

## EMPLEO DEL GEORADAR Y MÉTODOS ELÉCTRICOS: SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL Y PERFILAJE ELÉCTRICO SIMÉTRICO EN LA DETECCIÓN DE CAVERNAS EN PARTES DEL VIAL ALBAIZA - SOLA

**Rebeca Fernández Enríquez , Leonardo Cantillo Riverí**

*EIPH Camagüey, Avenida de la Libertad # 20 entre Alonso Fruto y Candelaria, Camagüey, Cuba. ZIP 70300. E-mail: espsup23-5@eipi.cmg.hidro.cu*

### RESUMEN

Las investigaciones se realizaron al norte de la ciudad Camagüey en partes de la carretera a Sola. Las rocas presentes (calizas) se caracterizan por presentar un relevante desarrollo cársico y constituyen una reserva de agua subterránea de la Provincia Camagüey. Están presentes grandes espesores de rocas terrígenas de la Corteza de intemperismo los cuales cubren parcial o completamente a las calizas. Con el objetivo de detectar zonas cavernosas se emplearon los métodos geofísicos de corriente continua en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical y Perfilaje Eléctrico Simétrico, las mediciones se realizaron con un equipo chino DWD – 2A. Se presentan perfiles geofísicos donde se caracterizan los diferentes litotipos y la posibilidad de cavernas en las calizas. Los valores de resistividad específica menores de 100 ohm.m responden a las arcillas lateríticas con humedad o menor contenido de material ferroso, los valores de 100 ohm.m a 400 ohm.m responden a las calizas mas duras y arcillas con abundantes perdigones de hierro y los valores superiores a 400 ohm.m responden a las calizas cavernosas. El trabajo muestra perfiles de georadar realizados con una antena de 100 MHz donde se muestran zonas anómalas relacionadas con zonas de desarrollo cársico.

### ABSTRACT

The investigations were carried out to the north of the city Camagüey in parts of the highway to Sola. The present rocks (limestone) are characterized to present an outstanding carst development and they are constitute a reservation of underground water of the City Camagüey. In the area is present big thickness of rocks (clay) of the Bark of elements which cover partial or completely to the limestone. With the objective of detecting cavernous areas the electric geophysical methods of continuous current were used in their variant of vertical electric sounding and symmetrical electric profile, the measurements were made with Chinese equipment DWD - 2A. In the geophysical Profiles are present the different geologic sequences and the possibility of caverns in the limestone. The values of specific resistivity as smaller than 100 ohm.m respond to the clays with humidity or smaller content of ferrous material, the values of 100 ohm.m - 400 ohm.m respond to the limestone or clays with abundant iron pellets and the values greater than 400 ohm.m respond to the cavernous limestone. The Work shows georadar's profiles with an antenna of 100 MHz.

### INTRODUCCIÓN

Las investigaciones geofísicas se realizaron con el objetivo de precisar las zonas de riesgos geológicos por cavernas en 3 áreas del vial Albaiza a Sola. Se utilizaron con este fin el método eléctrico de superficie de corriente directa en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES), así como el levantamiento con métodos electromagnéticos empleando el Georadar. El trabajo muestra perfiles con los resultados obtenidos.

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en el Vial Albaiza – Sola con un área de levantamiento total aproximado de 11000 m<sup>2</sup>. La zona de estudio se encuentra ubicada en el Municipio Sierra de Cubitas en la Provincia de Camagüey y se divide en tres zonas:

Pozo Vilató: E: 830100 – 830450; N: 206700 – 206950. Área: 4200 m<sup>2</sup>.  
Loma de Lesca: E: 827200 – 827500; N: 202450 – 202700. Área: 3000 m<sup>2</sup>.  
Planta Asfalto: E: 835000 – 835250; N: 209500 – 209750. Área: 3900 m<sup>2</sup>.

Se presentan 6 perfiles geoelectrónicos con Perfilaje eléctrico simétrico donde se caracteriza los diferentes grados de humedad y el contenido de material ferroso que presentan las arcillas (a mayor cantidad de material ferroso mayor resistividad), así como las calizas presentes en el área y la posibilidad de cavernas en las mismas. Los valores de resistividad específica menores de 100 ohm.m responden a las arcillas lateríticas con presencia de humedad o menor contenido de material ferroso, los valores de 100 ohm.m a 400 ohm.m responden a las calizas sin agua subterránea y arcillas con abundantes perdigones de hierro y los valores superiores a 400 ohm.m responden a las calizas cavernosas.

El trabajo muestra perfiles de georadar realizados con una antena de 100 MHz. Se muestran las diferentes capas litológicas y las zonas anómalas que pueden estar relacionadas con zonas de intenso desarrollo cársico.

## MATERIALES Y METODOS

El método geofísico de corriente directa empleado fue el de Geoelectricidad en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical y Perfilaje Eléctrico Simétrico con una abertura de la línea de alimentación de 30 m que garantizó una profundidad de estudio de 4 m. El dispositivo empleado fue el Schlumberger de 4 electrodos simétricos.

Se realizaron puntos de Sondeo Eléctrico Vertical. La abertura máxima utilizada en la línea de alimentación fue de 300 m. La distancia de los electrodos de medición (MN) fueron 1; 6 y 24 m. Se realizó el 10% de control en las mediciones. El equipo empleado en el método eléctrico de corriente continua fue un DWD – 2A de procedencia china que permite una resolución en la medición del potencial de 0.01 mv y una resolución de la medición de la corriente de 0.1 mA. La energía suministrada al terreno se obtuvo a través de baterías. Los electrodos de alimentación fueron dos de hierro y los electrodos en la línea de medición fueron 6 electrodos de cobre.

El Perfilaje Eléctrico Simétrico se realizó con la abertura de la línea de alimentación AB de 30 m para estudiar el corte a los 4 m de profundidad. En total se realizaron 860 puntos ordinarios de PES con un paso de medición de 5 m.

El error de medición de ambas variantes del método eléctrico fue menor de 5% y se calculó por la fórmula:

$$\delta = \sum_{n=1}^n \frac{2|a_{i1} - a_{i2}|}{n(a_{i1} + a_{i2})} 100\%$$

Método electromagnético georadar, radar de subsuelo o GPR (Ground Probing Radar) es una técnica relativamente nueva para la investigación a poca profundidad del subsuelo. A pesar de ser un método de prospección electromagnética, sus fundamentos son muy distintos a los demás métodos EM, ya que a las elevadas frecuencias que opera, las propiedades de desplazamiento eléctrico (polarización) dominan sobre las propiedades conductivas en la mayor parte de los materiales. Los equipos de georadar radian impulsos cortos de energía y, de forma análoga a la sísmica de reflexión o el sonar,

miden el tiempo doble de ida y vuelta de las ondas reflejadas en los límites entre materiales con diferente permitividad dieléctrica.

El equipo utilizado en nuestras investigaciones es el RAMAC GPR<sup>TM</sup>, de fabricación Sueca. Este equipo radia cortos impulsos de energía electromagnética de radio-frecuencia (entre 10 MHz y 2.5 GHz) al subsuelo mediante una antena transmisora. En este régimen de frecuencias la velocidad de propagación permanece prácticamente constante y la señal de radar no se dispersa en forma de velocidades dependientes de la frecuencia. Cuando la onda radiada encuentra heterogeneidades en las propiedades eléctricas de los materiales del terreno, parte de la energía se refleja nuevamente hacia la superficie y parte se transmite alcanzando mayor profundidad. La señal reflejada es captada a través de una antena receptora, amplificada, transformada al espectro de audio-frecuencia, registrada, procesada e impresa, de forma que el radar de subsuelo o geo-radar produce perfiles continuos de alta resolución similares a los obtenidos en sismica de reflexión. La selección de la frecuencia de las antenas para un estudio determinado es función del compromiso entre resolución y penetración, de forma que las frecuencias elevadas son más resolutivas aunque alcanzan una menor profundidad de investigación al contrario que las de baja frecuencia más penetrantes pero de menor resolución.

En yacimientos con modelos geológicos con mucho espesor de mineral promedio - mas de 30m -, debe utilizarse la antena de 25 MHz. En casos de yacimientos con espesores menores de 5m, la antena de 100 MHz, ofrece mejores resultados en la definición de la interfase entre el material friable y la roca. (Dussac, O).

La velocidad ( $v_m$ ) de las ondas de radar en un medio dado viene dada por:

$$v_m = \frac{c}{\frac{\epsilon_r \mu_r}{2} [\sqrt{(1+P^2)} + 1]}$$

donde,

$c$  es la velocidad de la luz en el vacío

$\epsilon_r$  es la permitividad dieléctrica relativa

$\mu_r$  es la permitividad magnética relativa (=1 para los materiales no magnéticos)

$P$  es el factor de pérdida igual a  $P = \sigma / \omega \epsilon$

En materiales de baja pérdida ( $P \approx 0$ ), la velocidad de las ondas de radar es:

$$v_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

La intensidad de la reflexión está relacionada con el coeficiente de reflexión el cual, para una incidencia vertical entre dos materiales perfectamente dieléctricos viene dado por:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}}$$

donde  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  son las constantes dieléctricas de los dos materiales.

Por tanto, la intensidad de la reflexiones es directamente proporcional al contraste de las constantes dieléctricas entre los dos materiales.

El levantamiento con Georadar marca Malá se realizó con la antena no blindada de alta frecuencia de 100 MHz. Los perfiles se realizaron como se muestra en las figuras 1, 2 y 3 con un paso de medición

de 0.2 m. Se realizaron con la línea de corriente fría y caliente para comparar los resultados y así eliminar anomalías producto de fugas de corriente en la línea.

Los trabajos de gabinete, comenzaron con el estudio de los materiales geológicos e hidrogeológicos de archivo existente y otros materiales. Se utilizaron los programas SIS, RESIST para determinar la profundidad y la resistividad específica de las rocas en el área con un error menor del 5%. Se utilizó el programa REFLEXW para el procesamiento de los radargramas. Los resultados del trabajo se presentan en el texto. Para el dibujo se utilizaron los programas SIRE, AUTOCAD 2004 y SURFER 8.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las rocas presentes (calizas) se caracterizan por presentar un relevante desarrollo cársico y constituyen una de las mayores reservas de agua subterránea de la Provincia Camagüey. Están presentes grandes espesores de rocas terrígenas de la Corteza de intemperismo los cuales cubren parcial o completamente a las calizas. El desarrollo cársico en las calizas provoca un riesgo geológico a los viales, así como a otras estructuras.

Viales con mayor peligro: Toda la carretera de acceso al Municipio presentan alta peligrosidad de 70 – 80 %, entre estas se encuentra el tramo de Paso de Lesca hasta el entronque con la carretera de Sola. Esta carretera es de gran importancia pues es la más frecuentada en el transporte de pasajeros y carga. En la vía del ferrocarril norte predominan los peligros moderados de 55 – 70 % excepto en Imías, donde llega a tomar valores de 80 – 90%, de igual manera en algunos tramos del Sur de Sola. En estos lugares se detectaron huecos cársicos muy próximos a la vía férrea. (Quintas, F, J.M. Cordovéz,).

Se realizaron 6 perfiles con Perfilaje eléctrico simétrico con un paso de medición de 5 m a lo largo de ambos bordes de la carretera en 3 zonas donde se han detectado hundimientos (2 perfiles en cada zona con PES).

Los valores de resistividad superiores a 400 ohm.m responden a las calizas cavernosas.

Zona 1. Pozos Vilató (Figura 1): Se detectaron numerosas anomalías relacionadas con la presencia de cavernas, se perforaron 3 barrenos en zonas anómalas, de ellos dos tuvieron fuga total del agua de perforación y caída brusca de barreno (1.4 y 1.6 m) en los primeros metros de profundidad, el barreno 5 no llegó a la profundidad anómala. En la figura 1 se observa un hundimiento descrito por los autores de la bibliografía (Quintas, F., J.M. Cordovéz) como 2, catalogado con grado de desarrollo mínimo con forma subredonda y diámetro de 1.5 m y profundidad en el 2007 de 0.8 m, el mismo tiene coordenada N: 206829; E: 830279, este hueco actualmente tiene una profundidad de 3.8 m y en sus laterales presentan cuevas de 0.5 m de diámetro aproximadamente una de ellas en dirección al vial.

Se realizaron 16 perfiles con georadar, de ellos se muestran algunos ejemplos de cavernas detectadas en perfiles realizados perpendicular a la carretera. Figura (2).



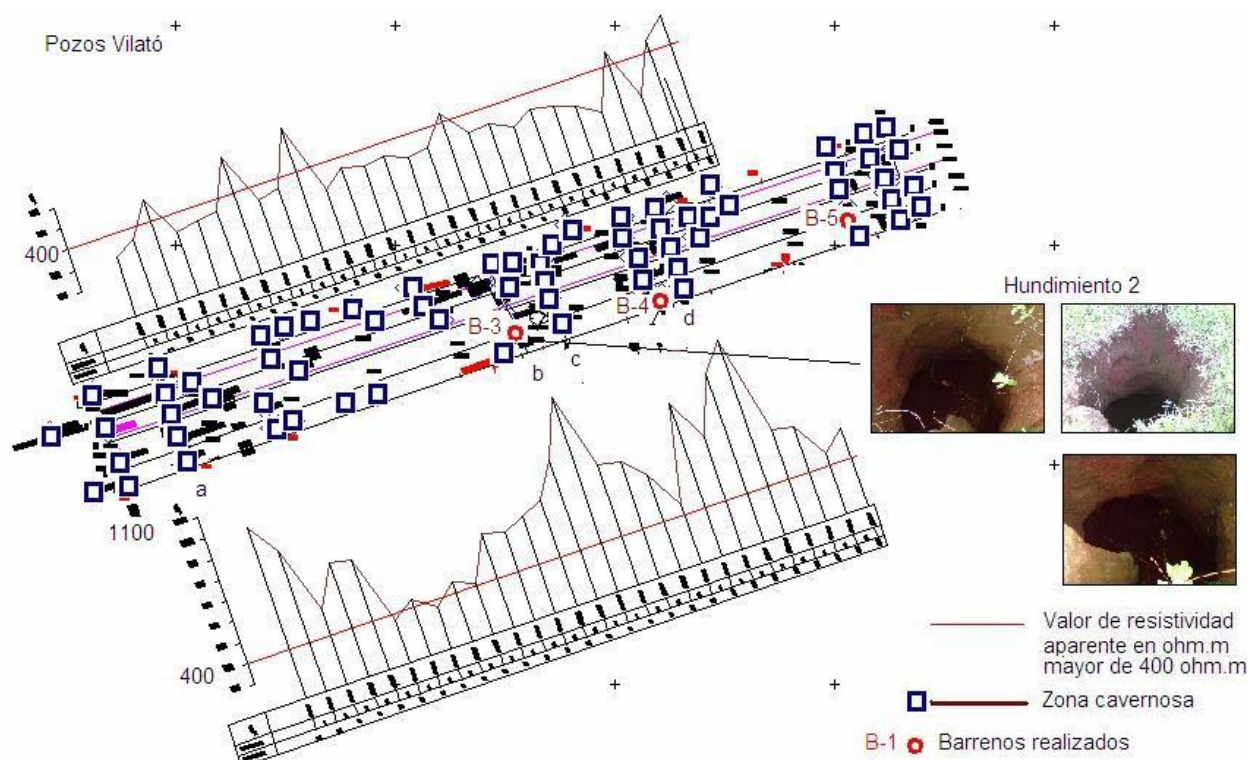


Figura 1.- Levantamiento geofísico en Pozos Vilató.

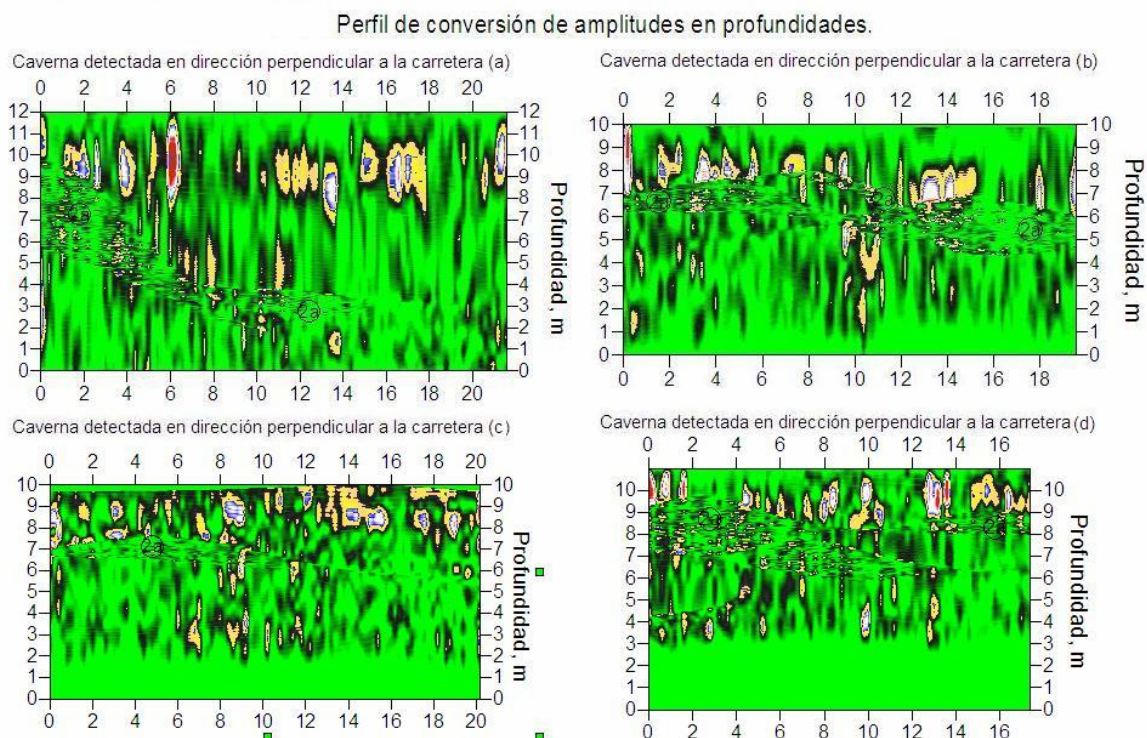


Figura 2.- Anomalías detectadas con el georadar.

Zona 2. Loma del Lesca: Se realizaron 2 perfiles con PES y 7 perfiles con georadar, se perforaron dos barrenos en zonas anómalas y se detectaron cavernas en los primeros 4 metros de profundidad.

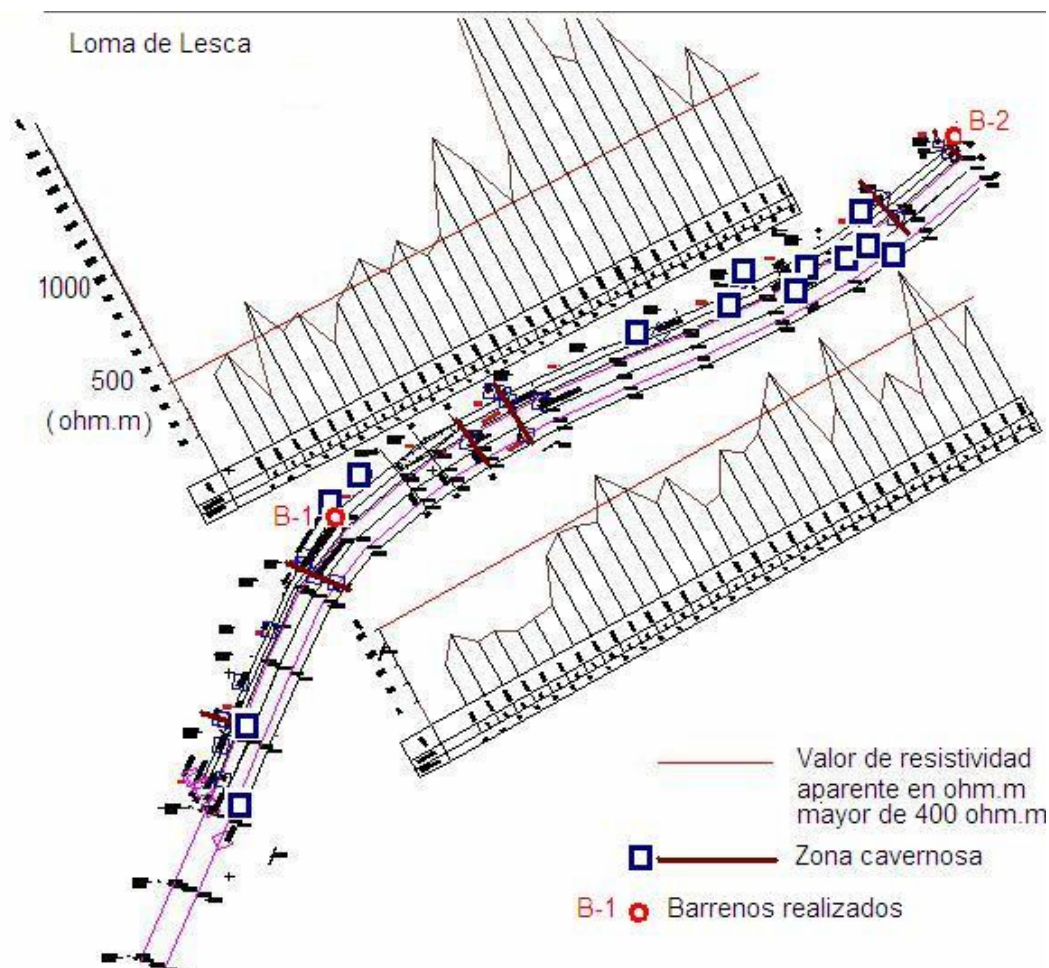


Figura 3.- Levantamiento geofísico en Loma de Lesca

Zona 3. Planta de asfalto: Se realizaron 2 perfiles con PES y 8 perfiles con georadar, se perforó 1 barreno en zona anómala y se detectó una caverna rellena de arcilla desde los 2.6 m hasta 4.6 m de profundidad con fuga total del agua. Se observa un hundimiento del terreno. Es importante señalar que en el plano de Planta de Asfalto el hueco que aparece en el paseo, muy cercano al borde de la carretera y que se puede observar en la foto, es muy grande y profundo, se estima con una profundidad superior a 10 m y representa un enorme peligro. La abertura que también aparece en la foto es muy reciente.

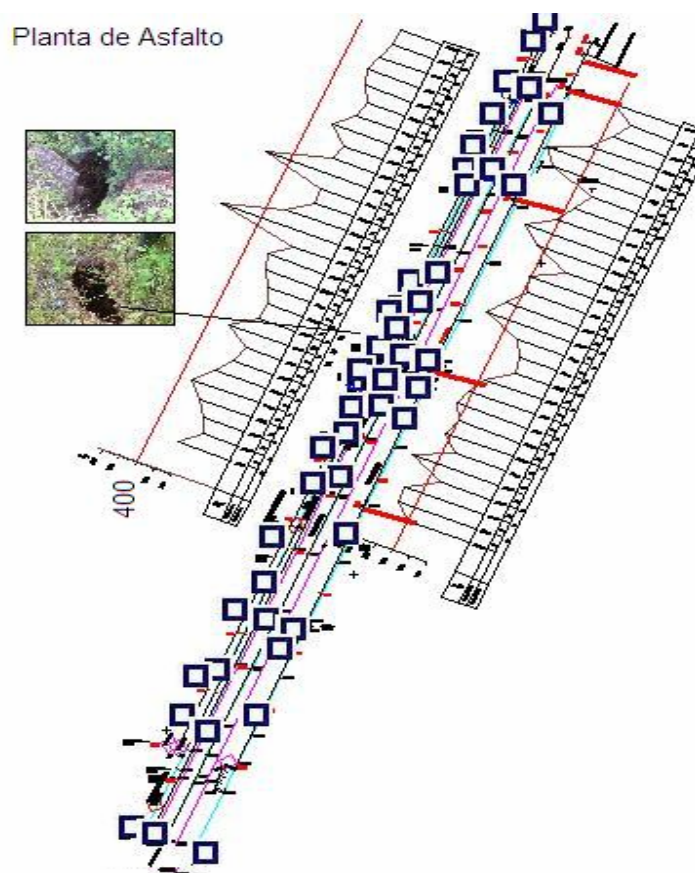


Figura 4.- Levantamiento geofísico en Planta de Asfalto.

## CONCLUSIONES

La mayor parte de las anomalías obtenidas con el georadar responden a cavernas con forma cilíndrica con una dirección generalmente sureste – noroeste o sur norte, que a su vez concuerda con la dirección de las fallas en el mapa geológico y con la dirección del alineamiento de las estructuras cavernosas detectadas con el georadar a diferentes profundidades y en diferentes perfiles y colocadas en forma de rombo en las figuras 1, 3 y 4. También se detectaron cavernas en dirección perpendicular a la carretera y paralela a la misma. Sus espesores son generalmente superior a 1 m y ancho estimado mayor de 5 m.

Los valores de resistividad superiores a 400 ohm.m responden a las calizas cavernosas.

Las investigaciones realizadas no agredieron al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- Dussac, O., (2007). Instrucción de trabajo para la interpretación del método geofísico con Georadar. Geominera, Santiago de Cuba.
- Fernández, R., L. Cantillo, 2009. Investigación geofísica Vial Albaiza - Sola. (EIPH Camagüey).
- Quintas, F., J.M. Cordovéz, 2007. Hundimientos de suelos en Sola – Camagüey.