

# **Manual de usuario del software**

## **CRGround®**

© 2021 - Grupo Inielectric

*Dirección de contacto para  
cualquier duda o sugerencia:  
[carrolbl@die.upv.es](mailto:carrolbl@die.upv.es)*



# Índice CRGround

1	Información importante.....	1
1.1	Justificación.....	1
2	Instalación y licencia.....	3
3	Primeros pasos.....	9
3.1	Directorio de trabajo.....	9
3.2	Primer guardado.....	11
3.3	Archivos recientes.....	13
3.4	Definición de geometría.....	14
3.5	Proceso de cálculo.....	27
3.5.1	Resistencia a tierra.....	27
3.5.2	Potenciales en el terreno.....	28
3.5.3	Valores de seguridad.....	28
3.5.4	Tensiones de paso.....	29
3.5.5	Tensiones de contacto.....	29
3.5.6	Tensiones transferidas.....	30
3.6	Resultados gráficos.....	30
3.6.1	Geometría.....	31
3.6.2	Potenciales en el terreno.....	32
3.6.3	Tensiones de paso.....	33
3.6.4	Tensiones de contacto.....	35
3.7	Informe de resultados.....	36
4	Menú y controles.....	40
4.1	Menú Archivo.....	40
4.2	Menú Edición.....	40
4.3	Menú Ayuda.....	40
4.4	Menú Preferencias.....	41
4.4.1	Pestaña Proyecto.....	41
4.4.2	Pestaña Gráficas.....	42
5	Salida gráfica.....	44
5.1	Geometría.....	44
5.2	Potenciales en el terreno.....	45

5.3	Tensiones de paso .....	46
5.4	Tensiones de contacto .....	47
6	Flujo de trabajo .....	50
6.1	Definición del proyecto .....	50
6.2	Definición del electrodo .....	50
6.3	Definición de zonas inaccesibles .....	50
6.4	Renderización de geometría .....	50
6.5	Cálculos .....	50
6.6	Salida gráfica.....	51
6.7	Informe.....	51

# 1 Información importante

CRGround® es un sencillo pero potente software de cálculo capaz de simular electrodos de puesta a tierra en instalaciones eléctricas con terrenos de resistividad uniforme en una o dos capas. Este software incorpora múltiples opciones para facilitar los estudios de las puestas a tierra, tales como opciones para importar y visualizar los electrodos, pasos de cálculo secuenciales guiados y la posibilidad de crear un informe en archivo de Word con formato \*.docx automáticamente, analizando todos los resultados del cálculo. La salida gráfica es interactiva, potente y completa y resulta muy sencillo incluirla en el informe. El algoritmo de cálculo numérico ha sido desarrollado y optimizado por los autores (grupo Inielectric).

El software ha sido contrastado mediante la comparación con diversa bibliografía científica y con otros softwares profesionales, tanto con terrenos de una capa como con terrenos de dos capas, con unos resultados de gran precisión, tanto para conductores rectilíneos (incluyendo mallas y picas) como para arcos de circunferencia. Los errores son generalmente despreciables, se puede tomar una tolerancia aproximada del 1% sobre los cálculos que realiza el software.

El software ha sido diseñado especialmente para su uso por parte de ingenierías para el estudio de las puestas a tierra de instalaciones reales, tales como centros de transformación, subestaciones eléctricas, apoyos de líneas aéreas o centrales generadoras, entre otras. Dada la importancia de estos cálculos dentro del proyecto de diseño de las instalaciones para la protección de las personas, los autores han tratado de simplificar el cálculo y la salida de resultados, pero no se hacen responsables de errores en los resultados derivados de un uso indebido o de una mala interpretación de los mismos.

El presente manual facilita la comprensión del uso de la práctica totalidad de las instrucciones que el programa puede ejecutar. No obstante, como se ha indicado, se trata de software técnico para el que la formación en la materia tratada puede resultar muy recomendable.

Todo el manual ha sido desarrollado de manera visual utilizando la versión de CRGround 0.99 de 64 bits en Windows 10, por lo que algunas figuras pueden haber sufrido correcciones o mostrar un aspecto ligeramente distinto en versiones posteriores.

Los autores agradecen el interés mostrado por algunas ingenierías, que ha propiciado el desarrollo del presente software hasta la versión que se describe en el presente manual.

## 1.1 Justificación

El diseño de la puesta a tierra de las instalaciones eléctricas es un procedimiento de gran responsabilidad, habida cuenta de su influencia en la seguridad de la instalación para las personas por el riesgo que entraña un diseño erróneo, sobre todo en instalaciones de alta tensión, tales como Instalaciones generadoras, subestaciones transformadoras, apoyos de líneas de alta tensión y centros de transformación.

La práctica actual en ingeniería para el diseño de estas instalaciones consiste en dos aproximaciones: utilización de elementos estándar con valores tabulados o utilización de programas de diseño electromagnético, de un elevado coste y gran complejidad.

En el primer caso, los resultados pueden diferir bastante de los observados en la realidad y, en general, los valores tabulados no comprenden la totalidad de casos que pueden presentarse.

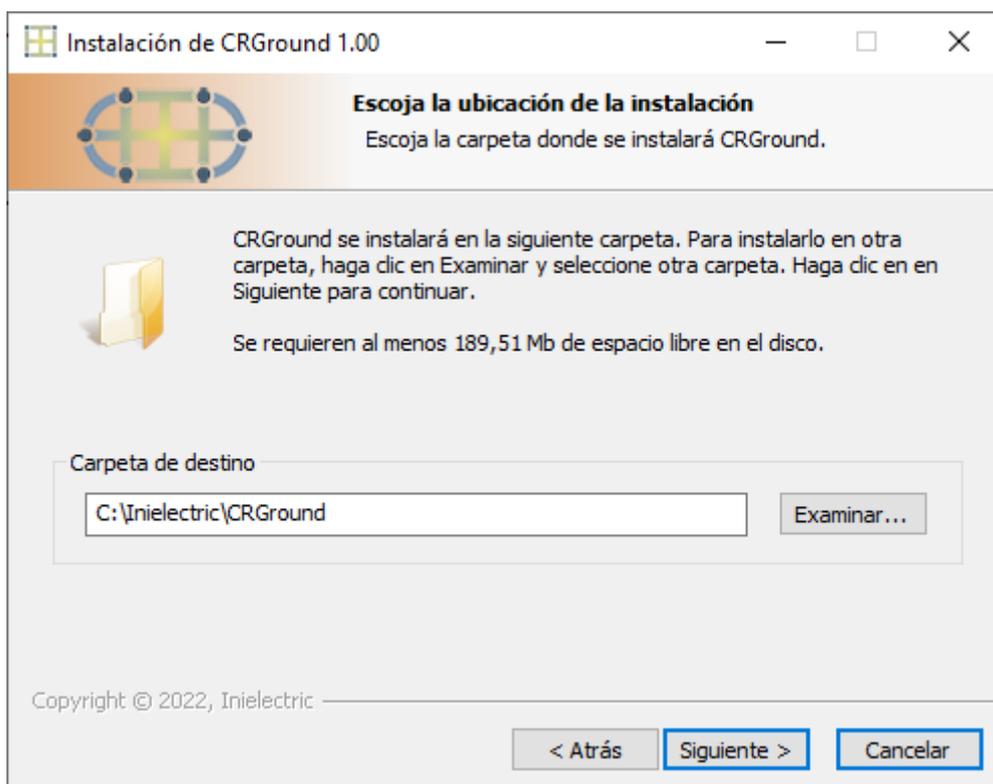
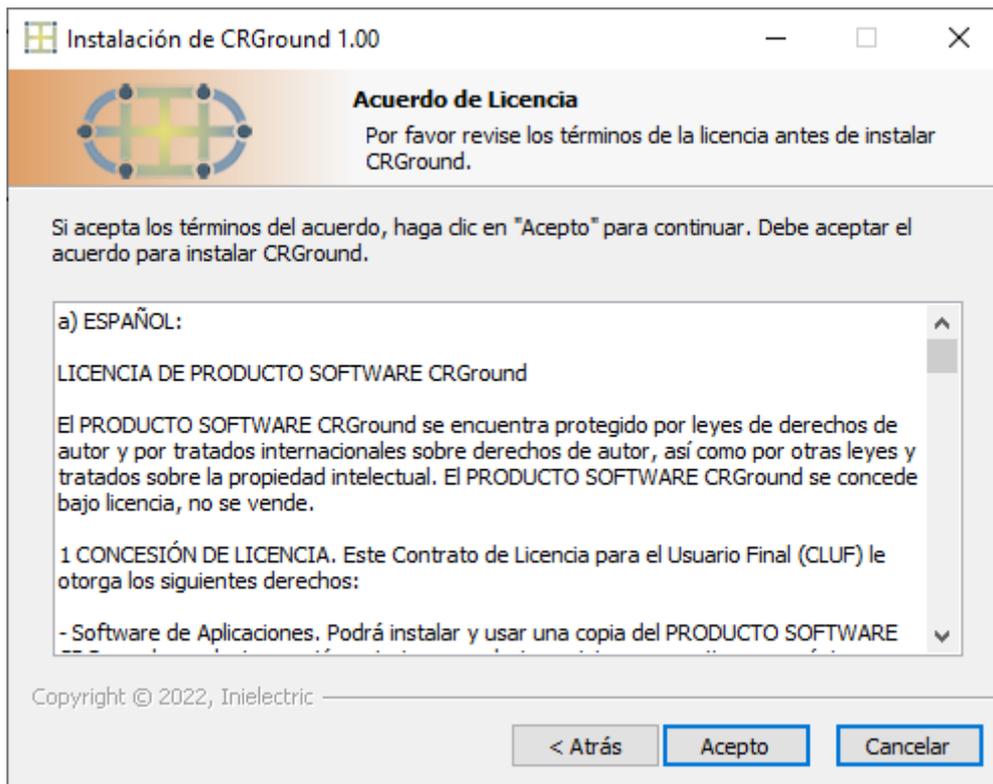
En el segundo caso las ingenierías se ven obligadas a adquirir programas muy potentes, de los que, en muchos casos, sólo utilizan algunas de sus funciones, resultando un coste muy elevado, que no está al alcance de pequeñas ingenierías.

Este nuevo software que presentamos resuelve, con precisión comparable a la de los programas más potentes, el problema del diseño de las puestas a tierra, con gran sencillez de uso y un coste muy asequible.

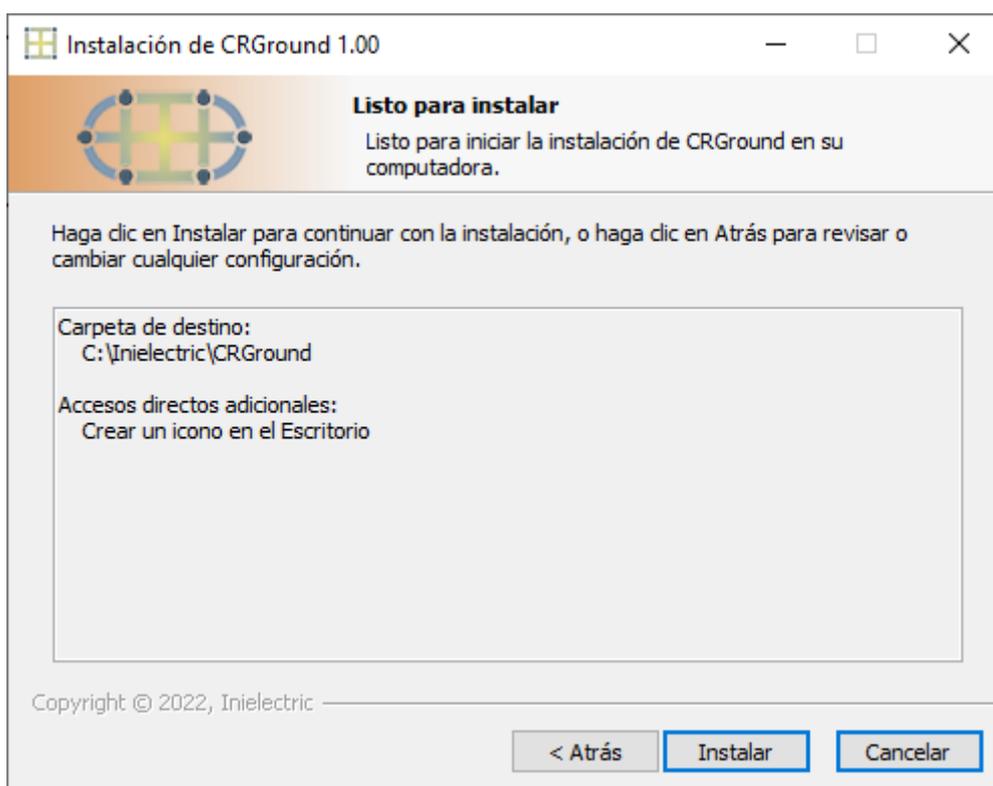
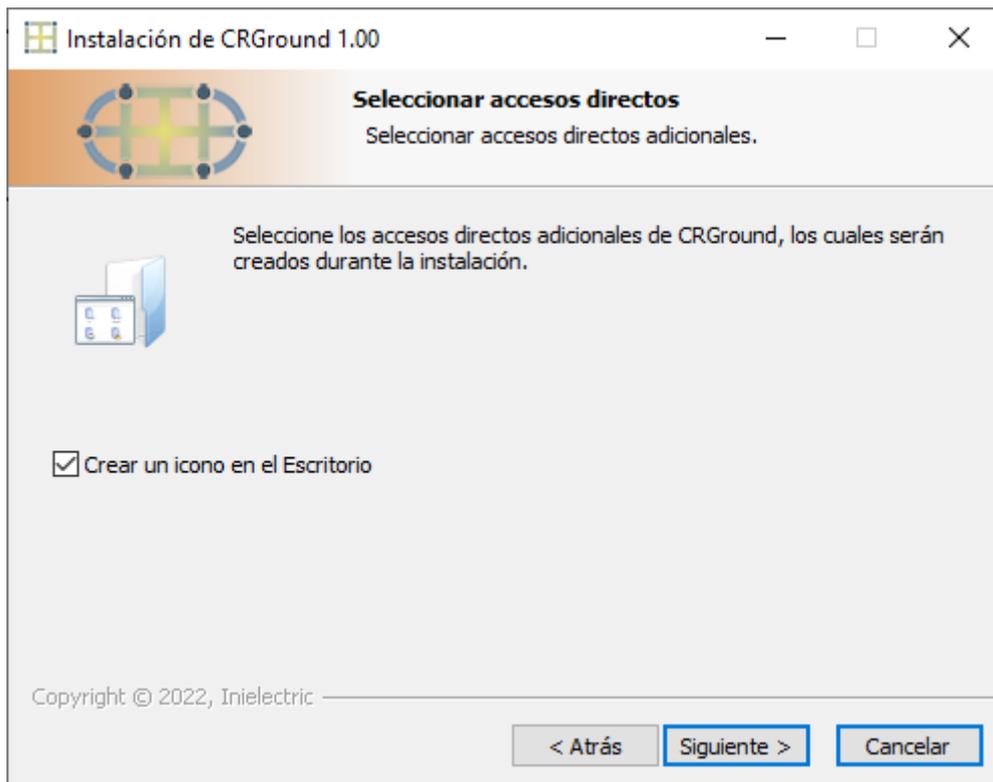
## 2 Instalación y licencia

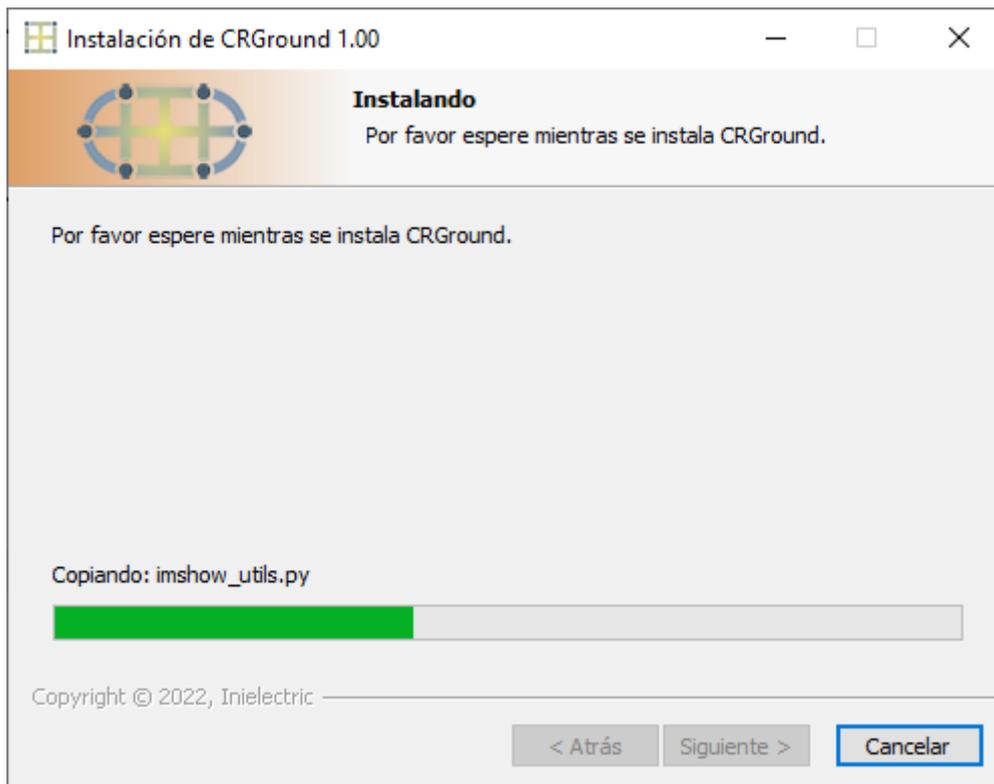
Para instalar CRGround, debe ejecutarse el archivo "CRGround Setup.exe" con permisos de administrador. El instalador le guiará durante el proceso de instalación.





Es conveniente instalar el software en "C:\Inielectric\CRGround" u otro directorio no protegido contra escritura, para facilitar el acceso del programa a sus propios recursos.



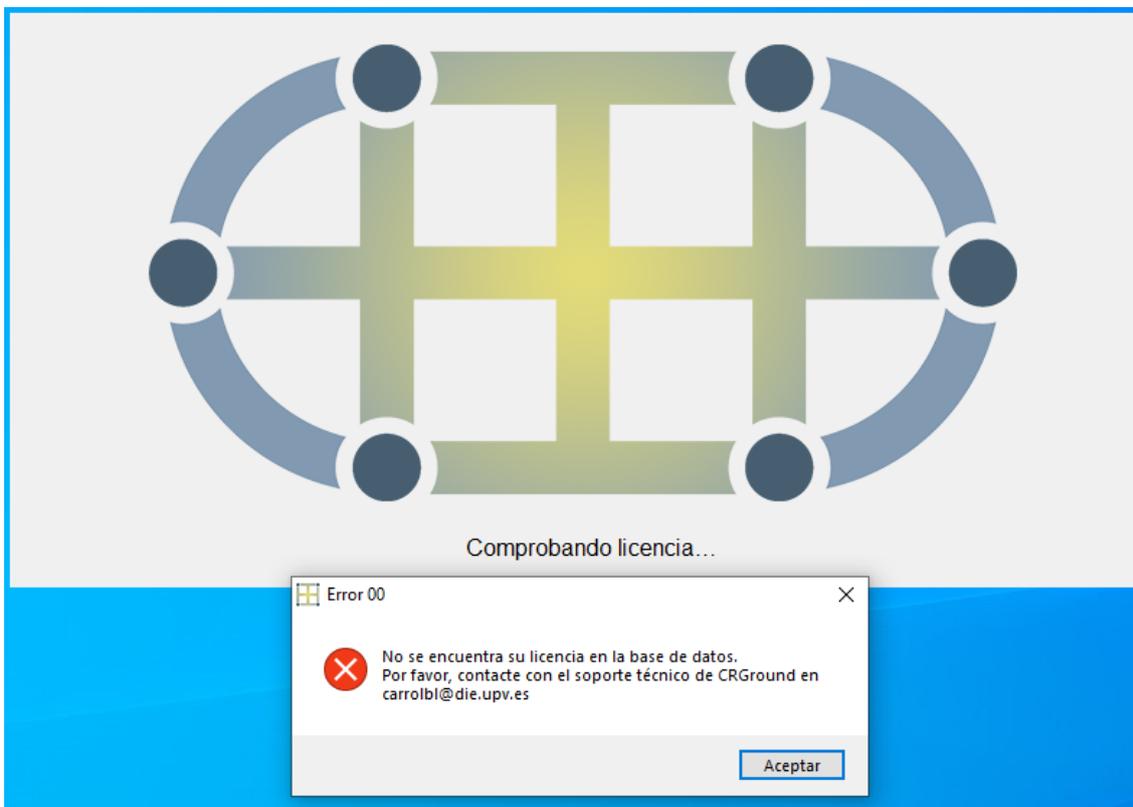


El software aparecerá en la carpeta raíz seleccionada.

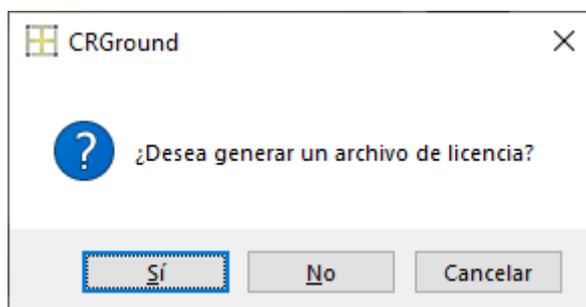


En esta carpeta está también el archivo "Uninstall.exe" que permite desinstalarlo por completo. Siempre **es recomendable reiniciar el equipo justo antes y después de una desinstalación** para que se cierre cualquier proceso residual. Del mismo modo, se recomienda eliminar cualquier archivo o directorio que el proceso de desinstalación no elimine por sí solo.

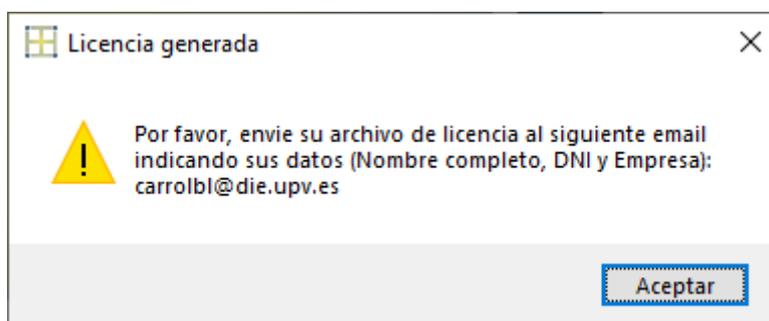
Al abrir el software, este comprobará si hay una licencia activa. Para ello es necesaria una conexión a internet, pues de lo contrario, el software no podrá continuar con la comprobación.



Si no hay una licencia activa nos permite generar una solicitud.



La solicitud creada debe ser enviada a [carrolbl@die.upv.es](mailto:carrolbl@die.upv.es).



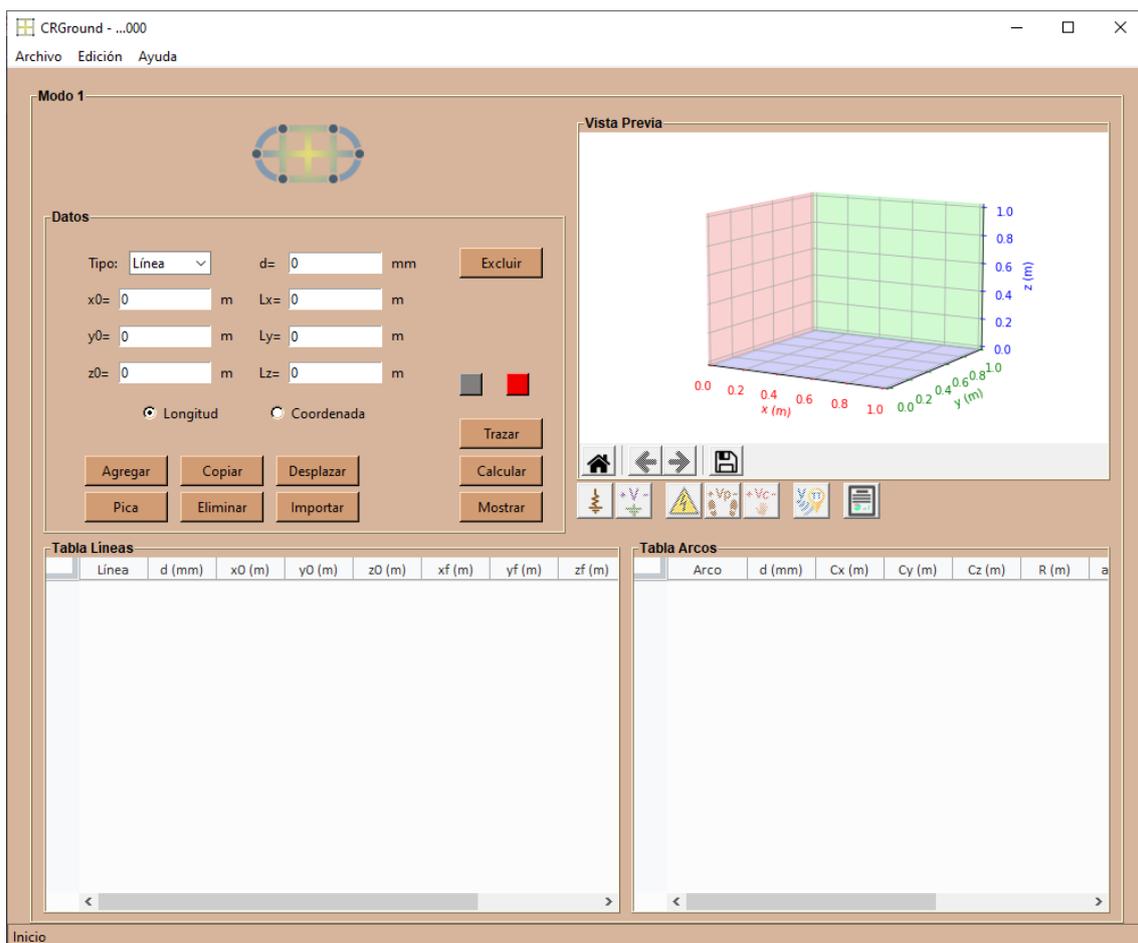
En el email hay que **adjuntar esta solicitud e indicar los siguientes datos** (con el fin exclusivo de poder identificar al usuario inequívocamente):

- Nombre completo del usuario o alias elegido (si una misma empresa adquiere múltiples licencias, este nombre hará referencia a la licencia objeto del presente formulario exclusivamente):
- Nombre de la empresa (en caso de particulares se puede indicar Particular):
- NIF del usuario o CIF de la empresa:

Para solucionar cualquier problema en el futuro relativo a la licencia para ese equipo, habrá que **indicar esos mismos datos** para identificar la licencia concreta.

Una vez enviado, se tramitará la licencia y se comunicará por correo que la licencia está activa.

Al ejecutar el software tras activarse la licencia, este se abrirá normalmente.



Este proceso permite activar la licencia para este equipo. Para cambiar de equipo hay que enviar un correo a [carrolbl@die.upv.es](mailto:carrolbl@die.upv.es) con la solicitud generada desde el nuevo equipo e indicar los datos citados anteriormente para que al tramitar el alta se tramite simultáneamente la baja de la licencia anterior.

Los costes de las licencias se pueden consultar a través del citado correo electrónico.

### 3 Primeros pasos

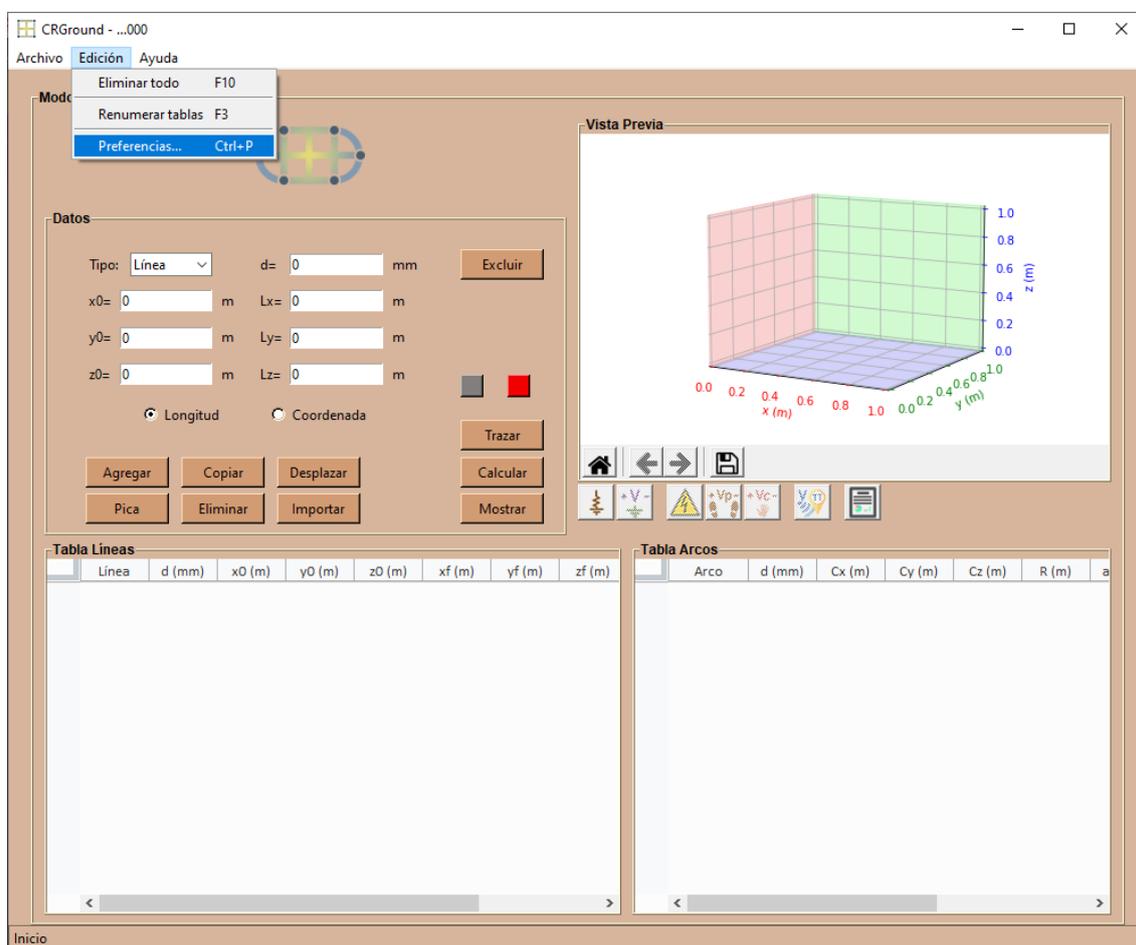
Esta sección explica las primeras acciones a tener en cuenta al utilizar el programa.

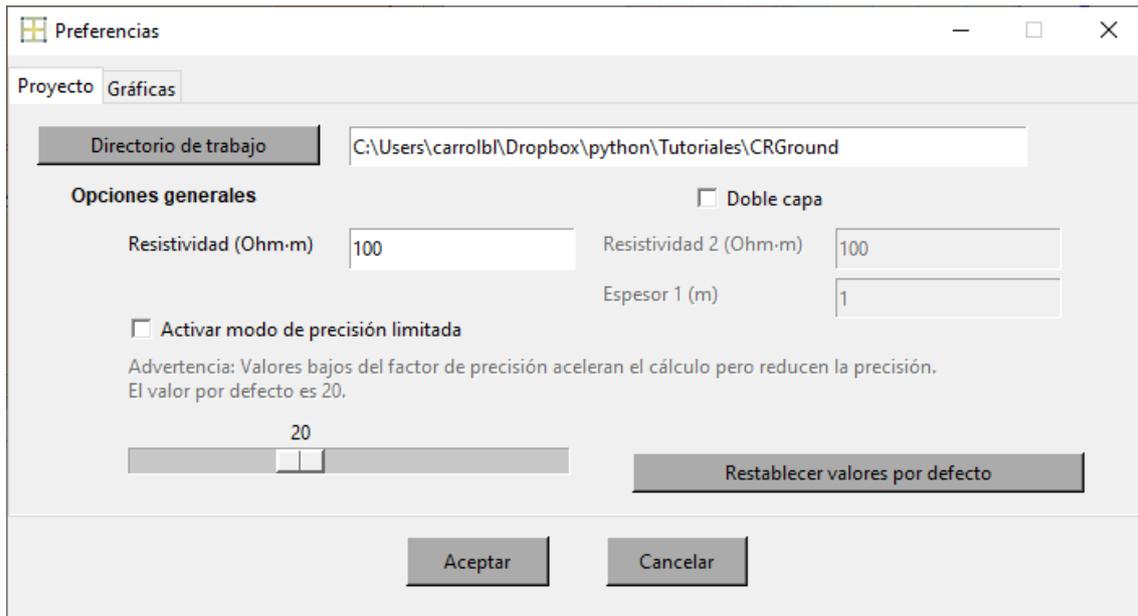
#### 3.1 Directorio de trabajo

Es importante tener un directorio para el proyecto a estudiar, en el disco duro donde se almacenan datos.

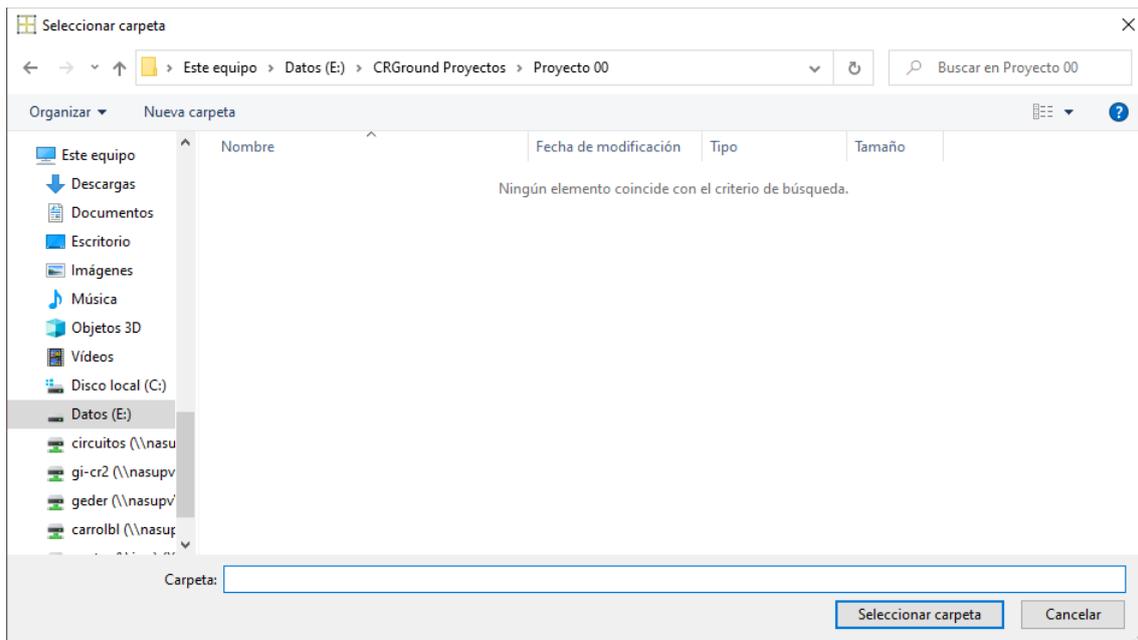


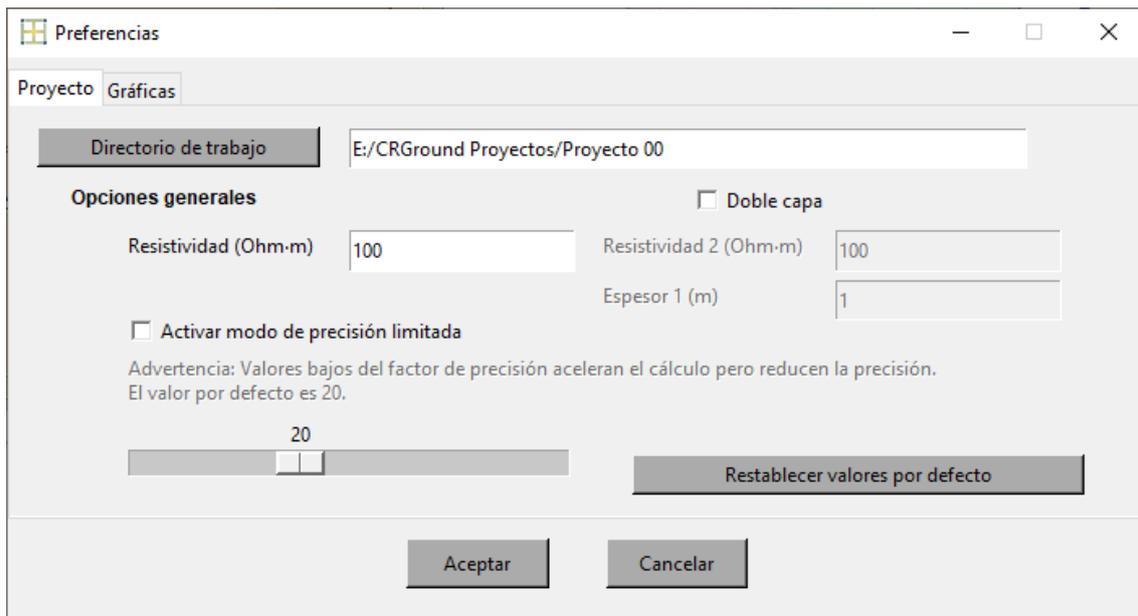
La ruta de este directorio será el directorio de trabajo que puede especificarse desde el menú *Edición>Preferencias* o con el atajo de teclado **Control+P**.





Clicando en el botón de Directorio de trabajo se abre un menú del explorador en el que se puede navegar hasta el directorio del proyecto y seleccionarlo.



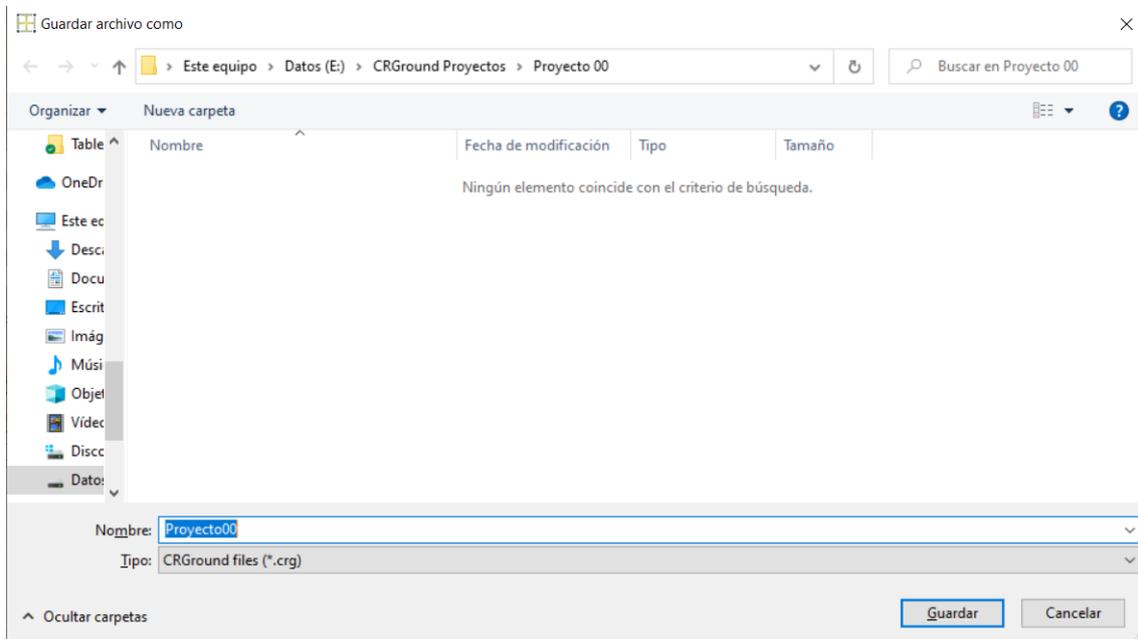
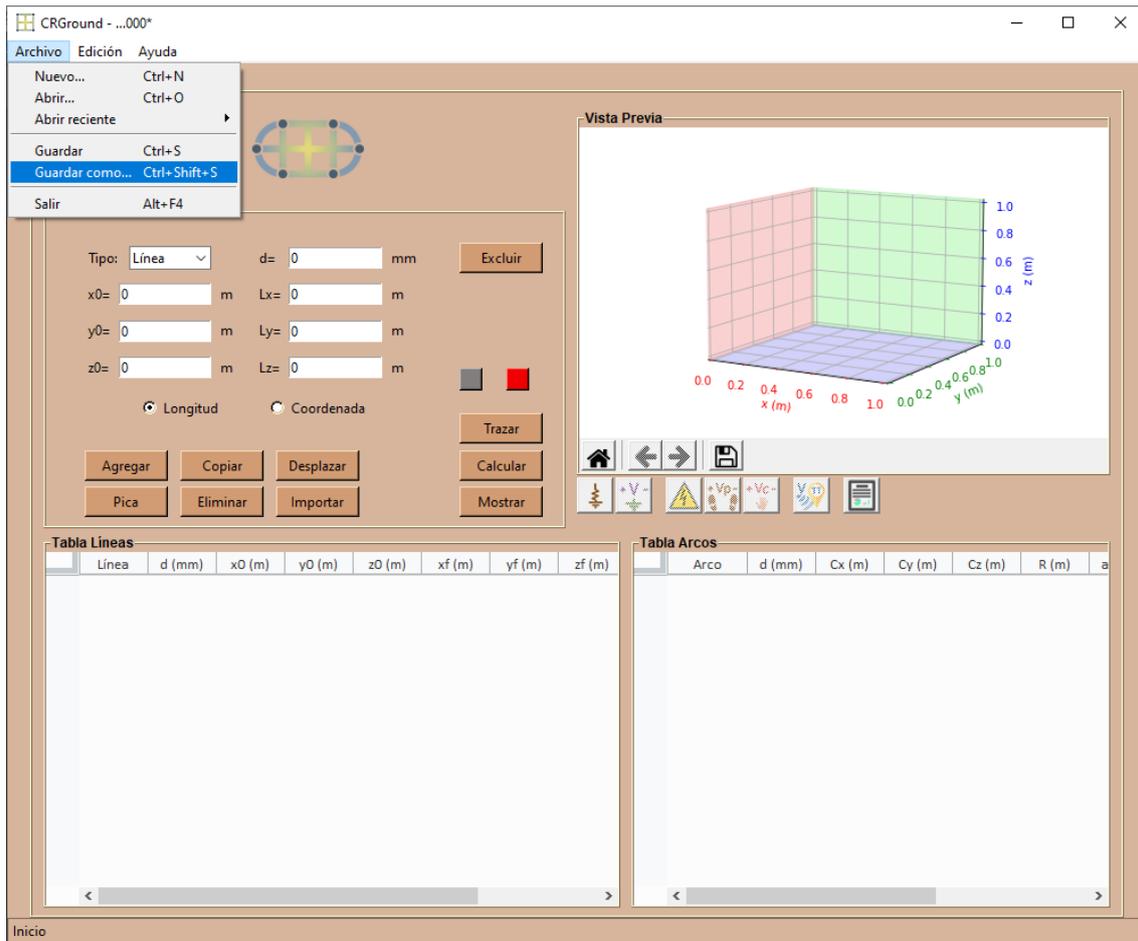


Esto hará que el software busque todos los archivos de trabajo en este directorio como punto de partida cada vez que queramos guardar o cargar algún archivo del proyecto.

Para guardar las preferencias hay que Aceptar.

### 3.2 Primer guardado

Antes de comenzar a trabajar en el proyecto, conviene guardar un archivo en el directorio con el nombre deseado. Para ello se puede utilizar el menú *Archivo>Guardar como* o el atajo de teclado Control+Mayúscula+S.

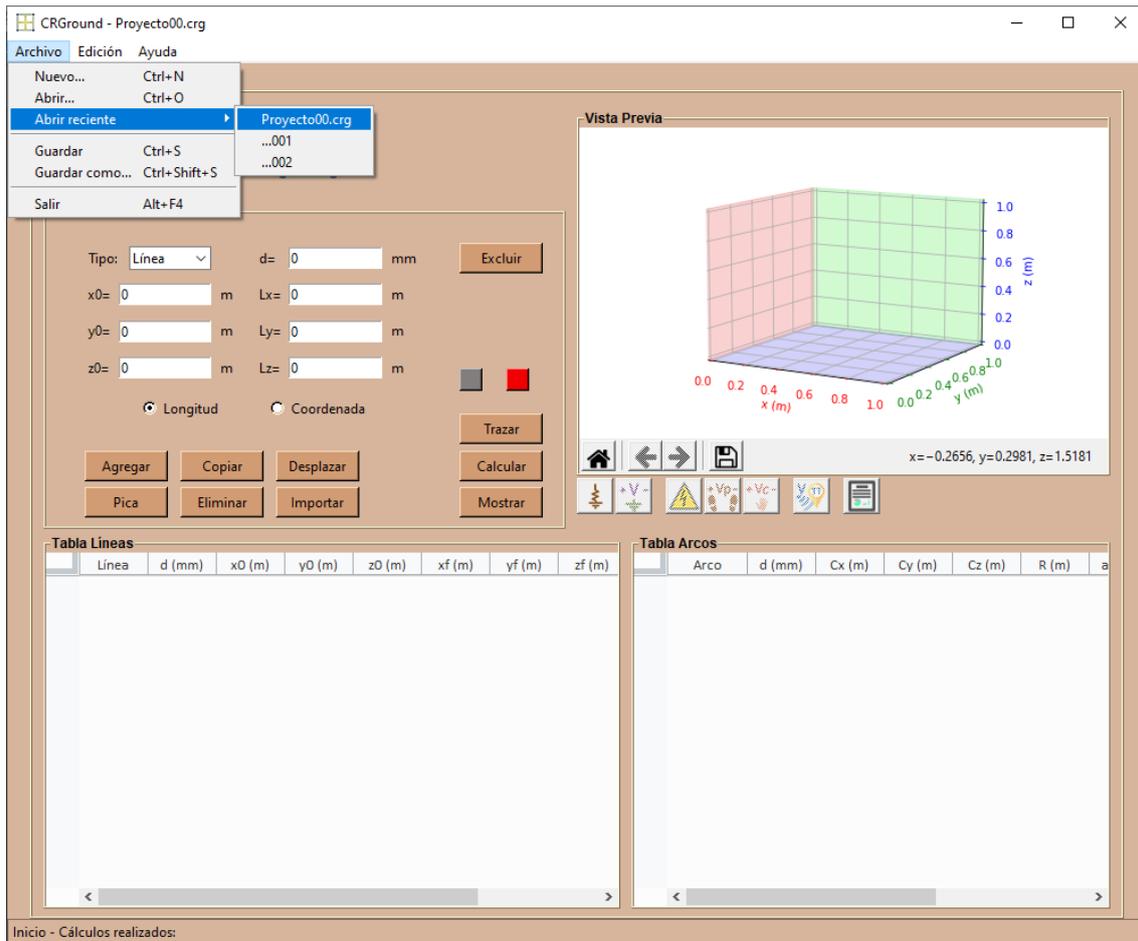


En el directorio aparecerá el proyecto guardado. Desde el menú Archivo se puede iniciar un archivo de proyecto nuevo o abrir uno existente.

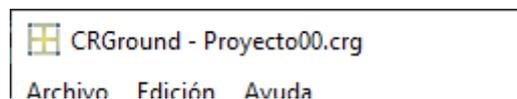
Datos (E:) > CRGround Proyectos > Proyecto 00			
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Proyecto00.crg	20/07/2022 11:33	Archivo CRG	1 KB

### 3.3 Archivos recientes

También aparecerá en el menú *Archivo>Abrir reciente*. Aquí aparecen los tres últimos archivos abiertos.



En el título superior de la ventana aparece también el título del proyecto.



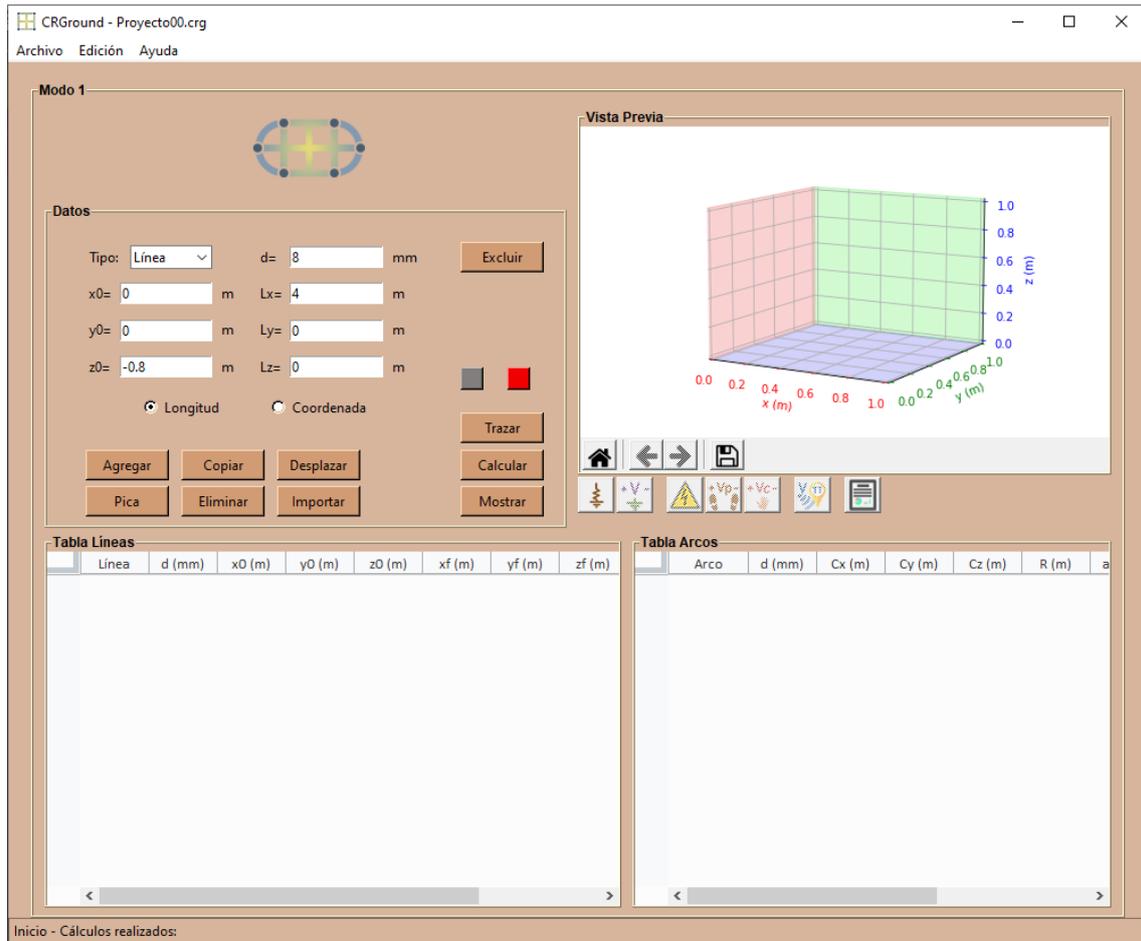
Si hacemos cualquier cambio en el proyecto (por ejemplo, redibujar el electrodo mediante el botón de Trazar), en la mayoría de casos, el nombre del proyecto en el título superior de la ventana aparecerá con un asterisco (\*) que indica que existe algún cambio sin guardar. En ese caso, al cerrar el programa aparecerá un mensaje preguntando si se desea guardar los cambios en el proyecto. No obstante, se destaca la importancia de guardar cambios periódicamente mediante el menú *Archivo>Guardar* o el atajo de teclado **Control+S**.



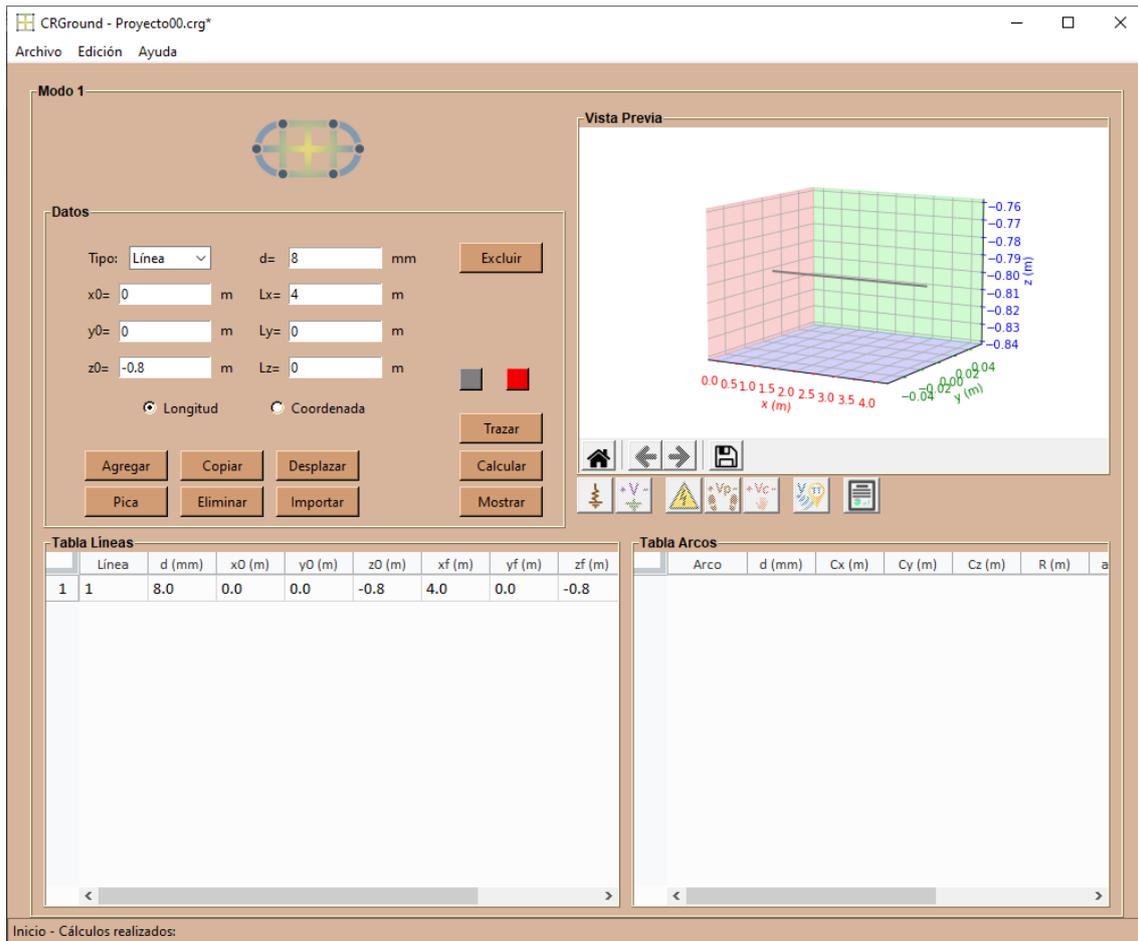
### 3.4 Definición de geometría

La definición de un electrodo de puesta a tierra se puede realizar mediante la introducción manual de tramos rectilíneos (conductores o picas) y arcos de circunferencia o mediante la importación de estos elementos desde un archivo en formato \*.dxf.

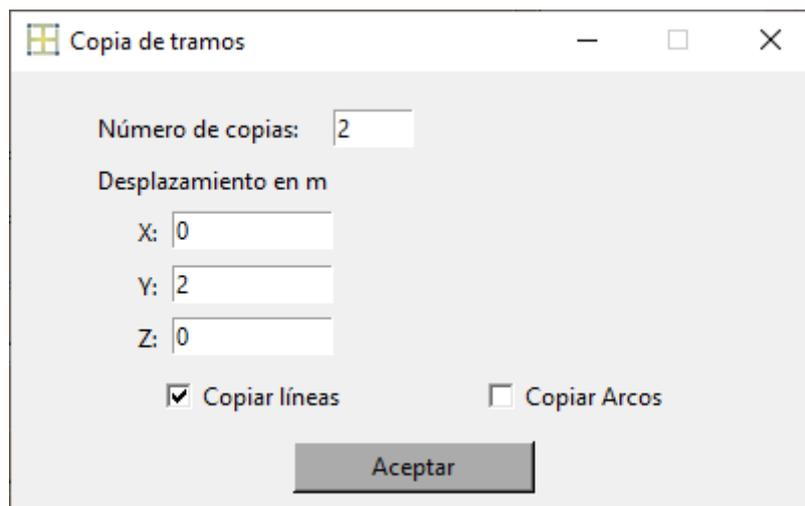
Para introducir un tramo rectilíneo se elige el tipo “Línea” y se indica el diámetro del conductor en mm. Se introducen las coordenadas de inicio y se pueden indicar las coordenadas finales o el desplazamiento en cada eje. Por ejemplo, la siguiente imagen muestra los datos para introducir un conductor de 8 mm de diámetro que va desde el (0,0,-0.8) hasta el (4,0,-0.8).



Para introducirlo se pulsa el botón Agregar y este aparece en la tabla y en la gráfica.



El botón de Copiar permite crear copias del conductor. Por ejemplo, se pueden hacer otros dos conductores paralelos cada 2m en el eje Y positivo. Para ello hay que seleccionar las filas a copiar y clicar en el botón de Copiar.



CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 8.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 4.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= 0.0 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

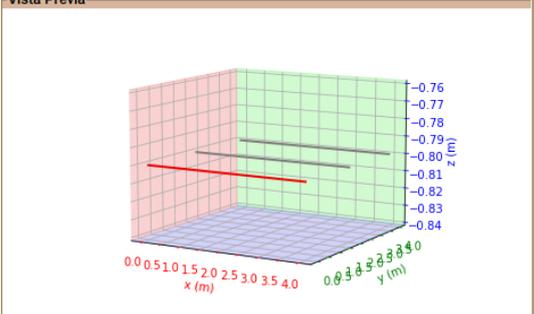


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8

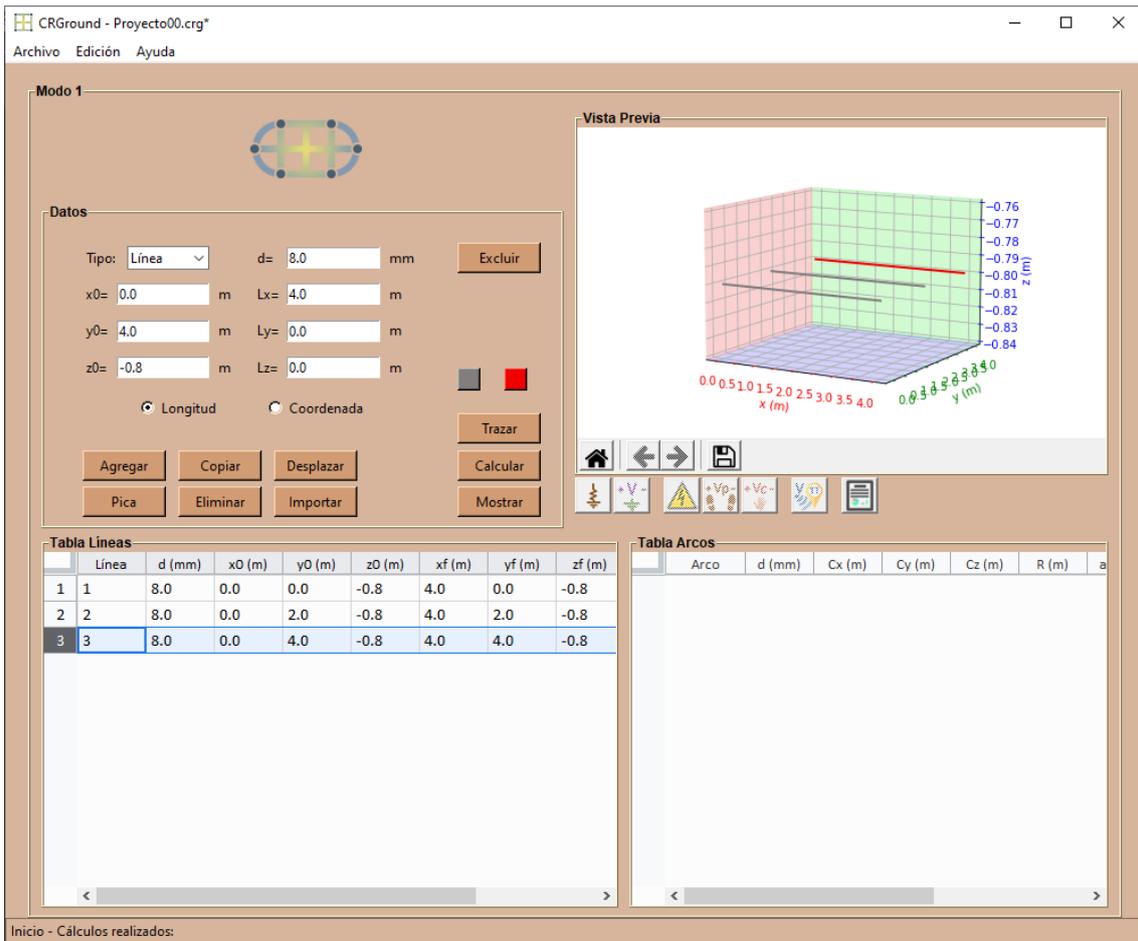
Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

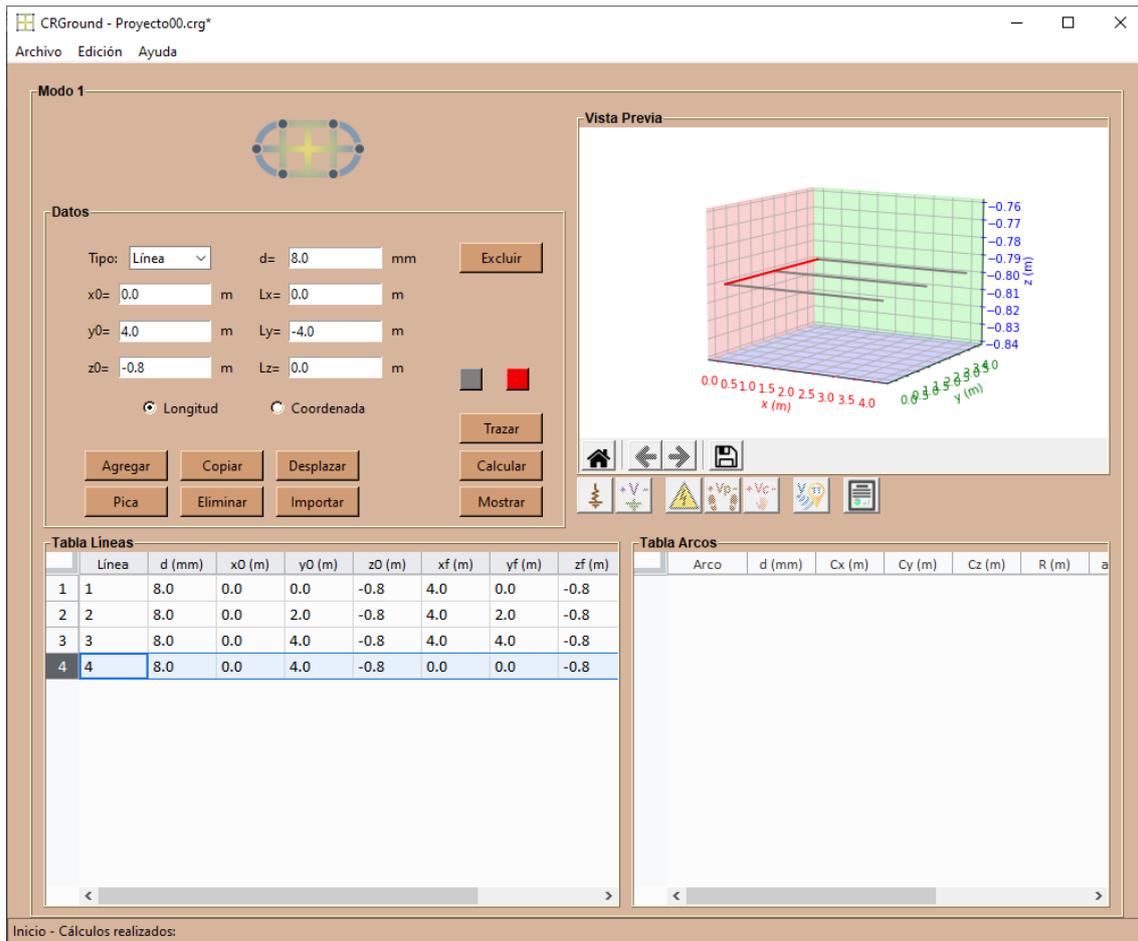
Se elige copiar las líneas seleccionadas porque no se han seleccionado arcos.

Si se selecciona un conductor, se copian sus coordenadas al formulario de introducción de datos. Por ejemplo, al seleccionar la tercera fila se copian los datos del tercer conductor.

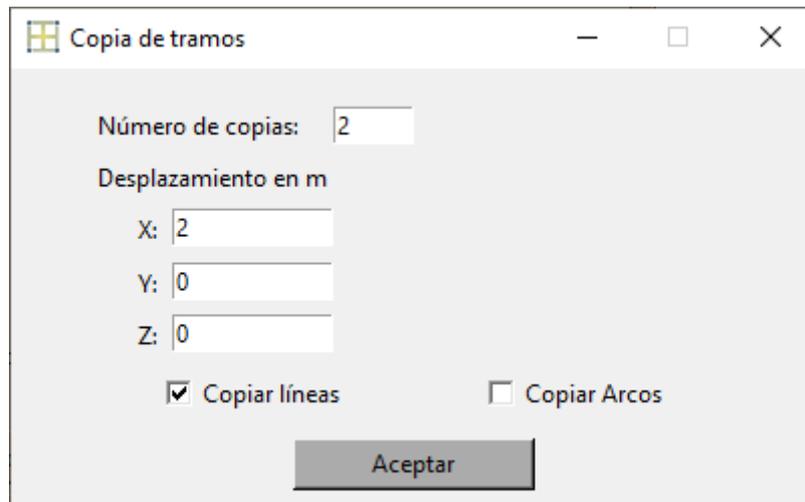


Desde el origen de este conductor se puede dibujar uno que avance -4m en el eje Y.





Nuevamente, copiando dos veces este conductor cada 2m en X se puede completar una malla con 4 cuadrados.



CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 8.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 0.0 m

y0= 4.0 m Ly= -4.0 m

z0= -0.8 m Lz= 0.0 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

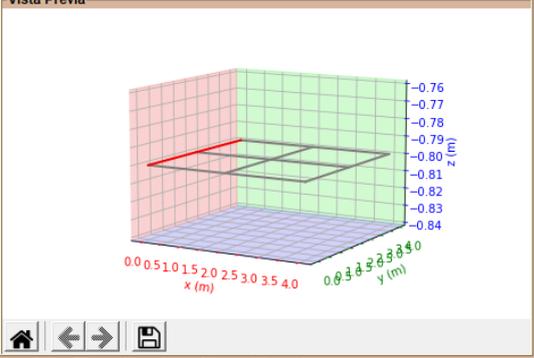


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

El botón de Desplazar permite modificar la posición de los tramos seleccionados. Para introducir picas se pueden introducir conductores verticales o utilizar el botón Pica. Por ejemplo, se puede introducir una pica donde comienza el primer conductor. Si se selecciona, se tomarán las coordenadas de inicio directamente.

CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 8.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 4.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= 0.0 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

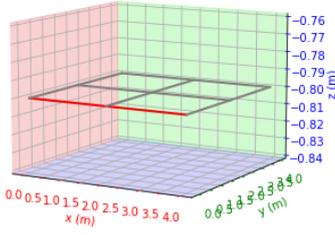


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

Agregar pica

d (mm): 14

X (m): 0.0

Y (m): 0.0

Z (m): -0.8

L (m): 2

Aceptar

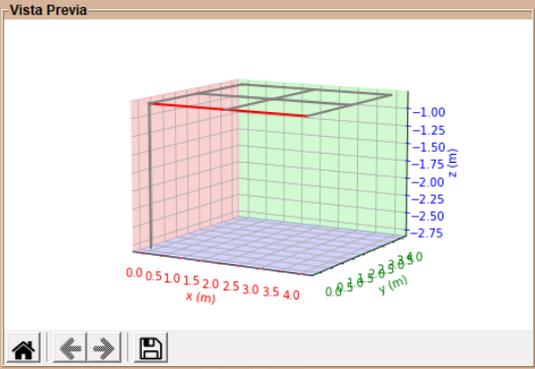
CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Vista Previa



Datos

Tipo: Línea d= 8.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 4.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= 0.0 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
7	7	14.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.0	-2.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

Se puede copiar la pica a otra esquina contigua de la malla.

CRGround - Proyecto00.crg\*  
 Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 14.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 0.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= -1.9999999999 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

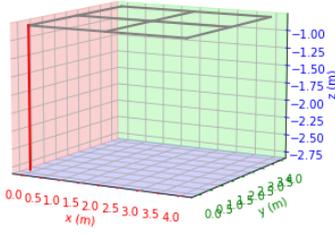


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
7	7	14.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.0	-2.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

Copia de tramos

Número de copias: 1

Desplazamiento en m

X: 4

Y: 0

Z: 0

Copiar líneas  Copiar Arcos

Aceptar

CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 14.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 0.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= -1.9999999999999999 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

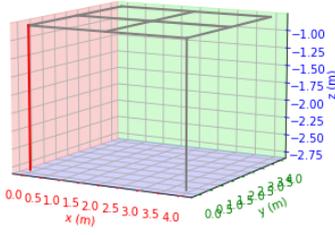


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
7	7	14.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.0	-2.8
8	8	14.0	4.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-2.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

Ambas picas se pueden copiar a las esquinas restantes.

CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 14.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 0.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= -1.9999999999 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

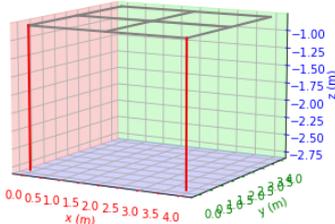


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
7	7	14.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.0	-2.8
8	8	14.0	4.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-2.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

Copia de tramos

Número de copias: 1

Desplazamiento en m

X: 0

Y: 4

Z: 0

Copiar líneas  Copiar Arcos

Aceptar

CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo: Línea d= 14.0 mm Excluir

x0= 0.0 m Lx= 0.0 m

y0= 0.0 m Ly= 0.0 m

z0= -0.8 m Lz= -1.9999999999 m

Longitud  Coordenada

Trazar

Agregar Copiar Desplazar

Pica Eliminar Importar

Calcular

Mostrar

Vista Previa

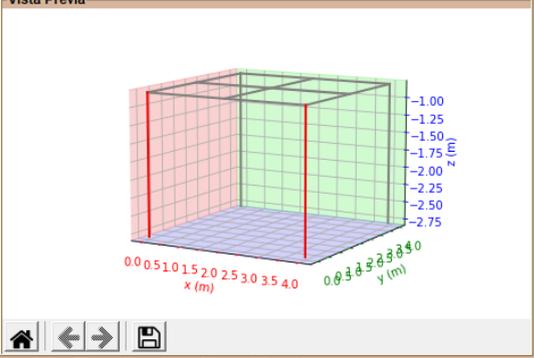


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
7	7	14.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.0	-2.8
8	8	14.0	4.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-2.8
9	9	14.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	4.0	-2.8
10	10	14.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-2.8

Tabla Arcos

Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a

Inicio - Cálculos realizados:

El botón Eliminar permite eliminar tramos seleccionados. El botón Importar permite importar de un archivo en formato \*.dxf todos los elementos de la capa deseada que sean líneas, círculos o arcos. Para insertar un arco se elige el tipo Arco. Hay que seleccionar las coordenadas del centro, el diámetro del conductor, el radio de giro del arco y los ángulos inicial y final en sentido antihorario (el eje X indica el ángulo 0). Por ejemplo, se puede hacer una semicircunferencia exterior en el lado de mayor coordenada Y.

CRGround - Proyecto00.crg\*

Archivo Edición Ayuda

Modo 1



Datos

Tipo:  d=  mm

x0=  m R=  m

y0=  m  $\alpha$ 0=  °

z0=  m  $\alpha$ f=  °

Vista Previa

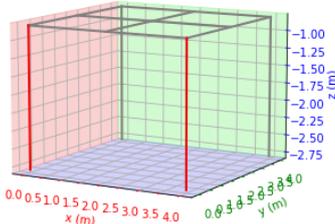


Tabla Líneas

	Línea	d (mm)	x0 (m)	y0 (m)	z0 (m)	xf (m)	yf (m)	zf (m)
1	1	8.0	0.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
2	2	8.0	0.0	2.0	-0.8	4.0	2.0	-0.8
3	3	8.0	0.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-0.8
4	4	8.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	0.0	-0.8
5	5	8.0	2.0	4.0	-0.8	2.0	0.0	-0.8
6	6	8.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	0.0	-0.8
7	7	14.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.0	-2.8
8	8	14.0	4.0	0.0	-0.8	4.0	0.0	-2.8
9	9	14.0	0.0	4.0	-0.8	0.0	4.0	-2.8
10	10	14.0	4.0	4.0	-0.8	4.0	4.0	-2.8

Tabla Arcos

	Arco	d (mm)	Cx (m)	Cy (m)	Cz (m)	R (m)	a
--	------	--------	--------	--------	--------	-------	---

Inicio - Cálculos realizados:

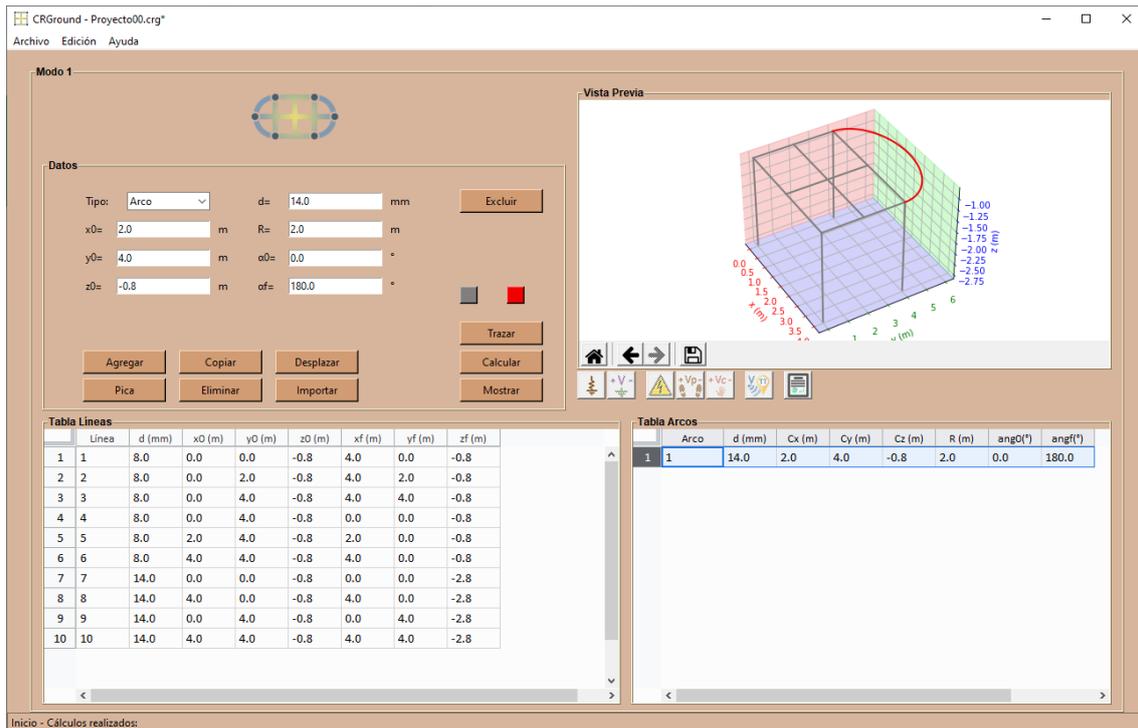
Datos

Tipo:  d=  mm

x0=  m R=  m

y0=  m  $\alpha$ 0=  °

z0=  m  $\alpha$ f=  °



Desde el botón Excluir se pueden definir polígonos de exclusión o importarlos desde polilíneas de un archivo con extensión \*.dxf. Estas zonas se suponen inaccesibles y se excluyen del cálculo. Puede utilizarse para interiores de estructuras, armarios, tabiques, etc. El botón Trazar redibuja el gráfico de vista previa con los colores de tramo y tramo seleccionado que se indiquen en los dos botones cuadrados que tiene encima. El botón Calcular inicia el proceso secuencial de cálculo. Para acceder directamente a un paso del cálculo se pueden utilizar los botones de la barra de herramientas bajo el gráfico de vista previa. El botón de Mostrar permite obtener resultados gráficos. Y el último botón de la barra de herramientas permite exportar el cálculo a un informe en formato \*.docx.

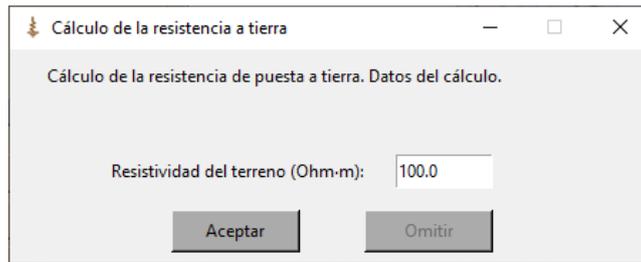
### 3.5 Proceso de cálculo

El proceso normal de cálculo consta de las siguientes etapas:



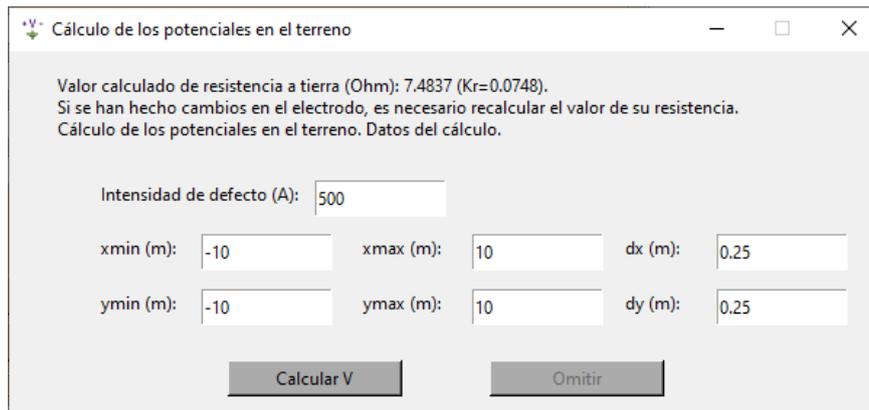
#### 3.5.1 Resistencia a tierra

Se pide la resistividad de la capa superior del terreno (si en preferencias se activa la doble capa hay que indicar ahí la resistividad de la capa inferior y el espesor de la capa superficial). Se obtiene la resistencia a tierra y el valor del coeficiente de resistencia a tierra  $K_r$ .



### 3.5.2 Potenciales en el terreno

Se pide la intensidad de defecto y la zona de cálculo y el espaciado de los puntos de cálculo. El resultado se guarda para representarlo gráficamente.



### 3.5.3 Valores de seguridad

Se pide la resistencia del calzado y la duración del defecto. Se calculan los límites de tensiones de paso y contacto. Se pueden definir polígonos correspondientes a zonas de seguridad (zonas pavimentadas o similar para reducir las tensiones de paso y contacto admisible) y polígonos correspondientes a zonas de seguridad aumentada (zonas equipotenciales con mallado de seguridad conectado a la puesta a tierra para eliminar las tensiones de paso y contacto). Los polígonos se pueden importar desde polilíneas de archivos en formato \*.dxf. Al pulsar en Calcular se guardan los valores introducidos para los cálculos.

**⚠ Cálculo de los valores de seguridad**

Resistencia a tierra y potenciales en el terreno ya calculados previamente.  
Si se han hecho cambios en el electrodo, es necesario recalcular el valor de su resistencia.  
Cálculo de los valores de seguridad. Datos del cálculo.

**Seguridad en el terreno**

Resistencia del calzado (Ohm):

Resistencia del calzado en zona segura (Ohm):

Tiempo de disparo (s) con un decimal:

**Tensiones de seguridad en el terreno**

V admisible (persona): 107.00 V

V paso admisible (terreno): 5992.00 V

V contacto admisible (terreno): 230.05 V

**Zonas de seguridad**

Tabla seguridad

	x(m)	y(m)
1		

Resistividad pavimento (Ohm-m):

Esesor pavimento (m):

Resistividad corregida (Ohm-m): 2357.14

V paso admisible (zona): 20482.86 V

V contacto admisible (zona): 592.32 V

V paso admisible (acceso): 13237.43 V

**Zonas de seguridad aumentada**

Tabla seguridad aumentada

	x(m)	y(m)
1		

Resistividad pavimento (Ohm-m):

Esesor pavimento seguro (m):

Resistividad corregida (Ohm-m): 2484.19

V paso admisible (acceso): 13645.25 V

### 3.5.4 Tensiones de paso

Se pide la zona de cálculo y el espaciado de los puntos de cálculo. El resultado se guarda para representarlo gráficamente. Se muestran alertas para cada pareja de puntos estudiados a distancias de 1m en la que se superan los límites admisibles.

**👤 Cálculo de las tensiones de paso**

Si se han hecho cambios en el electrodo, es necesario recalcular el valor de su resistencia.  
Cálculo y comprobación de las tensiones de paso. Datos del cálculo.

xmin (m):     xmax (m):     dx (m):

ymin (m):     ymax (m):     dy (m):

**Alertas en tensiones de paso**

```

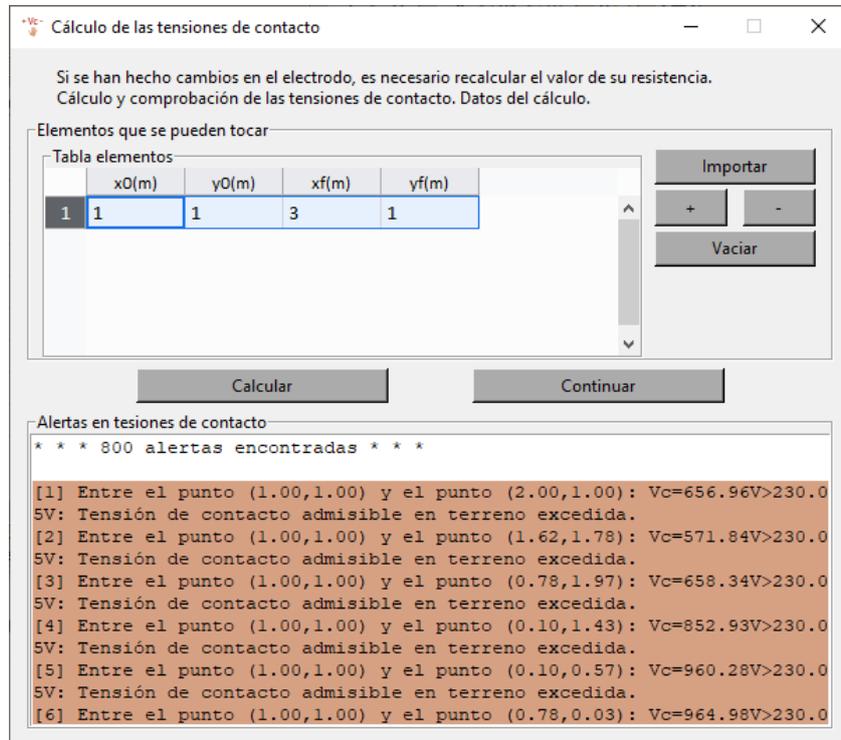
*** 0 alertas encontradas ***

```

### 3.5.5 Tensiones de contacto

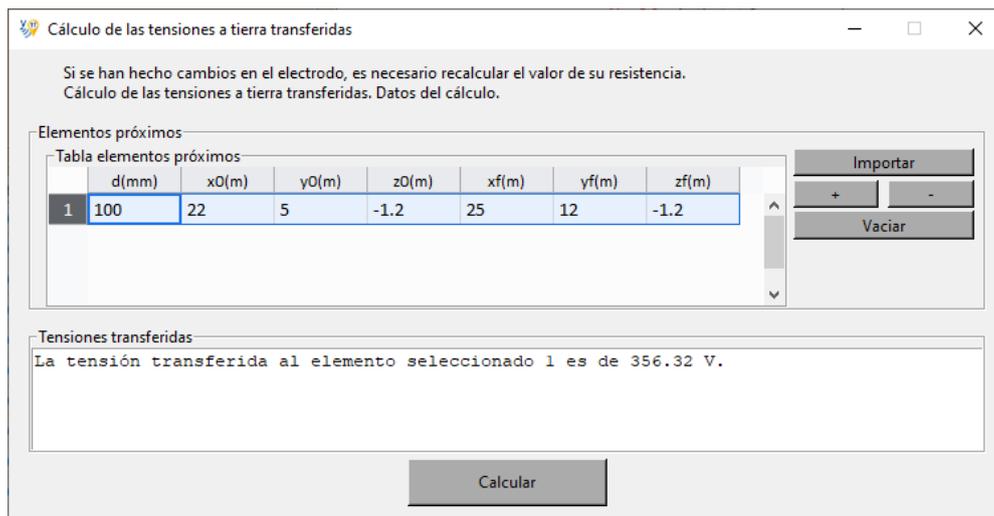
Se piden los elementos conductores que se pueden tocar como líneas, para estudiar contactos desde puntos situados a 1m de distancia. Los elementos se pueden importar desde líneas de archivos en formato \*.dxf. Se calculan los elementos seleccionados en la tabla. Se muestran alertas para cada pareja de puntos estudiados a distancias de 1m (punto

de elemento y punto de terreno) en la que se superan los límites admisibles. Es importante definir correctamente las zonas de exclusión y de seguridad aumentada para evitar alertas innecesarias.



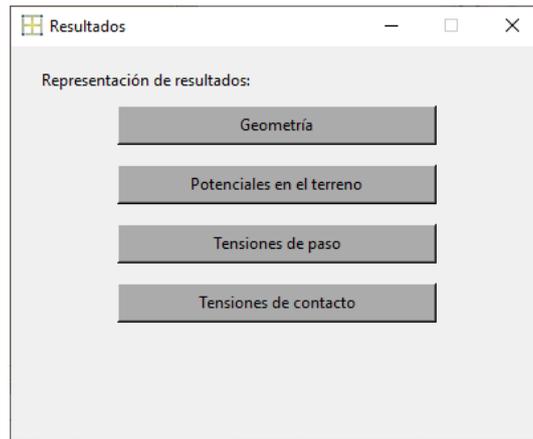
### 3.5.6 Tensiones transferidas

Se piden los elementos conductores enterrados (tuberías, depósitos, etc.) a los que se puede transferir tensión por estar en las inmediaciones de la instalación. Se definen como cilindros a partir de la línea de su eje y un diámetro. Los elementos se pueden importar desde líneas de archivos en formato \*.dxf. Se muestran las tensiones transferidas a cada elemento seleccionado en la tabla.



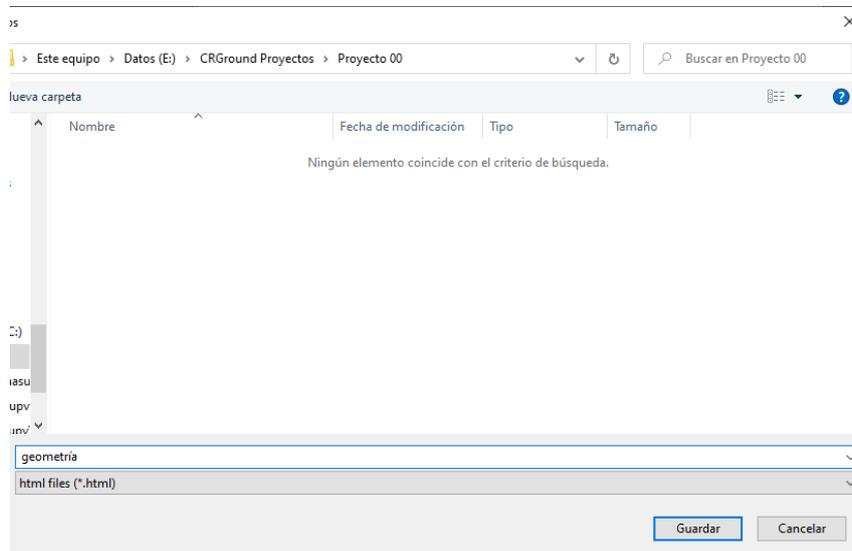
## 3.6 Resultados gráficos

El botón Mostrar permite generar las gráficas de resultados.

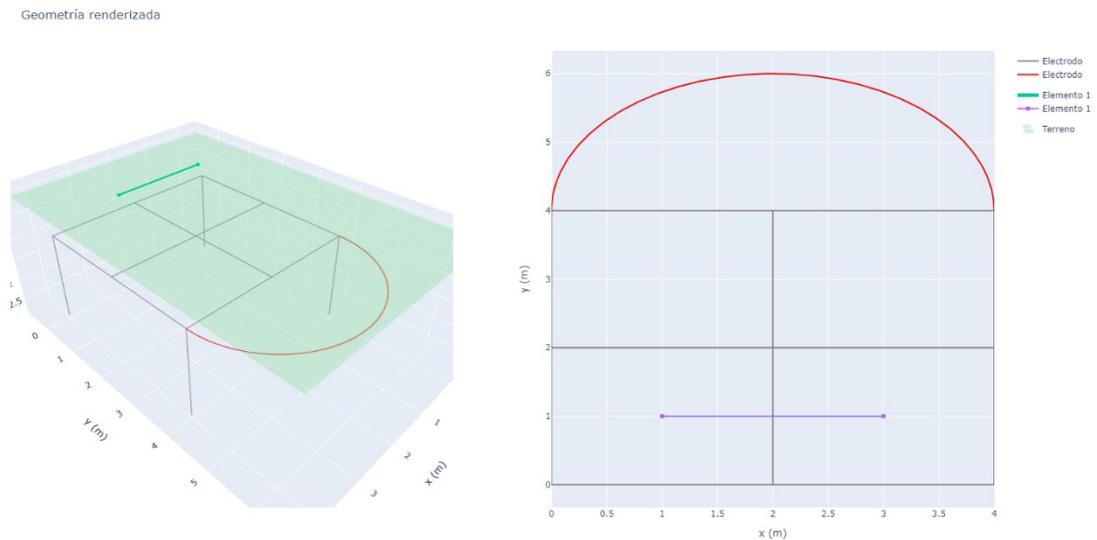


### 3.6.1 Geometría

El botón de geometría genera una gráfica interactiva en formato \*.html.



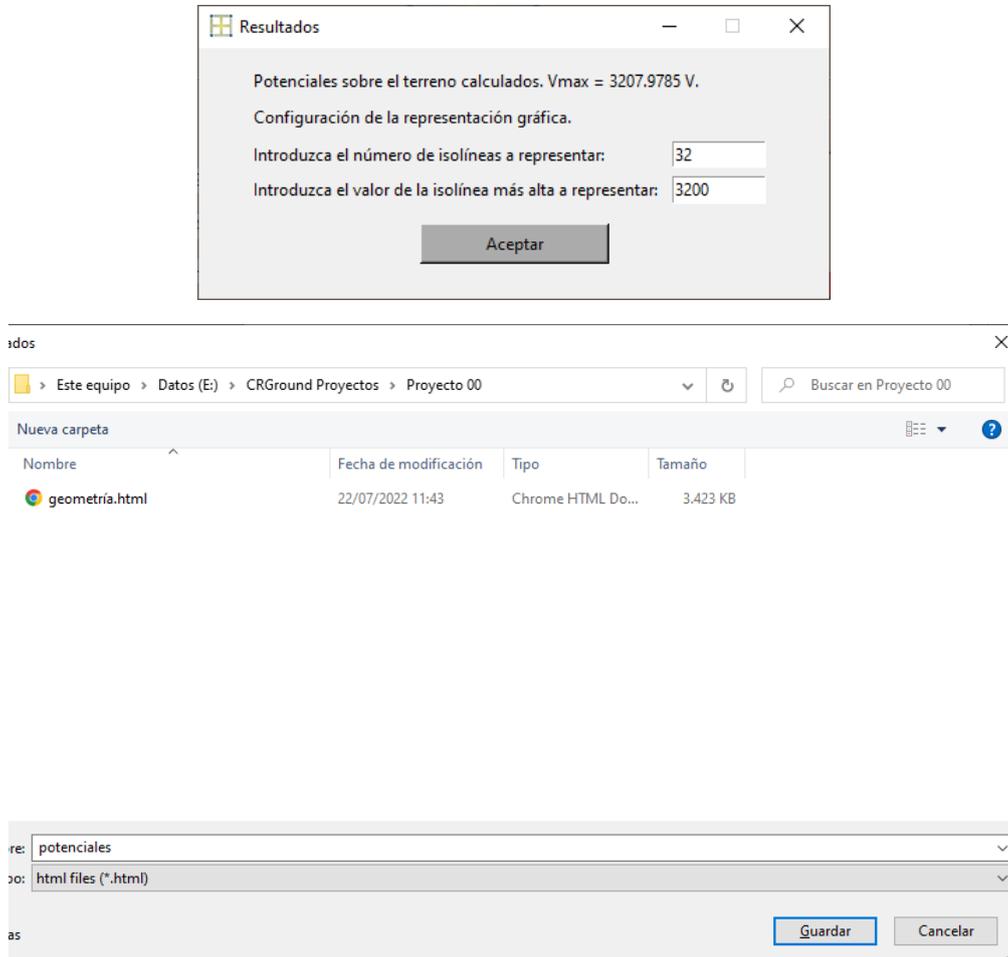
En la parte izquierda se ve un terreno, el electrodo, los polígonos que se definan y los elementos susceptibles de generar tensiones de contacto. En la parte derecha se ve la información en planta.



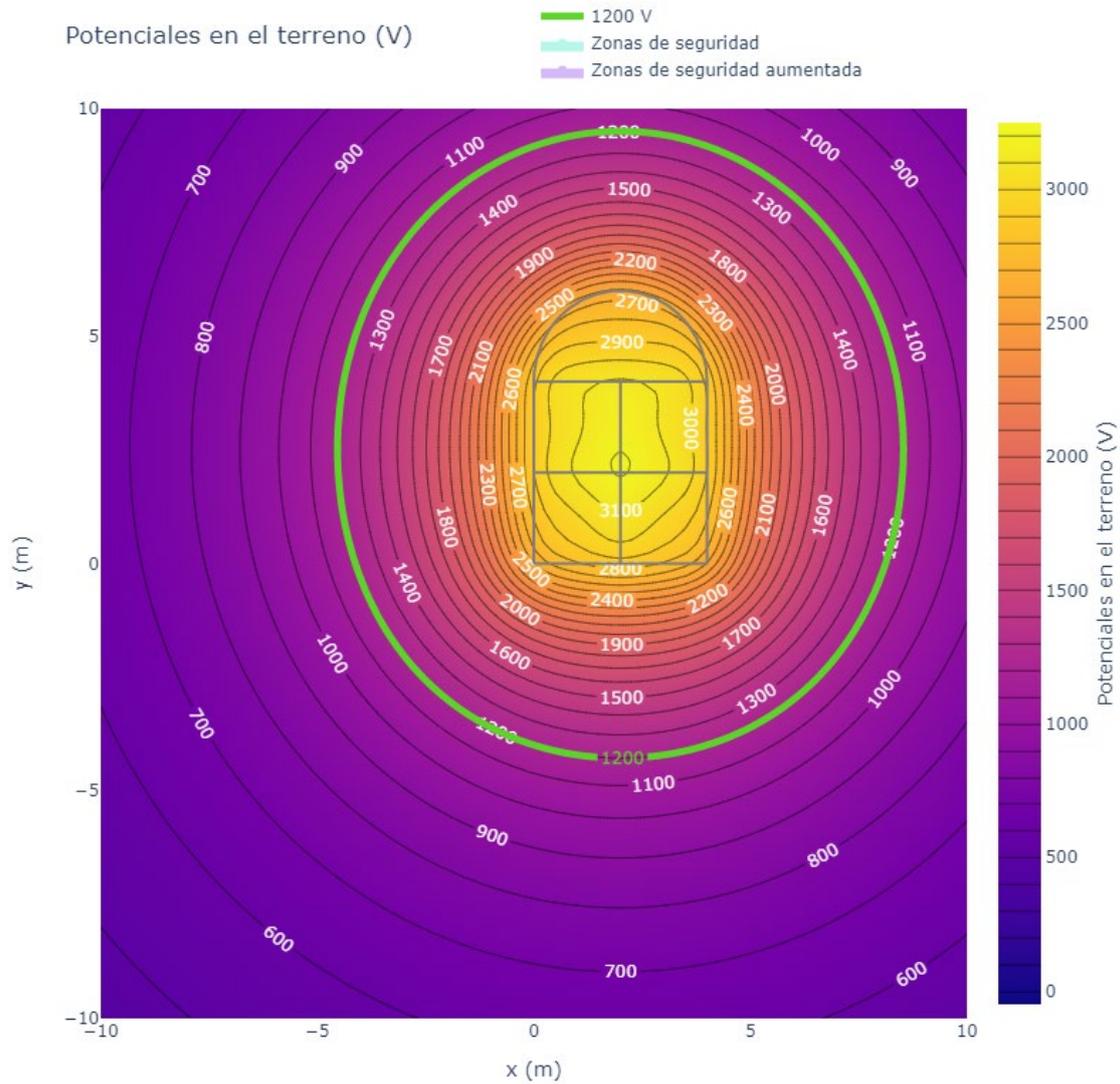
Todas las series de la leyenda se pueden mostrar u ocultar con un clic.

### 3.6.2 Potenciales en el terreno

El botón de potenciales en el terreno permite generar una gráfica interactiva de los potenciales en la zona de terreno estudiada en formato \*.html. Hay que indicar el número de isolíneas a representar y el valor de la mayor de todas.



Se muestra el electrodo, los potenciales sobre el terreno, las zonas de seguridad y de seguridad aumentada definidas y la isolínea correspondiente al nivel de 1200 V.



Todas las series de la leyenda se pueden mostrar u ocultar con un clic.

### 3.6.3 Tensiones de paso

El botón de tensiones de paso permite generar una gráfica interactiva de las tensiones de paso en cada punto de la zona estudiada en formato \*.html. Hay que indicar el número de isóneas a representar y el valor de la mayor de todas.

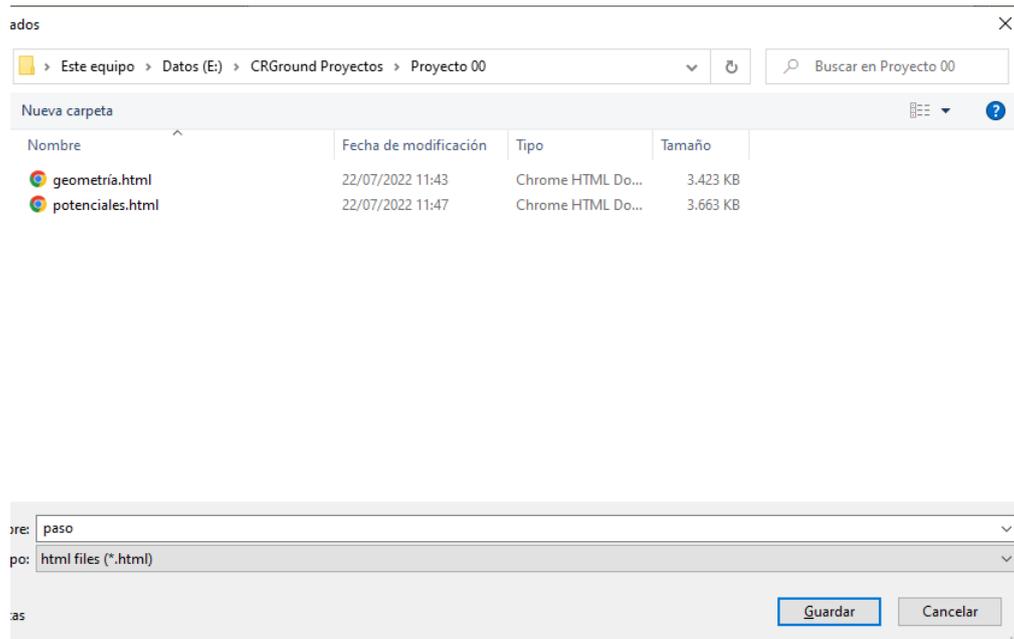
Resultados — □ ×

Tensiones de paso calculadas.  $V_{Pmax} = 614.7571$  V.

Configuración de la representación gráfica.

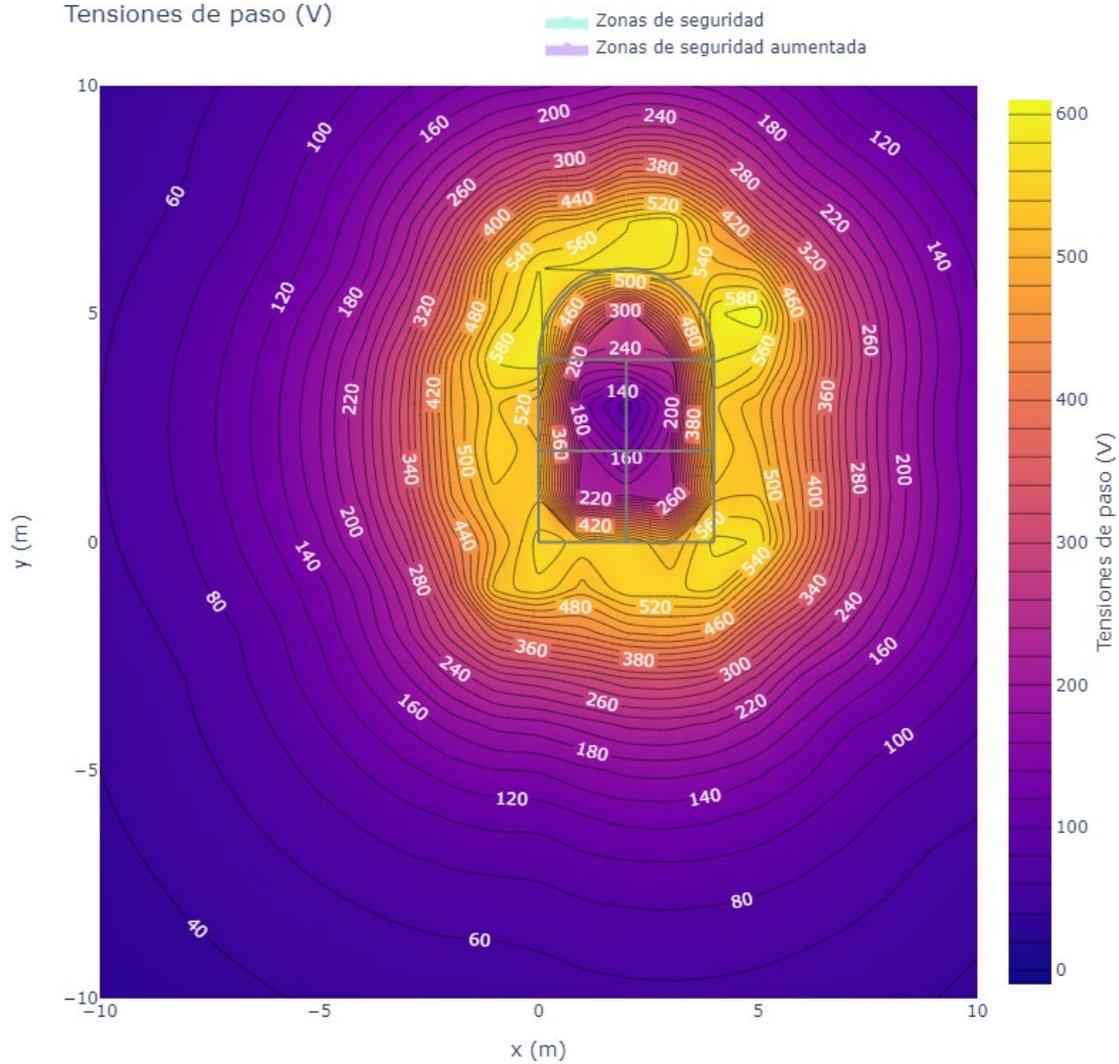
Introduzca el número de isóneas a representar:

Introduzca el valor de la isónea más alta a representar:



Se muestra el electrodo, las tensiones de paso, las zonas de seguridad y de seguridad aumentada definidas y los puntos conflictivos resaltados.

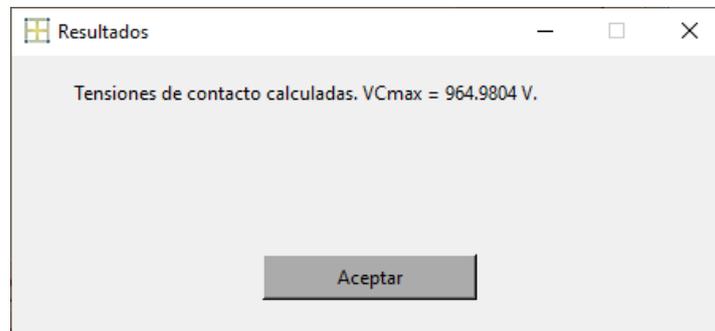
Tensiones de paso (V)

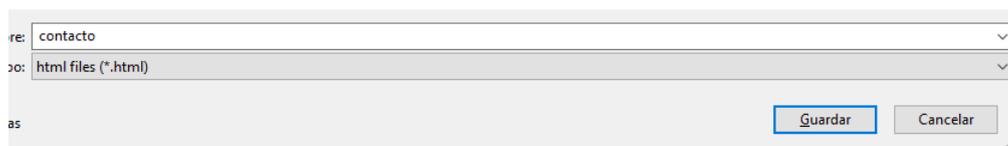
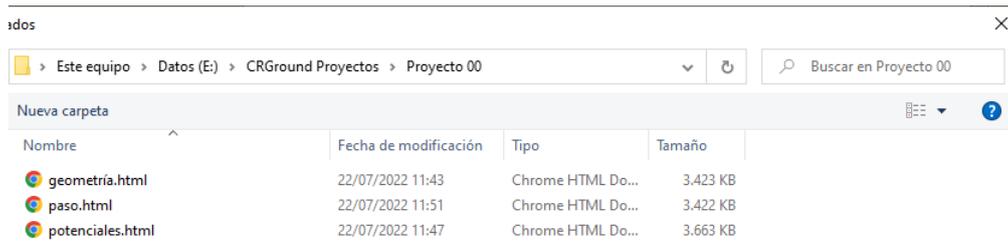


Todas las series de la leyenda se pueden mostrar u ocultar con un clic.

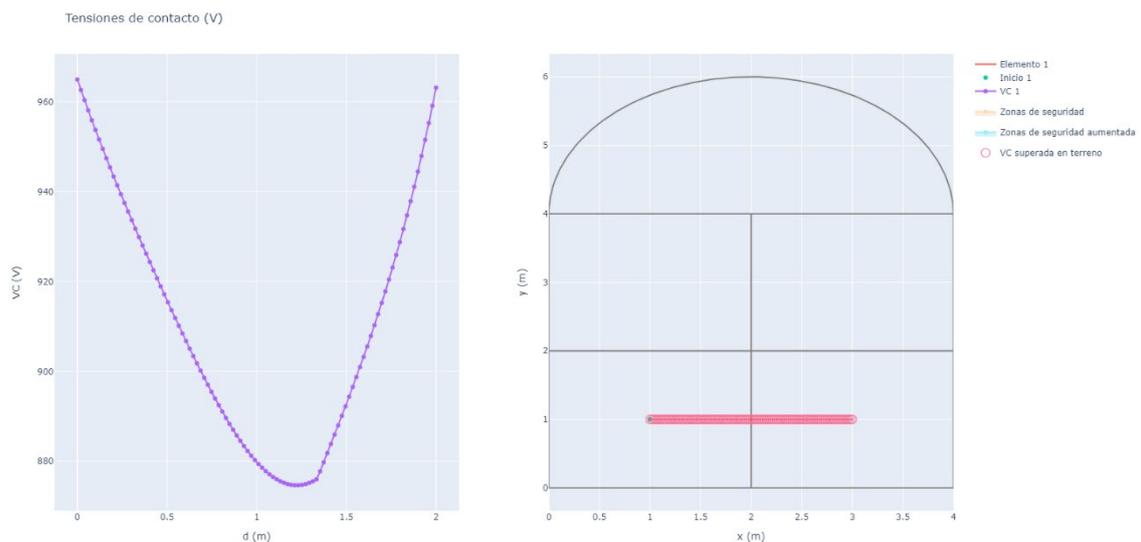
### 3.6.4 Tensiones de contacto

El botón de tensiones de contacto permite generar una gráfica interactiva de las tensiones de contacto en cada elemento estudiado en formato \*.html.





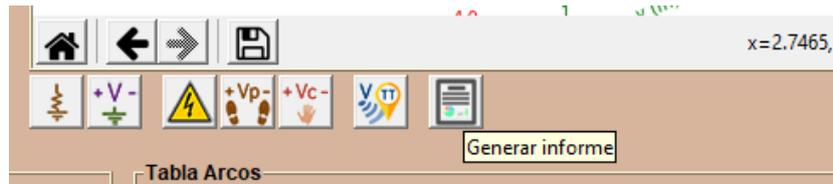
A la derecha se muestra el electrodo, las zonas y los elementos definidos, identificando el punto inicial de cada elemento y resaltando los puntos conflictivos. A la izquierda se muestra la tensión de contacto de cada elemento en cada punto del mismo, de izquierda a derecha, desde el punto de inicio a lo largo de toda la longitud del mismo.



Todas las series de la leyenda se pueden mostrar u ocultar con un clic. Los elementos van agrupados para desactivarlos de ambas gráficas. Es útil hacer doble clic sobre un elemento para hacer que se desactive todo lo demás.

### 3.7 Informe de resultados

El último botón de la barra de herramientas permite generar el informe de la instalación de puesta a tierra.



La pestaña Proyecto permite definir los datos básicos del proyecto.

A screenshot of the 'Informe' window, showing the 'Proyecto' tab. The window has a title bar with a document icon and the text 'Informe'. Below the title bar, there are three tabs: 'Proyecto', 'Cálculos', and 'Formato'. The 'Proyecto' tab is active. The form contains the following fields:

- Proyecto: Ejemplo
- Tipo de instalación: Instalación BT
- Autor: Carlos Roldán Blay
- Fecha: 22/07/2022
- Código de electrodo: Electrodo 4x4+ Arco
- Descripción de electrodo: 4 cuadrados de 2x2 + un arco en Y>=4

At the bottom of the form, there is a button labeled 'Aceptar'.

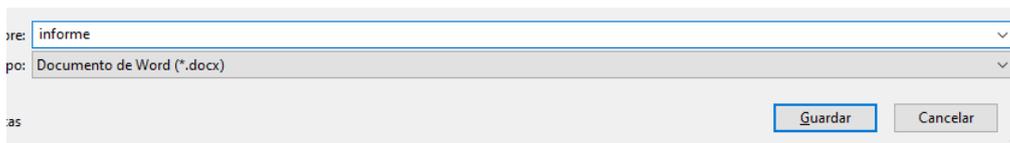
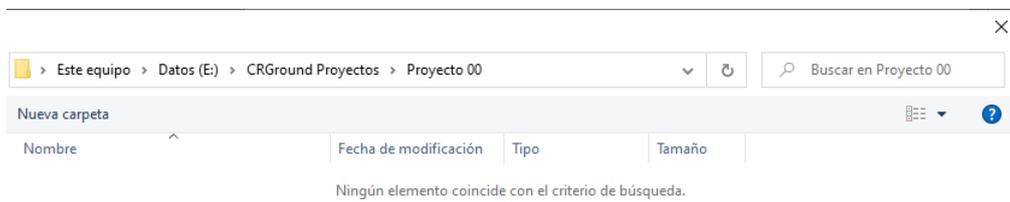
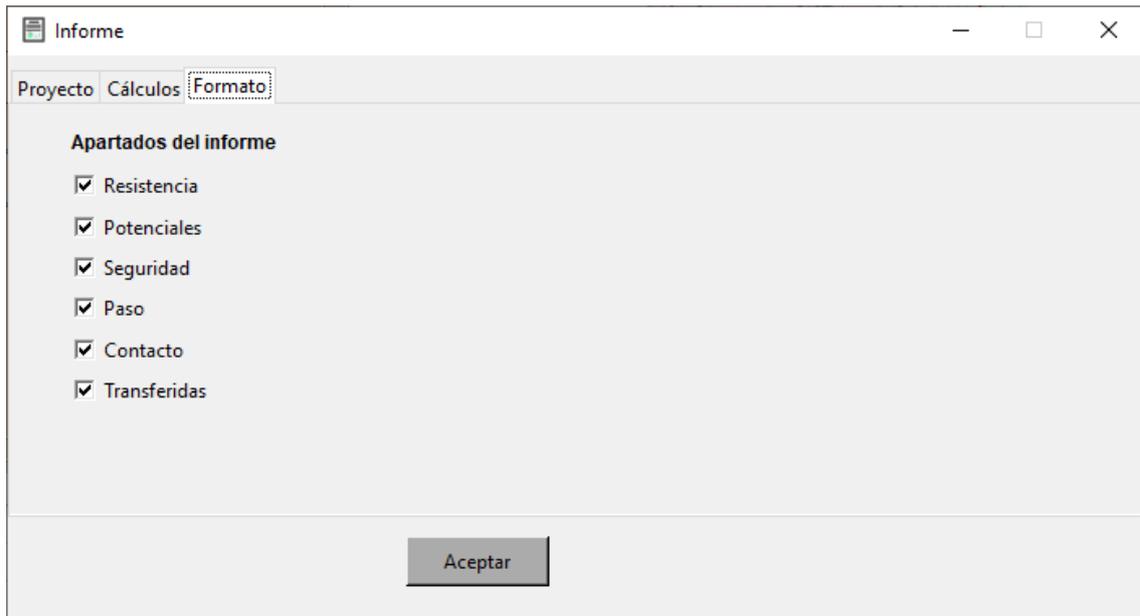
La pestaña Cálculos muestra un resumen de resultados del cálculo.

A screenshot of the 'Informe' window, showing the 'Cálculos' tab. The window has a title bar with a document icon and the text 'Informe'. Below the title bar, there are three tabs: 'Proyecto', 'Cálculos', and 'Formato'. The 'Cálculos' tab is active. The form displays the following calculation results:

Resistividad: 100.0 Ohm-m	Kr: 0.0748
Resistencia a tierra: 7.484 Ohm	Intensidad de defecto: 500.0 A
Tensión máxima (electrodo): 3741.84 V	Potencial máximo (terreno): 3207.98 V
Resistividad corregida (zona segura): 2357.14 Ohm-m	Resistividad corregida (seg. aumentada): 2484.19 Ohm-m
Tensión aplicada admisible (persona): 107.0 V	
Tensión de paso admisible: 5992.0 V	Tensión de contacto admisible: 230.05 V
Tensión de paso admisible (zona segura): 20482.86 V	Tensión de contacto admisible (zona segura): 592.32 V
Tensión de paso acceso admisible (zona segura): 13237.43 V	Tensión de paso acc. adm. (seg. aumentada): 13645.25 V
Tensión de paso máxima: 614.76 V	Tensión de contacto máxima: 964.98 V

At the bottom of the form, there is a button labeled 'Aceptar'.

La pestaña Formato permite seleccionar las secciones a incluir en el informe.



El informe explica los resultados y deja huecos para incluir las figuras de los resultados obtenidos.

## Resultados

- **Coefficiente de resistencia:**  $K_r = 0.0748 \text{ m}^{-1}$
- **Resistencia de puesta a tierra:**  $R_t = 7.484 \Omega$

## POTENCIALES EN EL TERRENO

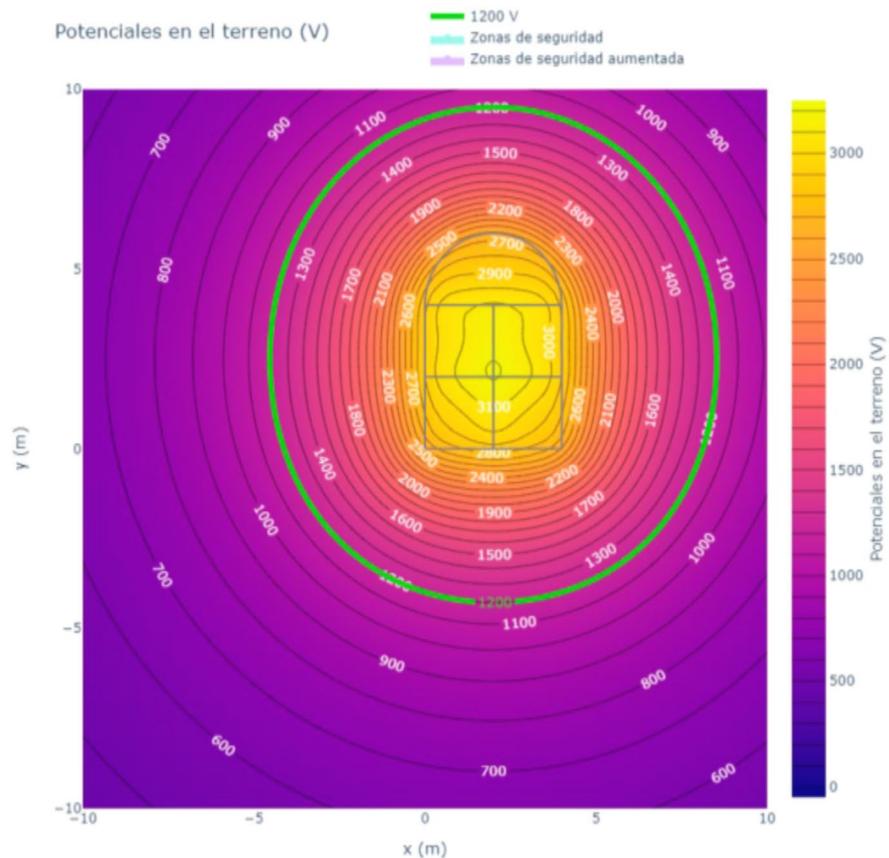
### Zona de cálculo

X inicial (m)	-10.0
X final (m)	10.0
Y inicial (m)	-10.0
Y final (m)	10.0

## Resultados

- **Corriente de cortocircuito a tierra por el electrodo:**  $I_g = 500.0 \text{ A}$
- **Tensión en el electrodo:**  $V_e = R_t \cdot I_g = 3741.84 \text{ V}$
- **Tensión más elevada en el terreno:**  $V_g = 3207.98 \text{ V}$

## Representación de los potenciales

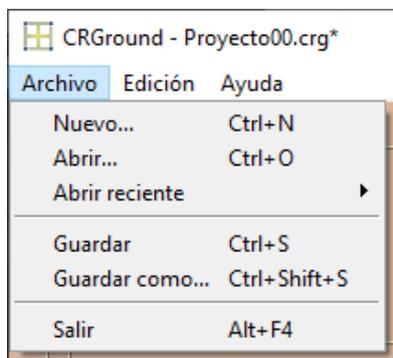


## 4 Menú y controles

En este apartado se explican todos los menús y controles del software.

### 4.1 Menú Archivo

El menú Archivo contiene opciones relacionadas con el archivo, el proyecto de trabajo y el software.

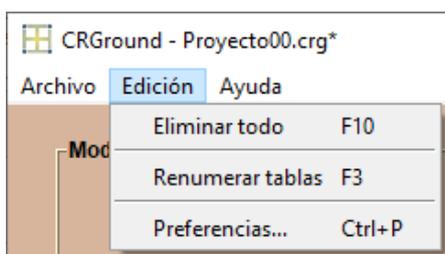


En el menú Archivo existen las siguientes Opciones:

- Nuevo: Crea un nuevo proyecto y borra todos los datos del proyecto actual cargados en la interfaz.
- Abrir: Permite recuperar los datos de un proyecto guardado en formato \*.crg.
- Abrir reciente: Permite abrir uno de los tres últimos proyectos utilizados.
- Guardar: Guarda el proyecto actual.
- Guardar como: Permite guardar el proyecto actual con un nombre a elegir.
- Salir: Cierra el software.

### 4.2 Menú Edición

El menú Edición contiene opciones relacionadas con la interfaz y sus opciones.

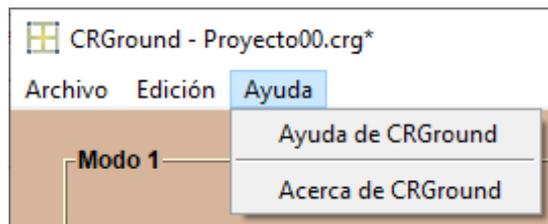


En el menú Edición existen las siguientes Opciones:

- Eliminar todo: Vacía las tablas de la interfaz.
- Renumerar tablas: Permite renumerar todas las líneas y arcos desde el 1 en adelante.
- Preferencias: Permite abrir el menú de preferencias.

### 4.3 Menú Ayuda

El menú Ayuda contiene opciones de ayuda generales.



En el menú Ayuda existen las siguientes Opciones:

- Ayuda de CRGround: Abre la página web oficial del software donde se irá incluyendo documentación y recursos de interés para usuarios.
- Acerca de CRGround: Muestra el logo y la información del software y los autores.

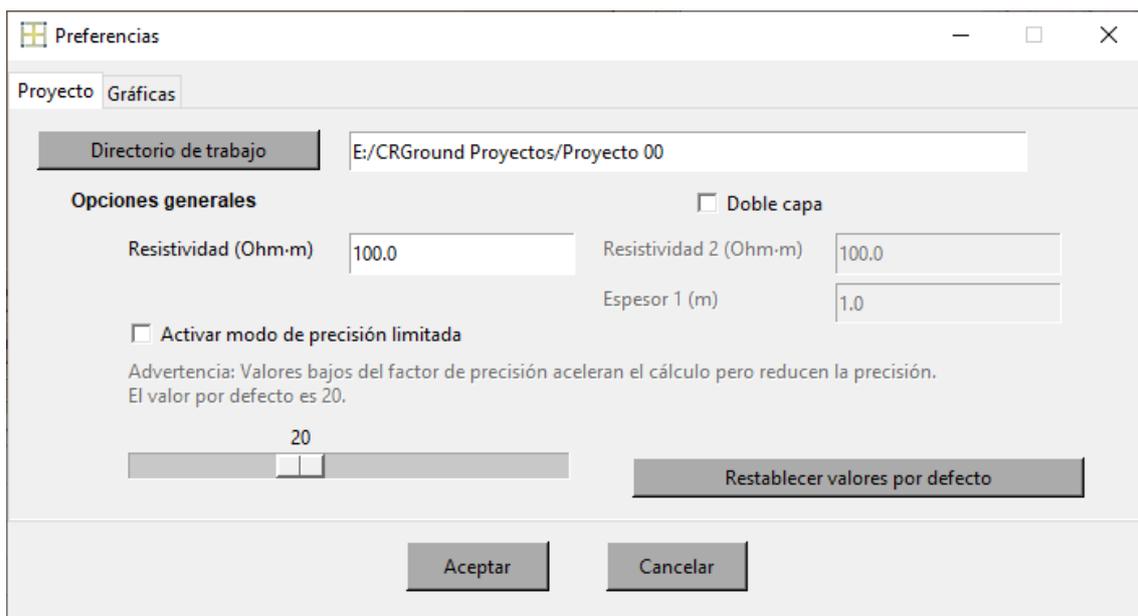
#### 4.4 Menú Preferencias

En el menú de preferencias existen diversas opciones para el manejo del software y la definición del proyecto.

##### 4.4.1 Pestaña Proyecto

En la pestaña Proyecto existen las siguientes Opciones:

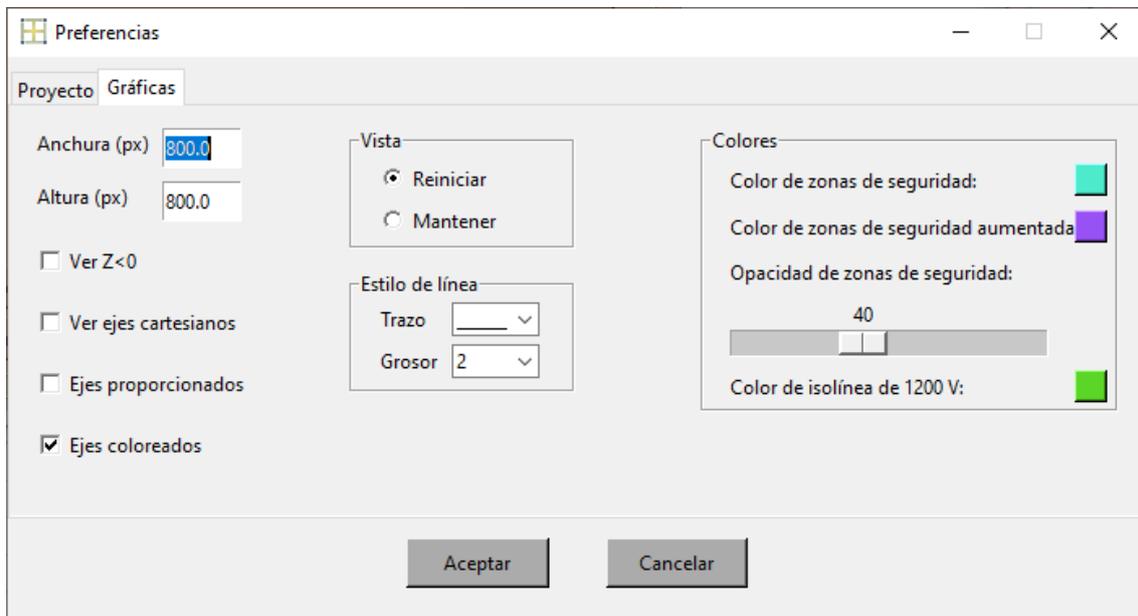
- Se puede definir el directorio de trabajo.
- Se puede indicar la resistividad del terreno.
- Se puede activar la opción de terrenos en doble capa.
  - Se puede indicar la resistividad de la capa más profunda del terreno.
  - Se puede indicar el espesor de la capa superior de terreno.
- Se puede activar el modo de precisión limitada, lo que permite ajustar el factor de precisión. Por defecto se utiliza 20, pero si una instalación es de dimensiones muy grandes y el programa tarda mucho o consume demasiada memoria RAM, se puede reducir este factor para obtener resultados con menor precisión en tiempos menores.
- Se pueden restablecer los valores por defecto.



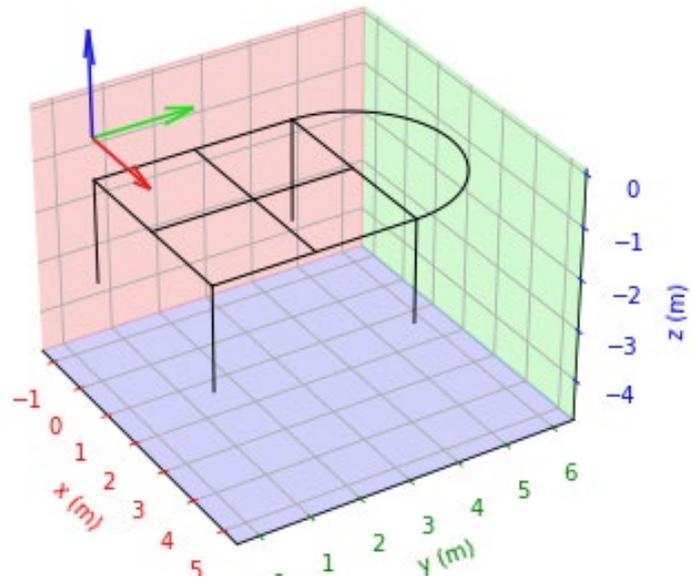
#### 4.4.2 Pestaña Gráficas

En la pestaña Gráficas existen las siguientes Opciones:

- Se puede definir el ancho y alto de las gráficas de resultados en píxeles (en las gráficas dobles, el ancho será el doble que el indicado).
- Se puede activar la opción Ver Z<0 para que la coordenada Z=0 siempre se muestre en la gráfica. Esto es útil si las dimensiones del electrodo dificultan visualizar su posición respecto al terreno.
- Se puede activar la opción Ver ejes cartesianos para ver el origen de coordenadas y las direcciones de los ejes X (rojo), Y (verde) y Z (azul).
- Se puede activar la opción Ejes proporcionados para que las proporciones de la gráfica sean correctas. Esto es útil cuando un electrodo tiene dimensiones muy diferentes en algún eje o para visualizar correctamente los arcos de circunferencia.
- Se puede activar la opción Ejes coloreados para que se colorean los tres planos del triedro de la gráfica de vista previa.
- Se puede elegir entre tipos de vista Reiniciar (para que se redibuje la gráfica ante cualquier modificación) o Mantener (para que la cámara mantenga su posición en cada redibujado).
- Se puede elegir el tipo de trazo y su grosor para la representación del electrodo.
- Se pueden elegir colores y opacidad para las zonas de seguridad y de seguridad aumentada en las gráficas de resultados.
- Se puede elegir el color de la isolínea de 1200V en la gráfica de potenciales en el terreno.



A continuación, se muestra la gráfica con diversas opciones activadas.



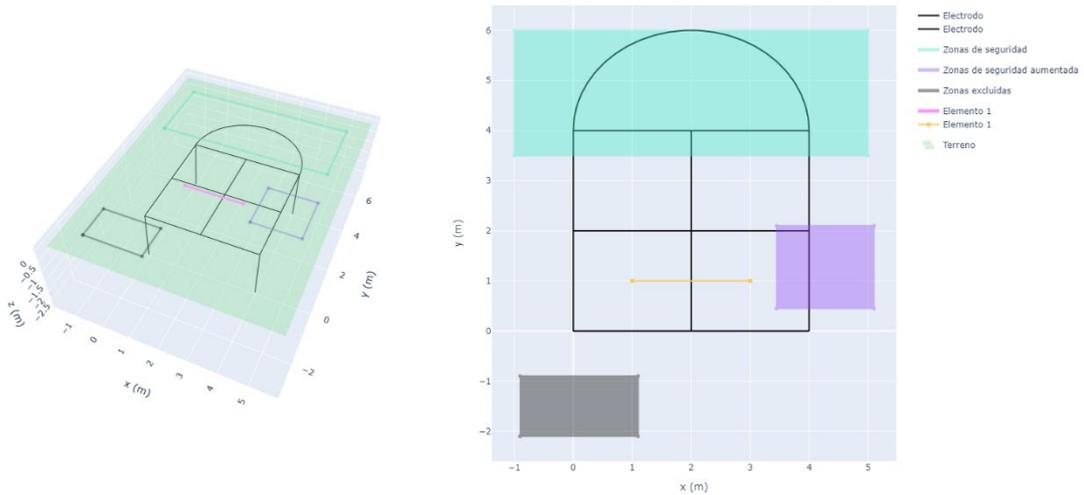
## 5 Salida gráfica

En este apartado se explican los tipos de salidas gráficas que el software ofrece.

### 5.1 Geometría

Esta gráfica permite ver el electrodo, las zonas de seguridad, las zonas excluidas y los elementos para el cálculo de tensiones de contacto, tanto en 3D (izquierda) como en 2D (derecha).

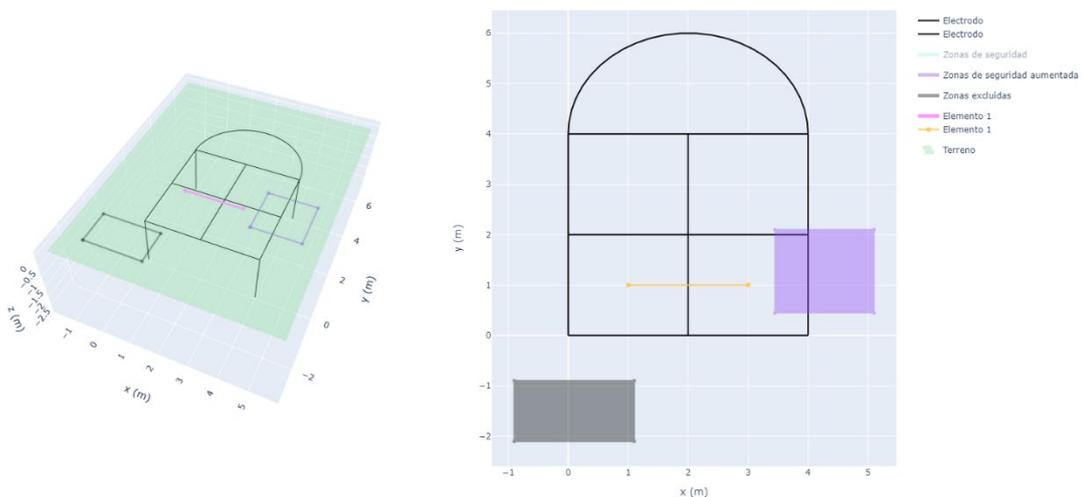
Geometría renderizada



En la gráfica tridimensional se muestra un terreno orientativo para ver la profundidad del electrodo y se dibujan los elementos accesibles por encima del terreno.

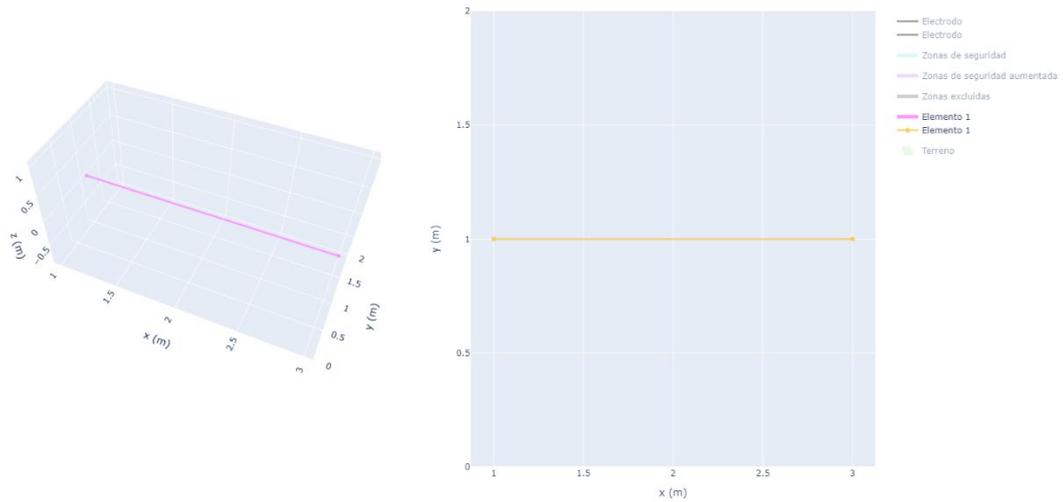
Clicando en una serie se puede desactivar.

Geometría renderizada



Haciendo doble clic en una serie se puede aislar para mostrar solo esa.

Geometría renderizada

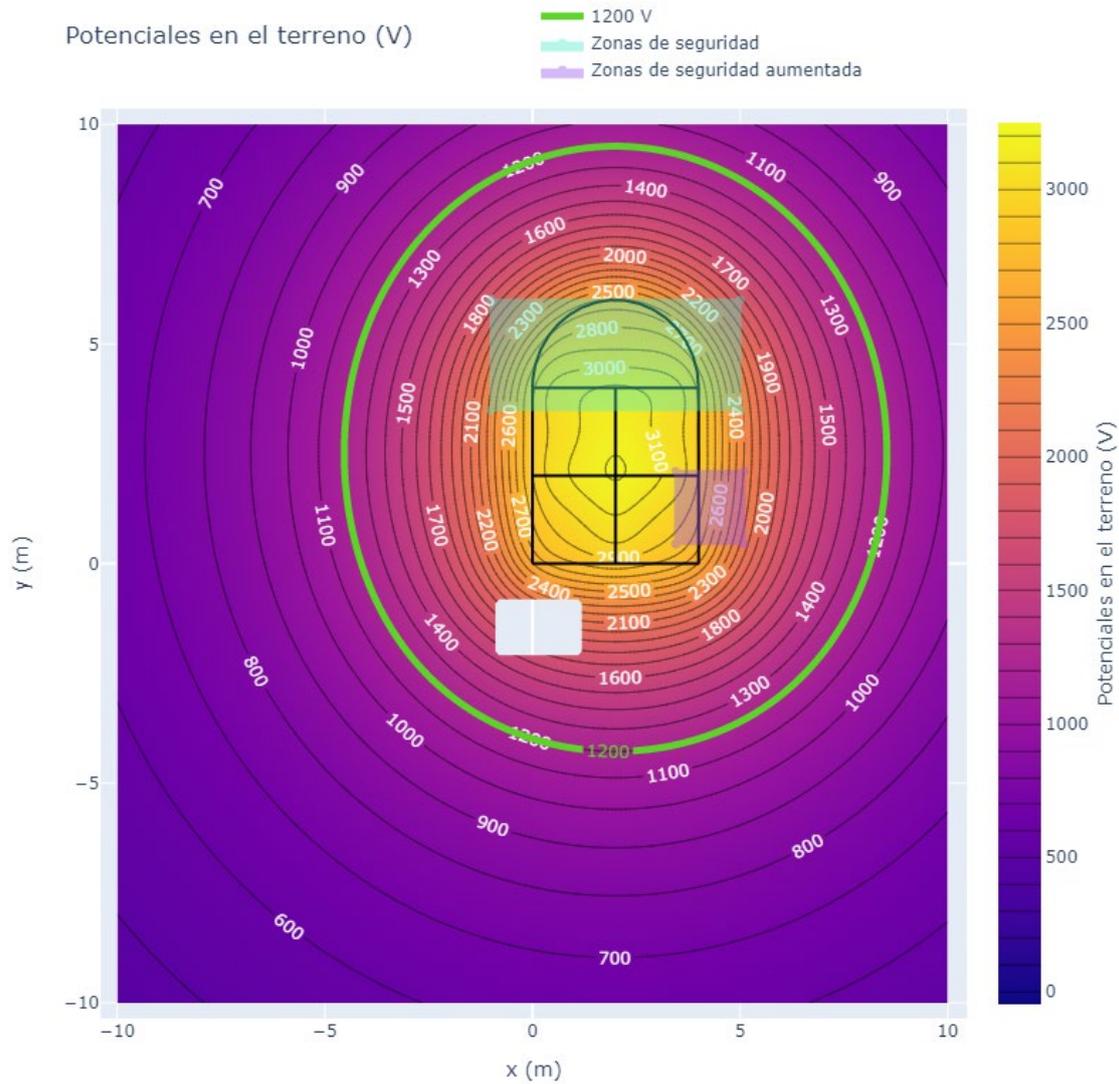


Repitiendo la acción se muestran todas las series.

Los colores y opacidad de las zonas de seguridad se pueden elegir en Preferencias. El color del electrodo se elige en la interfaz.

## 5.2 Potenciales en el terreno

Esta gráfica permite ver el electrodo, las zonas de seguridad, las zonas excluidas (se observan porque quedan vacías, ya que no se calcula nada en ellas) y la isolínea correspondiente al valor de 1200 V.

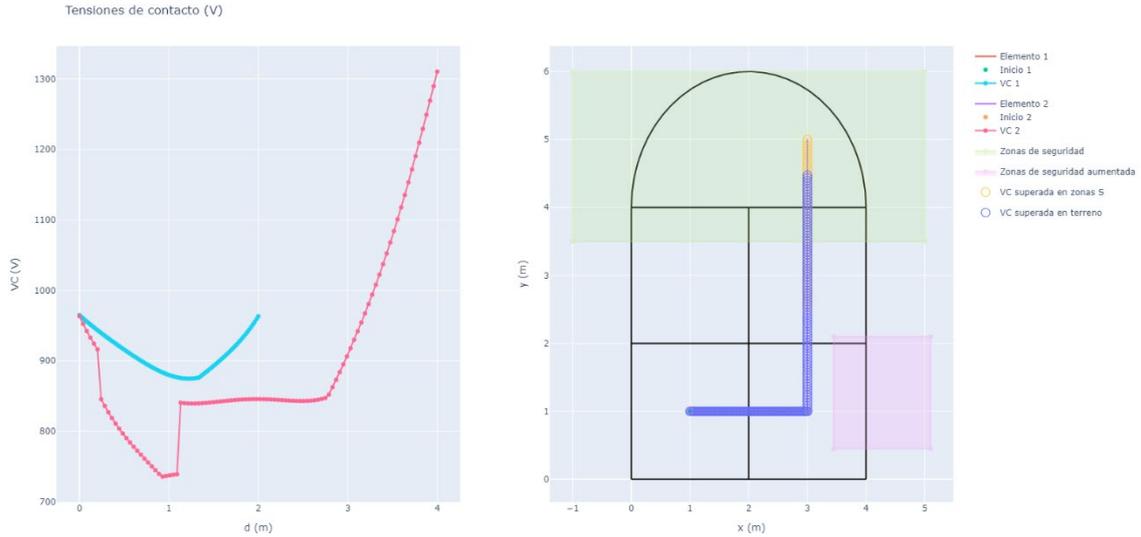


Todas las series se pueden activar o desactivar y los colores (y opacidad) se pueden elegir en preferencias.

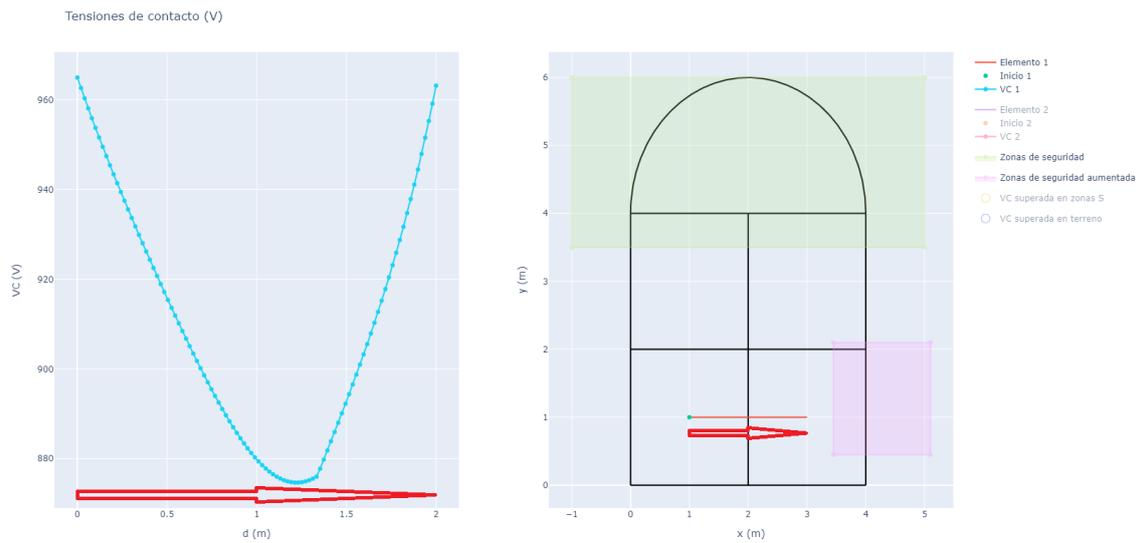
### 5.3 Tensiones de paso

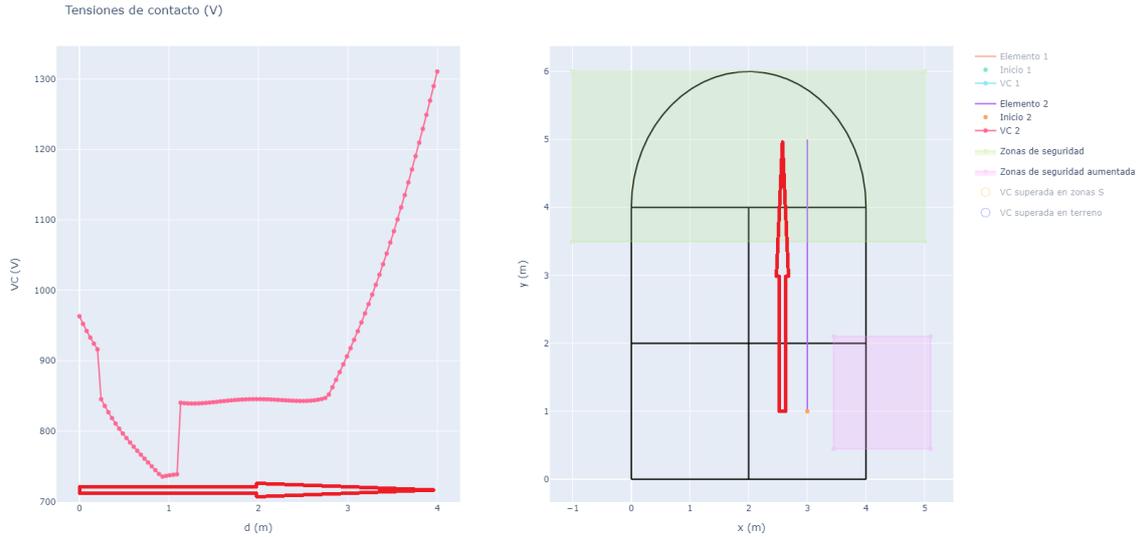
Esta gráfica permite ver el electrodo, las zonas de seguridad, las zonas excluidas (se observan porque quedan vacías, ya que no se calcula nada en ellas) y los puntos en los que se incumple algún valor de tensión de paso admisible.





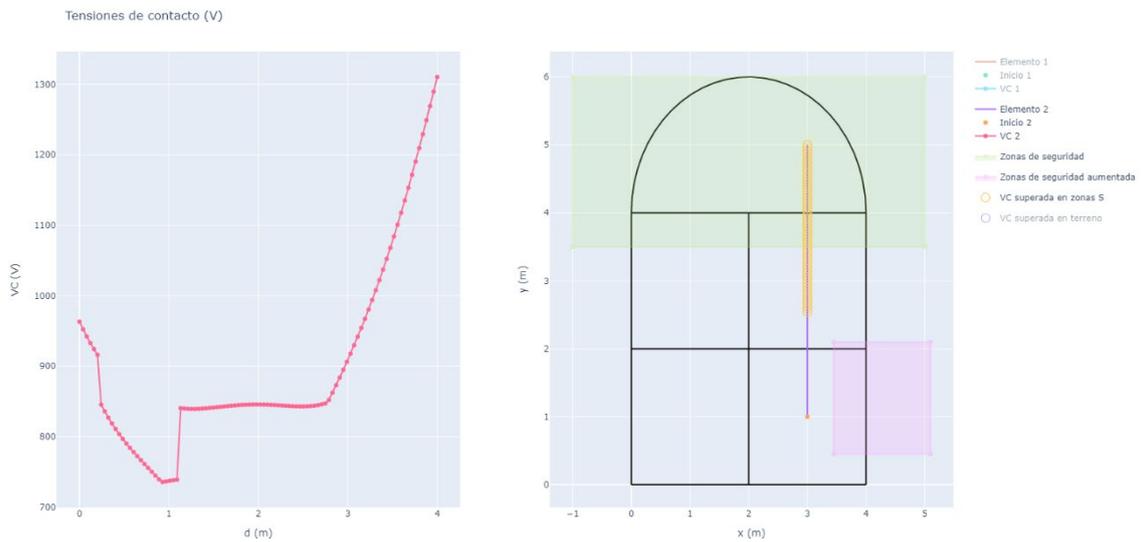
Todas las series se pueden activar o desactivar y los colores (y opacidad) se pueden elegir en preferencias. Se puede hacer doble clic sobre un elemento para aislarlo y estudiarlo por separado. Activando solo un elemento es fácil ver dónde está su origen para comprender el sentido en el que se dibuja la gráfica de la izquierda.





En la gráfica de la izquierda, la coordenada X es longitud (m), es decir, la distancia desde el origen del elemento hasta cada punto del mismo. El eje vertical indica la máxima tensión de contacto de cada punto del elemento respecto a los puntos del terreno que distan 1m.

Si un punto de un elemento se marca como alerta en tensión de contacto, esto significa que hay otro punto en el terreno que dista 1m de este desde el que se puede tocar este punto del elemento y entre ellos existe una tensión de contacto que supera el valor máximo admisible. Nuevamente, en ocasiones, esto no es relevante por existir un tabique u obstáculo en medio. Para estas situaciones se debe estudiar solo a un lado del tabique y marcar el otro lado como zona excluida.



## 6 Flujo de trabajo

En este apartado se explica el flujo de trabajo propuesto para el usuario.

### 6.1 Definición del proyecto

Se debe crear un directorio para el proyecto, donde estén los planos y documentos del mismo, para colocar en él o en un subdirectorío, los archivos generados por CRGround®.

Hay que elegir las preferencias principales, como directorio de trabajo y resistividad y guardar el proyecto.

### 6.2 Definición del electrodo

Se puede introducir manualmente o importar un electrodo.

### 6.3 Definición de zonas inaccesibles

Se pueden introducir manualmente o importar polígonos de zonas que no se pueden pisar o se desea excluirlas del estudio (interior de una máquina, lado posterior a un tabique cuando se está analizando solo el otro lado, etc.).

### 6.4 Renderización de geometría

Se puede exportar el electrodo para comprobar que todo es correcto.

### 6.5 Cálculos

Se puede calcular la resistencia a tierra, los potenciales en el terreno, las tensiones de paso, las tensiones de contacto y las tensiones transferidas.

Es importante introducir en preferencias la resistividad, especialmente en terrenos de doble capa.

Para calcular potenciales se debe seleccionar la intensidad de defecto máxima.

Para los valores de seguridad hay que indicar las resistencias de calzado a considerar y la duración del defecto. Se pueden introducir manualmente o importar polígonos de zonas de seguridad. Es interesante ampliar estas zonas algunos centímetros, ya que los bordes no se incluyen en las mismas. Por tanto, si hay un pavimento que va desde  $X=-1$  hasta  $X=3$ , es mejor indicar desde  $X=-1.05$  hasta  $X=3.05$ , por ejemplo. Esto puede evitar que se generen alertas irrelevantes por tensiones de paso o contacto desde el borde de las zonas de seguridad.

Para las tensiones de paso hay que definir la zona de cálculo. Cuando hay un tabique conviene crear una zona de exclusión a un lado y calcular solo en el otro, dividiendo así el cálculo en varias etapas. Hay que tener en cuenta que la última de ellas aparecerá en el informe, por lo que se puede dejar para último lugar el cálculo que se desee exportar al informe o generar un informe de cada zona estudiada.

Para las tensiones de contacto se pueden introducir manualmente o importar líneas que correspondan a elementos conductores accesibles (vallas, máquinas, etc.). Para definir un rectángulo, por ejemplo, del contorno de una máquina, cada lado se define como un elemento lineal independiente. Las tensiones de contacto se calculan solo de los elementos seleccionados, para facilitar la definición de zonas de exclusión para casos particulares.

Para las tensiones transferidas, se definen elementos lineales con un cierto diámetro (cilindros, tales como tuberías o depósitos), que pueden introducirse manualmente o importarse. El software desprecia los puntos con cotas superiores a  $Z=0$ , pues en estos puntos no se transfiere ningún potencial. Las tensiones transferidas se calculan solo de los

elementos seleccionados, para facilitar la definición de zonas de exclusión para casos particulares.

## 6.6 Salida gráfica

Se pueden generar las gráficas interactivas y exportar tantas vistas como sea necesario, recalculando lo que se considere preciso en cada caso.

## 6.7 Informe

Se pueden completar los datos, generar el informe automático, insertar las figuras relevantes y revisar el contenido (hay que recordar que los valores calculados son los de la última simulación, por lo que, si se ha estudiado lo que ocurre a un lado de un tabique, por ejemplo, esto es lo que se utilizará para el informe.