

# **RE2CAP**

**Software para el modelo del suelo en dos capas**

## **GUIA RAPIDA**

**2018**

## **INTRODUCCIÓN**

El programa RE2CAP es un software gratuito (Freeware) que fue diseñado y desarrollado en principio para el área de ingeniería eléctrica de modo que sea una herramienta de modelamiento del suelo en dos capas a partir de la inversión de parámetros por métodos numéricos utilizando para el efecto una interfaz gráfica. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados como base para diseños de malla de puesta a tierra. Se trata de un programa sencillo e intuitivo.

El programa fue escrito en Free Pascal con el IDE LAZARUS y funciona bajo las plataformas de Windows XP/7/10.

## **ALCANCE DEL PROGRAMA**

En esta versión, el programa puede calcular el modelo del suelo para sondeos eléctricos Wenner y Schlumberger contemplando el uso de dos capas. Para esto se emplea el método del gradiente descendente el cual es sugerido en el Std. IEEE 81 de 1983 y se incluye un método basado en búsqueda directa.

Los resultados obtenidos corresponden a los valores de resistividad de la primera y segunda capa, la profundidad de la primera capa en metros y el error en porcentaje del modelo teórico obtenido con respecto a los puntos medidos en campo. Se incluye un documento en forma de reporte de resultados, el cual puede ser exportado en formato pdf.

## **LICENCIA**

El programa es un software gratuito (Freeware) y puede ser utilizado para estimar el modelo del suelo en dos capas y ser usados en posteriores diseños de malla de puesta a tierra. La aplicación fue desarrollada en Free Pascal con el IDE Lazarus y es de libre distribución, más su código fuente no es incluido en el paquete entregado; los iconos y diagramas que empleados en el software fueron desarrollados con GreenFish Icon Editor Pro (software libre). El archivo instalador de programa fue generado con el programa InstallSimple 2.9 Copyright (c) 2007-2015.

Comentarios, inquietudes o aportes que puedan ayudar a mejorar el programa pueden ser dirigidos al correo [georgejagua@yahoo.es](mailto:georgejagua@yahoo.es)

## **INSTALACIÓN**

La instalación del programa RE2CAP no requiere de un procedimiento especial. El instalador del programa contiene los archivos necesarios para que el programa se ejecute correctamente. Como regla general una vez instalado el programa, no deben moverse los archivos adicionales de la carpeta creada.

## **TRABAJO FUTURO**

Para futuras versiones del programa se ha contemplado definir múltiples capas del suelo para sondeos 1-D Wenner y Schlumberger, mediante la solución matricial del problema inverso, de manera que sirvan para estudios y análisis de mallas de puesta a tierra más complejos; no obstante, algunas de las correcciones menores de forma serán realizadas a medida que los fallos sean encontrados.











## **INTERFAZ DE USUARIO**

La interfaz del programa es sencilla y se divide en dos secciones: la primera corresponde al ingreso general de datos (mediciones e información del sitio) y la segunda corresponde a resultados gráficos que muestran el modelo medido en campo y el modelo teórico. El menú de barras está provisto de una lista de opciones que incluyen comandos cuando ellos son seleccionados. Los datos ingresados en el programa pueden ser guardados en un archivo para ser revisados y analizados en un futuro. La figura mostrada a continuación ilustra la presentación del programa.



**Interfaz del programa**

El menú de trabajo tiene los siguientes elementos:

-  Crea un archivo nuevo.
-  Abre un archivo existente.
-  Guarda un archivo de datos y resultados.
-  Ejecuta el modelo de dos capas con los datos ingresados.
-  Modifica los puntos de iteraciones del programa. El programa trae valores conservadores por defecto.
-  Permite comparar un modelo de dos capas que sea ingresado por el usuario.
-  Exporta las gráficas generadas en el cálculo.
-  Muestra las curvas de resistividad medida y teórica.
-  Muestra las curvas de resistividad medida, teórica y el perfil del modelo de dos capas.
-  Información sobre el programa.

## **USANDO EL PROGRAMA**

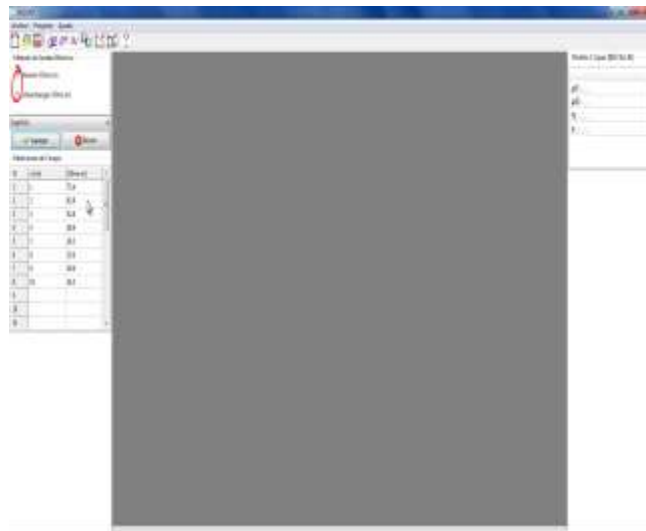
El programa es sencillo y muy simple. A continuación se presenta un ejemplo explicando cómo llevar a cabo el cálculo del modelo de la resistividad del terreno.

El usuario debe tener en cuenta que no existe una única solución al problema inverso y por esta razón pueden presentarse múltiples valores de resistividad que garanticen un error adecuado. No obstante los algoritmos incorporados en el programa convergen a un valor preciso en la gran mayoría de los casos para el modelo del suelo en dos capas. Teniendo en cuenta esto último, el programa permite el ingreso manual de un modelo de dos capas (valor de resistividad y profundidad) definido por el usuario y verificar el error obtenido con dicho modelo.

Seleccione el tipo de sondeo eléctrico (Wenner o Schlumberger) y luego ingrese los datos de mediciones en campo, el programa permite hasta 30 puntos de mediciones.

No se deben dejar filas intermedias sin llenar.

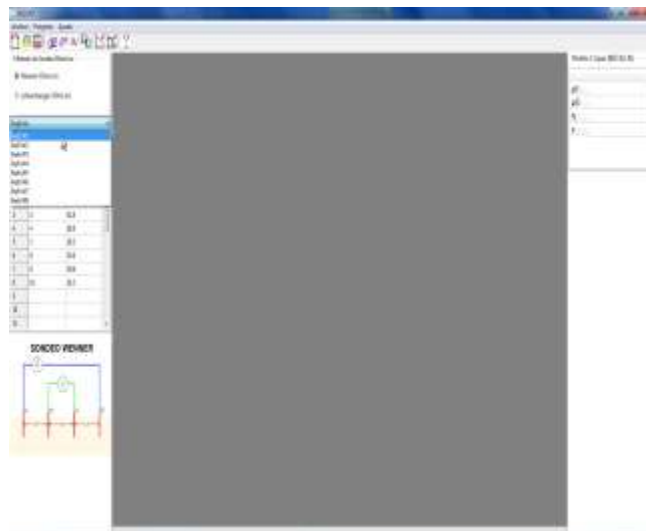
Luego se deben guardar los datos del perfil usando el botón “Agregar”.




Si se tienen más perfiles de mediciones se debe cambiar el perfil e ingresar los datos y como en el caso anterior utilizar el botón “Agregar”.

Se permite el uso de 8 perfiles de resistividad como máximo.

El programa efectuara el cálculo del modelo con base en el valor promedio de todos los perfiles ingresados.





El cálculo se puede realizar desde el icono  o bien desde la ruta del menú de opciones: proyecto→Cálculo.

Después de esto aparecerá una gráfica que muestra la curva de resistividad aparente con los datos tomados en campo. Además se muestra la curva de resistividad aparente con el modelo calculado.

En la parte derecha aparecen los datos correspondientes al modelo de dos capas. El error del modelo obtenido con respecto a las mediciones en campo es presentado en %.

Al interior de la gráfica también podrá ver los valores en donde se posicione el cursor.

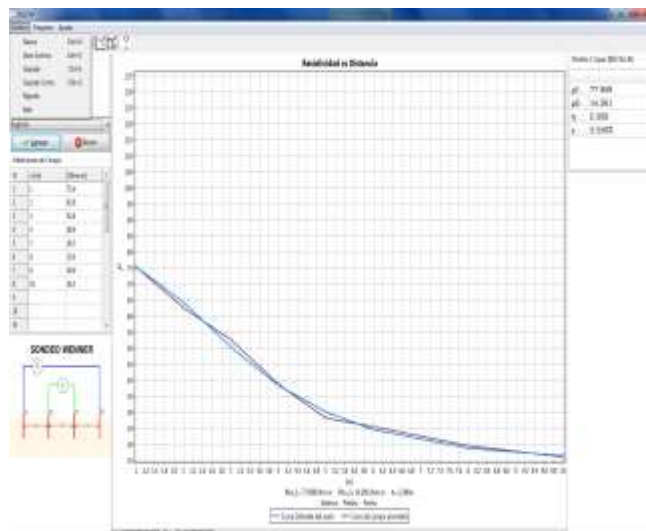
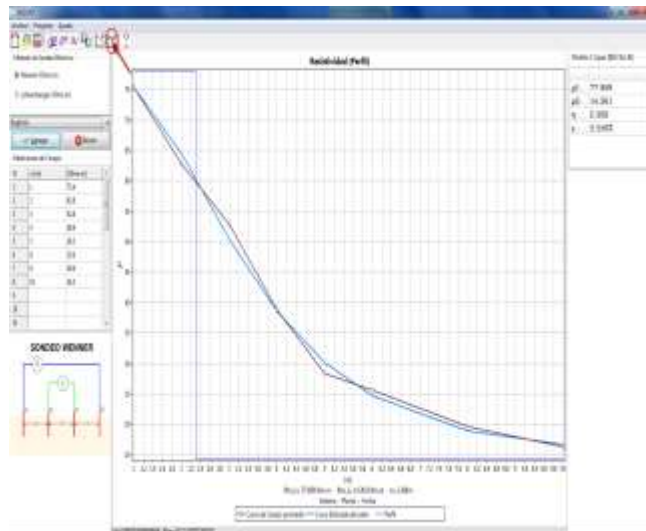
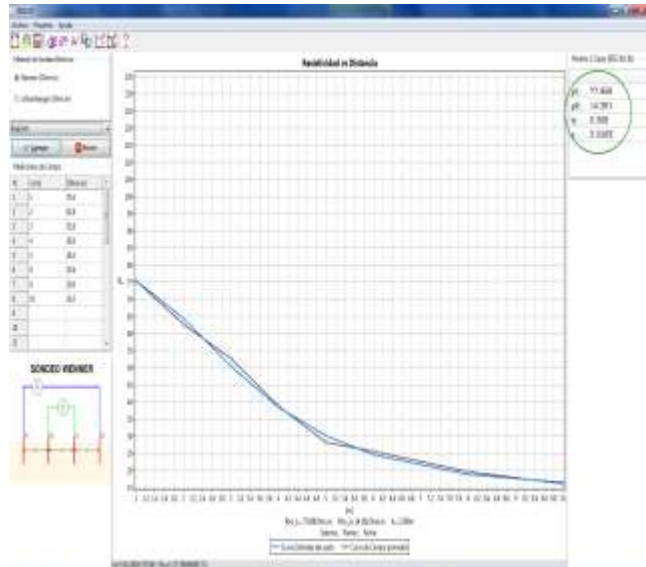
Mediante el icono  el programa agrega una curva indicando el modelo utilizado. La curva muestra los valores de resistividad y profundidad de la primera capa y la resistividad del a segunda capa.

Si no se desea visualizar esta curva, se debe seleccionar el icono .


Además, en el menú proyecto se pueden seleccionar las curvas que se desean que aparezcan en el gráfico.

Las acciones como guardar, generar un archivo nuevo o abrir uno existente, se realizan desde el menú “Archivo”.

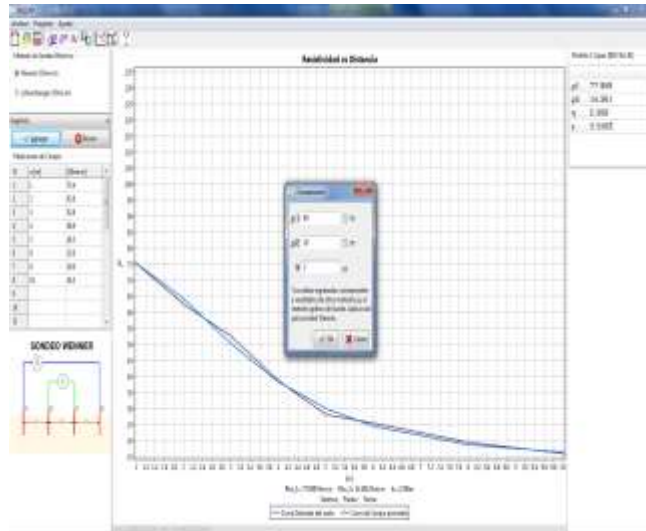
Los archivos tienen una extensión “.resj”.




El programa tiene la opción de validar los resultados realizados por otros métodos, por ejemplo el método gráfico de Sunde, o si por el contrario el usuario desea probar otros valores del modelo.

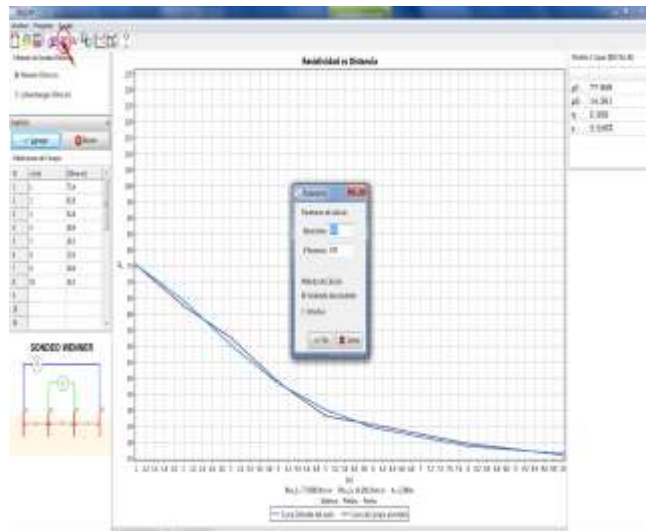
El icono  permite ingresar los valores de resistividades y profundidad de la primera capa obtenidos mediante otro método.

Ingresados los datos la curva estimada es recalculada, presentada en el gráfico y comparada con los datos obtenidos en campo.



El usuario puede variar los parámetros de cálculo empleando el icono . Se pueden variar el número de iteraciones y el algoritmo de cálculo para encontrar el modelo.

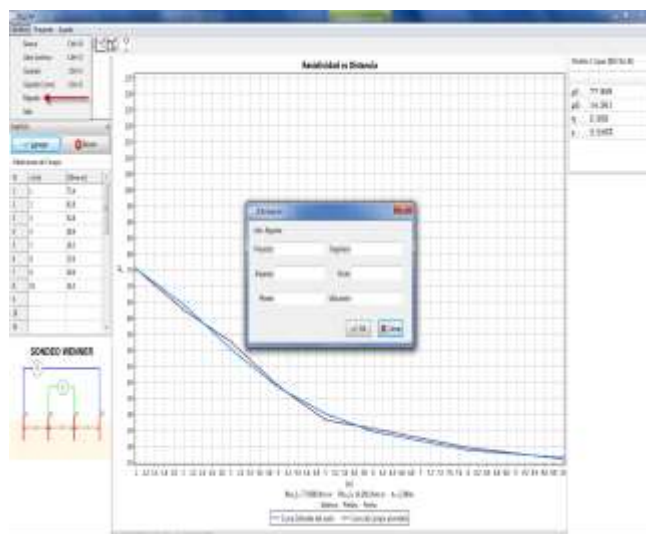
El método de gradiente descendente es el método indicado en el Std. IEEE-81, y por otra parte el algoritmo intuitivo corresponde a un método de búsqueda directa.



Un reporte sencillo puede ser exportado del programa.

Bajo la ruta "proyecto→Información" se ingresa los datos que serán impresos en el reporte.

El menú "Archivo→reporte", muestra un resumen de los valores ingresados y de los resultados obtenidos. El formato de reporte puede ser impreso por el usuario en \*pdf.



## TEORÍA DEL PROGRAMA

El modelo de dos capas es caracterizado por la resistividad de la primera, segunda capa y la profundidad de la primera. A partir de estos parámetros y utilizando el método Wenner se puede determinar el modelo matemático de Tagg descrito a continuación:

$$\rho(a) = \rho_1 \left[ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}} \right]$$

Donde

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}.$$

En el caso del sondeo Schlumberger la expresión utilizada para determinar la resistividad aparente ha sido formulada por Koefoed (1970) como sigue:

$$\rho_a = s^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda s) \lambda d\lambda$$

Donde  $s$  es la mitad del espaciamiento entre electrodos de corriente,  $J_1$  corresponde a la función de Bessel de primer orden y  $\lambda$  es la variable de integración. No obstante si bien esta expresión es compleja también existe una correlación entre el sondeo Schlumberger y el sondeo Wenner indicada como sigue:

$$\rho_{aW} = 2a^2 \int_{-a}^a \frac{\rho_{aS}}{s^2} ds$$

Donde  $\rho_{aW}$  y  $\rho_{aS}$  son las resistividades por los métodos Wenner y Schlumberger, en tanto que  $a$  y  $s$  corresponden a la distancia entre electrodos de corriente. Utilizando esta expresión se realiza una conversión de datos Schlumberger a Wenner a través de un filtro cuyos coeficientes fueron definidos en "Digital Linear Filtering Method to Transform schlumberger to Wenner Electric Resistivity Data".

Debido a las características del problema planteado, la solución consiste en resolver las ecuaciones de resistividad mediante métodos numéricos. Para el caso del modelo de dos capas se utilizan dos alternativas: el método del gradiente descendente el cual es mostrado en el Std. IEEE 81-1983 y un método de búsqueda directa; en ambos casos una vez es encontrado el modelo de dos capas se determina el error del cálculo con la expresión:

$$error = \sum_{m=1}^N \left[ \frac{\rho_m^o - \rho_m}{\rho_m^o} \right]^2$$