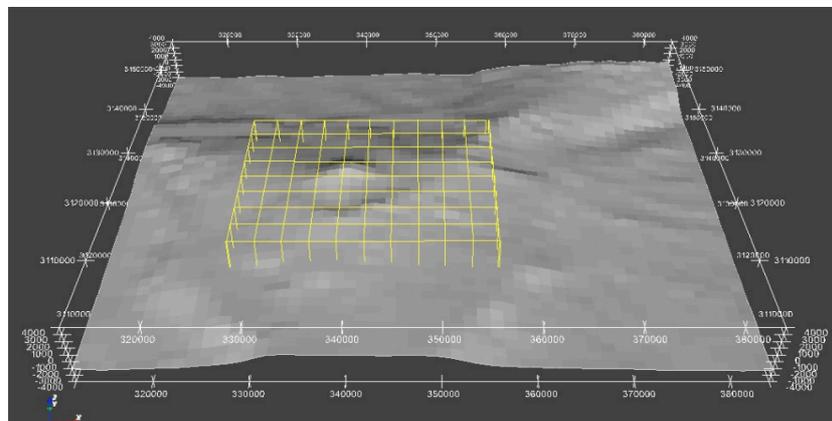
la zona más próxima a la pared sur de la caldera de Las Cañadas, siempre y cuando los sondeos de Cañadas y los datos magnetoteléuricos no indicasen ausencia del depósito de avalancha, en cuyo caso se limitó a las zonas donde se desconoce el subsuelo bajo el relleno de Teide-Pico Viejo. Por lo tanto, para el modelo de deslizamiento o colapso lateral, la extensión del depósito de avalancha será la máxima, siempre respetando los registros geológicos y geofísicos conocidos.

La división de Cañadas dentro de los modelos se hizo pensando en que en el Valle de La Orotava los depósitos de avalancha debían estar intercalados con las distintas fases de Cañadas, en concreto bajo la formación Diego Hernández. La cabecera del depósitos queda “intruida” en Cañadas, pero queriendo representar que hubo emisiones de Cañadas previas y posteriores al deslizamiento.

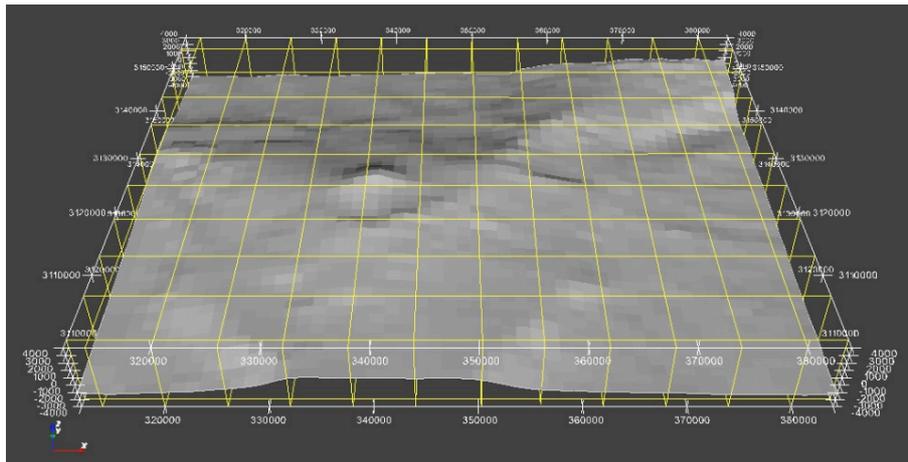
## 4.5.2 LEVANTAMIENTO DE LAS SECCIONES VERTICALES

Para la construcción de los modelos en el software Geomodeller se levantaron 150 secciones verticales que se dividen en 3 tipos:

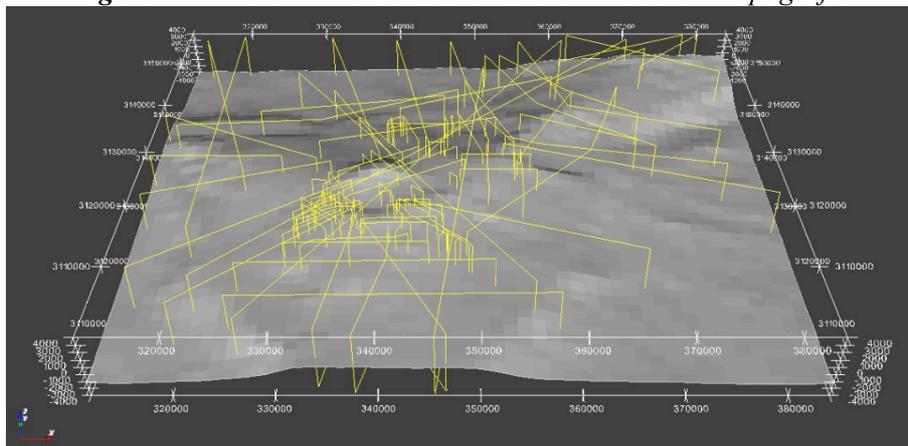
- Secciones de la parte central con un paso de 3km x 3km. Constan de 11 N-S y 9 W-E. (Figura 4.23)
- Secciones que abarcan las dimensiones de todo el proyecto con un paso de 6km x 6km. Constan de 12 S-N y 10 W-E. (Figura 4.24)
- Secciones con distintas orientaciones y longitudes. 108 en total. (Figura 4.25)



*Figura 4.23 Vista 3D de las secciones 3x3km sobre la topografía*



**Figura 4.24** Vista 3D de las secciones 6x6 km sobre la topografía



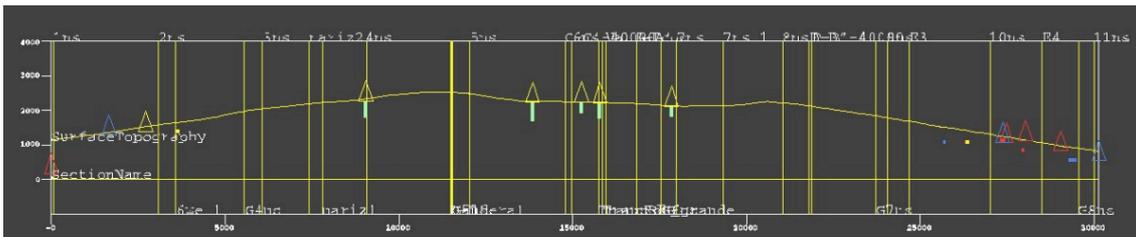
**Figura 4.25** Vista 3D de las secciones con orientación diversa sobre la topografía

La malla de 3km x 3km abarca la zona de máximo interés, es por ello que se hizo una malla con un paso menor, para afinar con más precisión la zona. Su altura o rango de  $z$  llega hasta los 1000m bajo el nivel del mar. Estas secciones coinciden con la distribución de los 99 pozos virtuales, que hace que esas extrapolaciones de los sondeos nos sirvan como base uniforme para la construcción de los cortes. La malla de secciones de mayor paso (6 x 6 km) se hizo coincidir con la malla central en la medida de lo posible, pero sus dimensiones son mayores, abarcando la extensión del proyecto entero y una  $z$  mínima de 4000 m bajo el nivel del mar. La complejidad de la estructura de la isla hace que con las dos mallas de orientaciones longitudinales y latitudinales no se pueda generar un modelo de volúmenes sólidos realista. Es por esta razón que se construyeron las 101 secciones de orientaciones diversas. Éstas secciones se encuentran localizadas en zonas donde la geología muestra un grado de complejidad mayor.

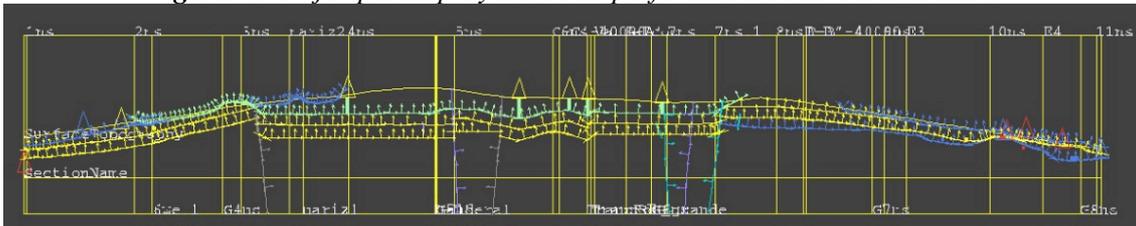
En total suman 150 secciones verticales. El objeto de las secciones es dibujar en ellas los contactos (Figuras 4.26 y 4.27) de las unidades y luego computar los modelos en base a los cortes verticales. Se proyectaron sobre cada una de las secciones las

perforaciones que quedaban entre los 100m y los 500m en torno a la sección. En las zonas donde la densidad de perforaciones es alta, las proyecciones se limitaron a los 100 ó 200 m. Mientras que en zonas donde son más escasas se aumentó a 500 m la proyección.

El cálculo de los modelos está basado exclusivamente en las secciones verticales. La geología de superficie se tuvo en cuenta a la hora de trazar los contactos en las secciones.



**Figura 4.26** Ejemplo de proyección de perforaciones sobre una sección



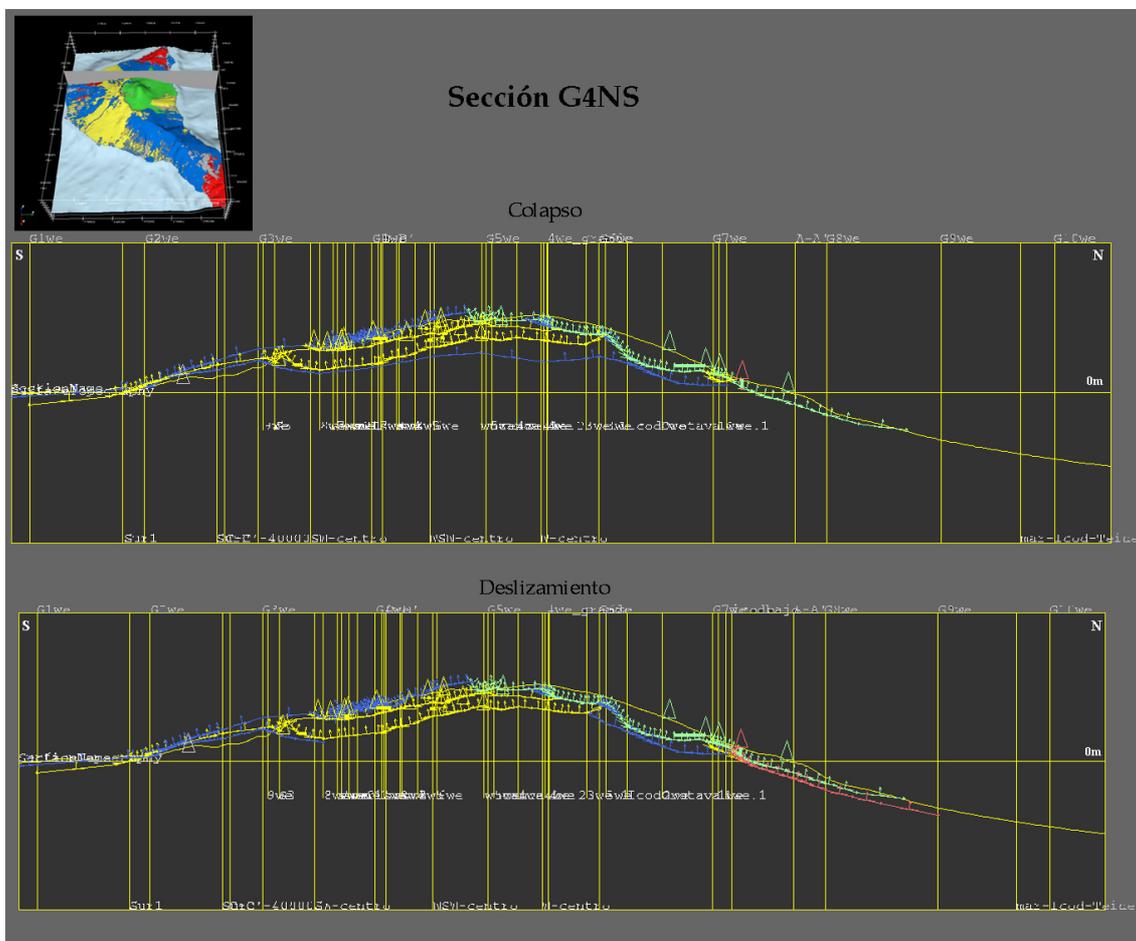
**Figura 4.27** Ejemplo de levantamiento de una sección

A continuación se muestran algunas de las secciones levantadas (Figuras de la 4.28 a la 4.34) para las dos hipótesis de formación de Las Cañadas (colapso vertical y deslizamiento) correspondientes a la cuadrícula con un distanciamiento de 6x6 km (Figura 4.24), que dan una idea homogénea de la estructura interna de la isla. En las imágenes la escala vertical ha sido exagerada y dependiendo de la sección, como ya se ha dicho, la distancia de la proyección de las perforaciones es variable (ver Tabla 4.3). En todos los casos los cortes tienen un rango en la vertical de -4000 a +4000m que viene marcado por las cotas mínima y máxima del modelo y aparece una línea horizontal que marca el nivel 0 m.s.n.m.

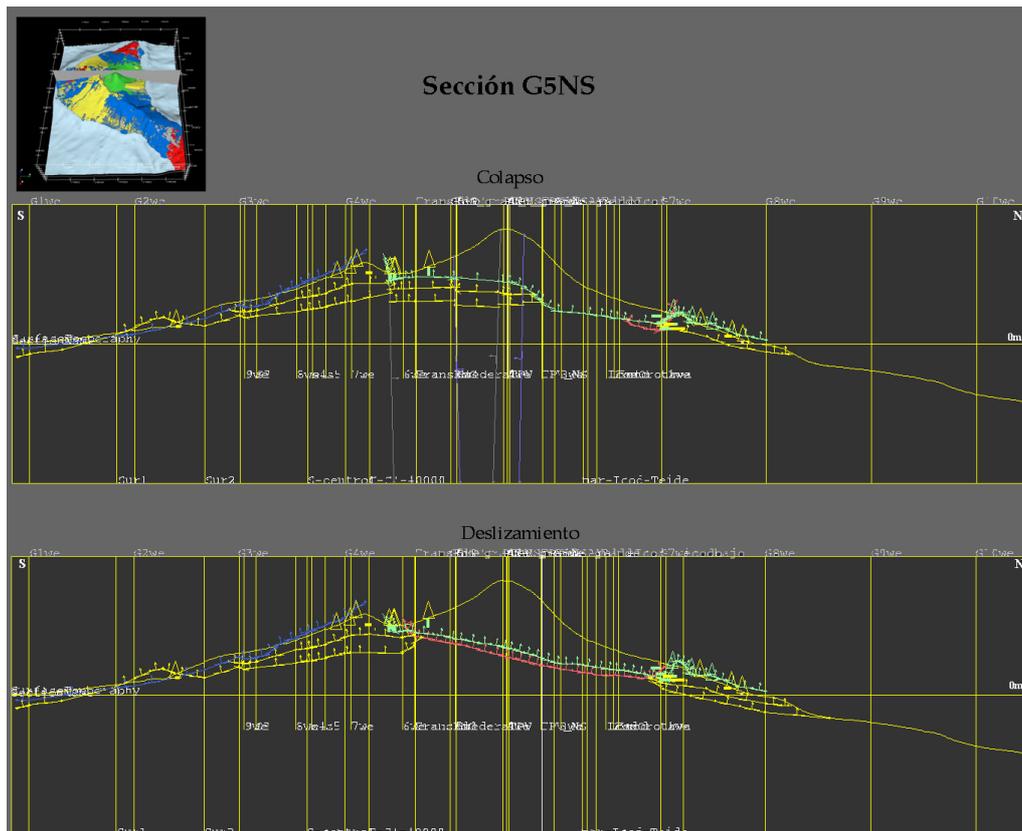
Sección	Escala H:V	Proximidad de proyección de las perforaciones	Sección	Escala H:V	Proximidad de proyección de las perforaciones
G4NS	1:2	400m	G5WE	1:2	200m
G5NS	1:2	200m	G6WE	1:2	400m
G6NS	1:2	200m	G7WE	1:2	400m
G7NS	1:2	200m			

**Tabla 4.3** Relación de escalas y distancias de proyecciones en las secciones de paso 6x6km

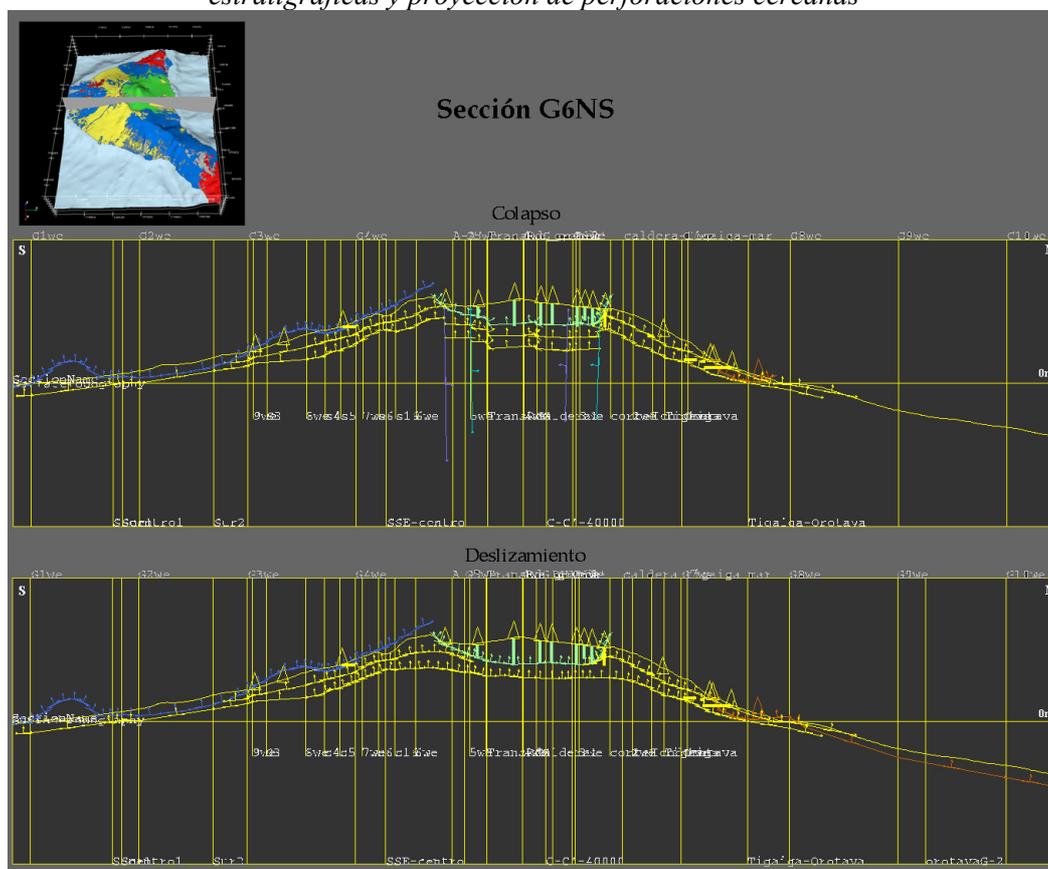
Las secciones longitudinales tienen un sentido sur-norte, siendo la sección G1NS la más occidental y la G12NS la más oriental (Figuras de 4.28 a 4.31).



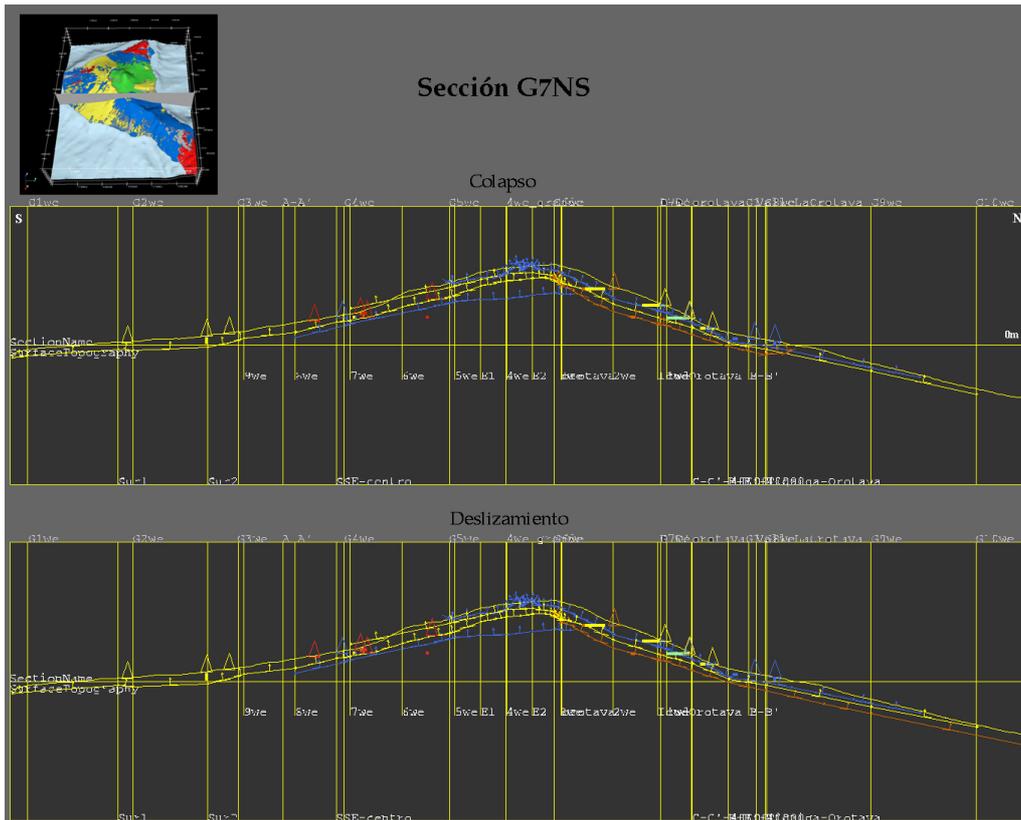
**Figura 4.28** Secciones G4NS que muestran los contactos de las unidades volcano-estratigráficas y proyección de perforaciones cercanas



**Figura 4.29** Secciones G5NS que muestran los contactos de las unidades volcano-estratigráficas y proyección de perforaciones cercanas

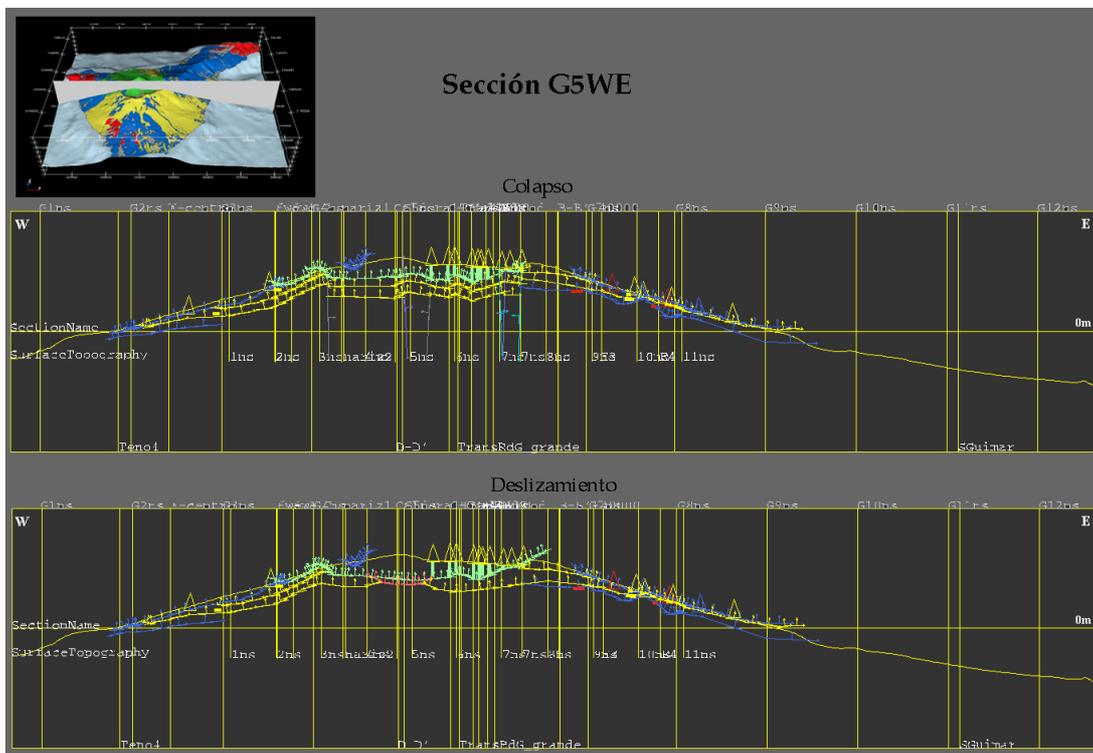


**Figura 4.30** Secciones G6NS que muestran los contactos de las unidades volcano-estratigráficas y proyección de perforaciones cercanas

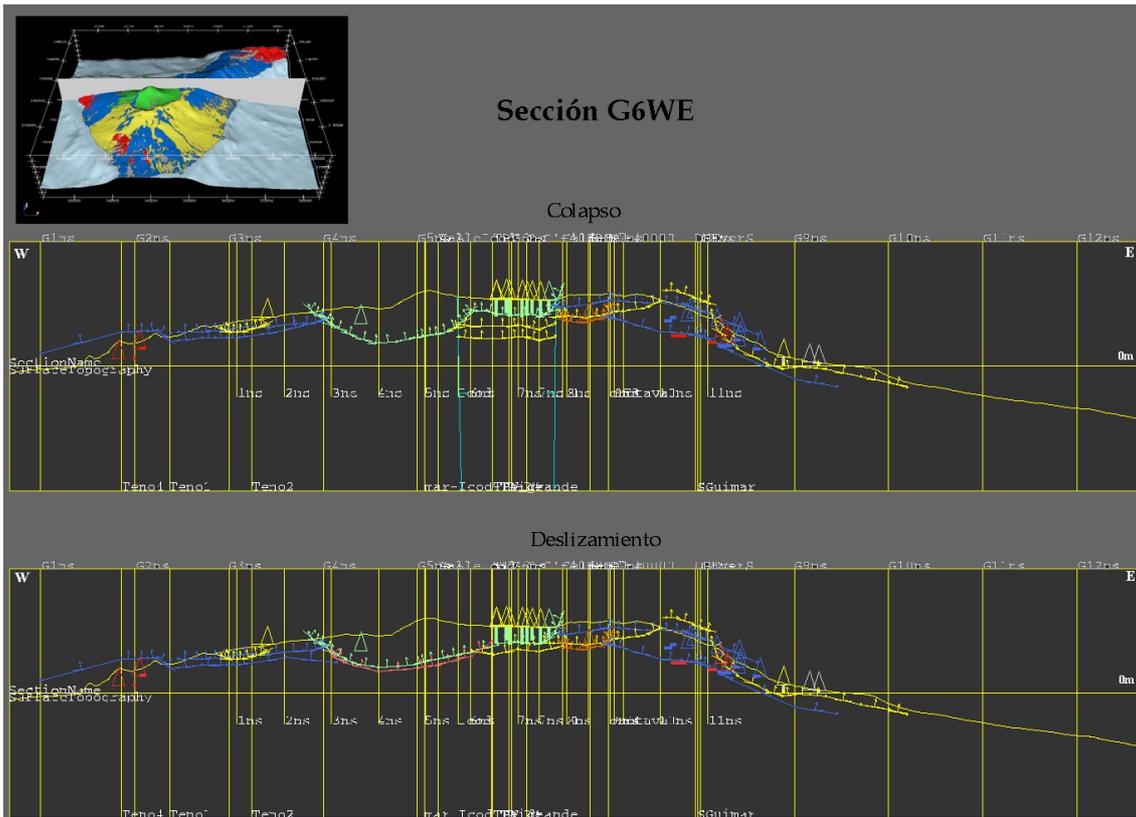


**Figuras 4.31** Sección G7NS que muestran los contactos de las unidades volcano-estratigráficas y proyección de perforaciones cercanas

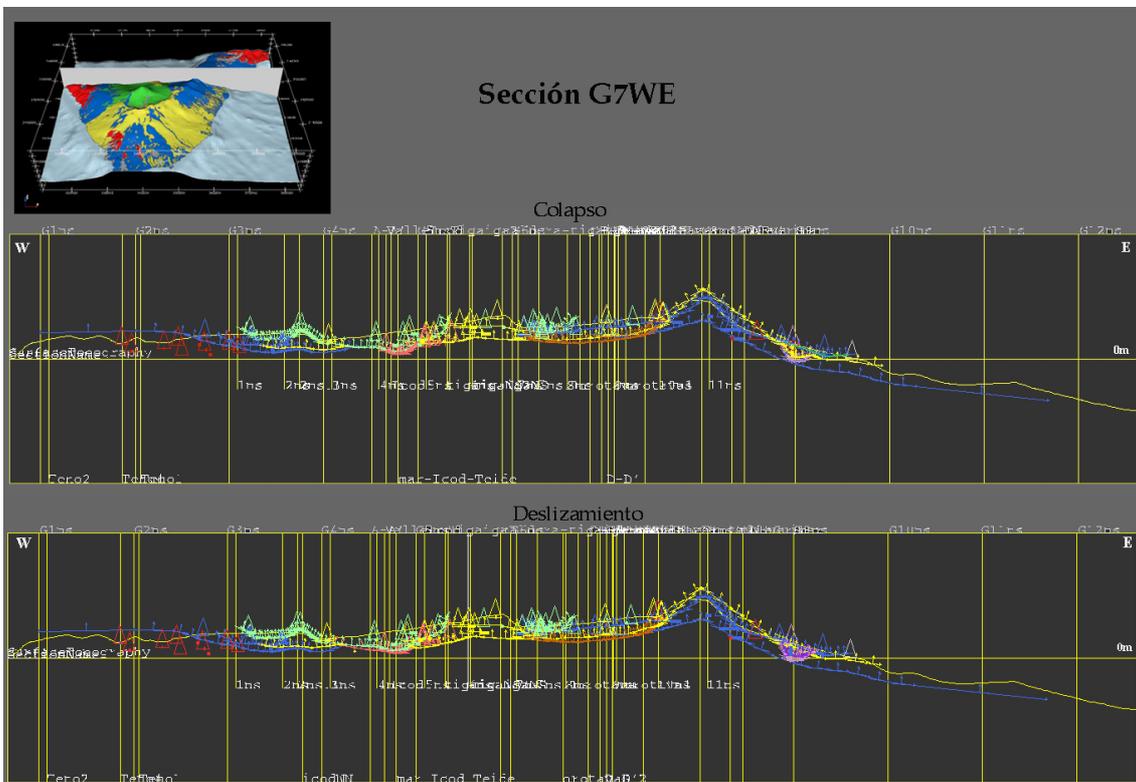
Las secciones latitudinales tienen un sentido Oeste-Este, siendo la sección G1WE la más meridional y la G10WE la más septentrional (Figuras de 4.32 a 4.34).



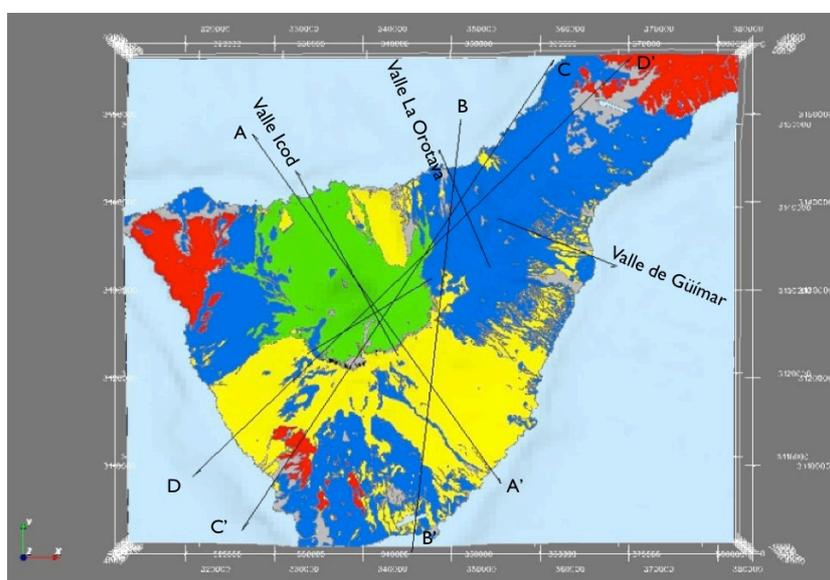
**Figuras 4.32** Sección G5WE que muestran los contactos de las unidades volcano-estratigráficas y proyección de perforaciones cercanas



*Figuras 4.33 y 4.34 Secciones G6WE (superior) y G7WE (inferior) que muestran los contactos de las unidades volcano-estratigráficas y proyección de perforaciones cercanas*



Los dos modelos obtenidos son el resultado del cómputo de todas las secciones de las mallas ortogonales de 3x3 km y 6x6 km y las 101 secciones de diversa orientación y longitud. En lo que respecta a estas 7 secciones restantes (Figura 4.35), no se trazaron contactos de las unidades sobre ellas, sino que se proyectaron los resultados obtenidos del resto sobre ellas. Por decirlo de otra manera, la modelización no se ha forzado sobre estas secciones, pero sí que observamos en ellas el cálculo obtenido respecto al resto. Se trata de 4 secciones transversales de la isla de Tenerife (ente A-A' y D-D') y 3 secciones longitudinales de los valles de deslizamiento de la isla (Icod, La Orotava y Güímar). Son los cortes que representan las zonas de máximo interés para las dos modelos que se desarrollan. Sobre ellos se deberían marcar claramente las diferencias entre ambas hipótesis.



**Figura 4.35** Vista de las 7 secciones estratégicas de los resultados de los modelos 3D

### 4.5.3 CÓMPUTO Y CONSTRUCCIÓN 3D

Una vez se tuvieron dibujados los contactos en las secciones, se realizó el cómputo. Se seleccionaron las formaciones geológicas (todas las descritas), fallas (en el caso que corresponda) y las secciones a tener en cuenta. Consideramos todo el área del proyecto y un radio de simplificación de 200m. El cómputo implica una interpolación entre todas las secciones consideradas, de forma que se calcula la distribución de las unidades volcano-estratigráficas para todo el volumen del proyecto.

Hacer uso de todas las secciones y todas las perforaciones implicaba un volumen de datos de entrada excesivamente grande. Por esta razón se trabajó principalmente con las secciones levantadas, que ya consideraban la geología de las perforaciones cercanas.

Estos cálculos permiten dibujar las secciones (2D), una vez está realizado el cómputo. Dicho de otra manera, imprimen el resultado del modelo calculado en las secciones. El modelo puede variar ligeramente respecto a los contactos dibujados al levantar las secciones, debido a que considera todas las secciones y extrapola los cálculos.

La construcción de los volúmenes en 3D se hizo tanto para las formaciones, como para las fallas en el caso de los proyectos de colapso de caldera. Los límites de la construcción serían los mismos que los del proyecto y los del cómputo. En lo que respecta a la resolución, se establecieron unos valores de celda de resolución en torno a los 200m para X, Y y Z. En el caso del modelo de deslizamiento el valor de la z tuvo una resolución mayor, de 160 m. Esto implica que algunos resultados de las mismas secciones pueden dar lugar a que en el modelo de deslizamiento se ajuste mejor a las líneas de contacto marcadas.

Los proyectos del 3D Geomodeller requieren un volumen cúbico de trabajo. Esto es, una área rectangular y una altura fija. Al abarcar el área de Tenerife que incluyese todas las perforaciones con registro geológico, una parte importante del área rectangular es submarina. El valor máximo de la z está condicionado por la altura del Teide, mientras que el valor mínimo está limitado por la cota mínima batimétrica del entorno de la isla. Los cálculos de modelización están condicionados por la superficie topográfica, y en el caso del fondo marino por la batimetría. Si al área marina le diésemos un valor de cota 0 m, esto tendría sus implicaciones en la modelización para la zona subaérea. Por ello, se introdujo la superficie batimétrica, con el mero objeto de que los cálculos de la isla de Tenerife fuesen más acordes. Sin embargo los resultados que se obtienen por debajo de la cota 0m no deben tenerse en cuenta, ya que no se ha considerado ningún dato geológico ni geofísico para ese entorno. En las secciones que se muestran se ha procurado ocultar los resultados que quedaban por debajo de esta cota, con objeto de centrarnos en la zona que consideramos se centran los datos.

#### 4.5.4 VOLUMETRÍA DE LAS UNIDADES VOLCANO-ESTRATIGRÁFICAS

El propio software GeoModeller tiene la capacidad de calcular el volumen de las unidades geológicas con las que se construyó el modelo. Este cálculo volumétrico requería dimensionar las celdas en sus tres ejes de coordenadas para a partir del grid tridimensional obtener los resultados volumétricos. Los parámetros con los que se estimaron los volúmenes fueron los siguientes para ambos modelos:

X	Y	Z
240 m	200 m	100 m

nX	nY	nZ
300	290	80

#### 4.5.5 PARÁMETROS DE LOS DEPÓSITOS DE AVALANCHA

Se realizaron dos tipos de cálculos en base a los depósitos de avalancha. Por un lado se calculó la pendiente, área y longitud de los depósitos sobre los modelos teóricos construidos, y por otro lado se obtuvieron los cálculos matemáticos de las pendientes a partir de los datos reales conocidos (contacto de techo de los depósitos de avalancha). Así, finalmente se pudieron contrastar los dos tipos de pendientes, la teórica y la real.

Una vez se obtuvieron los resultados de los dos modelos, fue factible a partir de las imágenes el cálculo teórico de la inclinación del plano de deslizamiento para los distintos valles, así como dimensiones que incluían área y longitud (siempre restringidos a los valores sobre el nivel del mar).

Para el cálculo de las pendientes teóricas, el procedimiento fue obtener las coordenadas de unos 8 ó 10 puntos del plano de deslizamiento a partir de secciones donde se intersectaba. El plano vendría definido por la superficie inferior de los depósitos de avalancha. A partir de los puntos se hizo una recta de ajuste, logrando así los valores del ángulo de deslizamiento. Ver Gráficas de la 5.1 a 5.4.

Las áreas teóricas de los depósitos se calcularon a partir de imágenes de los modelos 3D, vistas desde un punto zenital. Se tomaron como referencia las guías de coordenadas del plano inferior del prisma del proyecto y del plano superior. Se calculó el área según esas dos referencias y se hizo una media. Dado que el área de los depósitos no es un plano horizontal, sino que se trata de un plano irregular y con pendiente variable, el área teórica calculada nos dará un valor estimado, no real. Por esta razón, los valores de las áreas calculadas deben tomarse principalmente como órdenes de magnitud.

Para el cálculo de las pendientes a partir de los datos reales, se proyectaron las coordenadas (y,z) de los puntos de contacto de techo de los depósitos de avalancha sobre un plano vertical paralelo al eje de los valles de Icod y La Orotava y el macizo de Tigaiga (un plano para cada zona), y a partir de la proyección de los puntos se calculó la recta de ajuste (Tabla 5.5 y Gráficas 5.6, 5.7 y 5.8). Se utilizaron los contactos de techo porque son los contactos conocidos de los depósitos de avalancha, ya que en los casos de Tigaiga e Icod se desconoce el punto de contacto del muro de los depósitos. Para el caso de La Orotava es conocido el punto de contacto de techo, pero del muro sólo se tienen 3 puntos, que se consideran muy escasos para realizar cálculos de rectas de ajuste.