

UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS GEOELECTRICA Y SISMICA DE REFRACCIÓN CON FINES INGENIERO GEOLOGICOS EN LA ZONA DE DESARROLLO DEL COMPLEJO PETROQUIMICO, PROVINCIA CIENFUEGOS, CUBA

Orestes Chávez Pérez

Unidad de Investigaciones para la Construcción, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, Calle Rafael Morales No 242 (sur) altos, entre Frank País y Ghuyen Vantroi, Pinar del Río, Cuba. CP: 20100, Emails: chavez@enia.pinar.cu chavez@eniamtz.co.cu eniap1@vega.inf.cu

RESUMEN

Constituye esta una experiencia de trabajos geofísicos con equipamiento de tecnología digital de avanzada, en el que se podrá apreciar la combinación de la tomografía eléctrica y la sísmica de refracción para el apoyo en la clasificación ingeniero geológica de los suelos objeto de investigación, ubicados en un sector de desarrollo industrial al oeste de la ciudad de Cienfuegos, donde se edificará una planta regasificadora de gas natural licuado. En el terreno no se habían efectuado anteriormente investigaciones ingenieriles con tales fines.

La tecnología utilizada para la variante de prospección eléctrica es la de Iris Instruments de Francia con el equipo Syscal Junior, el que cuenta con sistema de 48 nodos inteligentes programables diseñando el dispositivo apropiado para la toma de datos del medio geológico, y en el caso de la sísmica se usó para la adquisición de los registros sísmicos la estación Summit Compact de 24 canales, los cuales pueden ser separados hasta la distancia de 5 metros.

En el trabajo se valora la distribución de los diferentes tipos de suelos presentes en el lugar, basado en el comportamiento de la resistividad eléctrica real y las velocidades de las ondas sísmicas en los mismos, determinándose los espesores de las diferentes capas ingeniero geológicas detectadas, profundidades, características físicas, distribución espacial, características sísmicas, determinación del modulo elástico de los suelos y profundidades de los niveles freáticos, así como su relación con la clasificación según el SUCS para los tipos de suelos distribuidos en el territorio de estudio. Para comprobar los resultados de los datos geofísicos nos auxiliamos de los resultados de las calas ingeniero geológicas y los resultados obtenidos de los datos geotécnicos analizados.

Es de destacar el nivel de dificultad del suelo del área investigada con respecto a las tomas a tierra que se utilizan en estas técnicas, debido a que en la mayor parte del lugar se realizaron las observaciones sobre suelo rocoso y, en partes, arenosos, de pendientes pronunciadas hacia un extremo del área.

Para la ejecución de los trabajos se contó con mapas topográficos, geológicos y el uso de Internet para el apoyo en la búsqueda de información complementaria, además de software como el Surfer 8, Res2DInv y AutoCad, herramientas usadas para la elaboración de todos los mapas y cortes confeccionados.

Los resultados se presentan en forma de imágenes tomográficas por perfiles independientes representados en pseudocortes de resistividad real, planos planta en función de los diferentes niveles de profundidad alcanzados con esta técnica, así como cortes sísmicos con interpretación geológica para cada perfil investigado

ABSTRACT

This is an application with equipment geophysical of new digital technology, it show a combination of Seismic Refraction and Electrical Image methods for solve solutions in research geological for soil classifications, the area is located in the west part of Cienfuegos city. In this region will be situated the most import petro quimic industry development in Cuba.

The technology for electrical prospection comes from Iris Instrument factory of nationality France with Syscal Junior equipment and for seismic prospection will be used Summit Compact Station of 24 channels.

In this work you can find a distribution of the different kinds of the soils in the area investigated based in a behavior of the two physical properties: real electrical resistivity and waves velocity seismic, across this physical properties it will be possible determine the different layer of the soils, depth, physical characteristic, areal distributions, the underwater depth, and relationship with the soils classifications in geological engineering.

For the solution of this investigation was necessary the used of geological and topographic map, beside different specific software's: Surfer 8, Res2dinv and AutoCAD for to create all the map and pseudo sections present in this text.

The result for electrical geophysical methods appears in different pseudo sections of the real electrical resistivity of the soils and particular map for levels investigation. In the case of seismic methods, it is show according wave velocity seismic for every layer determine in form of pseudo sections of Vp in m/s with geological information's complementary.

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de apoyar en las investigaciones ingeniero geológicas realizadas para el desarrollo del proyecto de estudio donde se emplazara la industria petroquímica en la provincia de Cienfuegos, en este caso la relacionada con la planta regasificadora de gas natural licuado, se realizo la siguiente investigación geofísica con técnicas geo eléctricas, en especifico el método de Imágenes Eléctricas, y el método de Sísmica de Refracción Somera, con las que se cubrió área ausente de investigaciones ingenieriles en sus suelos.

Según este trabajo se valora la distribución de los diferentes tipos de suelos presentes en el lugar, basado en el comportamiento de la resistividad eléctrica real y las velocidades de las ondas sísmicas a través de los mismos, determinándose los espesores de las diferentes capas ingeniero geológicas detectadas, sus profundidades, características físicas, su distribución espacial, determinar la profundidad del nivel freático, determinación del modulo elástico de los suelos mas característicos, así como su asociación con la clasificación según el SUCS para los tipos de suelos distribuidos en el territorio objeto de análisis. Para cumplimentar estos aspectos se programo la realización del trazado de cinco perfiles como se aprecia en el plano de ubicación

Es de destacar el nivel de dificultad del suelo del área investigada con respecto a las tomas a tierra que se utilizan en estas técnicas, debido a que en la mayor parte del lugar se realizaron las observaciones sobre suelo rocoso.

Los resultados se presentan en forma de cortes sísmicos interpretados para las variedades de suelos detectadas con sus velocidades características y en forma de secciones de imágenes tomográficas con la resistividad eléctrica real por perfiles y planos planta en función de los niveles de profundidad alcanzados con esta técnica.

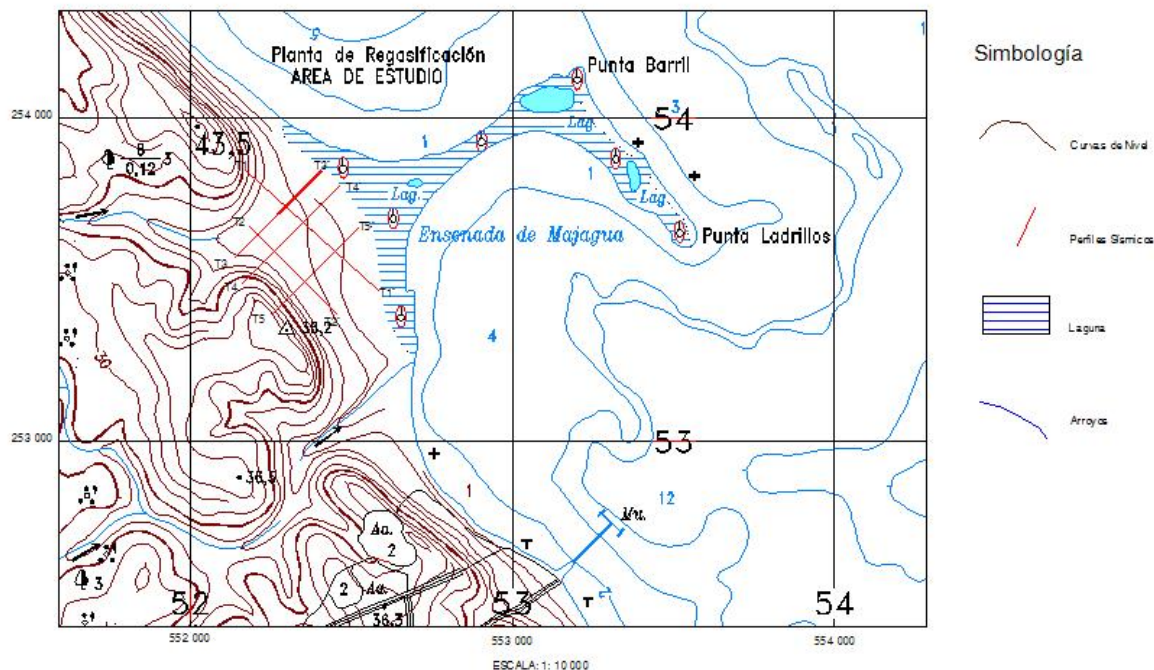


Figura1- Plano de ubicación del área de estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones geológicas del área de estudio

En general para el territorio según datos regionales se conoce de la existencia de dos formaciones geológicas bien definidas, la Fm Paso Real y la Fm Güines.

Formación Paso Real.

Distribución Geográfica.

Es la unidad más extendida en el territorio cubano, constituyendo una faja discontinua entre el poblado de Guane, en el extremo occidental de Cuba hasta el sur de la provincia de Holguín, en Cuba Oriental, con afloramientos en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Sancti Spiritus, Ciego de Avila, Camagüey, Granma y Holguín.

Litología Diagnosticada.

Presenta cambios litológicos abruptos, tanto vertical como lateralmente. Predominan las alternaciones de calizas y margas. Las calizas son arcillosas, biodetríticas arcillosas y más subordinadamente calizas biohémicas, dolomitizadas, dolomitas y calcarenitas. Las calizas arcillosas por desagregación originan pseudoconglomerados calcáreos de matriz margoso-arenácea. En general son masivas. Las margas, al igual que las calizas son fosilíferas. Sus variedades litológicas comprenden margas calcáreas, arcillosas, arenáceas. La coloración de calizas y margas es crema, blancuzca y grisácea. Aparecen intercalaciones de areniscas y limolitas calcáreas y arcillas de color grisáceo y verdoso, principalmente esmectitas, que contienen, en algunos horizontes, pirita, yeso, halita y lignito. Puede ser observado en la base, en ocasiones, un conglomerado polimíctico de matriz margosa, fosilífero, constituido por clastos de calizas y subordinadamente por cuarzo, pedernal y otras rocas, de granulometría gruesa, los que no siempre están presentes. La estratificación está marcada por los cambios litológicos y es frecuentemente lenticular. Los buzamientos son suaves en general, acentuándose en la proximidad de las áreas montañosas.

Relaciones Estratigráficas.

Yace concordantemente sobre las formaciones Colón y Lagunitas y discordantemente sobre las formaciones Grande, Jatibonico, Mata, Santa Teresa, Veloz, el grupo Remedios, el Complejo Mabujina y las ultramafitas y granitoides. Está cubierta concordantemente por las formaciones

Güines, Guevara, Vedado y Villarroja. Transiciona lateralmente con las formaciones Arabos, Güines y Lagunitas.

Edad: Oligoceno Superior-Mioceno Superior Basal.

Espesor:

Oscila entre los 30 y 1 640 m (este último reportado en el pozo candelaria 1, en Pinar del Río y que incluye los depósitos del Mbro. Baños de dicha unidad).

Ambiente de sedimentación.

Depositada en un ambiente sub litoral, limitado crecimiento arrecifal y existencia de áreas lagunares de circulación restringida, estas señaladas por la asociación Ammonia-Ostrácodos y la presencia de yeso, halita, y piritita y lignito en sedimentos arcillosos.

Formación Güines.

Distribución Geográfica.

Se desarrolla en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Ciudad de la Habana, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Avila.

Litología Diagnosticada.

Calizas biodetríticas de grano fino a medio, duras, en parte compactas, en parte porosas, cavernosas y recrystalizadas, frecuentemente fracturadas, fosilíferas, más subordinadamente calizas biohémicas, calizas dolomíticas, y dolomitas, calizas micríticas sacaroidales y lentes ocasionales de margas calcáreas y calcarenitas. La dolomitización es secundaria. La coloración es variable: blanco, Blanco grisáceo, blanco amarillento, blanco rosáceo, amarillento-parduzco, crema, gris claro frecuentemente con manchas rojizas de hidróxido de hierro. Se presentan masivas principalmente o con

estratificación gruesa, más raramente mediana o fina. Su superficie se aprecia elaborada con cortes lapides y cubierta de suelos rojos, frecuentemente.

Relaciones Estratigráficas.

Yace concordantemente sobre las formaciones Arabos, Colón, Lagunitas y Paso Real y transgresivamente sobre las formaciones Arroyo Blanco, Caibarién, Cantabria, Carmita, Ca , Margarita, Mataguá, Perla, Saladito, Santa Teresa, Trocha, Vega, Vía Blanca, el Complejo Mabujina y los granitoides. Está cubierta concordantemente por la formación Arabos y discordantemente por las formaciones Camacho, Guevara, Vedado y Villarroja. Transiciona lateralmente con la formación Paso Real.

Edad: Mioceno Inferior parte alta-Mioceno Superior Basal.

Espesor: Oscila entre los 50 y 1 670 m.

Ambiente de Sedimentación: Se depositó en un ambiente sub litoral con muy poca influencia arrecifal.

Descripción de los procedimientos y de los equipos empleados.

Durante la etapa de los trabajos de reconocimiento geofísico los mismos se ejecutaron sobre cinco trochas con direcciones longitudinales y transversales al área objeto de investigación (ver croquis de ubicación de los perfiles geofísicos), con la finalidad de cumplimentar los objetivos de la investigación. Las mediciones en el caso de la técnica de Tomografía Eléctrica para la toma de datos in situ se efectuaron con el equipo Syscal Junior de la Iris Instrument de fabricación francesa, el que cuenta con un sistema inteligente de transmisión - recepción de datos acoplados a 48 electrodos, el dispositivo que se desplego fue el Wenner – Schlumberger con espaciados entre electrodos de 5.0 m, debido a las características geológicas del lugar y para evitar cambios bruscos del parámetro eléctrico a registrar se utilizo durante el despliegue del dispositivo la variante en secuencia Roll Along la que da la posibilidad de realizar un buen empalme entre las diferentes secciones en un mismo perfil, con esta técnica se logró una profundidad de investigación de 31,27 m para todas la secciones medidas.

Las observaciones almacenadas en el panel de recepción del Syscal fueron enviadas a la computadora en la cual se crearon ficheros propios para cada perfil medido. Todos los datos fueron elaborados con el auxilio del software Res2dinv y con el Surfer 8, a partir de los cuales se lograron obtener los diferentes planos y secciones que se presentan en este texto.

Las mediciones para el caso de la tomografía eléctrica se desglosan como aparece en la siguiente tabla y se muestra en el plano anexo:

No de Perfiles	Longitud en metros	Imágenes Eléctricas
Perfil No 1	595	16
Perfil No 2	355	10
Perfil No 3	355	9
Perfil No 4	445	12
Perfil No 5	355	9
Total	2105	56

En total se investigaron 2 105 metros lineales para un total de 56 imágenes eléctricas.

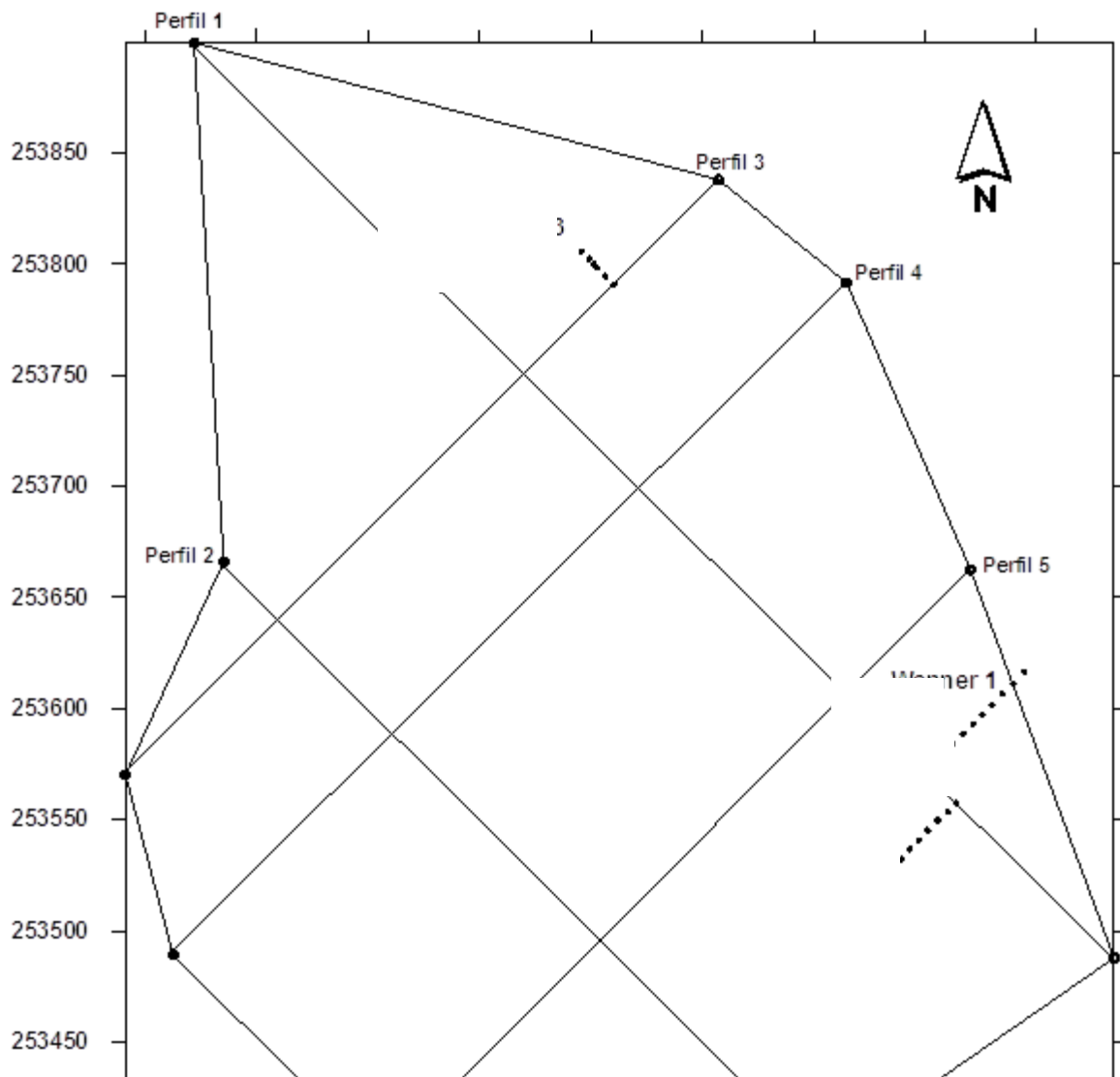


Figura 2- Área de estudio con perfiles geofísicos

Para el caso de los trabajos geofísicos con el método de Sísmica de Refracción Somera, los registros sísmicos fueron obtenidos de forma digital con la estación Summit Compact de 24 canales, los cuales pueden ser separados hasta la distancia de 5 metros.

El sistema de observación empleado fue el de tiros de encuentro o de tiempos mutuos, detallados a continuación:

El mismo consiste en realizar observaciones desde puntos de excitación situados a ambos lados de la base del registro. El principio de los puntos comunes o mutuos es muy importante para interpretación cuantitativa de los registros sísmicos, ya que todos los hodógrafos deben estar amarrados correspondientemente a partir de los puntos mutuos o recíprocos, permitiendo así controlar la calidad del proceso de confección de los hodógrafos. Este sistema permite además identificar ondas de diferentes estratos y los métodos de interpretación se realizarán con mayor facilidad y precisión.

La profundidad de penetración y la resolución en la actividad sísmica esta directamente regulada por los siguientes aspectos:

Número de geófonos: Determina la profundidad de investigación que se puede alcanzar. En esta investigación se utilizó una trenza de 24 geófonos de 14 Hz.

Espaciamiento entre geófonos: Determina la resolución de los registros, de modo que cuanto menor sea la distancia entre geófono, mayor será la resolución. En este caso la distancia empleada fue de 1 m.

Número de puntos de tiro: Condiciona el detalle con que se determinan el espesor de las capas y las respectivas velocidades. A mayor número de puntos mayor será el detalle. En este trabajo se emplearon 4 y 6 puntos de tiro respectivamente, por lo general en las zonas donde las cotas eran mayores se emplearon 6 puntos de tiros o impactos.

Fuente de energía: En este caso como la investigación es somera (20 m de profundidad), y se requiere de poca energía, se empleó el golpeo con una mandarina sobre un plato de metal.

Para el cálculo de los parámetros elásticos de los materiales presentes en la zona se calcularon las velocidades efectivas, es decir, las velocidades de la secuencia de rocas determinada a partir de los hodógrafos de las ondas refractadas.

La confección Domocrónicas, gráficos de tiempo-distancia u hodógrafos, es una de las actividades más comunes en la preparación de los documentos sísmicos, este es un proceso que consiste en graficar en un sistema de coordenadas (x,t) los distintos ejes de cofasidad que anteriormente habían sido correlacionados. En el eje vertical se coloca la escala de tiempo, mientras que en el eje horizontal se colocará la distancia.

Estos gráficos permiten visualizar las características más generales de las ondas registradas y constituyen un elemento decisivo en la interpretación cualitativa y cuantitativa de los datos sísmicos.

RESULTADOS

Interpretación de los perfiles geoelectricos.

Los datos de las mediciones realizadas fueron procesados con el software Res2dinv, además para la confección de los diferentes planos por niveles se usó el software Surfer 8, auxiliándonos además del tabulador Excel.

Los resultados se presentan en forma de secciones tomográficas para cada uno de los perfiles procesados, los que se nombran como trocha o perfil No 1 hasta la trocha o perfil No 5.

El comportamiento de los valores de la resistividad eléctrica real de estos suelos se manifiesta con un rango de valores amplios, los valores mínimos están en el orden de 0.75 Ohm-m y los máximos en el orden de 600 Ohm-m, aunque existe un predominio mayoritario de valores bajos en la distribución de este parámetro para toda el área.

Figura 3- representación tomográfica para cada trocha presentada.

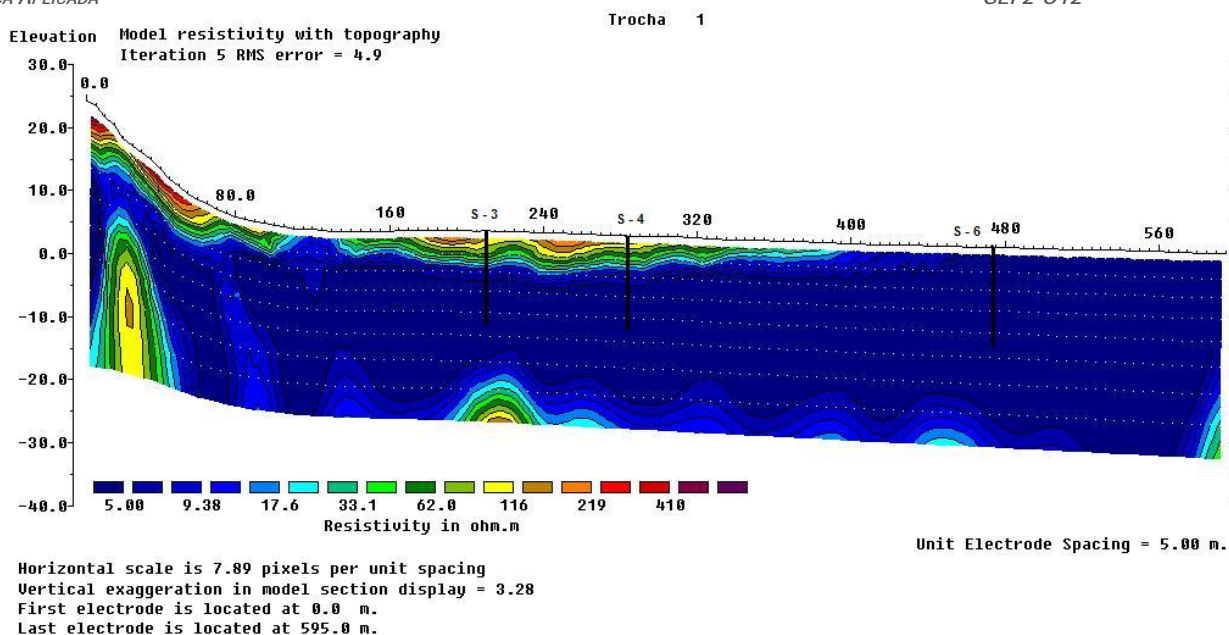


Figura 3- representación tomográfica para cada trocha presentada.

Trocha o Perfil No 1.

En esta sección se presenta los resultados de la interpretación del parámetro resistividad eléctrica real para la trocha No 1, la misma presenta una longitud total de 595,00 m con cotas que van desde 24,35 m en la zona izquierda de la imagen hasta la cota 0,26 m a la derecha. La distribución de valores se presenta en un rango amplio como valor mínimo se registra 1,60 Ohm-m y como valor máximo 537,83 Ohm-m.

El comportamiento anómalo tiene un carácter bastante homogéneo en la forma de las curvas o isolíneas que dan contornos de los valores del parámetro analizado, dando idea de que se presentan dos capas de suelos bien diferenciadas y que simulan a un medio que presenta una estratificación horizontal. Una capa superior en la que se localizan los valores máximos para esta sección mapeando espesores de capa que varían desde 9,0 m hasta 6,0 m y menores hacia el extremo derecho en que por motivos de la saturación a que están sometidos estos suelos desde el punto de vista eléctrico tiende a desaparecer, la otra capa que esta subyaciendo a la anterior se presenta con los valores mas bajos reportados para la sección y que son inferiores a los 5,0 Ohm-m en los que existe un predominio mayoritario de estos valores, su espesor de capa como promedio alcanza la cifra de 20,0 m, en la base de este perfil se puede apreciar que para la máxima profundidad de investigación alcanzada que fue de 31,27 m comienza a aparecer valores similares a los reportados en la superficie, y como aspecto discordante se aprecia que en el extremo izquierdo una zona anómala que contrasta del resto del espesor de suelo que se esta presentando, precisamente esta anomalía esta debajo de la zona mas elevada y alejada de la línea de costa, la que pudiera estar respondiendo a bloques de suelo que presenta formas concéntricas y alargadas intercaladas dentro de estos suelos.

Según los datos aportados por las perforaciones practicadas en el perfil se puede dar una asociación de estas curvas anómalas para los suelos interceptados en las mismas, es decir, la capa superior anómala a que se hace referencia se asocia a suelos del tipo de calizas organogenas muy fragmentadas de baja dureza, agrietadas, de colores blanco crema, las que están en la superficie mas meteorizada y los bloques que se presentan mas profundos deben estar mas conservados. El resto del corte y que se presenta con la mayor distribución para esta sección debe estar asociados a suelos de un carácter mas plástico del tipo arcillosos, arcillo arenosos y limosos arcillosos los que en ocasiones pueden contener materiales calcáreos, de plasticidades variables y granulometrías

variables todos ellos se presentan muy intercalados y por la proximidad a la línea de costa se presentan muy saturados por la intrusión marina cuestión esta que induce a que los valores de la resistividad eléctrica real de ellos sea muy baja con un predominio de valores menores que 5 Ohm-m para la mayor parte de la sección y con potencias superiores a 20 m que cubren mas de la tercera parte de la longitud del perfil.

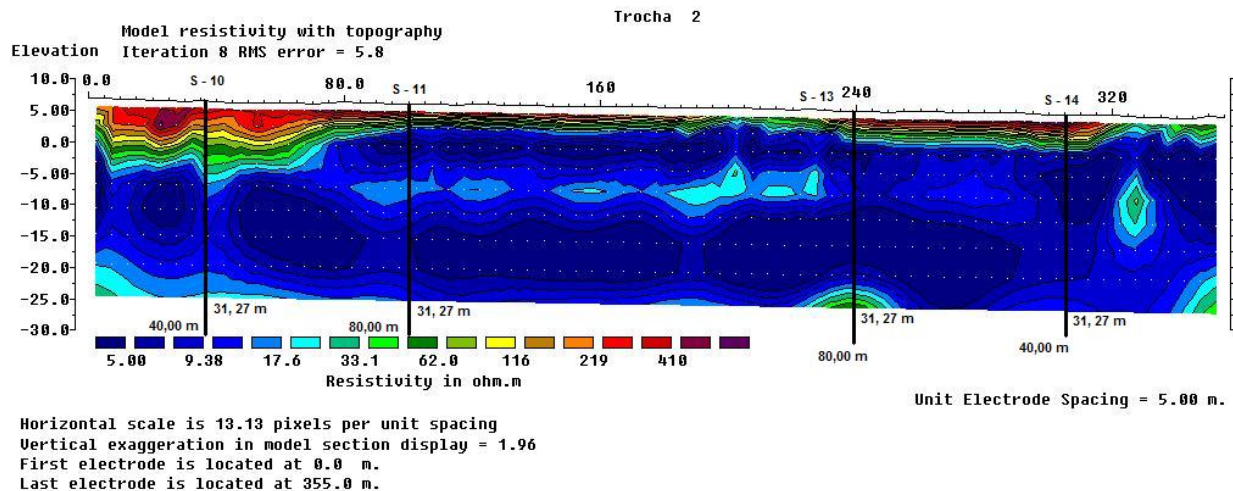


Figura4

Trocha o Perfil No 2.

En esta sección se está representando los resultados de las mediciones en la trocha No 2 la que tienen una longitud total de 355,00 m, con cotas en el extremo izquierdo de 7,03 m y en el extremo derecho finaliza en cota 4,00 m.

El rango de valores registrados oscila con mínimos 1,78 Ohm-m y como máximo 686,01 Ohm-m con predominio de valores bajos para el corte.

Según la forma de las curvas anómalas simulan a un medio geológico de estratificación bastante homogénea en la que no se presentan discontinuidades que pudieran dar como resultado a rupturas tectónicas en este suelo.

Se presenta en la parte superior del corte los valores anómalos más intensos los que en el extremo izquierdo mapean una capa de espesor de 10,0 m de potencia, la que hacia el extremo derecho va disminuyendo y como promedio se mantiene con una potencia de 5,0 m, le subyace un potente estrato con potencia que supera los 20,0 m de espesor el que esta representado por los valores de poca intensidad y en el cual la mayoría de ellos no superan los 5,0 Ohm-m, es de destacar que para el centro de la sección y a partir de la profundidad de 7,0 m y hasta 17,0 m se presenta un cierto incremento en estos valores mínimos de resistividad real de estos suelos los que están mapeando ciertas intercalaciones en esta capa de suelos muy similares en cuanto al comportamiento del parámetro, este además se caracteriza por una secuencia de epicentros anómalos concéntricos y espaciados a lo largo de esta secuencia y para este nivel de profundidad. Esta característica que presenta este estrato base nos da una idea de una secuencia rítmica en profundidad de estos suelos que se vienen cartografiando los que pudiera estar relacionado con la presencia de suelos con mayores concentraciones de material gravoso inmerso en ellos.

Considerando los resultados de los trabajos de la perforación se puede asociar la capa superior que se identifica en este corte a suelos del tipo de calizas organogenas muy fragmentadas de baja dureza, calizas arenosas o calcáreas las que en las zonas más elevadas afloran. El estrato base esta representado por suelos limosos y arcillo-arenosos de variada humedad y granulometría, este estrato base presenta en su nivel intermedio un potente espesor de aproximadamente 7,0 m de potencia de un suelo con mayor contenido de componentes calcáreos y gravosos e incluso la presencia de ciertos

fragmentos de caliza de baja dureza los que pudieran llegar a ser de hasta 5,0 m de diámetro inmersos en el estrato arcillo-arenoso-limoso que constituye la base de este corte.

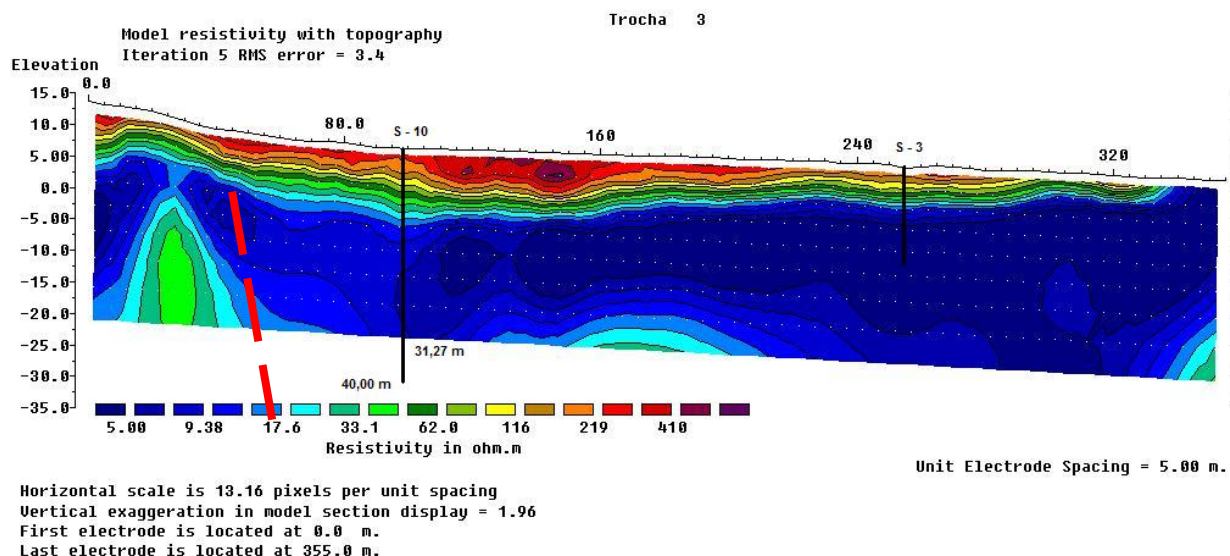


Figura 5

Trocha o Perfil No 3.

Esta seccion de perfil No 3 se presenta con una longitud de 355,00 m el que presenta como cota maxima en el extremo izquierdo de 13,90 m y finaliza hacia el extremo derecho con una cota de 1,25 m. Como valor máximo de la resistividad electrica real se reporta 609,46 Ohm-m y como valor minimo 0,89 Ohm-m.

El comportamiento de las isolineas anomalas del parametro analizado tienen un carácter lineal representando a una medio estratiforme diferenciado por dos capas de suelos que contrastas por sus valores. Una capa superior la que consta de los valores anomalos mas intensos y se extiende a lo largo de toda la seccion, para la parte izquierda y central posee los mayores espesores alcanzando una potencia de 10,00 m y hacia el extremo derecho va disminuyendo reportandose potencias de 4,00 m, subyaciendo a esta capa se reportan los valores de menor intensidad anomala en orden inferiores a 5 Ohm-m en la mayor parte de este estrato base, presenta una potencia de 27,00 m hacia el extremo derecho el que se va acuñando hacia el lateral izquierdo alcanzando espesores de 10,00 m, es de estacar que en este sentido del perfil se presenta un incremento de los valores anomalos dando idea de un bloque anomalo y que aparece debajo de la zona de mayores cotas al parecer indicando la presencia de suelos mas conservados.

Como se ha venido analizando en las secuencias anteriores se pueden asociar por el carácter y comportamiento en los valores anomalos que la capa superior esta vinculada con suelos del tipo de calizas organogenas muy fragmentadas de dureza variable, calizas arenosas o calcáreas las que en las zonas más elevadas afloran, y por otro lado la capa de suelo que le subyace se pudiera relacionar con suelos limosos y arcillo-arenosos de variada humedad y granulometría, los que por su proximidad a la línea de costa deben estar saturados por la intrusión marina la que puede fluctuar en función de las diferentes épocas del año.

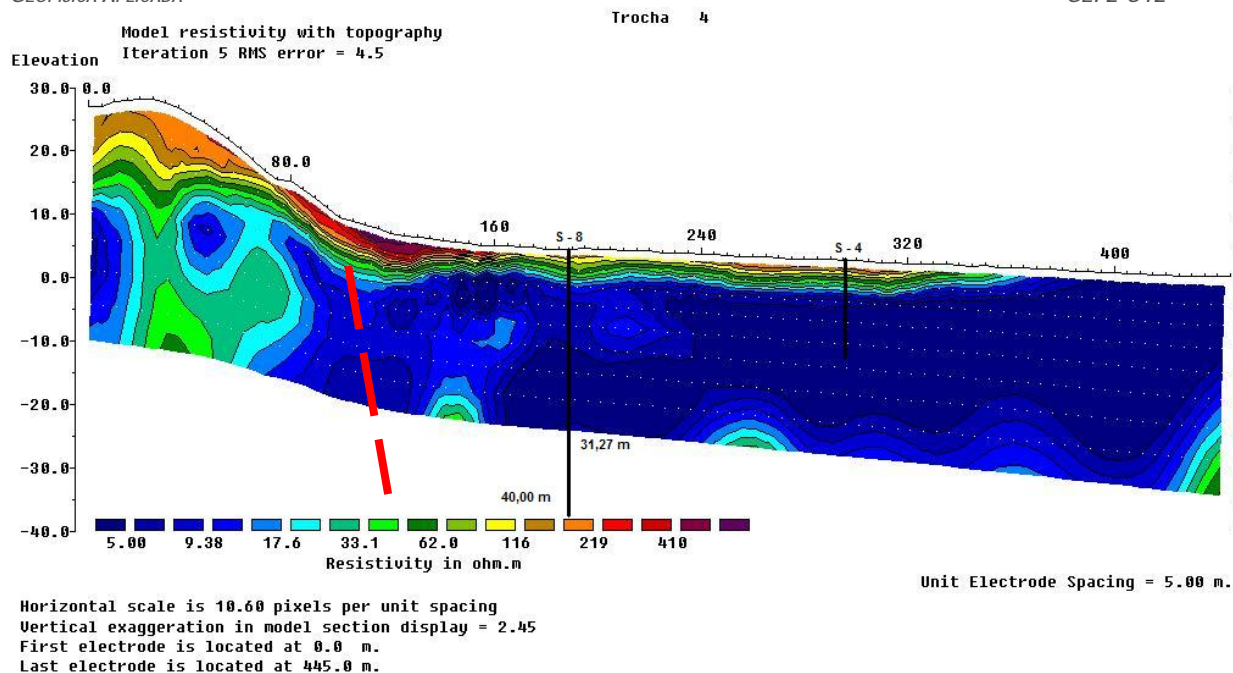


Figura 6

Trocha o Perfil No 4.

Esta trocha No 4 representa a un perfil que tiene una longitud de 445,00 m, comienza con cota 27,08 m y finaliza en cota 0,33 m, se reporta como valor máximo de la resistividad eléctrica real 662,69 Ohm-m y como valor mínimo 1,58 Ohm-m

Se aprecia en toda la sección en su parte superior los valores de resistividad eléctrica real con mayor intensidad los que están mapeando a una capa de suelo que en su extremo derecho presenta el mayor espesor que alcanza la cifra de 10 m de potencia este hacia la derecha del perfil se va acuñando con espesores de capa que varían de 4,0 m hasta 2,0 m y al final de la sección desaparece debido a que este suelo para este extremo de perfil esta muy próximo a la línea de costa manifestándose muy saturados provocando la disminución de los valores del parámetro, subyaciendo esta capa se presenta otro estrato caracterizado por lo valores mas bajos registrados para la sección y que están en el orden de 5,0 Ohm-m y en su gran parte menores, mostrándonos una capa de un espesor de 20,0 m. Como elemento a destacar se observa que hacia el extremo izquierdo del perfil, exactamente debajo de la zona de relieve mas elevado se presentan un grupo de anomalías que tienen una forma circular y concéntrica con tendencias a continuar hacia profundidades no alcanzadas con este dispositivo, estas anomalías tienen en cuanto a su intensidad un comportamiento intermedio entre las dos capas que se vienen describiendo en este perfil.

Considerando los resultados de los laboreos de perforación podemos asociar la capa superior a suelos del tipo de calizas organogenas muy fragmentadas de dureza variable, calizas arenosas o calcáreas las que en las zonas más elevadas afloran, por otro lado la capa de valores mas bajos se puede relacionar con suelos limosos y arcillo-arenosos de variada humedad y granulometría, los que por su proximidad a la línea de costa deben estar saturados por la intrusión marina la que puede fluctuar en función de las diferentes épocas del año. Por ultimo la zona de valores anómalos de intensidades intermedias que se localizan debajo de la zona mas elevada se pueden asociar a suelos constituidos por bloques de roca caliza encontrándose inmersos en una matriz arcillosa y areno-arcillosa la que a su vez se presenta con abundantes gravas de diferentes tamaños.

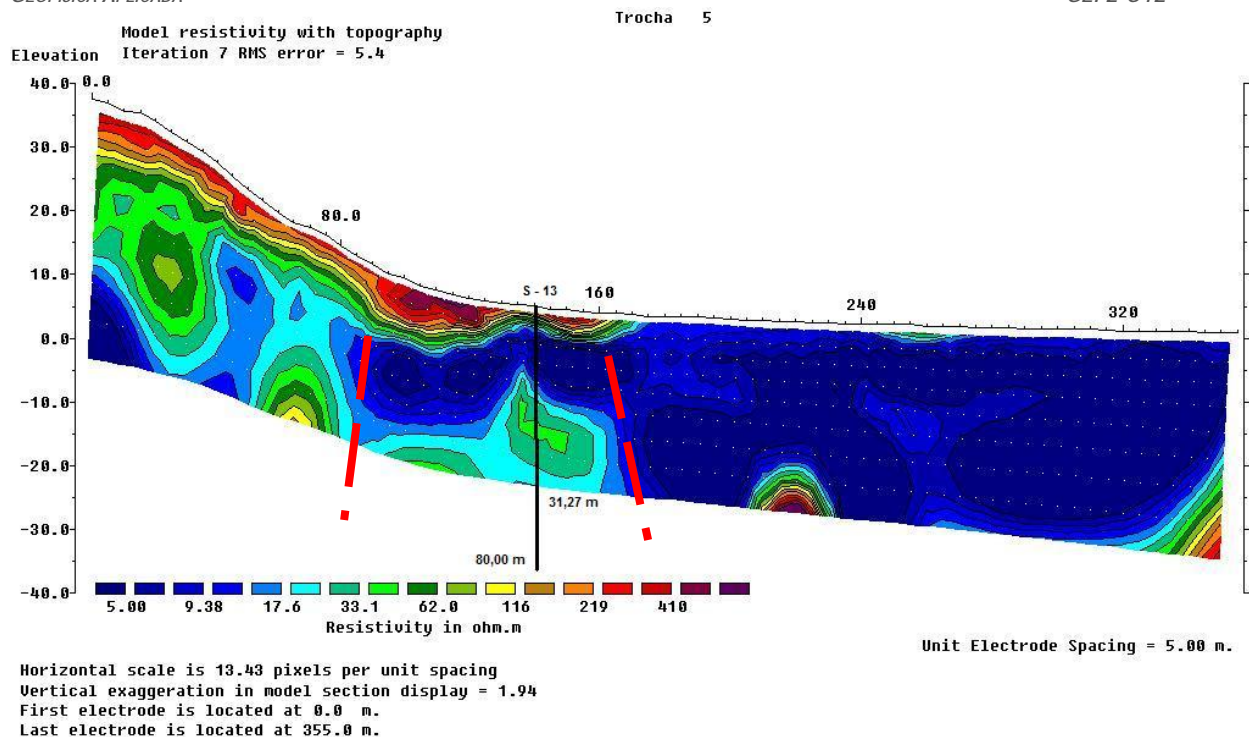


Figura 7

Trocha o Perfil No 5.

La trocha No 5 muestra un perfil que alcanza una longitud total de 355,00 m, comenzando en el extremo izquierdo en cota 37,54 m y finaliza en el extremo derecho con cota 0,97 m, posee un rango de variación de valores del parámetro resistividad eléctrica real que alcanza valores máximos de 575,55 Ohm-m y como valor mínimo 1,56 Ohm-m.

En esta sección se aprecia un comportamiento similar a los perfiles anteriores, hacia el extremo izquierdo se presenta una capa superior con los valores máximos registrados para la sección mapeando una capa de suelo con espesor de 10,00 m el que se va acuñando hacia la izquierda de la sección y se va reduciendo su espesor hasta 4,0 m - 3,0 m y por último 2,0 m para la zona más próxima a la línea de costa lugar en el cual estos suelos se encuentran saturados por la intrusión marina muy próxima al lugar y en la que en los periodos húmedos la saturación se hace más duradera, subyaciendo esta capa hacia el extremo derecho se localiza un estrato de suelo que se caracteriza por los valores más débiles de la resistividad real registrados para este perfil presentando un espesor de capa de 25,0 m, esta capa hacia la izquierda de la sección se va acuñando y a mediados del corte alcanza espesores de 7,0 m, a partir de esta posición y para las localizaciones debajo de la zona más elevada se localizan un grupo de anomalías con valores intermedios del parámetro analizado, las que se muestran con un predominio de las isoclinas a presentarse circulares con máximos locales en su epicentro.

Atendiendo a las consideraciones del mapeo geológico podemos asociar la capa de suelo de valores más elevados y que se localiza en la parte superior del corte a suelos del tipo de calizas organogénicas muy fragmentadas de dureza variable, calizas arenosas o materiales calcáreos los que en las zonas más elevadas afloran, por su parte la capa de suelo definida por los valores de menor intensidad se asocian a suelos del tipo limosos y arcillo-arenosos de variada humedad y granulometría, los que por su proximidad a la línea de costa deben estar saturados por la intrusión marina la que sufre variaciones en los periodos más húmedos para las diferentes épocas del año. Por último la zona de valores anómalos de intensidades intermedias que se localizan debajo de la zona más elevada se pueden asociar a suelos constituidos por bloques de roca caliza los que se encuentran inmersos en

una matriz arcillosa y areno-arcillosa la que a su vez se presenta con abundantes gravas de diferentes tamaños.

Representación de mapas de isolíneas geoelectricas para diferentes niveles de profundidad.

Se presentan a continuación un grupo de mapas que abarcan toda el área de investigación y que representan diferentes planos por niveles de profundidad que muestran el comportamiento del parámetro resistividad eléctrica real para los diferentes intervalos de profundidades alcanzadas con esta técnica, desde las profundidades más someras hasta la máxima profundidad alcanzada.

Siguiendo las secuencias de planos se podrá tener una idea de la distribución del parámetro analizado para los diferentes tipos de suelos investigados desde la superficie hasta la base de la máxima profundidad lograda en este trabajo y se podrá tener una visión del comportamiento en área para cada nivel de profundidad, es decir, la extensión que ocupan en cuanto al largo y ancho, así como podrá además apreciar la distribución en el comportamiento de los mismos a medida que aumenta en profundidad, en los cuales los materiales más secos y que representan suelos más duros se van acuñando en función de la profundidad y van apareciendo un predominio de valores anómalos que representan a los suelos más arcillosos los que a su vez están más saturados por estar más próximos a la línea de costa donde las aguas de la intrusión marina los saturan hasta los niveles en que es capaz de penetrarlas.

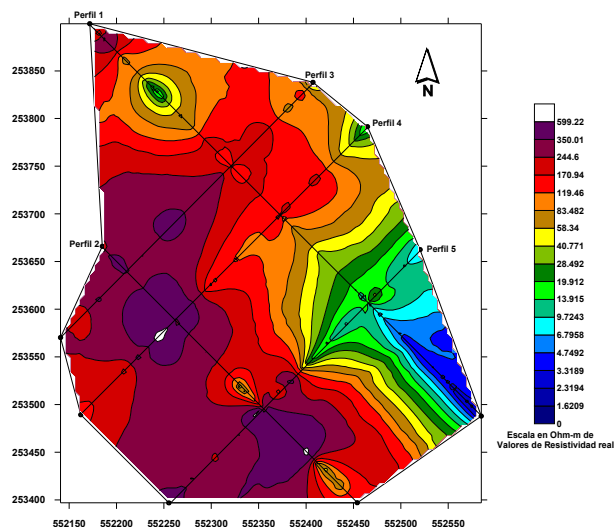
Del análisis de dichos planos y considerando las variaciones de la resistividad eléctrica real de los suelos que ellos mapean se ha podido realizar una clasificación para las principales variedades litológicas presentes en el área, de conjunto con los perfiles o cortes geoelectricos mostrados anteriormente se ha definido la presencia de tres capas de suelos bien diferenciadas por este comportamiento anómalo, el que se desglosa como sigue:

Una capa que se caracteriza por los valores más débiles detectados (Capa 1), los que están en el orden de 0.5 Ohm-m hasta 20 Ohm-m, estando asociados a suelos arcillosos arenosos, de plasticidad media a alta, con la presencia de componentes areno-gravosos, esta capa está ampliamente distribuida en toda área y se muestra para todos los niveles de profundidades, se muestra con los colores en tonos de azules, clasifica según el SUCS como un suelo del tipo CL.

Otra capa que se caracteriza por valores que oscilan entre 20 Ohm-m y 120 Ohm-m, considerados como valores intermedios para este estudio, nombrado sobre los planos como (Capa 3), esta capa está representada a un suelo areno-limo-arcilloso con gravas y fragmentos de caliza de color blanco - crema, de plasticidad baja, además de la presencia de material carbonatado, clasifica según el SUCS como un suelo del tipo SC. Esta capa está medianamente distribuida para el área y para los diferentes niveles de profundidades, se exhibe en colores en tonos de verde.

La capa nombrada como (Capa 2) representada por los valores máximos registrados para el área, los que están en el rango de 120 Ohm-m hasta 400 Ohm-m. Esta capa de acuerdo a la distribución de los valores se localiza para la parte superficial del corte se asocia con las rocas calizas las que presentan diferente grado de meteorización, agrietadas y muy alteradas, además se presentan margas arcillo-arenosas y materiales calcáreos, se pueden apreciar la distribución de esta capa en tonos de colores rojos y como se aprecia es la de menor distribución en el área, solo se presenta para los planos de las profundidades más superficiales hasta los 4.0 m

Mapa de Resistividad real para profundidad de 1.25 m



Mapa de Resistividad real para profundidad de 4.00 m

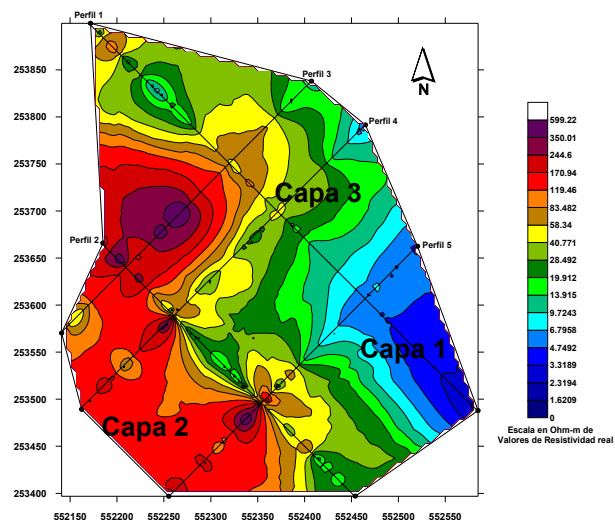
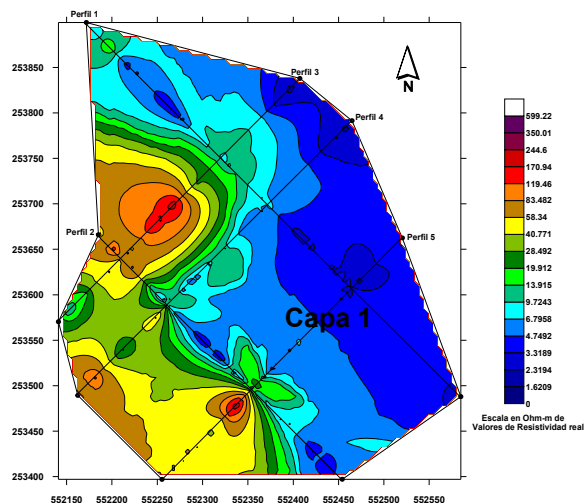


Figura 8,9

Mapa de Resistividad real para profundidad de 7.00 m



Mapa de Resistividad real para profundidad de 10.00 m

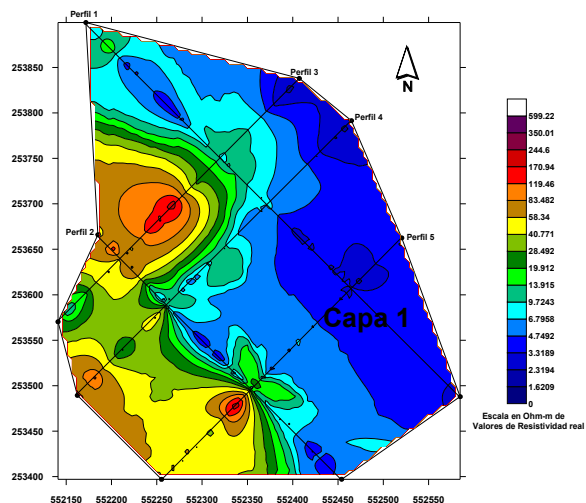
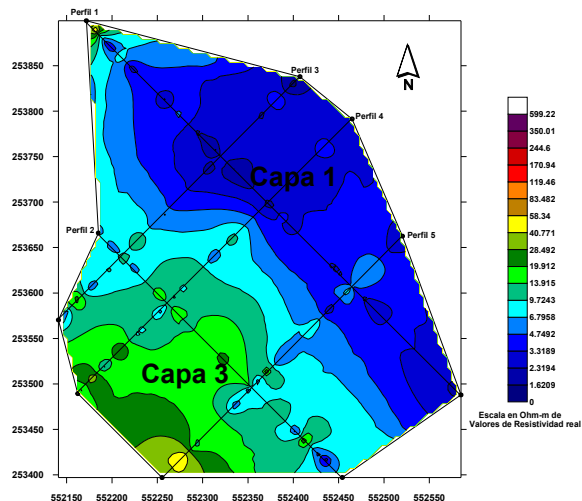
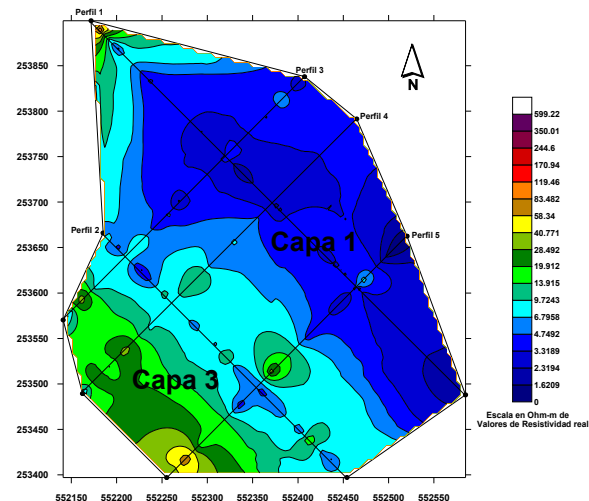


Figura 10,11

Mapa de Resistividad real para profundidad de 13.00 m

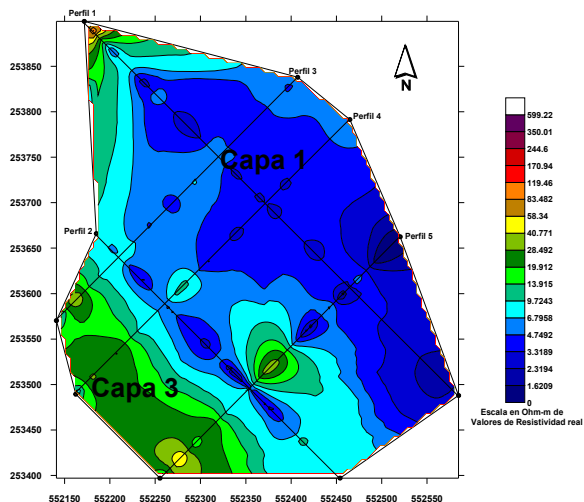


Mapa de Resistividad real para profundidad de 17.00 m





Mapa de Resistividad real para profundidad de 21.00 m



Mapa de Resistividad real para profundidad de 26.00 m

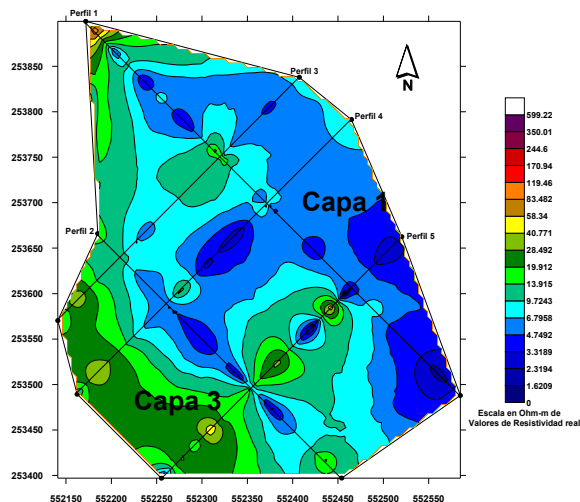


Figura 12,13,14,15

Mapa de Resistividad real para profundidad de 30.00 m

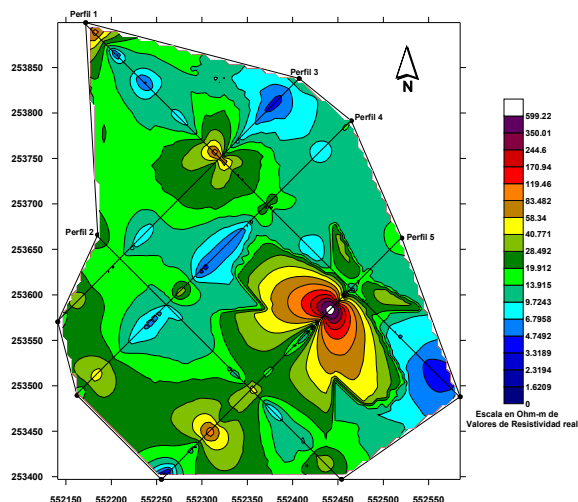


Figura 16

Interpretación de los perfiles sísmicos.

Para el análisis de los resultados y la interpretación geológica de los datos sísmicos se tuvieron en cuenta tanto el estudio de las características dinámicas como cinemáticas de las ondas que se registraron en los trabajos de campo, es decir, se tomaron en consideración para este análisis la forma de las ondas registradas y sus cambios en espacio y tiempo, así como los índices relacionados con el tiempo de llegada de las ondas a los diferentes receptores sísmicos situados a lo largo del tendido de observación.

Del proceso de interpretación se obtuvo como producto final perfiles sísmicos para cada trocha o perfil medido, los que muestran una combinación de datos sísmicos asociados con las capas ingeniero geológicas detectadas, ver a continuación los cortes finales.

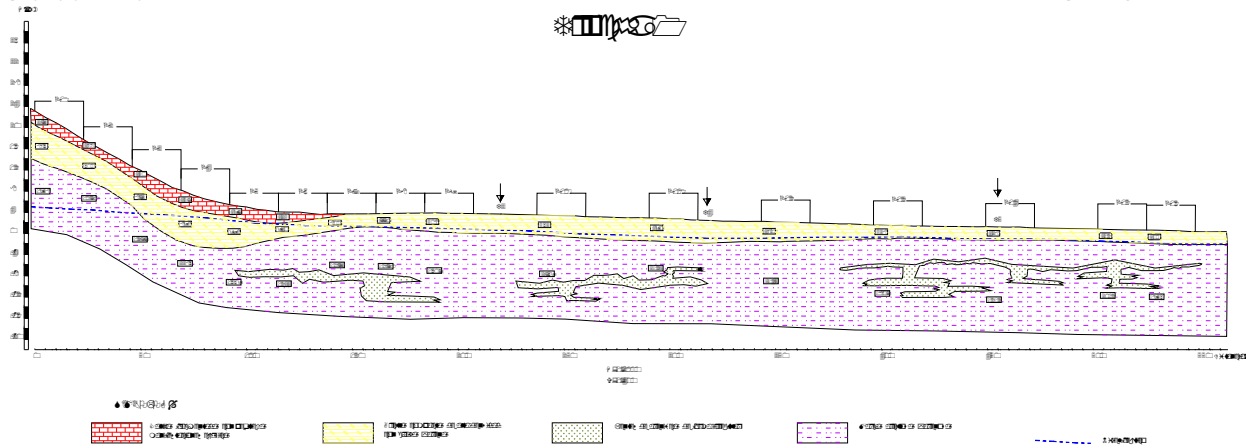
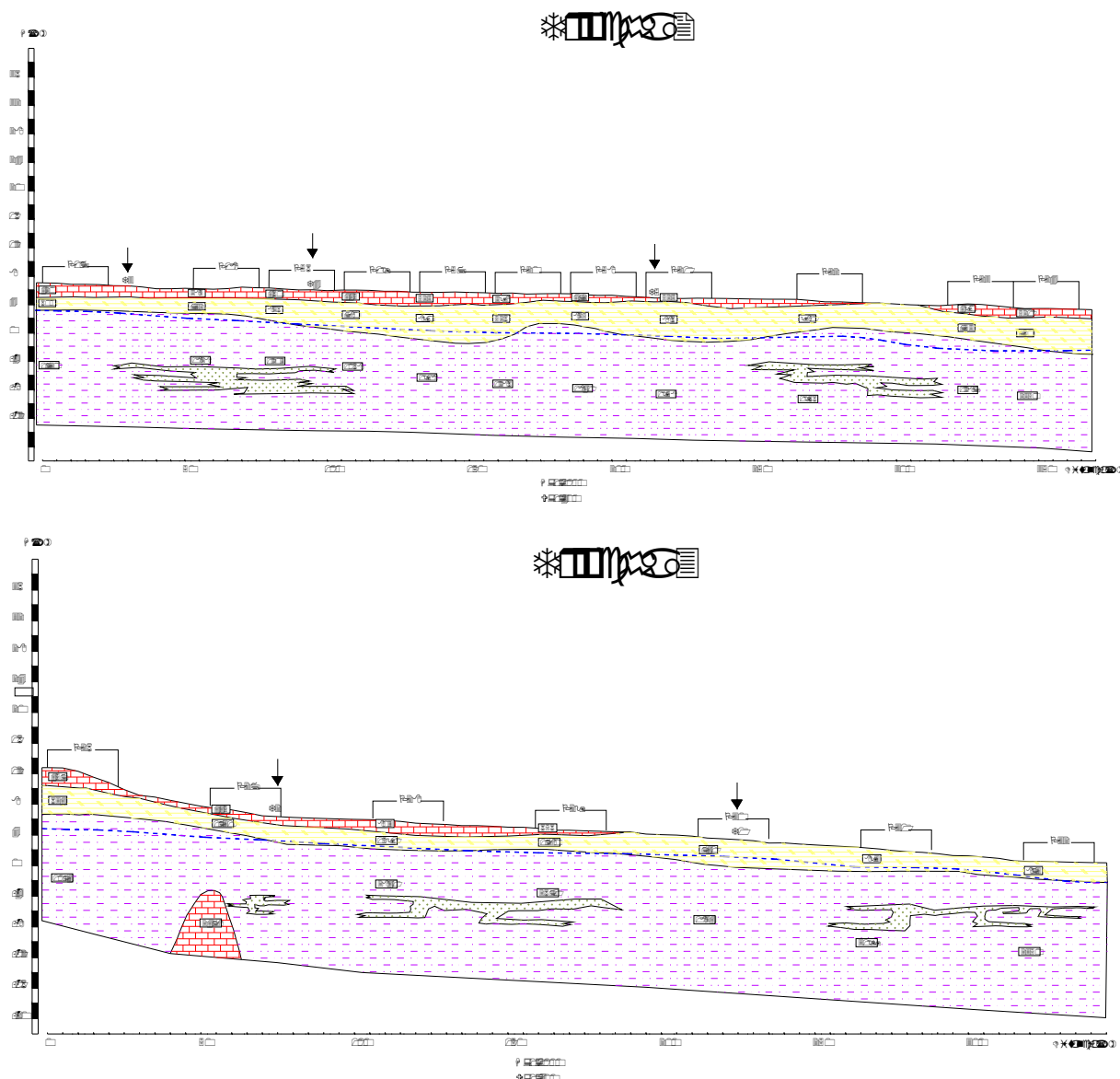


Figura 17



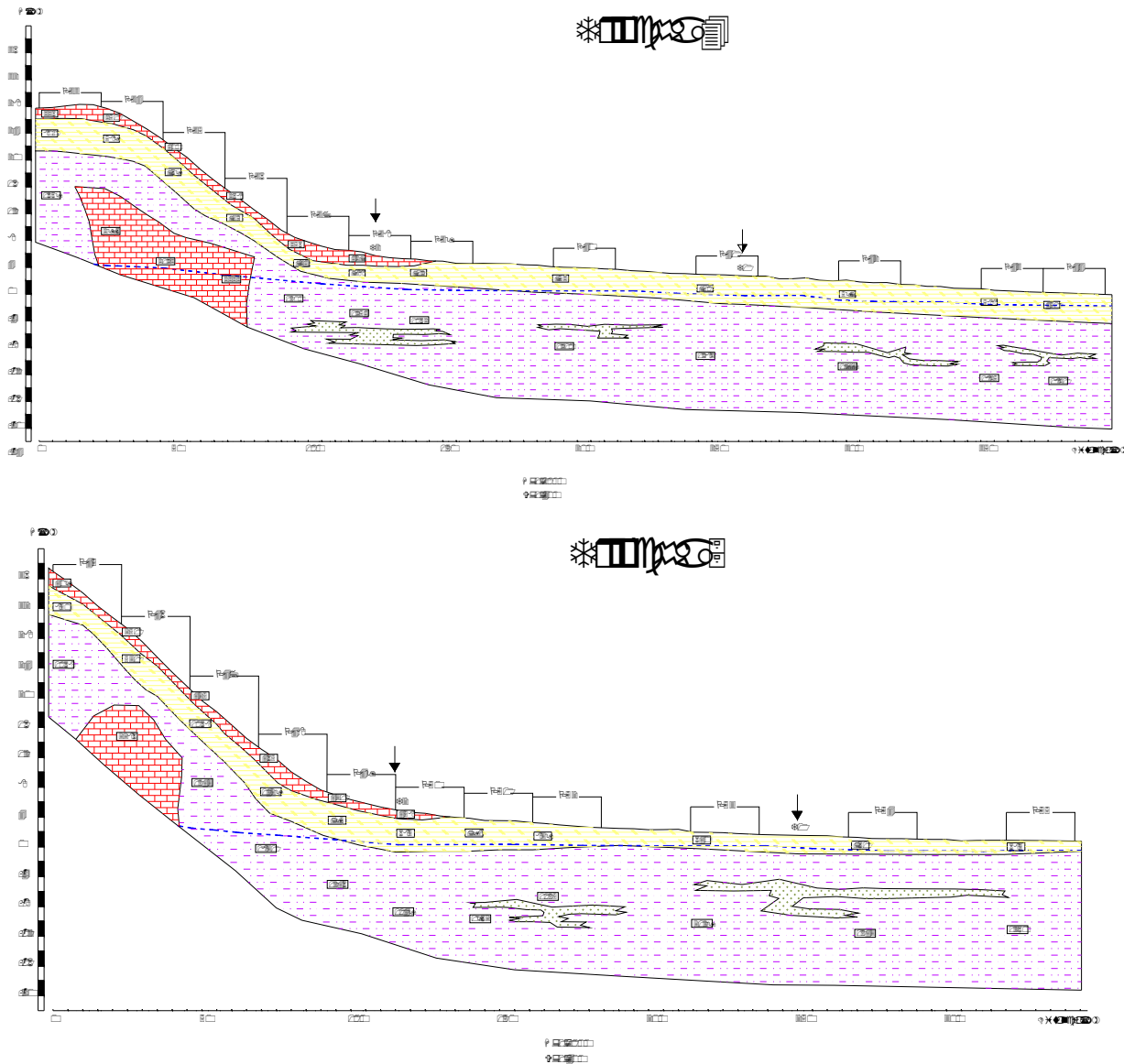


Figura 18,19,20,21

En todos los gráficos se puede observar que desde el punto de vista sísmico se distinguen tres horizontes refractores, que coinciden con fronteras geológicas bien definidas, observándose además un incremento paulatino de las velocidades efectivas con la profundidad.

Generalmente en la zona estudiada y coincidiendo con las cotas más elevadas aparecen rocas calizas muy alteradas con pequeñas manifestaciones cársticas, las cuales presentan una velocidad que oscila entre (290 y 400) m/s y un espesor variable que puede llegar a alcanzar hasta 1.5 m.

En este caso las manifestaciones cársticas de esta capa son pequeñas cavernas y hoyos de disolución que por lo general no sobrepasan los 0.30 m de profundidad.

Subyaciendo a estas rocas aparece una capa de arcillas compactas con abundante contenido de gravas y arenas que presentan velocidades entre (398 y 1250) m/s y con espesor que oscila entre (1.5 y 4) m, el límite inferior de esta capa generalmente es el nivel freático.

El contacto entre estas dos capas siempre es muy irregular, observándose zonas donde prácticamente no está definido este contacto.

Las capas anteriormente descritas sobreyacen a una capa de rocas de composición muy heterogénea, mostrando grandes variaciones de las velocidades tanto en la vertical como en la

horizontal (área). Los valores de las velocidades sísmicas, la forma de sismogramas y el comportamiento de los hodógrafos (domocrónicas), son el reflejo de la presencia de margas arcillosas y calcáreas, así como la presencia de calizas arcillosas de baja dureza que conforman el corte a estas profundidades, en las que se observan velocidades que fluctúan entre (1500 y 2800) m/s. Es muy importante destacar que en los sismogramas se observa con bastante frecuencia la interrupción de los ejes de igual fase, lo cual está justificado por la presencia de lentes muy irregulares de areniscas que se presentan fundamentalmente entre las profundidades de (11 a 17) m.

Las zonas anómalas más significativas desde el punto de vista sísmico y geológico se manifiestan en los perfiles 3, 4 y 5, donde dentro las margas arcillosas y calcáreas, se observa un incremento notable de las velocidades sísmicas entre (2300-2560) m/s, que pudieran estar asociados a grandes bloques de calizas. La zona detectada presenta estructuras muy irregulares en cuanto a forma y tamaño; lo que sugiere la presencia de los bloques anteriormente señalados. Esta hipótesis se ve reforzada ya que estas anomalías se observan en las cercanías al límite lateral entre las Formaciones Paso Real y Güines.

Estimación del nivel freático

Para la estimación del nivel freático se toma en consideración que este horizonte se encuentra ubicado en las rocas del Eoceno, de la Formación Paso Real, conformados por margas arcillosas y calcáreas, con presencia de algunas calizas, etc.

Al analizar los resultados de la interpretación sísmica se observan que existen ondas refractadas próximas al límite del manto freático y que las mismas tienen una velocidad efectiva que varía entre (1300 y 1560) m/s, estas ondas refractadas se manifiestan en las primeras entradas a (14 y 24) m del punto de excitación.

Este horizonte acuífero coincide como se dijo anteriormente con el límite inferior del contacto de las arcillas compactas y las margas arcillosas.

Según datos de la perforación la profundidad del manto freático se ubica entre (1.30 y 8) m, es de significar que la interpretación datos sísmicos respecto a la posición de este horizonte concordaron con gran precisión con los datos de perforación ya que las diferencias máximas entre ambos no superó 1.0 m como promedio.

Estimación de los módulos elásticos del terreno

A partir del conocimiento la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno se han estimado los módulos de elasticidad en estado natural para las diferentes litologías presentes en la zona estudiada, específicamente las arcillas compactas y las margas arcillosas, que en algunas literaturas consultadas se les denomina suelos calizos. Además se ofrecen como datos adicionales otras propiedades como son: la resistencia a la compresión, la densidad húmeda y el coeficiente de Poisson.

RESUMEN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS								
PARÁMETROS			Capa 1			Capa 2		
			Mín	Máx	Prom	Mín	Máx	Prom
Módulo Elástico	E	Kg/cm ²	1037	3786	1347	5266	20658	14175
Coficiente de Poisson	δ	-	-	-	0.33	-	-	0.35
Densidad Húmeda	ρ _f	Kg/cm ³	17.5	19.4	18.0	19.9	22.3	21.0
Resistencia a la Compresión	Rc	kg/cm ²	16.93	36.75	22	44.80	118.0	90.68

Capa 1. Arcillas compactas, que pueden presentar abundantes gravas y arenas.

Capa 2. Margas arcillosas y calcáreas (suelos calizos).

CONCLUSIONES

Según el aporte de la interpretación de los datos obtenidos con las técnicas geofísicas de Tomografía Eléctrica y Sísmica de Refracción Somera, se puede arribar a la conclusión de que los suelos del área investigada de acuerdo a las propiedades físicas que en ellos se analiza, se han definido la existencia de tres capas ingeniero geológicas las que a su vez se asocian a la clasificación de suelos según el SUCS.

La capa No 1 se caracteriza por los valores más débiles detectados del parámetro de la resistividad eléctrica real estando en el orden de 0.5 Ohm-m hasta 20 Ohm-m, por su parte con respecto a las velocidades de las ondas sísmicas estas se manifiestan con incrementos de velocidades entre (398 y 1250) m/s. Esta capa se asocia a suelos arcillosos arenosos, de plasticidad media a alta, con la presencia de componentes areno-gravosos, esta capa esta ampliamente distribuida en toda área y se muestra para todos los niveles de profundidades, se muestra con los colores en tonos de azules en las curvas anómalas de resistividad eléctrica real, clasifica según el SUCS como un suelo del tipo CL.

La capa No 2 caracterizándose por valores máximos registrados para el área, los que están en el rango de 120 Ohm-m hasta 400 Ohm-m, con respecto a las velocidades de las ondas sísmicas se manifiestan con incrementos de velocidad que oscila entre (290 y 400) m/s. Esta capa de acuerdo a la distribución de los valores se localiza para la parte superficial del corte se asocia con las rocas calizas las que presentan diferente grado de meteorización, agrietadas y muy alteradas, además se presentan margas arcillo-arenosas y materiales calcáreos, se pueden apreciar la distribución de esta capa en tonos de colores rojos en los planos de la resistividad eléctrica real y como se aprecia es la de menor distribución en el área, solo se presenta para los planos de las profundidades mas superficiales hasta los 4.0 m.

La capa No 3 presenta un comportamiento de valores que oscilan entre 20 Ohm-m y 120 Ohm-m, considerados como valores intermedios de la resistividad eléctrica real para este estudio, para el caso de las velocidades de las ondas sísmicas estas fluctúan entre (1500 y 2800) m/s. En esta capa se representa a un suelo areno-limo-arcilloso con gravas y fragmentos de caliza de color blanco - crema, de plasticidad baja, además de la presencia de material carbonatado, clasifica según el SUCS como un suelo del tipo SC. La misma esta medianamente distribuida para el área y para los diferentes niveles de profundidades, se exhibe en colores en tonos de verde en el caso de los cortes de la resistividad eléctrica real.

Según esta investigación se estimo la profundidad del nivel freático, y el mismo generalmente se encuentra ubicado en el límite inferior del contacto de las arcillas compactas con las margas arcillosas y calcáreas

La capa donde aparecen las margas arcillosas y calcáreas presenta grandes variaciones tanto laterales como en profundidad de las velocidades, hecho que se corresponde con la heterogeneidad de dicha capa.

En los perfiles 3,4 y 5 se muestran zonas anómalas, representadas por el incremento brusco de las velocidades de las ondas sísmicas y pequeños cambios discordantes de la resistividad eléctrica real, las cuales pueden estar justificadas por la presencia del contacto lateral entre las Formaciones Güines y Paso Real.

RECOMENDACIONES

Realizar calas comprobatorias entre los perfiles 3,4 y 5, con el objetivo de identificar la naturaleza de las anomalías reflejadas por esta investigación geofísica.

Aplicar la combinación de ambas técnicas geofísicas en estudios ingenieriles con similares intereses debido a la rapidez e inmediatez en la información y la posibilidad de clasificación geotécnica en área de grandes dimensiones de suelos investigados

Con la aplicación de estas técnicas geofísicas no invasivas en estudios geotécnicos de esta envergadura se protegerá al medio ambiente evitando los daños colaterales que una investigación geotécnica trae aparejado en el desbroce y uso de técnicas más complejas y costosas.

Usar la combinación de ambas técnicas geofísicas con la finalidad de racionalizar, dirigir u orientar los trabajos de perforación y laboreos minimizando los mismos trayendo como resultado una disminución en los costos que una investigación de este tipo conlleva.

BIBLIOGRAFÍA

106-Pro-01 Procedimientos Estudios geofísicos y Regionales y Zonales.

Tenreiro R. "Fundamentos de la Prospección Sísmica".

Conde, M. 1989. Métodos geoeléctricos en las investigaciones Ingeniero-Geológicas, La Habana.

Mapa Ingeniero Geológico de Condiciones y Regionalización de la Provincia de Cienfuegos a escala 1: 50 000.

NC 59 2000 Geotecnia. Clasificación Geotécnica de los Suelos.

Instructivo Metodológico ENIA, Elaboración Estadística de los Parámetros que Definen las Propiedades físicas de los Suelos.

Estévez Suárez A (2009) Investigación Ingeniero Geológica para factibilidad Planta de Amoniaco, Urea y CO2 Variante Calicito.