



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLÁN**

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS  
PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN  
GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

**Trabajo Profesional y Exámen Profesional**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y  
COMPUTACIÓN**

**PRESENTA**

**FERNANDO DELGADO RAMÍREZ**

**Asesor: VICTOR JOSÉ PALENCIA GÓMEZ**

Febrero 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

Le doy gracias a Dios que me dió la oportunidad de participar y dejar una breve reseña cultural para las generaciones futuras de una aplicación orientada a la Geología.

También a los profesores que dieron sus comentarios acertados para encaminar el conocimiento en la mejor forma.

A los geólogos Roberto y José María Chávez, a los maestros Victor Palencia, Rubén Romero, Nora del Consuelo Goris y a los comentarios de la Maestra Martha Angélica Elizondo.

## **Dedicatoria**

A Dios.

A mi papá Ramón Delgado Jasso y mi mamá Deborah Ramírez Herrera y mis hermanos Jose Luis, Ramón y Alma Delia.

A mi esposa Rosalina Báez con todo mi amor.

A mis Hijos: Claudia, Nancy, Edwin, Briseña, Lerby, Eneida, Luis Fernando y Luis Angel.

A todo el personal de la empresa Geoinmex SA de CV.

A María Eugenia Miranda, Sergio y Andrea.

A todos aquellos que participaron indirecta o directamente para la realización de esta obra.

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

**ÍNDICE**

<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>1</b>
<b><u>CAPÍTULO 1.- EL CONCEPTO DE LA GEOFÍSICA</u></b> .....	<b>2</b>
<b><u>1.1.- QUÉ ES LA GEOLOGÍA?</u></b> .....	<b>3</b>
1.1.1.- QUÉ ES LA GEOLOGÍA FÍSICA?.....	3
1.1.2.- QUÉ ES LA GEOLOGÍA HISTÓRICA?.....	4
<b><u>1.2.- NECESIDAD DE APLICACIONES DE SOFTWARE EN LA GEOFÍSICA</u></b> .....	<b>4</b>
<b><u>CAPÍTULO 2.- CARACTERÍSTICAS DE DESARROLLO DE ANÁLISIS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LAS CAPAS GEOFÍSICAS</u></b> .....	<b>6</b>
2.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE LAS CAPAS GEOFÍSICAS.....	6
<b><u>2.2.- REVISION DE DIAGRAMAS</u></b> .....	<b>10</b>
<b><u>2.3.- MONITOREO DE LAS CAPAS GEOFÍSICAS</u></b> .....	<b>12</b>
<b><u>CAPÍTULO 3.- FUNCIONES DEL SISTEMA DE SOFTWARE DE ANÁLISIS PARA EL TRAZO DE CURVAS ISORRESISTIVAS</u></b> .....	<b>16</b>
<b><u>3.1.- CONCEPTO DE ISORRESISTIVIDAD</u></b> .....	<b>16</b>
<b><u>3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA APLICADO</u></b> .....	<b>16</b>
<b><u>3.3.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA</u></b> .....	<b>17</b>
3.3.1.- Almacenamiento y administración de datos.....	22
3.3.2.- Procesamiento y graficación.....	23
3.3.3.- Manipulación de la información por parte de los algoritmos matemáticos.....	24
3.3.4.- Graficación de las diferentes curvas en el monitor.....	25
3.3.5.- Impresión de curvas en planos de forma parcial o total.....	25
<b><u>3.4.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA</u></b> .....	<b>26</b>
<b><u>3.5.- METODO DE BEZIER PARA TRAZO DE CURVAS</u></b> .....	<b>27</b>
<b><u>CAPÍTULO 4.- EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS PARA EL TRAZO DE CURVAS ISORRESISTIVAS</u></b> .....	<b>29</b>
<b><u>4.1.- PRUEBAS INICIALES DEL SISTEMA</u></b> .....	<b>29</b>
<b><u>4.2.- PRUEBAS FINALES DEL SISTEMA</u></b> .....	<b>29</b>
<b><u>4.3.-ANÁLISIS DEL SISTEMA APLICADO PARA EL TRAZO DE CURVAS ISORRESISTIVAS</u></b> ..	<b>34</b>

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

<b><u>4.4.- RESULTADOS FINALES DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA</u></b> .....	<b>36</b>
<b><u>CONCLUSIONES</u></b> .....	<b>37</b>
<b><u>RECOMENDACIONES</u></b> .....	<b>38</b>
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	<b>39</b>
<b><u>OTRAS FUENTES</u></b> .....	<b>40</b>
<b><u>GLOSARIO DE TÉRMINOS</u></b> .....	<b>41</b>
<b><u>ANEXOS</u></b> .....	<b>42</b>
<b><u>Anexo A. Estructuras de base de datos</u></b> .....	<b>42</b>
<b><u>Anexo B. Contenido de archivos del programa de graficación</u></b> .....	<b>44</b>
<b><u>Anexo C. Programa base para dibujar curvas de Bézier</u></b> .....	<b>47</b>

## **INTRODUCCIÓN**

El hombre a lo largo del tiempo ha tratado de explotar los recursos de la Tierra en todas sus formas y variantes, en un principio, para conocer lo que existía en las profundidades del subsuelo se realizaban excavaciones de exploración, para tomar muestras de los materiales que se iban encontrando en las diversas capas y posteriormente llevar estas muestras al laboratorio para realizar el estudio de los materiales. Con el paso del tiempo se ha mejorado el proceso de investigación en esta área ya que ahora se utilizan las matemáticas para realizar el análisis y la interpretación puntual de los elementos que forman el entorno de la naturaleza, por esto la disciplina de la ciencia de la Tierra que se llama Geofísica aplicada estudia el análisis del subsuelo y nos ayuda a determinar las diferentes capas o rocas de la corteza terrestre apoyándose en gráficas visuales.

Este estudio se basa en el método matemático para el trazo de curvas llamado Bézier, y se programó con el lenguaje C/C++ para graficar los datos de Isoresistividad, utilizando datos geofísicos ya conocidos en la zona de Matatlán, Jalisco, México, obtenidos por el Método Geofísico SEV (Sondeo Eléctrico Vertical), el cual nos permite conocer los materiales existentes en el subsuelo, mediante su propiedad eléctrica llamada resistividad, y por ende, aplicando diversos criterios de interpretación, se puede determinar cuales son los elementos que se encuentran en el subsuelo.

## **CAPÍTULO 1.- EL CONCEPTO DE LA GEOFÍSICA.**

Cuando se habla de Geofísica se habla de muchas disciplinas como: Meteorología, Oceanografía Física, Hidrología, Sismología, Gravimetría, Geomagnetismo, Prospección geofísica, etc., entre muchas otras más, todas ellas relacionadas entre sí debido a la importancia que tienen los fenómenos de la naturaleza y que al estar interconectados con las ciencias naturales y la geofísica a través del lenguaje matemático y la física, se puede decir que Geofísica es una ciencia natural básica y por estar muy cercana a nuestra vida cotidiana, va desde la descripción y explicación de los movimientos del aire, agua y hasta los de la corteza de la Tierra. Por lo tanto podemos definirla de la siguiente manera:

“La Geofísica es una ciencia derivada de la Geología que trata del estudio de las propiedades físicas de la Tierra, comprende aspectos como la investigación de la Composición Interna del planeta, así como el Flujo de Calor proveniente del interior de la Tierra, la fuerza de la gravedad que forma el Campo Gravitacional y la fuerza magnética de atracción ejercida por un magneto ideal en el interior de la Tierra, que crea el Campo Geomagnético, así como la propagación de las ondas sísmicas a través de las rocas de la corteza terrestre. Diferentes técnicas geofísicas permiten optimizar procesos de exploración de algunos minerales, del agua, de energía y la ubicación adecuada de obras civiles y prevención de desastres naturales.

Con el auxilio de los métodos indirectos de la geofísica, como es el registro de los diferentes tipos de ondas sísmicas, se ha logrado definir la Composición Interna del planeta, dividiéndolo en capas con especificaciones de su espesor y contenido, sin que necesariamente estén a la vista del hombre”.<sup>1</sup>

“La Geofísica es una disciplina que combina los conocimientos de física con ramas tales como la geología y la astrofísica con el fin de estudiar al planeta Tierra y su interacción con el universo”.<sup>2</sup>

Desde el inicio, la Geofísica ha tenido grandes éxitos por la búsqueda de yacimientos de petróleo, minerales, y gas; esto gracias a los grandes avances tecnológicos que han permitido el perfeccionamiento de la extracción de dichos yacimientos. Aunque cabe señalar que a pesar de esto, no siempre los métodos utilizados han sido del todo capaces de encontrar depósitos directamente, por lo que ha sido necesaria la localización de estructuras geológicas favorables.

---

<sup>1</sup>.- Geología Económica de México, 2ª Edición ,Editores: Kenneth F Clark, Guillermo A. Salas Piza, y Rodolfo Cubillas Estrada, Publicación: Servicio Geológico Mexicano, agosto del 2008.

<sup>2</sup>.- Asdrúbal Ovalles, Geofísica en Venezuela, Escuela de Geología Minas y Geofísica, Revista electrónica, abril 2003.

## **SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

“La Geofísica se vale del estudio de las propiedades físicas para la inferencia de información. Cuando alguna propiedad física rompe con la tendencia que se espera debería tener, entonces se evidencia la existencia de anomalías, y éstas a su vez son de vital interés para cualquier investigador geofísico”.<sup>3</sup>

### **1.1.- QUÉ ES LA GEOLOGÍA?**

“La Geología es la ciencia que estudia al planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años.

El estudio de la Tierra de manera aislada fue objeto de interés en la antigüedad, pero la Geología como ciencia se inicia en los siglos XVII y XVIII obteniendo su mayor desarrollo en el siglo XX, donde diversas ramas de la Geología se encargan del anterior propósito”.<sup>4</sup>

La Geología se divide en dos:

- 1.- Geología Física
- 2.- Geología Histórica.

#### **1.1.1.- QUÉ ES LA GEOLOGÍA FÍSICA?**

“La Geología Física es la que estudia la naturaleza y propiedades de los materiales que componen la Tierra, la forma como están distribuidos, los procesos por los cuales se forman, alteran, su transporte y distorsión; así como la naturaleza, desarrollo y transformación del paisaje”.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup>.- Ibidem.

<sup>4</sup>.- Manual de Geología para ingenieros, Cap. 1, El Ciclo Geológico, Gonzalo Duque Escobar, julio 2008.

<sup>5</sup>.-Trabajo de Investigación Magnético- Telúrico, Jorge Abud, Gonclaves Ana, Luis González, Luis Matute, Eliézer Naranjo y Richard Vladéz, Bolívar, Venezuela, 15 julio de 2003.

### **1.1.2.- QUÉ ES LA GEOLOGÍA HISTÓRICA?**

“La Geología Histórica estudia la historia de la Tierra incluyendo tanto la vida sobre el planeta tierra como los cambios sufridos por el (cambios físicos).”<sup>6</sup>

Según los geólogos, desde que la Tierra se formó hace 4,500 millones de años, nuestro planeta ha sufrido constantes transformaciones, por lo que los estudiosos en la materia se basan en un marco temporal absoluto y han elaborado una cronología a escala planetaria donde se han llevado a cabo eventos geológicos y biológicos que han ocurrido en nuestro planeta.

La cronología consta de cinco etapas llamadas:

1. eones
2. eras
3. periodos
4. épocas
5. edades.

### **1.2.- NECESIDAD DE APLICACIONES DE SOFTWARE EN LA GEOFÍSICA**

Se puede decir que a lo largo del tiempo y hasta la actualidad, se han realizado estudios del subsuelo, para la localización de yacimientos de una gran variedad de minerales que a la humanidad le son necesarios para satisfacer sus necesidades. Estos estudios geofísicos requieren un intenso trabajo de campo, algunos todavía con procedimientos manuales y otros analíticos que tienen que ser profundamente estudiados para determinar de forma certera el tipo de minerales encontrados, tales procedimientos constan de los siguientes elementos:

#### **Manuales (de campo)**

- Revisión de la superficie a estudiar
- Colocación de dispositivos Isorresistivos
- Toma de lectura de los diferentes valores (cada uno de estos valores representan las distintas profundidades).
- La recolección y traslado de toda la información para su cálculo en las oficinas.

---

<sup>6</sup> .- Ibidem.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

### **Analíticos (de oficina)**

- Vaciado de información generada en hojas milimétricas
- Procesamiento de la información e interpretación de valores
- Análisis de las curvas de nivel
- Graficación de curvas en base a los cálculos realizados
- Conclusiones y toma de decisiones.

Dentro de todo lo planteado anteriormente, cabe señalar que la realización de dichos estudios se llevaban a cabo sin el software de apoyo para la graficación de curvas, por lo que las posibilidades de error eran de un grado considerable y más cuando existía un aumento en el trabajo o tamaño del análisis, se corría el riesgo que un solo error en la graficación de una curva ocasiona que todo el estudio fuese incorrecto.

Por este motivo, se planteo una solución más acertada y segura que fue la implementación de un software de apoyo para el trazo de diferentes curvas que debe ser de lo más exacto posible, ya que el comportamiento y tendencias de las gráficas forman una representación simbólica para aplicar la experiencia y determinar de forma segura los materiales que existen en el subsuelo.

Adicionalmente, el costo que involucra el traslado de personal y equipo que requiere el estudio, representaba muchas veces volver al lugar para tomar nuevas mediciones para asegurar la lectura de los valores, esto sin contar que era necesario el trabajo de copiar el análisis ( hecho a papel milimétrico y consta de dibujos con todas sus implicaciones). Además de gastos extras que deriven de la investigación.

## **CAPÍTULO 2.- CARACTERÍSTICAS DE DESARROLLO DE ANÁLISIS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LAS CAPAS GEOFÍSICAS.**

El presente estudio utiliza el método de de prospección geoelectrica llamado Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) el cual determina las condiciones del subsuelo por las diferencias eléctricas de los materiales medidos desde la superficie, los resultados y efectos pueden estar relacionados por distintas condiciones como el agua, arcilla, porosidad en las rocas, fracturación del terreno, entre otros. El estudio de los métodos geoelectricos se remontan desde 1720 con los trabajos de Gray y Wheeler y los primeros éxitos comprobados fueron hasta 1913 al descubrir yacimientos de sulfuros de Bor (Servia) por el Ingeniero Conrad Schlumberger, ya que en conjunto con los soviéticos perfeccionaron técnicas y desarrollaron las bases de los métodos actuales, mismos que pueden realizar estudios a varios kilómetros de profundidad.

7

Existe una gran diversidad en los métodos geoelectricos, en este caso en particular se utiliza la aplicación de corriente eléctrica continua aplicada artificialmente para la realización del sondeo ya que se obtiene una distribución de las resistividades en el subsuelo.

Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), se representan por medio de una curva, en función de las distancias entre electrodos<sup>8</sup>, el presente proyecto sirve para graficar las curvas patrón que deben ser encontradas mediante la lectura de estos valores de resistividad.

### **2.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE LAS CAPAS GEOFÍSICAS.**

La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. La mayor eficacia del método corresponde al caso en que los SEV se efectúan sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad, y limitadas por planos paralelos a la superficie del terreno (medio estratificado). La experiencia demuestra que los resultados son tolerablemente válidos para estratos inclinados hasta 30°.

---

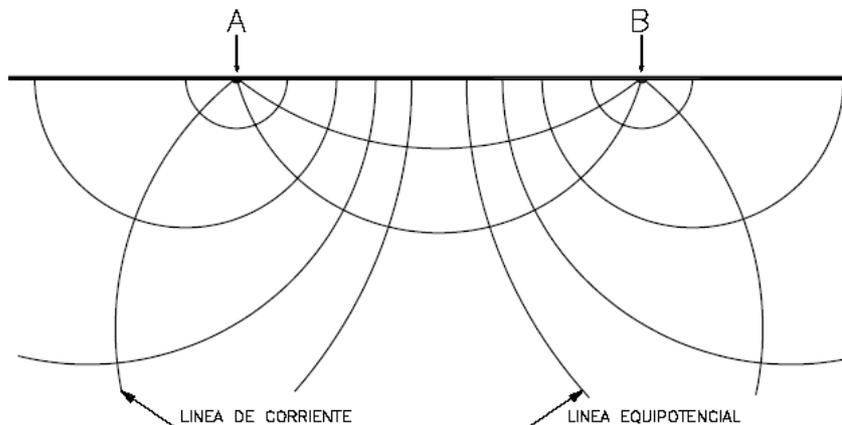
<sup>7</sup> Prospección Geoelectrica en corriente continua, Ernesto Orellana, segunda edición corregida y ampliada, 1982 Editorial Paraninfo, Madrid, España, pag. 29-33

<sup>8</sup> Prospección Geoelectrica en corriente continua, Ernesto Orellana, segunda edición corregida y ampliada, 1982 Editorial Paraninfo, Madrid, España, pag. 142

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

Al inyectar corriente eléctrica ( $I$ ) desde el punto (A) a través de la superficie de un semiespacio homogéneo e isótropo de resistividad ( $R$ ) se crea un campo eléctrico alrededor de este punto (Figura 1) donde las superficies equipotenciales son semiesferas con centro en A y perpendiculares a las líneas de corriente. Este fenómeno es descrito por las leyes de Maxwell y la ley de Ohm, así como la ecuación de Laplace.



*Fig 1. Aplicación de la corriente eléctrica entre dos puntos*

Como puede apreciarse en la Fig. 1, la aplicación de las cargas de corriente se distribuye formando una línea equipotencial la cual varía de acuerdo a la resistencia que encuentra a su paso en el subsuelo.

La finalidad de los métodos geoelectrónicos es estudiar el campo eléctrico a través del potencial inducido. Prácticamente se representa por un circuito de corriente que esta constituido por dos electrodos de corriente A y B, también por un par de electrodos para medir el potencial M y N, así como las perturbaciones del potencial ocasionadas por las variaciones en las propiedades geoelectrónicas (Figura 2).

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

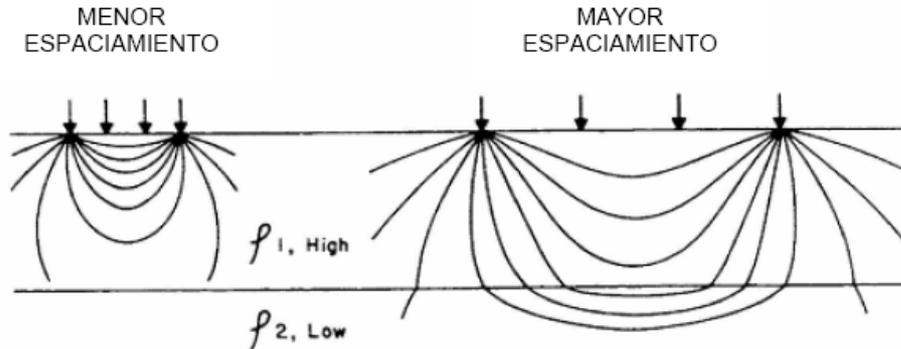


Fig 2. Relación espaciamento-profundidad de alcance,  
(Fuente: Benson 1994<sup>9</sup>)

Es necesario considerar que para realizar el estudio con mayor profundidad, el espaciamento entre los electrodos debe ser mayor, también la aplicación de los voltajes puede variar.

El análisis se basa en los principios básicos de electricidad y aplicado en condiciones reales se requiere del siguiente equipo:

- Un Generador de corriente.
- Baterías o pilas.
- Un transmisor de corriente.
- Electrodo de acero.
- Electrodo impolarizable.
- Cable de cobre con aislamiento.
- Galvanómetro (G).
- Amperímetro de precisión (A)
- Voltímetro de precisión (V)
- Accesorios menores

Como se muestra en la siguiente figura

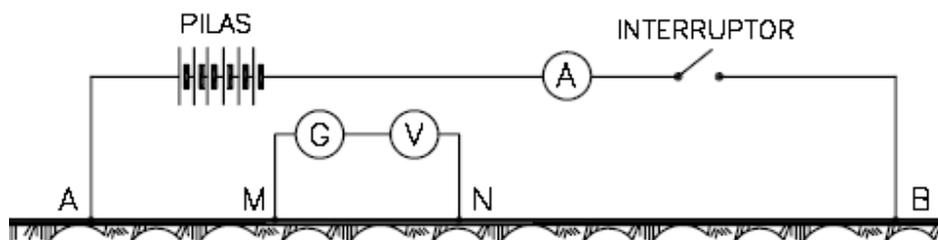


Fig 3. Esquema general del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

<sup>9</sup> BENSON, R. (1994). Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration. Editorial National Wather Association. Nevada, USA, pp 236.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

El anterior esquema representa la operación para aplicar la energía entre los puntos A y B, luego, con los aparatos de medición se instalan los electrodos en los puntos M y N, posteriormente se toma la lectura a lo largo de la trayectoria A,B, la distancia entre M y N debe ser constante, con el apoyo del interruptor se va tomando la medición ya que las distancias entre A y B pueden ser considerables el conjunto de valores que se van obteniendo se le llama "Dispositivo Isorresistivo".

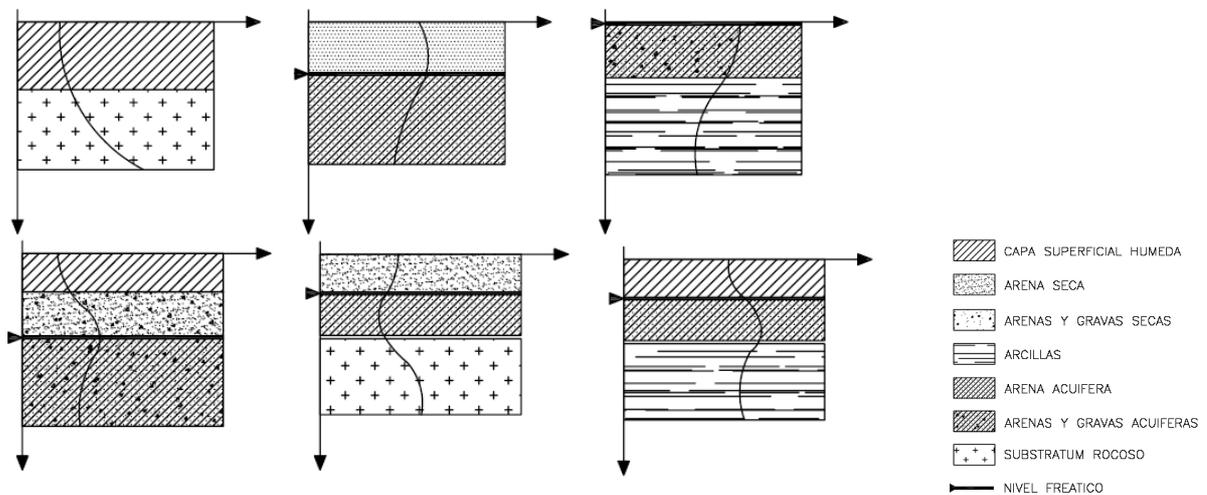
Los valores de resistividad aparente adquiridos con un SEV (datos de campo) se representan por medio de una curva. Donde el eje vertical corresponde a la resistividad aparente y el horizontal en  $\frac{1}{2}$  de la separación entre los electrodos de corriente (AB), usando cada pareja de puntos en las diferentes aberturas se obtiene la gráfica, que es asintótica en ambos extremos. Esta curva representa la variación de la resistividad en el subsuelo. Este efecto puede interpretarse mediante un modelo de capas con espesores y resistividades.

Los datos son vaciados en una cuadrícula en donde, en forma de columna, se ponen los valores a lo largo de la medición y los datos en renglones son valores que se obtienen haciendo variar el voltaje aplicado y recorriendo la misma distancia. Para obtener mayor profundidad, el geólogo varía la distancia entre los puntos A y B y con la aplicación de mayor voltaje va tomando las lecturas de resistividad en cada punto M y N.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

### 2.2.- REVISION DE DIAGRAMAS

El comportamiento físico de las rocas depende de las propiedades y modo de agregación de sus minerales, forma, volúmen y relleno (generalmente agua o aire) que forman poros, adicionalmente debemos considerar el efecto de la presión, temperatura y consistencia de fluidos. La influencia de los distintos minerales del subsuelo hace que los valores de resistencia varíen con la intensidad de carga, como se muestra en la siguiente figura.



En las figura 4 se puede apreciar la influencia que generan diversos elementos al paso de la corriente eléctrica, así como también un yacimiento de un conductor hace que la tendencia en las mediciones sea influenciada.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

Los valores de resistividad de una roca, están determinados más que por su composición mineral, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y por la salinidad del agua (más salinidad implica mayor conductividad). Esto se puede observar en la figura 5, también observemos una clasificación de los diferentes minerales y resistividad.

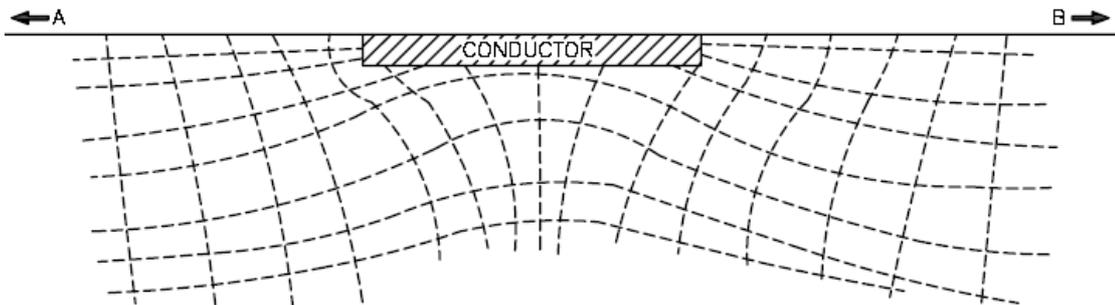


Fig 5. Efecto de una capa protectora sobre un dispositivo eléctrico



Fig 6. Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales (Orellana 1982)<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Prospección Geoeléctrica en corriente continua, Ernesto Orellana, segunda edición corregida y ampliada, 1982 Editorial Paraninfo, Madrid, España, pag. 75.

### **2.3.- MONITOREO DE LAS CAPAS GEOFÍSICAS**

Para la búsqueda de yacimientos es importante conocer los valores de resistividad de las rocas más comunes así como materiales de suelo y sustancias químicas, por ejemplo, las rocas ígneas y metamórficas típicamente tienen altos valores de resistividad. También la resistividad de estas rocas depende mucho del grado de fracturación que poseen y el porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno.

Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad, así como los estratos con alto índice de humedad tienen valores más bajos. En los suelos arcillosos, las resistividades son normalmente menores que las correspondientes al suelo arenoso, es decir, el parámetro de la resistividad depende de un número de factores tales como la porosidad, el grado de saturación de agua y la concentración de sales disueltas; como se indica en la tabla 1.

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

<b>Material</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega</math>m)</b>	<b>Conductividad Siemens</b>
<b>Rocas Igneas y Metamórficas</b>		
Granito	$5 \times 10^3 - 5 \times 10^6$	$10^{@6}$ @ $2 \times 10^{@4}$
Basalto	$10^3 - 10^6$	$10^{@6}$ @ $10^{@3}$
Pizarra	$6 \times 10^3$ @ $4 \times 10^6$	$2 \times 10^{@8}$ @ $1.7 \times 10^{@3}$
Mármol	$10^2$ @ $2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{@9}$ @ $10^{@2}$
Cuarcita	$10^2$ @ $2.5 \times 10^8$	$5 \times 10^{@9}$ @ $10^{@2}$
<b>Rocas Sedimentarias</b>		
Arenisca	8 @ $4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{@4}$ @ 0.125
Esquisto (Metamórfica)	20 @ $2 \times 10^3$	$5 \times 10^{@4}$ @ 0.05
Limolita	50 @ $4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{@3}$ @ 0.02
<b>Suelos y Agua</b>		
Arcilla	1 – 100	0.01 – 1
Aluvión	10 – 800	$1.25 \times 10^{@3}$ @ 0.1
Agua Fresca	10 – 100	0.01 – 0.1
Agua de Mar	0.2	5
<b>Químicos</b>		
Hierro	$9.074 \times 10^{@8}$	$1.102$ @ $10^7$
Cloruro de Potasio	0.708	1.413
Xileno	$6.998 \times 10^{16}$	$1.429 \times 10^{@17}$

Tabla 1.- Tabla de Resistividad de algunos minerales  
(Fuente: Instituto Geofísico Sismológico, San Juan Argentina, 2007)

Los valores de resistividad de agua en el terreno varían desde 10 a 100 ohms por metro ( $\Omega$ m) dependiendo de la concentración de las sales disueltas, para valores que oscilan alrededor de los 0.2  $\Omega$ m, por ejemplo en el agua de mar se debe al alto contenido de sal (tabla 1). Esto hace que los métodos de resistividad sean técnicas ideales para la planificación de estructuras con contenido de agua fresca y salina.<sup>11</sup>

También podemos encontrar el valor de resistividad de varios contaminantes industriales, metales como el hierro, que tiene valores sumamente bajos, los químicos como el sodio, cloruro de potasio, pueden reducir mucho la resistividad del agua del terreno a menos de 1.0  $\Omega$ m.

<sup>11</sup> Estudio Geológico del yacimiento Fosilifero ORS-16 en el campo Orocual, Estado Monagas, Sasha Alejandra Cegarra Salges, Proyecto de Grado Universidad Simón Bolívar, 2008.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

Para algunos de los compuestos de los hidrocarburos, tal como el **Xileno** (Solvente usado en pinturas, impresión, resinas, dehesivos, combustibles, es nocivo para la salud) , tienen resistividades muy altas, y en conjunto con el análisis de otros materiales que se encuentran en las cercanías a estos compuestos es posible encontrar yacimientos.

En la figura 6 se pueden apreciar mediante las curvas de nivel los yacimientos conocidos y el yacimiento encontrado después de aplicar el análisis.

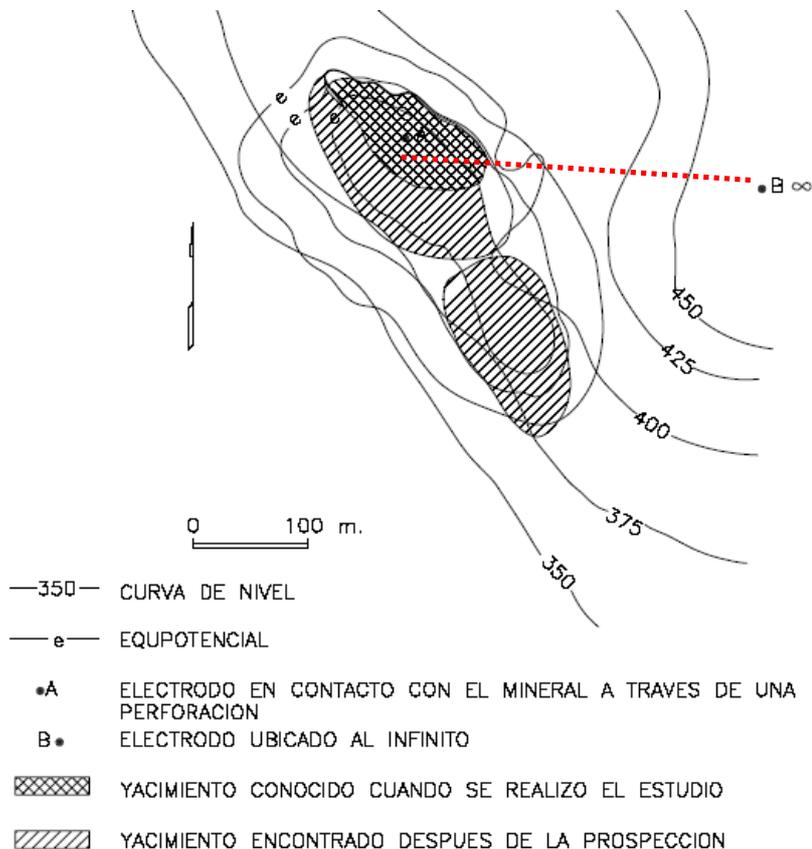


Fig 7. Análisis de los minerales mediante un dispositivo de A a B  
(Fuente: GeoinMex 1993 Matatlán, Jalisco)

En esta parte para poder dar un dictámen del terreno, el geólogo aplica los criterios y la experiencia evaluando los resultados no solamente basándose en la información de éstos sino también en otros cálculos derivados del estudio y que aplican a otros conceptos como la hidrología del terreno, clima, etc.

Normalmente entre 3 y 5 capas pueden ser detectadas con la técnica de resistividad, y es generalmente muy efectiva en las exploraciones de aguas subterráneas, además

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

constituye el método más usado a nivel mundial. El análisis e interpretación de la información generada por los sondeos, requiere de la interpretación conjunta de un geólogo y un geofísico con conocimientos tanto del método geofísico, como de las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área explorada, así como también, de las técnicas específicas de interpretación, mediante modelos de computación o curvas que sirven de guía o patrón.<sup>12</sup>

El proceso de determinación de estas curvas está basado en una comparación muy sencilla, lo cual permite conocer cuáles son las curvas que pueden ser encontradas en dichos intervalos ya que se toma como base el siguiente criterio: se toman los valores que forman entre renglón o columna y se calculan los valores que se encuentran en el intervalo, por ejemplo, si en los extremos tenemos los valores de 17 y 35, entonces, las curvas que se encuentran en este intervalo son aquellas cuyos valores son 20 y 30. Este criterio se debe seguir tanto en renglones como en columnas.

---

<sup>12</sup> Estudio Geológico del yacimiento Fosilifero ORS-16 en el campo Orocuai, Estado Monagas, Sasha Alejandra Cegarra Salges, Proyecto de Grado Universidad Simón Bolívar, Nov. 2007.

### **CAPÍTULO 3.- FUNCIONES DEL SISTEMA DE SOFTWARE DE ANÁLISIS PARA EL TRAZO DE CURVAS ISORRESISTIVAS**

#### **3.1.- CONCEPTO DE ISORRESISTIVIDAD.**

La Isorresistividad es la resistividad para un medio determinado que cambia en todas las direcciones debido a la diversidad de los materiales en el subsuelo. La resolución de estos casos generales implica considerar en el planteo y resolución del problema una mayor cantidad de variables, no tomadas en cuenta en los métodos actualmente utilizados en 1D los cuales la consideran constante en cada estrato o capa del subsuelo, lo que nos lleva a metodologías y modelos matemáticos de mayor complejidad.

Se le llama curva Isorresistiva a la gráfica encontrada al aplicar la técnica de energía eléctrica en el estudio de subsuelo, este estudio permite medir potenciales, corrientes y campos electromagnéticos, y, es utilizado para realizar estudios relacionados a la búsqueda de yacimientos, contaminación y análisis geológico.

#### **3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA APLICADO**

El sistema aplicado se caracteriza principalmente por la interpretación de los valores obtenidos del sondeo de terreno, como principal característica, el sistema requiere del tamaño de datos que se proporciona para inicializar las estructuras correspondientes entre renglones y columnas de datos, también se requiere la posición del dispositivo o número de dispositivo a manera de identificar este conjunto de datos, adicionalmente se requiere de la selección de curvas que se van a visualizar ya que se puede definir cuales curvas son relevantes o no.

Dicho sistema consta de dos partes principales que son:

- 1.- Captura de información de dispositivos Isorresistivos
- 2.- Graficación de curvas

La primera es una gestión y captura de los valores de los dispositivos Isorresistivos en base de datos DBASE el cual permite realizar una administración sencilla de los datos, la segunda consta del software de graficación el cual explota la información ya contenida en sus bases de datos y permite realizar el análisis de valores detectando las curvas o patrón de curvas de resistividad.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

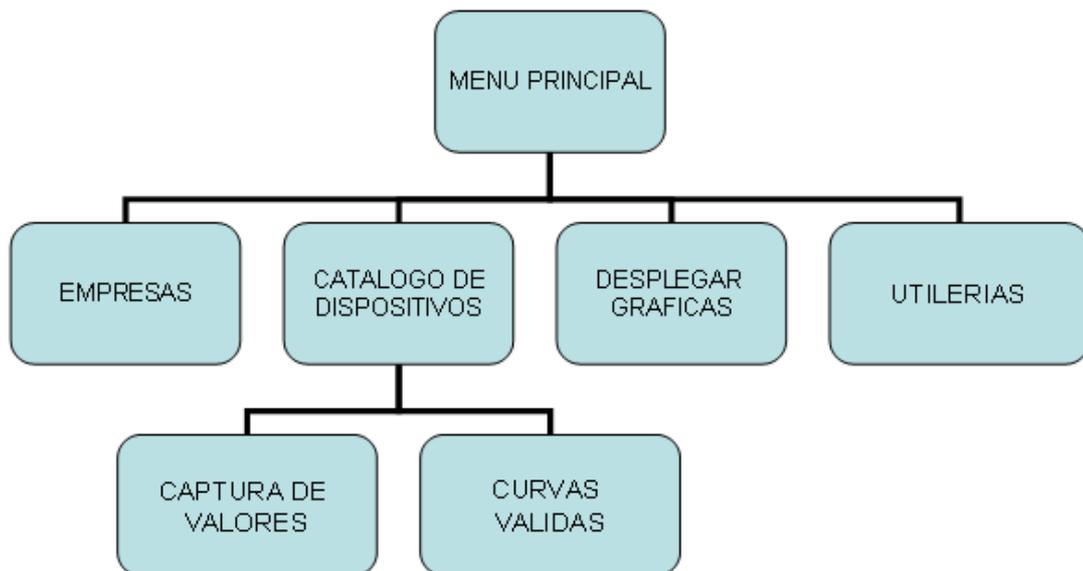
---

El procedimiento del sistema aplicado tiene las siguientes características:

- Obtención y registro de datos en la computadora
- Procesamiento de la información
- Graficación de las diferentes curvas.
- Impresión de curvas del dispositivo Isorresistivo y resultados en general.

### 3.3.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema consta de los siguientes elementos para su funcionamiento.



*Diagrama 1. Funcionamiento del Sistema*

**Empresas.-** Capturar una lista de claves para identificar el terreno a explorar.

**Catálogo de Dispositivos.-** Captura los números de cada dispositivo isorresistivo.

**Captura de valores.-** Permite dar de alta los valores de cada dispositivo

**Curvas Válidas.-** Establece cuales curvas se van a graficar.

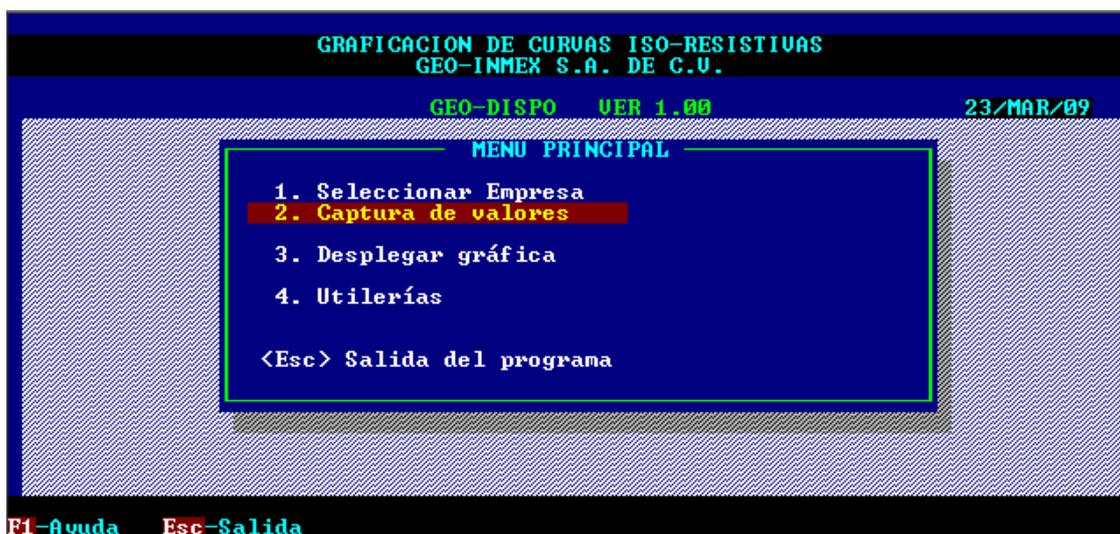
**Desplegar Gráficas.-** Muestra el resultado en forma gráfica de un dispositivo seleccionado.

**Utilerías.-** Permite el ordenamiento y depuración de archivos de base de datos.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

Para operar el sistema simplemente se capturan los datos de referencia del dispositivo, proporcionando el número de renglones y columnas, luego se establecen las curvas válidas, se introducen los valores de cada lectura (renglón, columna) y se procede a ejecutar el programa de graficación; posteriormente se imprime el resultado de curvas obtenidas y opcionalmente se pueden modificar las trayectorias y valores para ejecutar nuevamente el proceso.

La pantalla principal del sistema es la siguiente:



*Pantalla 1 Menú principal*

El sistema utiliza los siguientes pasos para realizar el análisis de las curvas Isorresistivas:

- Capturar en el catálogo de empresas, la clave que va a identificar el grupo de dispositivos que utiliza el estudio, es necesario definir una clave de 3 caracteres.
- Dar de alta el dispositivo del estudio en la opción "2.-Captura de valores"

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

Catálogo de dispositivos			
Disp	Empresa	Nombre	Columnas
1	JAL JALISCO	D1	11
2	JAL JALISCO	D2	11
*** CAMBIOS *** DISPOSITIVOS ***			
EMPRESA JAL			
Nombre		D3	
Número de dispositivo		3	
Número de columnas		13	
Número de renglones		12	
Profundidad Inter-Electrónica		10	
15	JAL JALISCO	D15	11
16	JAL JALISCO	D16	11
17	JAL JALISCO	D17	11
18	JAL JALISCO	D18	11
19	JAL JALISCO	D19	12

A-Altas    B-Bajas    C-Cambios    ENTER-VALORES    Esc-Regresa  
F1-Ayuda    F2-Curvas válidas

Pantalla 2. Captura de dispositivos

**Número de dispositivo:** clasifica cada dispositivo de 1 a 999.

**Número de columnas:** es la cantidad de mediciones realizadas entre los intervalos A y B.

**Número de renglones:** es la profundidad tomada en cada lectura.

**Profundidad Inter-Electrónica:** es un dato informativo para despliegue de los valores de profundidad.

Una vez definido el dispositivo, se edita el detalle para capturar los valores de la matriz que forman el número de columnas y el número de renglones:

Valores a graficar 11 Renglones x 13 Columnas										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9.2	9.7	12.6	8.3	5.9	6.9	3.0	4.9	4.3	9.5	3.7
8.4	5.5	4.1	9.6	4.9	5.5	6.0	1.0	3.8	2.6	3.3
4.3	2.7	4.2	4.6	3.9	5.8	3.5	3.7	3.6	3.5	5.1
4.1	4.8	7.0	3.3	4.0	3.9	4.9	3.3	6.6	6.2	4.9
5.1	6.5	7.6	9.6	5.2	6.6	7.2	2.9	7.2	6.9	4.8
5.3	6.3	8.6	6.8	6.5	10.2	8.6	10.4	7.7	6.2	8.3
6.0	7.8	9.3	12.8	4.0	17.6	10.0	10.6	11.3	11.3	11.9
9.9	2.7	10.1	14.7	9.2	1.5	13.8	11.4	15.0	11.9	15.5
6.8	1.9	12.6	15.7	14.1	7.5	14.5	13.2	17.2	12.5	19.3
13.3	2.4	15.2	16.7	16.1	17.9	17.7	16.5	17.7	13.4	21.1
14.9	1.9	18.2	21.2	18.2	19.4	21.0	19.9	18.8	20.9	23.0

ENTER-MODIFICA    Esc-Regresa  
F1-Ayuda

Pantalla 3. Captura de valores

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

En este dispositivo se capturan todos los valores obtenidos de la toma de lectura.

- En la pantalla entrando con la tecla F2, se determinan cuales son las curvas que se van a mostrar en la gráfica, para esto se utiliza la siguiente pantalla:

Dispo	No. Curva	Activa (1-Si/0-No)
2	2	1
2	4	1
2	6	1
2	8	1
2	10	1
2	11	0
2	12	1
2	13	0
2	14	1
2	15	0
2	16	1
2	20	1
2	25	1

ENTER-MODIFICA    Esc-Regresa  
F1-Ayuda

Pantalla 4. Curvas a graficar

Una vez establecidos los datos del dispositivo, valores y curvas a visualizar, se procede a la generación de las curvas utilizando la opción "3.- Desplegar gráfica", la cual muestra los siguientes parámetros:

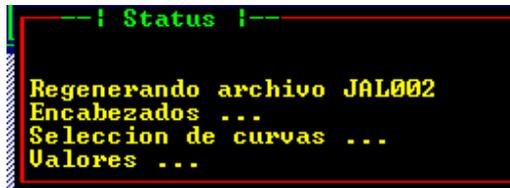
GRAFICACION DE CURVAS ISO-RESISTIVAS GEO-INMEX S.A. DE C.U.		
GEO-DISPO	VER 1.00	23/MAR/09
Visualizar grafica		
EMPRESA	JAL	
Número de dispositivo	02	

F1-Ayuda    Esc-Salida

Pantalla 5. Curvas a graficar

- El sistema muestra un mensaje de la generación de archivos los cuales son utilizados por el programa de graficación:

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO



Pantalla 6. Curvas a graficar

En este nivel es generado el archivo para el programa de graficación el cual contiene Mensajes de despliegado, selección de curvas, tamaño de la matriz de nxm y valores de medición (Ver Anexos A y B).

- Posteriormente se ejecuta el programa de graficación el cual despliega el análisis de las curvas utilizando por default el método de Bézier.



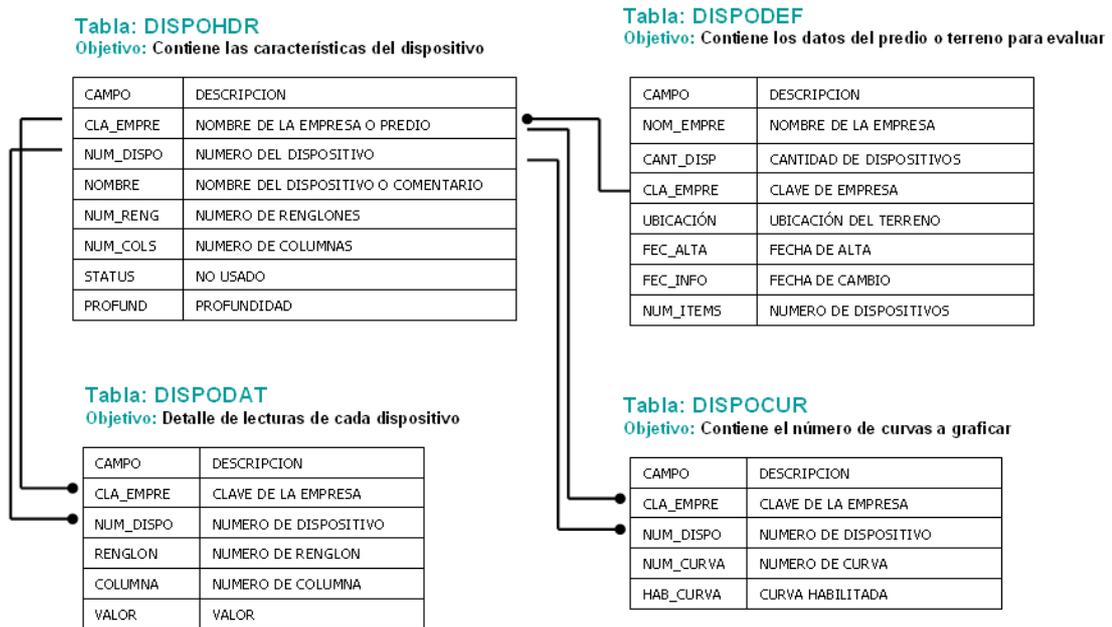
Pantalla 7. Curvas a graficar

La pantalla anterior muestra el resultado de la generación de curvas seleccionado, el color de las curvas está en relación al número del cuadro de la derecha y representa el valor de resistividad.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

### 3.3.1.- ALMACENAMIENTO Y ADMINISTRACIÓN DE DATOS

Para el almacenamiento de los dispositivos Isorresistivos se cuenta con una base de datos en formato DBASE III, la estructura de almacenamiento del sistema consta del siguiente diagrama de relaciones:



*Diagrama 2. Estructura de almacenamiento*

El significado de cada tabla es el siguiente:

**DISPODEF.-** Contiene la información de las claves de empresa "CLA\_EMPRE" de la cual se organiza el nombre del estudio.

**DISPOHDR.-** Contiene la información de un dispositivo Isorresistivo los cuales constan del número de renglones y columnas, todo esto asociado a una clave de dispositivo.

**DISPODAT.-** Contiene la lectura de cada valor donde la posición en la gráfica es establecida por los campos "NUM\_RENG" y "NUM\_COLS".

**HAB\_CURVA.-** Sirve para seleccionar los números de las curvas que se desean graficar por medio de un campo que indica si se activa o no dicha curva "HAB\_CURVA".

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

El esquema de base de datos es una parte fundamental para la elaboración de la gráfica ya que sirve de parámetro para formar un archivo que requiere el programa de graficación, este proceso se realiza haciendo un resumen del número de dispositivo, curvas válidas, mensajes y características del dispositivo.

De los valores obtenidos del estudio se representan en una matriz de n x m el cual tiene todas las mediciones de resistividad a diferentes distancias de la recta A-B.

En la siguiente tabla (tabla 1) pueden observarse los valores resultantes de un dispositivo.

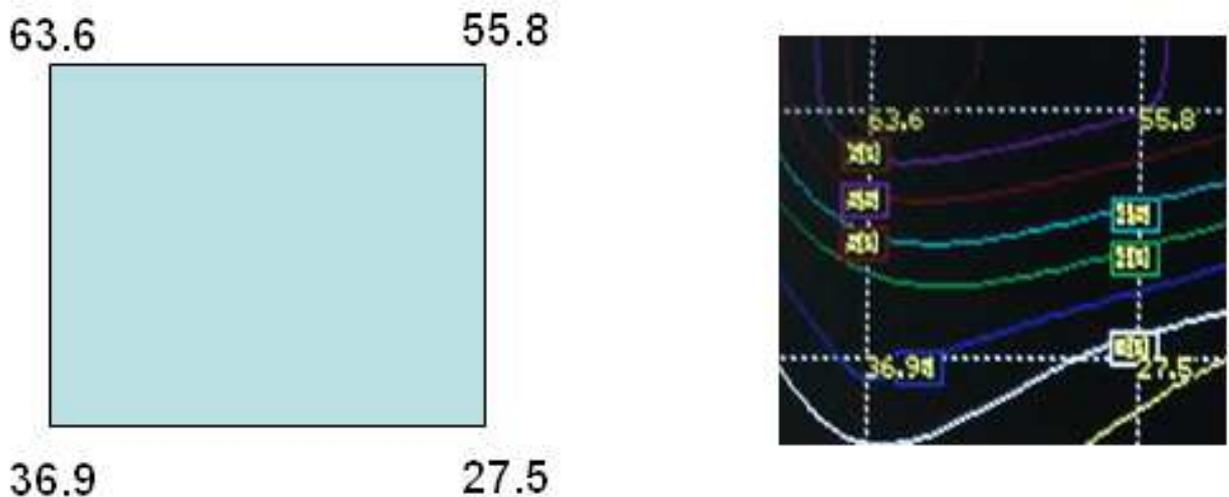
27.5	63.6	55.8	48.0	32.4	35.9	53.9	28.9	65.6	20.0	33.0	38.0	42.8	65.8	51.8	44.0
18.0	36.9	27.5	18.1	26.4	20.9	12.3	21.6	8.5	20.2	21.1	29.9	24.5	39.3	28.6	14.6
13.5	24.1	17.0	18.0	9.9	20.2	8.8	14.3	9.8	7.3	19.0	22.0	22.9	31.6	23.0	10.1
9.1	11.4	16.7	17.8	9.7	15.8	7.3	13.0	9.7	8.5	17.4	17.2	17.5	18.8	11.5	5.7
10.3	10.4	12.6	16.6	11.9	11.4	8.0	11.9	7.3	9.1	15.9	14.8	15.6	22.3	20.7	14.3
16.4	18.7	30.8	15.5	14.2	9.7	9.7	14.6	6.7	8.7	14.5	12.4	15.0	26.8	20.4	16.2
26.5	34.4	52.1	16.9	16.6	8.8	11.4	19.4	9.3	6.1	14.3	13.7	15.0	28.4	29.5	18.1
36.7	50.1	62.3	18.7	27.7	8.0	14.7	19.4	9.7	7.3	14.2	15.6	16.6	30.4	31.3	24.6
40.3	49.0	69.0	37.5	38.9	8.9	29.4	19.4	9.6	9.6	27.0	26.0	18.3	32.2	33.1	32.0
44.0	51.0	69.9	56.4	47.2	10.7	40.7	23.5	9.4	11.9	18.4	22.0	19.7	33.9	20.3	33.3
55.0	52.0	72.5	62.0	51.4	26.7	50.4	16.7	10.9	19.0	14.0	18.0	21.1	38.9	16.9	34.6
59.0	52.5	71.0	66.0	55.6	42.7	60.2	45.2	12.5	22.6	10.8	17.8	38.4	38.0	16.1	27.6
81.0	53.0	70.5	68.0	57.8	79.5	69.8	49.5	12.5	23.0	10.6	14.2	35.0	37.1	15.0	15.5

*Tabla 1. Ejemplo de valores de un dispositivo Isorresistivo*

Para la administración de los datos se utiliza DBASE y la captura de todos los valores obtenidos.

### 3.3.2.- PROCESAMIENTO Y GRAFICACIÓN

Para saber cuales son las curvas que se encuentran en cada segmento es necesario conocer los valores que forman los vértices de la tabla, por ejemplo (Fig. 1) se observan las curvas que tiene el bloque de datos siguiente.



*Fig 1. Cuadrante de valores que delimita las curvas a encontrar*

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

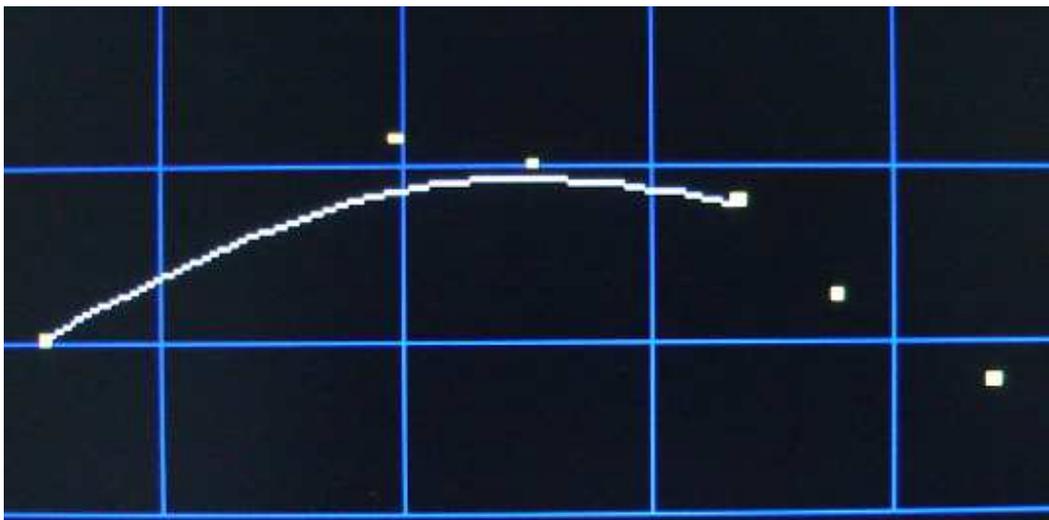
---

Se puede ver que las curvas que se encuentran entre los valores de 63.6 y 36.9 son las curvas 40, 50, 60 respectivamente, estas curvas encontradas en cada segmento de números van formando grupos de valores posibles de las trayectorias de curvas.

Para obtención de las curvas Isorresistivas y el procesamiento de valores se utiliza el Lenguaje C/C++.

### 3.3.3.- MANIPULACIÓN DE LA INFORMACIÓN POR PARTE DE LOS ALGORITMOS MATEMÁTICOS.

Para los puntos de referencia en el trazo de curvas es necesario tomar en cuenta que éstas deben poseer un punto de influencia con las curvas que se encuentran alrededor de ellas, por tal motivo es necesario tomar en cuenta que los puntos son relativos al comportamiento del trazo, de tal forma que se debe considerar una curva lo suficientemente "suave" o flexible para que permita el trazo de las vecinas.



*Fig 2. Influencia en el trazo de curvas*

Como puede apreciarse en la figura anterior, la influencia de los puntos de control determinan la forma de la curva.

Para una mayor confiabilidad de que los resultados sean 100% exactos juegan un papel muy importante los métodos matemáticos.

En el Anexo C se encuentra el programa fuente en lenguaje C, del cual se hace el trazo de curvas de este ejemplo.

### 3.3.4.- GRAFICACIÓN DE LAS DIFERENTES CURVAS EN EL MONITOR.

Para encontrar las rutas de cada curva se tiene que cumplir con el siguiente criterio: Las trayectorias de las curvas no deben cortarse en ningún caso.

Para la búsqueda de las rutas se traza en diferente color las trayectorias de cada curva para poder distinguir su valor.

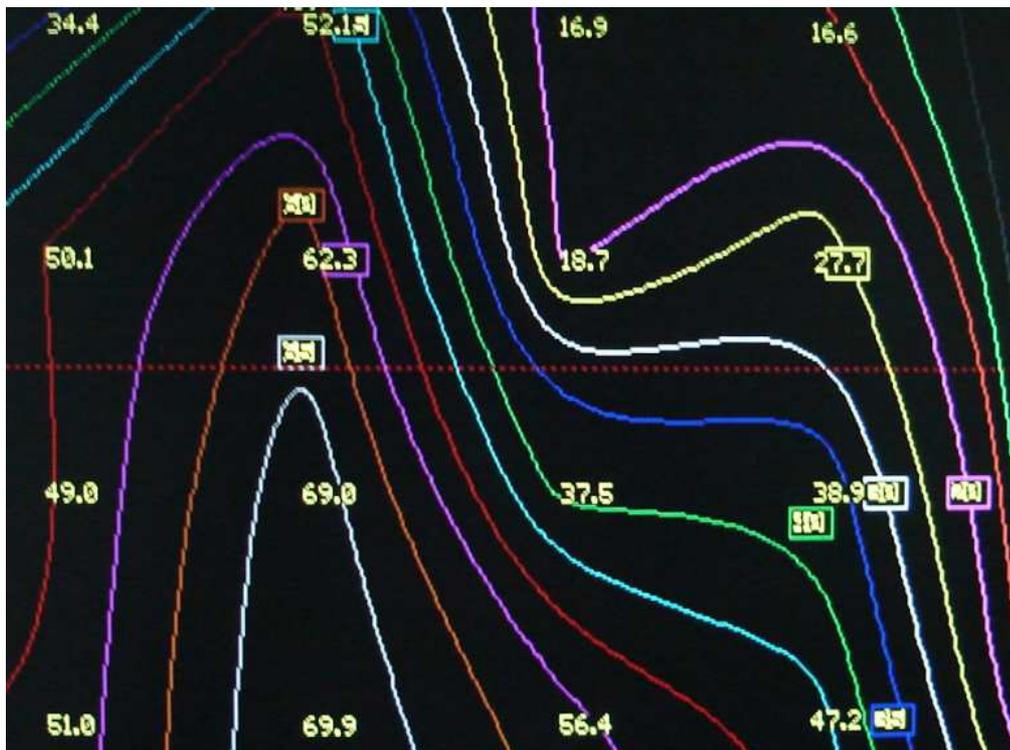


Fig 3. Identificación de curvas con su notación

Con la ayuda del software adecuado, se logra la representación de las diferentes curvas resultantes en la pantalla de la PC, en la figura anterior se muestra la tendencia de resistividad cuando la influencia de los campos eléctricos en los materiales tienden a formar este tipo de comportamiento en las curvas patrón.

### 3.3.5.- IMPRESIÓN DE CURVAS EN PLANOS DE FORMA PARCIAL O TOTAL.

Este punto es de gran importancia, ya que por medio de la computadora que previamente obtuvo las curvas en el monitor, se puede proceder a pasar esa información a papel de una forma parcial o total.

### 3.4.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El flujo de operación del sistema cuenta con dos programas principales:

1.- CONTROL.EXE el cual administra y almacena toda la información de los dispositivos Isorresistivos, curvas a validar, parámetros de las lecturas y datos adicionales del estudio.

2.- BEZIER.EXE realiza la gráfica correspondiente del dispositivo seleccionado, el siguiente diagrama muestra el flujo de operación.

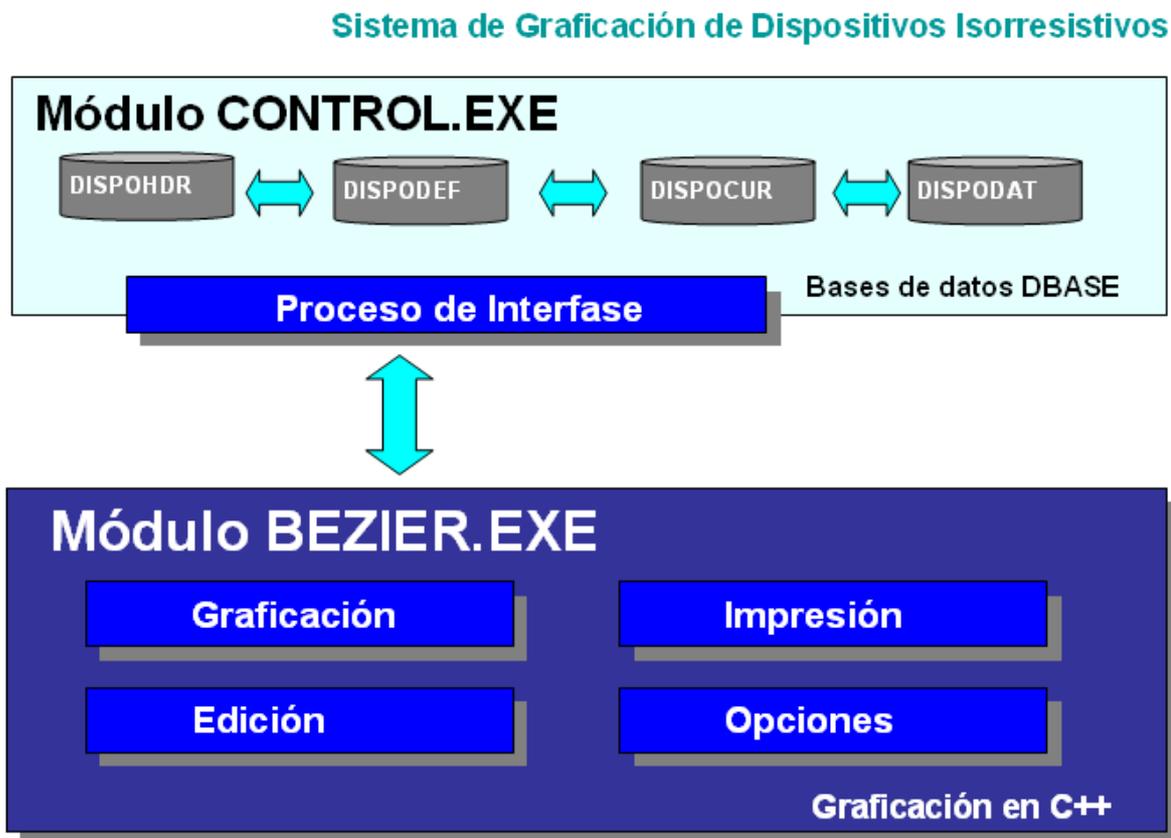


Fig 4. Flujo de operación del sistema

Este software de graficación de curvas Isorresistivas consta de dos módulos de operación los cuales permiten realizar un estudio preliminar y de mucha ayuda para detectar las tendencias de las curvas encontradas en el subsuelo. El módulo de Control permite definir las características valores y curvas válidas, el módulo BEZIER.EXE permite desplegar los resultados del análisis en forma gráfica y también

permite realizar modificaciones a las trayectorias de las curvas en caso de ser necesario.

### 3.5.- METODO DE BEZIER PARA TRAZO DE CURVAS

El método Bézier para el trazo de curvas inicialmente fue creado por el Ingeniero Bézier de origen francés, los fines principales fueron para su utilización en el diseño de carrocerías de los automóviles Renault y se explica de la siguiente manera: "para cualquier conjunto de entrada de puntos de control, una curva de aproximación se forma anexando una secuencia de funciones polinomiales formada a partir de las coordenadas de los puntos de control".

Supóngase que se meten  $n + 1$  puntos de control y se designan como los vectores  $P_k = x_k, y_k, z_k$ , para  $k$  que varía de 0 a  $n$ , A partir de estos puntos coordenados, se calcula una función vectorial de Bézier de aproximación  $P(u)$ , la cual representa las tres ecuaciones paramétricas de la curva que se ajusta a los puntos de control de entrada  $P_k$ . La función coordenada de Bézier se calcula como

13.

$$P(u) = \sum_{k=0}^n P_k B_{k,n}(u) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Cada función  $B_{k,n}(u)$  es una función polinomial que se define como

$$B_{k,n}(u) = C_{n,k} u^k (1-u)^{n-k} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

ya la función  $C_{n,k}$  representa a los coeficientes binomiales

$$C_{n,k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

La ecuación 1 puede escribirse en forma explícita como un conjunto de ecuaciones paramétricas para las coordenadas individuales de la curva:

$$x(u) = \sum_{k=0}^n x_k B_{k,n}(u)$$

---

<sup>13</sup> Gráficas por computadora, Donald Hearn, Prentice Hall Hispanoamericana SA 1988, ISBN 968-880-122-4 Pag. 211-213.

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

$$y \overset{\sim}{u}^a = \sum_{k=0}^n y_k B_{k,n} \overset{\sim}{u}^a \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$z \overset{\sim}{u}^a = \sum_{k=0}^n z_k B_{k,n} \overset{\sim}{u}^a$$

Los polinomios  $B_{k,n} \overset{\sim}{u}^a$  se denominan funciones de combinación puesto que cambian los puntos de control para formar la función compuesta que describe la curva. Esta función compuesta es un polinomio de grado uno menor que el número de puntos de control que se utiliza. Tres puntos generan una parábola, cuatro puntos una curva cúbica y así sucesivamente. La ecuación 3 demuestra el aspecto de algunas curvas de Bézier para diversas selecciones de puntos de control en el plano  $xy \ z = 0$ <sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Graficas por computadora, Donald Hearn, Prentice Hall Hispanoamericana SA 1988, ISBN 968-880-122-4 Pag. 211-213

## **CAPÍTULO 4.- EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS PARA EL TRAZO DE CURVAS ISORRESISTIVAS.**

### **4.1.- PRUEBAS INICIALES DEL SISTEMA**

Para las pruebas del sistema se entregaron en papel albanene las curvas obtenidas de un estudio de Tamatlán, Jalisco. Para estas pruebas se capturaron 11 dispositivos Isorresistivos los cuales mostraron las tendencias de cada curva así como los puntos de interés.

Se realizó una comparación de las curvas generadas a mano a partir de los valores en un pliego de papel albanene contra las curvas generadas por el sistema, en este punto se encontraron algunas diferencias y errores en el papel albanene ya que los trazos de las trayectorias no realizaban correctamente el cálculo.

También se encontró que los puntos de referencia de las curvas requerían de aplicar una modificación en el trazo ya que el comportamiento de las trayectorias no necesariamente deben pasar por cada punto, es por ello que se realizaron modificaciones a las fórmulas con el fin de realizar estos cambios.

También se detectó que era necesario editar las trayectorias de las curvas ya que en algunos casos el procedimiento convencional podría tener diferencias en los valores calculados y a criterio del geólogo estos valores podrían ser influenciados por otras curvas, es por ello que en el sistema se integró la opción de modificar los puntos de referencia de las curvas, de tal forma que se pueden agregar puntos, eliminar y cambiar de posición.

### **4.2.- PRUEBAS FINALES DEL SISTEMA**

Las pruebas finales consistieron en integrar los cambios para editar los puntos de referencia y comparar los resultados contra la generación manual de las mismas en papel milimétrico.

Para liberar el sistema se capturaron todos los dispositivos de Tamatlán, Jalisco el cual consta de 50 dispositivos Isorresistivos en los cuales, para los valores de medición se tienen 11 Columnas y 13 renglones. Posteriormente se seleccionaron las curvas válidas para graficar y se encuentra que funciona correctamente.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

Las siguientes gráficas muestran las curvas generadas de los primeros dispositivos que se capturaron para las pruebas finales:

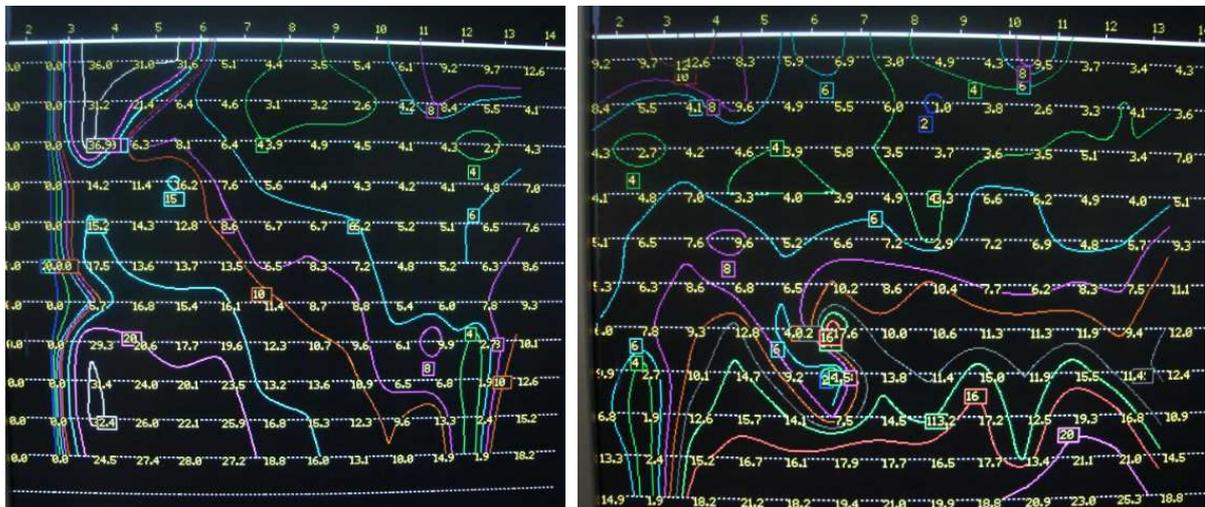


Fig 1. Dispositivos de 1 y 2

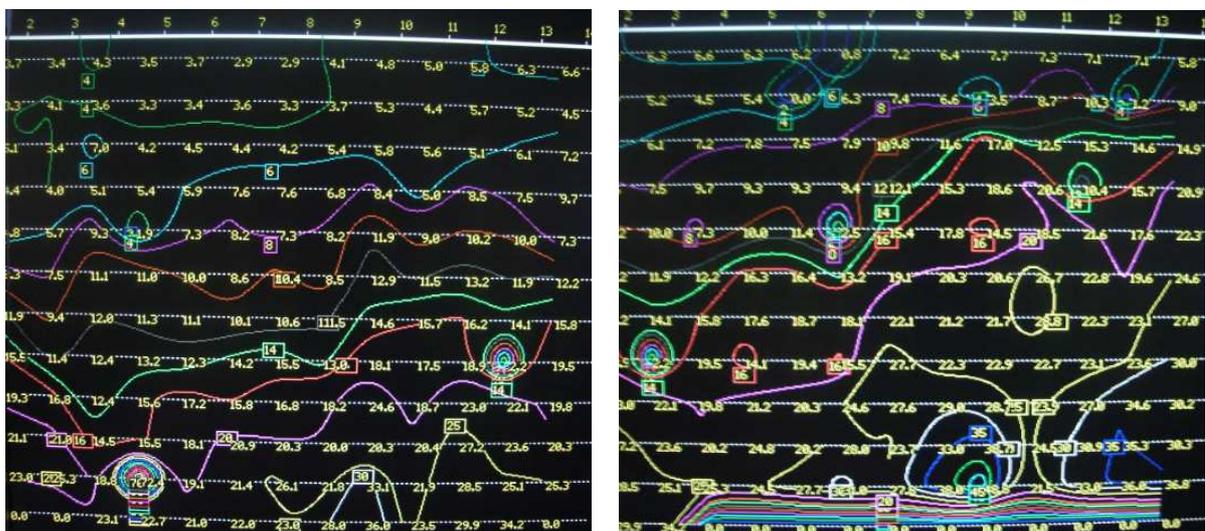


Fig 2. Dispositivos de 2 y 3

En las gráficas se observan círculos concéntricos los cuales pueden representar una falla en la toma de lectura o problemas con el equipo de medición, observe la gráfica anterior de la derecha en su parte inferior, los valores tienden a cero, la cual puede presentar una falla en la lectura y es necesario realizar nuevamente la medición.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

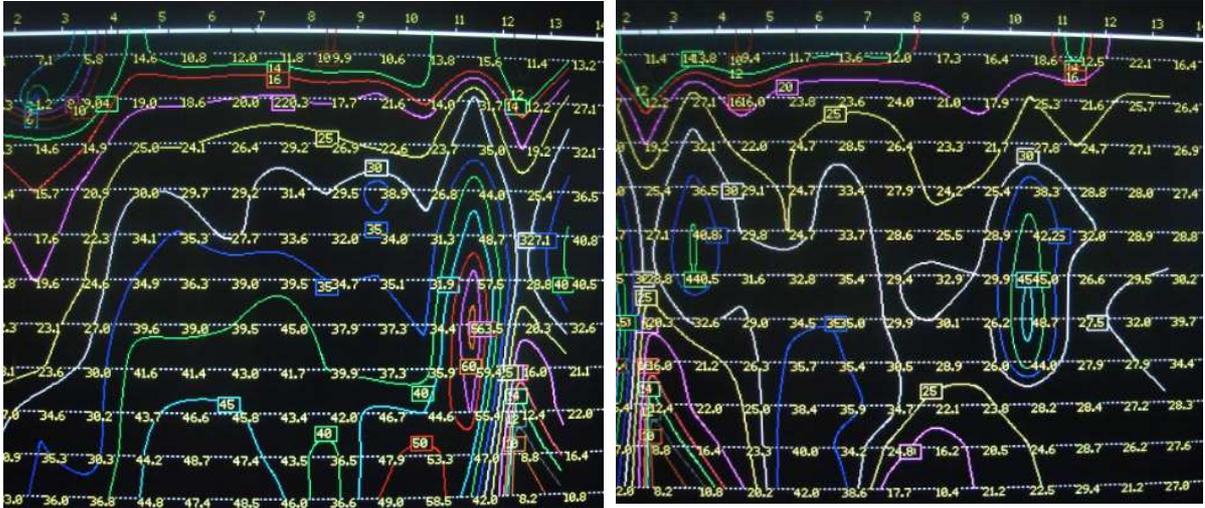


Fig 3. Dispositivos de 4 y 5

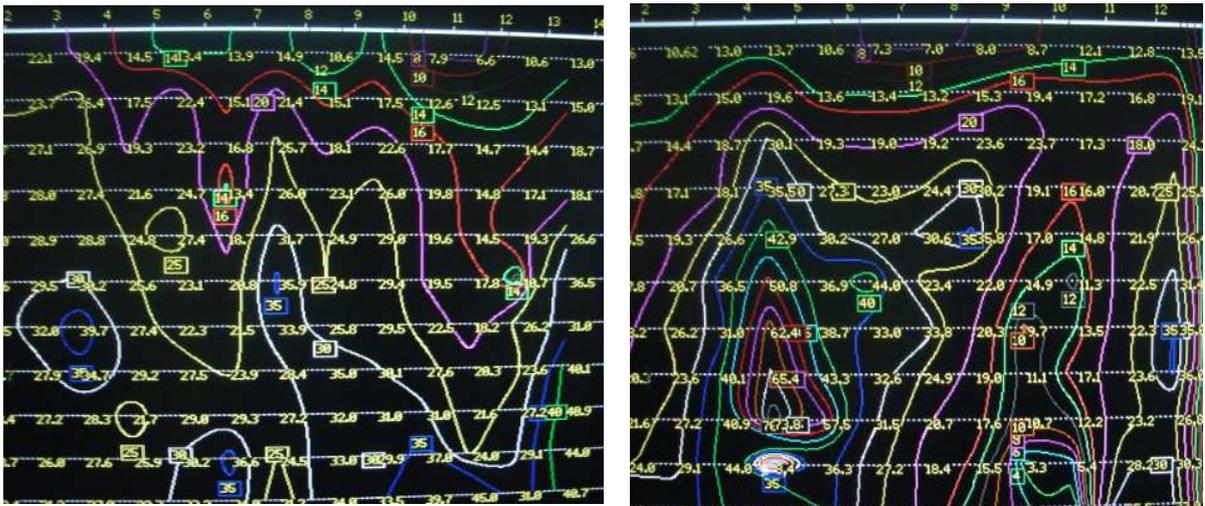


Fig 4. Dispositivos de 6 y 7

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

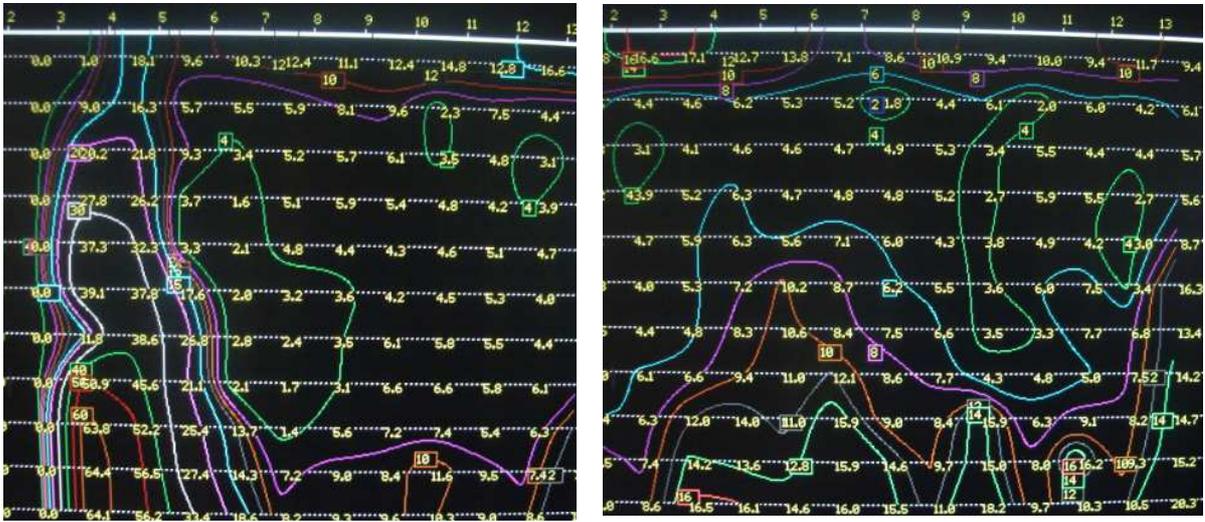


Fig 5. Dispositivos de 8 y 9

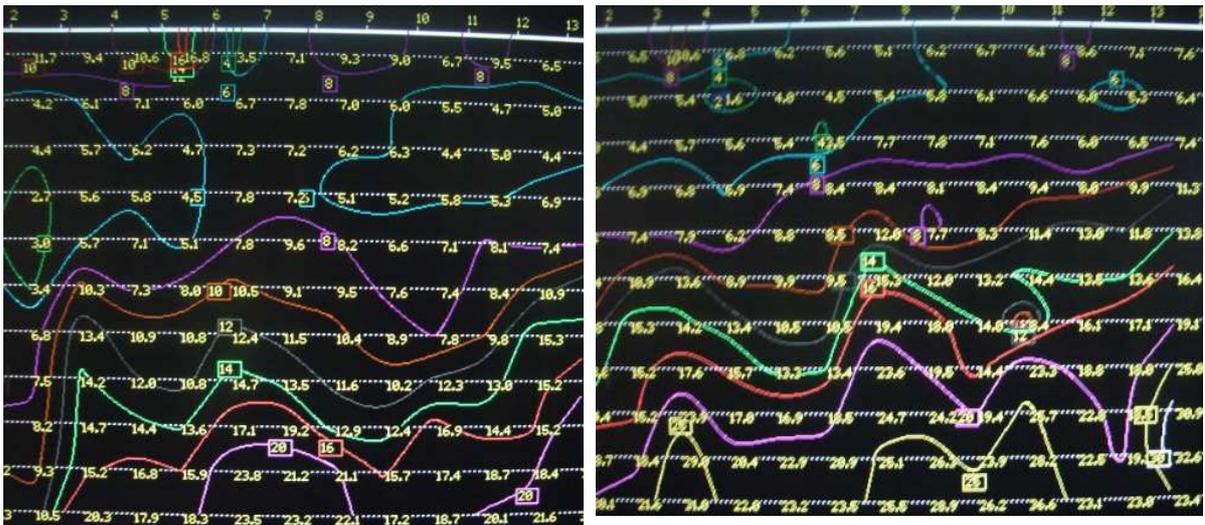


Fig 6. Dispositivos de 10 y 11

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

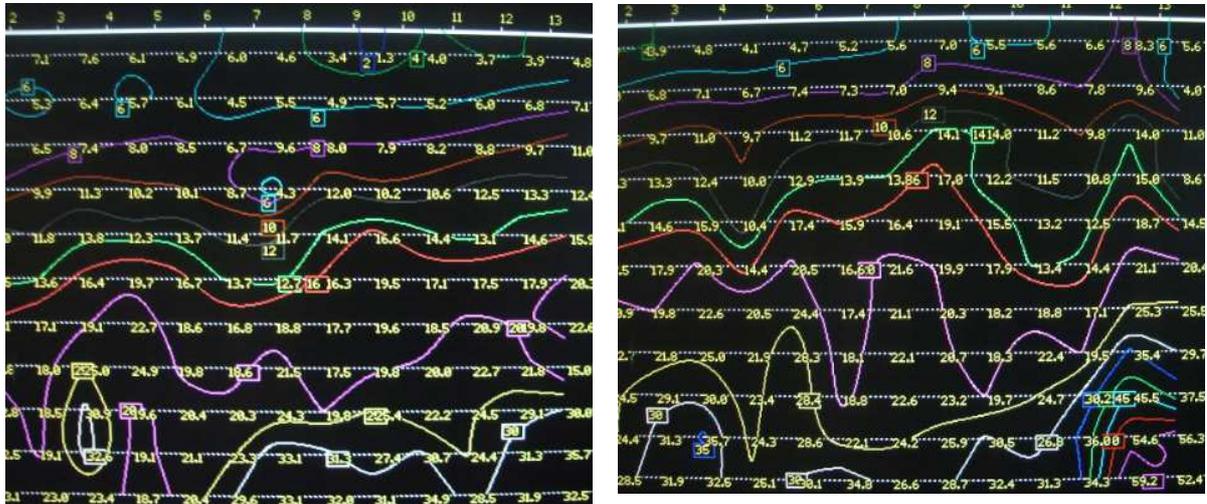


Fig 7. Dispositivos de 12 y 13

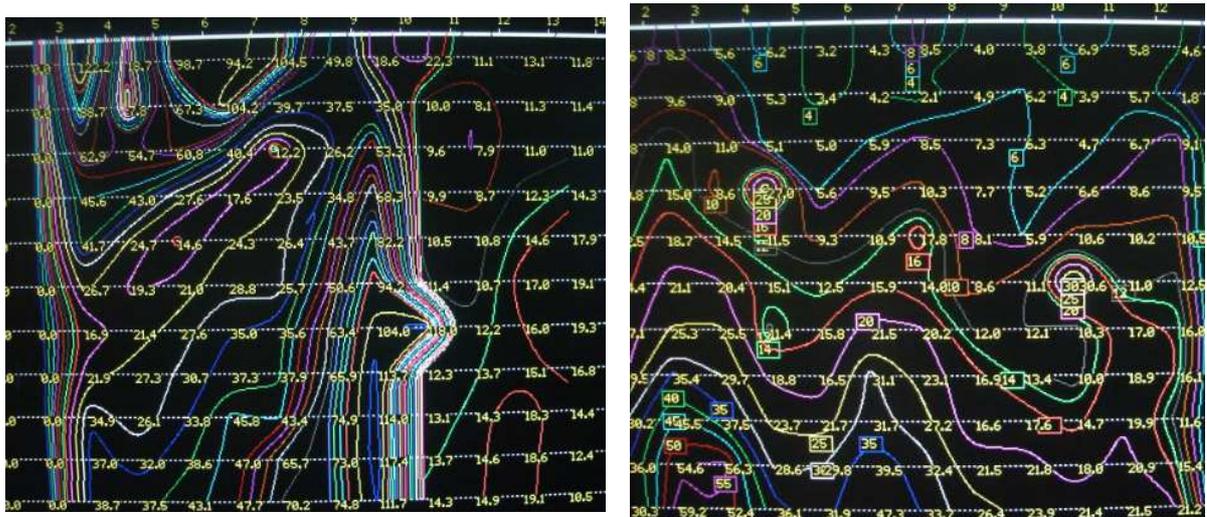


Fig 8. Dispositivos de 14 y 15

#### 4.3.-ANÁLISIS DEL SISTEMA APLICADO PARA EL TRAZO DE CURVAS ISORRESISTIVAS.

Al analizar detenidamente se encontró que las curvas desplegadas por el sistema aplicado tenían diferencias contra las muestras hechas a mano para realizar las pruebas, de esta forma se halló que las trayectoras de distintas curvas tienen distinto comportamiento pero de mejor solución por la ruta que deben pasar.

Finalmente, se terminó por agregar otro método de trazo de curvas para observar la diferencia que se obtiene trazando la curva para que pase estrictamente por los puntos de control y otro (Método de Bezier), que realiza el correcto despliegue de las mismas, ya que como condición necesaria para el trazo, se requirió que las curvas no se corten o se pierdan.

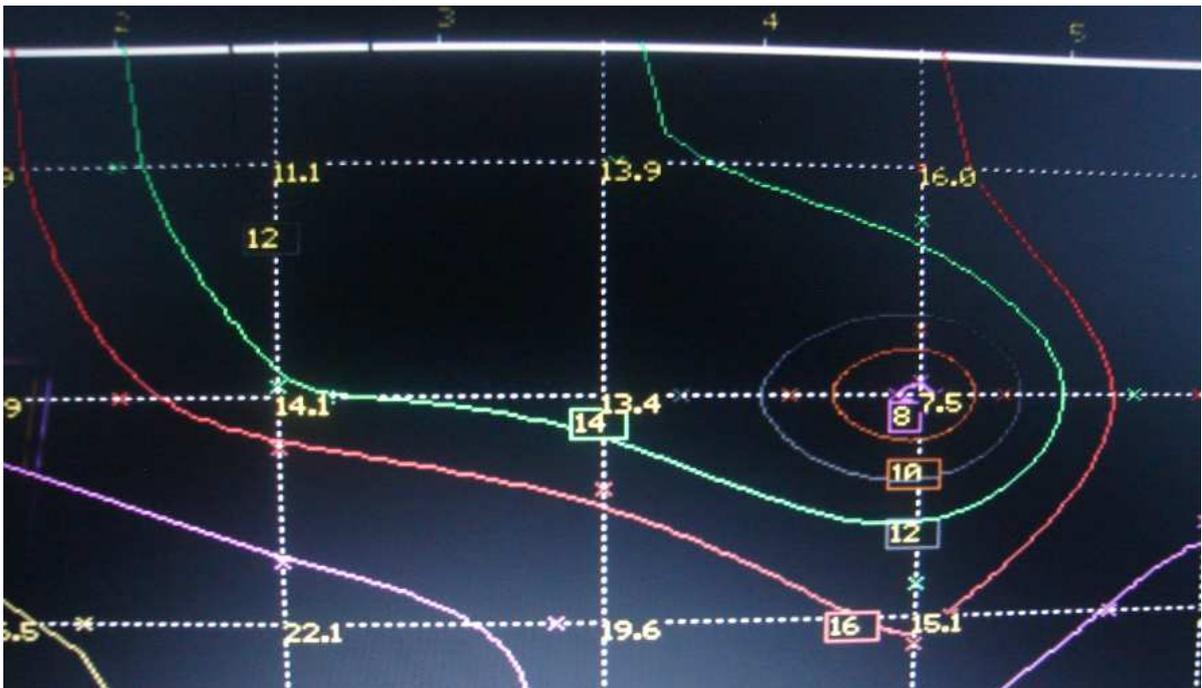


Fig 9. Pantalla del sistema aplicado

Como podrá verse en la pantalla anterior la curva (16) no necesariamente pasa por los puntos de control así como la curva (14), esto ayudó a apreciar los valores que pueden contener un cierto tipo de tendencia sobre la curva graficada.

SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO



Fig 10. Pantalla del sistema aplicado

El comportamiento de las mediciones muestra una clara diferencia de la homogeneidad de resistividad de los distintos materiales, es por ello que para concluir estos estudios es necesaria la apreciación y evaluación del geólogo.



Fig 11. Pantalla del sistema aplicado

Aquí se puede observar que los valores mayores que se encuentran en un conjunto de valores menores, forman una especie de círculo lo cual podría representar algún tipo de mineral de alta resistividad como por ejemplo líquidos o minerales no conductores, como el agua o sales.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

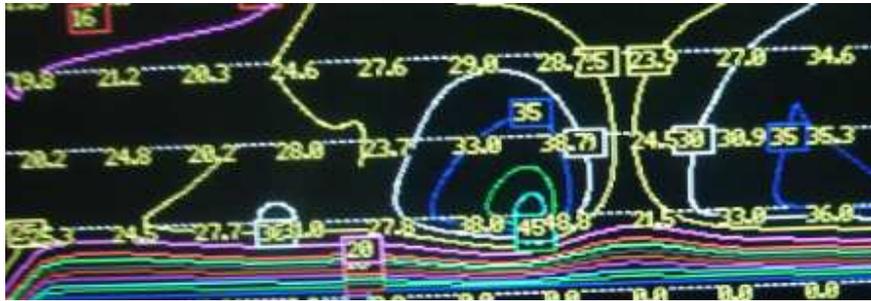


Fig 12. Pantalla del sistema aplicado

En esta figura, también podemos observar que pueden existir distintas formaciones rocosas que hacen que las curvas nos muestren algún tipo de formación constante, por ejemplo algunas de las rocas de alta conductividad o metales.

### 4.4.- RESULTADOS FINALES DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA

Los resultados finales nos llevaron a verificar que este sistema es el correcto para ser utilizado por su rápido análisis preliminar de las capas de subsuelo y es satisfactorio para la generación de curvas isorresistivas y capturas de valores; por lo que puede decirse que es una herramienta básica para el estudio de subsuelo.

## **CONCLUSIONES**

Para concluir, se puede decir que se propuso una solución acertada al problema, la primera medida fue el uso de una computadora y la segunda, la más importante, fue la creación de un software que ayudara a tomar la graficación lo mejor posible; dicha herramienta constó primero de la realización de los algoritmos necesarios y métodos matemáticos para procesar el estudio obtenido. Además que contuviera los elementos suficientes para la captura de los valores, selección de curvas y graficación de las mismas.

Por otro lado, tomando en consideración los costos elevados que existen actualmente, la solución antes propuesta, representa un ahorro considerable, ya que hace más factible y atractivo el aplicar un sistema que tome de manera certera el análisis mostrando los resultados al Geólogo, sin la necesidad de recurrir a soluciones más caras, complicadas y menos exactas.

Por último cabe mencionar que la aplicación de trazo de curvas es solamente una herramienta para mostrar diferentes tipos de ellas, ya que la verdadera detección de los yacimientos es haciendo un análisis sobre las mismas y aplicando métodos logarítmicos para encontrar tendencias relativas a los estratos. Con apoyo de métodos geofísicos y con el uso de extracción de muestras físicas es como realmente se obtienen los resultados tan esperados.

El presente trabajo se realizó gracias a que en la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación, encontré la metodología necesaria para asimilar el problema, aplicar el análisis y desarrollo adecuado, así como el conocimiento de las herramientas de programación y entendimiento de las matemáticas aplicado a lo largo de mi trayectoria como estudiante, espero, que este material sirva de guía para las nuevas generaciones y a la sociedad.

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

### RECOMENDACIONES

Para realizar estos estudios de forma más eficaz, es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos:

Automatizar la lectura de los dispositivos mediante tarjetas de adquisición para mejorar la precisión de los datos, esto implica el desarrollo de un módulo especial para la captura de información.

Aunque el costo de un equipo de cómputo se ha reducido en forma importante es necesario llevar el equipo portable para realizar el análisis en sitio, esto puede reducir el costo y tiempo de traslado para el estudio.

Es necesario dar continuidad a este software a manera de encontrar el contorno de terreno en tres dimensiones y que se pueda explotar al máximo la información.

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Kenneth F Clark, Guillermo A. Salas Piza, y Rodolfo Cubillas Estrada, Revista Geología Económica de México, 2ª Edición , Publicación: Servicio Geológico Mexicano, agosto del 2008
- 2,3. Asdrúbal Ovalles, Geofísica en Venezuela, Escuela de Geología Minas y Geofísica, Revista electrónica, abril 2003.
4. Duque Escobar Gonzalo, Manual de Geología para ingenieros, Cap. 1, El Ciclo Geológico, julio 2008.
- 5,6. Abud Jorge, Gonclaves Ana, Luis González, Luis Matute, Eliézer Naranjo y Richard Vladéz, Trabajo de Investigación Magnético- Telúrico, Bolivar, Venezuela, 15 julio de 2003
- 7,8,10. Orellana Ernesto., 1982 'Prospección eléctrica en corriente continua', Editorial Paraninfo, segunda edición, Madrid España., 790 pp.
9. Benson, R. (1994). Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration. Editorial National Wather Association. Nevada, USA, pp 236
- 11,12. Cegarra, Sasha Alejandra, Estudio Geológico y Geoelectrico del yacimiento Fosilífero ORS-16 en el campo Orocual, Estado Monagas, Sartenejas, Noviembre 2007.
13. Donald Hearn, M. Pauline Baker: Graficas por computadora, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1988, ISBN 968-880-122-4, Método de Bézier, Pag.211-213
14. William M. Newman and ROBERT F. SPROULL, PRINCIPIES OF INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS, SECOND EDITION, Xerox Corporation, Carnegie – Mellon University. International Student Edition, Ed. Mc. GRAW HILL BOOK COMPANY 1989, ISBN: 0-07-Y66455-2, Page 317

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

**OTRAS FUENTES**

FUENTES ELECTRÓNICAS DE CONSULTA

- <http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/eqlists/significant.html>

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**Edades.**- (o pisos), son subdivisiones de las épocas definidas por un estratotipo.

**Eones.**- largos períodos en que se considera dividida la historia de la Tierra desde el punto de vista geológico y paleontológico. Varían de dos a cuatro: Hadeico, Arcaico, Proterozoico y Fanerozoico. Los tres primeros a veces se consideran un único eón, el Precámbrico.

**Épocas.**- (o series), son divisiones de los periodos que se usan para indicar la abundancia o decadencia de especies, o las transiciones de procesos geológicos como la deriva continental, sedimentación de cuencas y orogénesis, entre otros.

**Eras.**- periodos extremadamente largos que abarcan importantes procesos geológicos y biológicos. Varían de tres a seis: Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica (y también Hadeico, Arcaico y Proterozoico, estos últimos otras veces eones).

**Dispositivo Isorresistivo.**- Consta de una serie de electrodos colocados en el suelo para medir la capacidad de resistencia eléctrica de los minerales en diversas capas de subsuelo.

**Materiales.**- Es el conjunto de rocas que se encuentran compuestas de minerales en particular, el conjunto de rocas esta compuesto de minerales debido a la complejidad de su entorno.

**Medios Estratificados.**- Lo componen dos semiespacios. El primero de ellos, de conductividad nula, representa la atmósfera; el segundo representa el terreno, es un medio heterogéneo compuesto de medios parciales homogéneos e isótropos, de extensión lateral indefinida y cuyas superficies de separación son paralelas entre sí y al plano aire-terreno.

**Periodos.**- largos periodos de tiempo según el punto de vista geológico.

**Sondeo Eléctrico.**- Se le llama sondeo eléctrico a una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas por el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción.

**Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).**- Cuando el dispositivo empleado es simétrico o asimétrico con un electrodo en el "infinito", y durante la medición permanecen fijos el azimut del dispositivo y el centro del segmento MN.

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

**ANEXOS**

**Anexo A. Estructuras de base de datos**

**Archivo: DISPODEF.DBF**

Función: Contiene los datos del predio o terreno para evaluar

CAMPO	TIPO	LONGITUD	DECIMALES	DESCRIPCION
NOM_EMPRE	C	40	0	NOMBRE DE LA EMPRESA
CANT_DISP	N	4	0	CANTIDAD DE DISPOSITIVOS
CLA_EMPRE	C	3	0	CLAVE DE EMPRESA
UBICACIÓN	C	40	0	UBICACIÓN DEL TERRENO
FEC_ALTA	D	8	0	FECHA DE ALTA
FEC_INFO	D	8	0	FECHA DE CAMBIO
NUM_ITEMS	N	3	0	NUMERO DE DISPOSITIVOS

**Archivo: DISPOHDR.DBF**

Función: Contiene las características del dispositivo Iso-Resistivo

CAMPO	TIPO	LONGITUD	DECIMALES	DESCRIPCION
CLA_EMPRE	C	3	0	NOMBRE DE LA EMPRESA O PREDIO
NUM_DISPO	N	3	0	NUMERO DEL DISPOSITIVO
NOMBRE	C	20	0	NOMBRE DEL DISPOSITIVO O COMENTARIO
NUM_RENG	N	3	0	NUMERO DE RENGLONES
NUM_COLS	N	3	0	NUMERO DE COLUMNAS
STATUS	C	1	0	NO USADO
PROFUND	N	3	0	PROFUNDIDAD

**Archivo: DISPOCUR.DBF**

Función: Contiene el número de curva a graficar

CAMPO	TIPO	LONGITUD	DECIMALES	DESCRIPCION
NUM_DISPO	N	3	0	NUMERO DE DISPOSITIVO
CLA_EMPRE	C	3	0	CLAVE DE LA EMPRESA
NUM_CURVA	N	4	0	NUMERO DE CURVA
HAB_CURVA	C	1	0	CURVA HABILITADA

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

**Archivo: DISPODAT.DBF**

Función: Detalle de lecturas de cada dispositivo

CAMPO	TIPO	LONGITUD	DECIMALES	DESCRIPCION
NUM_DISPO	N	3	0	NUMERO DE DISPOSITIVO
CLA_EMPRE	C	3	0	CLAVE DE LA EMPRESA
REGLON	N	3	0	NUMERO DE RENGLON
COLUMNA	N	3	0	NUMERO DE COLUMNA
VALOR	N	10	2	VALOR

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

**Anexo B. Contenido de archivos del programa de graficación**

El Programa interpreta los siguientes archivos para este dispositivo, por ejemplo, el nombre del parámetro del sistema es el nombre del estudio, en este caso AGS011, el cual lo forman los siguientes componentes:

AGS011.fnt	Archivo de Configuración, textos, tamaño de lecturas visualización de curvas y valores de iso-resistividad
AGS011.MAP	Estructura de tipo GROUP
AGS011.CUR	Estructura de tipo CUADRANTE

Contenido del archivo extensión FNT:

CONTENIDO	DATOS
Textos descriptivos	8 renglones Textos para despliegue para usuario los cuales contienen solamente textos descriptivos como referencia al lugar, contiene: Textos para despliegue para usuario los cuales contienen solamente textos descriptivos como referencia al lugar, contiene: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre del estudio</li> <li>- Lugar de trabajo</li> <li>- Número de dispositivo o lectura</li> <li>- Nombre de la empresa</li> </ul>
Curvas a visualizar, número de curva, visualizar (1-si, 0-no),	Constante MAXVALIDCURV 35 valores El valor de la curva válida debe ser 0 o 1 solamente
Número de renglones y número de columnas	2 valores enteros, valida que el valor máximo de columnas no sobrepase MAX_X_DIST
Lecturas realizadas (Depende del campo anterior)	Matriz de valores en variable pública Disp[MAX_ROW_DISPO][MAX_COL_DISPO] Las lecturas vienen con formato decimal De tipo float
Profundiad	Contador de profundidad
Incremento	Contador de Incremento de profundidad

**Textos Descriptivos**

Ejemplo de una sección de textos

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

```

120 0 14 0 Estudio Geofísico Gel,ctrico Resistivo
100 15 15 0 Lugar de trabajo :AGUASCALIENTES 01/MAR/95
80 30 15 0 Dispositivo No :11 DISPOSITIVOS 11-13
120 90 15 0 .
400 30 15 0 GEO-INMEX S.A. DE C.V.
0 0 0 0 .
0 0 0 0 .
0 0 0 0 .

```

### Curvas a visualizar

Se utiliza para realizar el filtrado de las curvas seleccionadas utilizando un campo para habilitar/deshabilitar la visualización de alguna curva en particular, se recomienda utilizar el programa de administración para seleccionar las curvas que se ocuparán en el proceso de evaluación.

El formato de estos campos se despliega de la siguiente forma

Valor	estado								
...									
Valor	estado								

Ejemplo de una selección de curvas

```

2 0 4 0 6 1 8 1 10 1
11 0 12 1 13 0 14 1 15 0
16 1 20 1 25 1 30 1 35 1
40 1 45 1 50 1 55 1 60 1
65 1 70 1 75 1 80 1 85 1
90 1 95 0 100 1 105 0 110 1
120 0 130 0 140 0 150 0 200 1

```

### Número de renglones y número de columnas

Estos datos contienen el número de columnas registradas y renglones de la siguiente sección de valores, es importante que estos límites no sobrepasen las capacidades de lecturas permitidas por el programa cuyas constantes son MAX\_ROW\_DISPO y MAX\_COL\_DISPO respectivamente

### Lecturas realizadas

Contiene la definición de todos los valores obtenidos por el método Iso-Resistivo, para esto, es necesario proporcionar los valores en el formato y en la posición correcta.

**SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL  
APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO**

---

27.5	63.6	55.8	48.0	32.4	35.9	53.9	28.9	65.6	20.0	33.0	38.0	42.8	65.8	51.8	44.0
18.0	36.9	27.5	18.1	26.4	20.9	12.3	21.6	8.5	20.2	21.1	29.9	24.5	39.3	28.6	14.6
13.5	24.1	17.0	18.0	9.9	20.2	8.8	14.3	9.8	7.3	19.0	22.0	22.9	31.6	23.0	10.1
9.1	11.4	16.7	17.8	9.7	15.8	7.3	13.0	9.7	8.5	17.4	17.2	17.5	18.8	11.5	5.7
10.3	10.4	12.6	16.6	11.9	11.4	8.0	11.9	7.3	9.1	15.9	14.8	15.6	22.3	20.7	14.3
16.4	18.7	30.8	15.5	14.2	9.7	9.7	14.6	6.7	8.7	14.5	12.4	15.0	26.8	20.4	16.2
26.5	34.4	52.1	16.9	16.6	8.8	11.4	19.4	9.3	6.1	14.3	13.7	15.0	28.4	29.5	18.1
36.7	50.1	62.3	18.7	27.7	8.0	14.7	19.4	9.7	7.3	14.2	15.6	16.6	30.4	31.3	24.6
40.3	49.0	69.0	37.5	38.9	8.9	29.4	19.4	9.6	9.6	27.0	26.0	18.3	32.2	33.1	32.0
44.0	51.0	69.9	56.4	47.2	10.7	40.7	23.5	9.4	11.9	18.4	22.0	19.7	33.9	20.3	33.3
55.0	52.0	72.5	62.0	51.4	26.7	50.4	16.7	10.9	19.0	14.0	18.0	21.1	38.9	16.9	34.6
59.0	52.5	71.0	66.0	55.6	42.7	60.2	45.2	12.5	22.6	10.8	17.8	38.4	38.0	16.1	27.6
81.0	53.0	70.5	68.0	57.8	79.5	69.8	49.5	12.5	23.0	10.6	14.2	35.0	37.1	15.0	15.5

**Archivo opcional .MAP**

Verifica si existe el archivo de mapeo ".MAP" para armar la estructura del arreglo CurvMap donde cada Item es un componente de tipo GROUP

**Archivo Opcional .CUR**

Verifica la existencia del archivo .CUR el cual llena la estructura de tipo CUADRANTE en un arreglo public llamado CurvT el cual contiene valores de coordenadas de usuario

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

### Anexo C. Programa base para dibujar curvas de Bézier

```
/* File: BZLINE.C
Objetivo: Despliega una curva basada en el método Bézier
Creado: Fernando Delgado R.
Fecha: 02-Jul-1995
Descripción del programa:
Realiza el trazo de las curvas de bézier usando el método tradicional y la compara
Con otra variante del programa en donde la tendencia de curva es diferente.

Función Bezier depende de las funciones Coef y Blend
Funcion BspLine depende de las funciones BspBlend, BspKnot

El programa principal dibuja el plano cartesiano, muestra los puntos de referencia
Y con color blanco muestra el trazo por las curvas del metodo Bézier y con color amarillo
Muestra la curva con el método modificado de Bézier

Origen del programa:
Basado en la fuente del programa en Pascal descrito en
PRINCIPIES OF INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS
SECOND EDITION
Author: William M. Newman of Xerox Corporation
ROBERT F. SPROULL
Robert F. Sproull
Carnegie - Mellon University.
International Student Edition
Ed. Mc. GRAW HILL BOOK COMPANY 1939
ISBN: 0-07-Y66455-2
Page 317
Librerías: GR_CL.LIB, GX_CL.LIB de Genius Microprograming _gr*, _gx* Functions
Modelo: Large,
Compilador: Turbo C/C++ 1.01, 1990 Borland International, Inprise, Code-Gear 2009
*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>

/* Librerías de apoyo Genus GX Library */
#include "gxlib.h"
#include "grlib.h"

// Puntos de referencia para el trazo de curvas
float p[8][4]={
    { 0, 0.5, 1.0 , 0 },
    { 0, 1.95, 2.15, 0 },
    { 0, 2.5 , 2.0 , 0 },
    { 0, 3.35, 1.80, 0 },
    { 0, 3.75, 1.25, 0 },
    { 0, 4.40, 0.75, 0 },
    { 0, 5.0 , 0.50, 0 }
};

// Publicas para B-Spline
int knotK , knotN ;

int Coef( int n, int i )
{
    int j, a ;
    a = 1 ;
    for ( j=i+1 ; j <=n ; j++ ) a = a*j;
    for ( j=1 ; j <= (n-i) ; j++ ) a = a / j ;
    return ( a ) ;
}
```

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

```
}

float Blend( int i, int n, float u )
{
    int j;
    float v;
    v = Coef( n, i ) ;
    for ( j=1 ; j<=i ; j++) v = v * u;
    for ( j=1 ; j <= (n-i) ; j++ ) v = v * ( 1 - u );
    return ( v ) ;
}

void Bezier ( float *x, float *y, float *z, float u, int Start, int End, int n )
{
    int i;
    float b;
    for ( i=0; i<=n ; i++)
    {
        b = Blend( i,n,u );
        *x = *x+p[i][1]*b;
        *y = *y+p[i][2]*b;
        *z = *z+p[i][3]*b;
    }
}

int BspKnot( int i )
{
    if ( i < knotK ) return ( 0 ) ;
    if ( i > knotN ) return ( knotN - knotK + 2 ) ;
    else return ( i - knotK + 1 ) ;
}

// BspBlend
// Función recursiva para calcular trayectorias de los puntos consecutivos
float BspBlend( int i, int k, float u )
{
    int t ;
    float v;

    if ( k == 1 )
    {
        v = 0 ;
        if ( (BspKnot(i)<=u) && (u<BspKnot(i+1)) ) v=1;
    }
    else{
        v= 0 ;
        t = BspKnot(i+k-1)-BspKnot(i);
        if( t != 0 ) v = ((u-BspKnot(i))*BspBlend(i,k-1,u))/t;
        t = BspKnot(i+k)-BspKnot(i+1);
        if ( t!=0) v=v+((BspKnot(i+k)-u)*BspBlend(i+1,k-1,u))/t;
    }
    return ( v ) ;
}

// BspLine
// Funcion que calcula los puntos en relación a las funciones BspKnot y BspBlend
void BspLine( float *x, float *y, float *z, float u, int n, int k )
{
    int i;
    float b;

    knotK = k;
    knotN = n;
    *x = *y = *z = 0 ;
    for ( i=0; i <= n ; i++ )
    {
        b= BspBlend( i,k,u ) ;
    }
}
```

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

```
        *x = *x+p[i][1]*b;
        *y = *y+p[i][2]*b;
        *z = *z+p[i][3]*b;
    }
}

void main()
{
    int i,j,k;
    float x,y,z;
    int gxttype = gxVGA_12; // 640x480x16
    int maxcolors ;
    int xv1, yv1, xv2, yv2 ;
    int xw1, yw1, xw2, yw2 ;
    int retcode ;
    int KFAC ;

    // Configura el modo de display a modo gráfico
    retcode = gxSetDisplay(gxttype);
    retcode = gxSetMode(gxGRAPHICS);
    if (retcode != gxSUCCESS) {
        /* Error setting the mode */
        printf("gxSetMode error: %d\n",retcode);
        exit( 0 ) ;
    }
    grSetLineStyle( grLSOLID,1);
    // Limpia la pantalla
    gxClearDisplay(gxBLACK,0);
    grSetFillStyle( grFSOLID,gxBLACK,grOPAQUE);
    grDrawRect( 0,0,grMaxX(),grMaxY(),grFILL|grOUTLINE);

    // Configura las coordenadas de video
    grGetViewPort( &xv1, &yv1, &xv2, &yv2 ) ;
    grSetClipRegion( 10,10,620,420 ) ;
    grSetViewPort( 10, 10, 620, 420 ) ;
    grGetViewWorld( &xw1, &yw1, &xw2, &yw2 ) ;
    grSetWorld( gxTRUE ) ;
    // Define los valores del display
    grSetViewWorld( -10 , -10, 1000, 1000 ) ;

    // Dibuja una reticula cuadrada en azul
    grSetColor( gxBLUE );
    for ( i=0; i< 1000; i+=100 ) grDrawLine( i, 0, i, 1000) ;
    for ( i=0; i< 1000; i+=100 ) grDrawLine( 0, i,1000, i ) ;

    // Pinta en rojo todos los puntos de referencia
    grSetColor( gxRED );
    for( i=0; i<=5 ; i++ )
    {
        for( k=0 ; k<5 ; k++)
            for( j=0 ; j<5 ; j++)
                grPutPixel( p[i][1]*100+j, p[i][2]*100+k, 14 ) ;
    }

    // Realiza el trazo de curvas con 30 ciclos para el método Bézier
    // Usa la función Bezier curva en color blanco
    KFAC = 30 ;
    grSetColor( gxWHITE );
    grSetLineStyle( grLSOLID, 1 );
    for( i=0; i<=KFAC ; i++ )
    {
        x = y = z = 0;
        Bezier( &x, &y, &z, (float) i/KFAC, 0, 2, 3 );
        if ( i == 0 ) grMoveTo( (float)x*100, (float) y*100 ) ;
            else grLineTo( (float) x*100, (float)y*100 ) ;
    }
}
```

## SOFTWARE DE GRAFICACIÓN DE CURVAS ISORRESISTIVAS PARA EL APOYO EN LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y ESTUDIO DE SUBSUELO

---

```
// Realiza el trazo de curvas con una variante del método bézier
// usando la función BspLine curva en color amarillo
grSetColor( gxYELLOW );
grSetLineStyle( grLSOLID, 4 );
for( i=0; i<=50 ; i++ )
{
    BspLine( &x, &y, &z, (float) i/25, 4, 4 );
    if ( x <= 0 && y <= 0 ) break ;
    if ( i == 0 ) grMoveTo( (float)x*100, (float) y*100 ) ;
    else
        grLineTo( (float) x*100, (float) y*100 ) ;
}

/* Espera para presionar tecla */
getch();

/* Regresa a modo texto */
gxSetMode(gxTEXT);
}
```