



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Facultad: Geología y Minería
Departamento de Geología

Trabajo de Diploma

En opción al Título de
Ingeniero Geólogo

**Evaluación de las condiciones Ingeniero -
Geológicas del Parque Eólico Playa “La Herradura
I”, Las Tunas, a partir de la interpretación de un
complejo de métodos geofísicos.**

Autor: Yosmany Leyva Trotman

Tutores: Ing. Liuska Fernández Diéguez

Ing. Carlos Bauza Ramos

Moa 2015
“Año 57 de la Revolución”



Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecer a Dios, por ser mi gran compañero, y estar siempre conmigo.

Agradecer a mis tutores Liuzka Fernández y Rolando R. Gómez Iglesias por la ayuda, la paciencia y el apoyo brindado durante la realización de este trabajo de diploma.

Como olvidar a mis grandes amigos José Carlo, Jadier, Mario y a mi hermanito Carlos E. Córdova, por compartir conmigo tantos momentos y por sus consejos, gracias por estar siempre a mi lado, gracias por ser parte importante de mi vida y por dejarme ser parte de las suyas, porque de una u otra forma el hecho de conocerlos, me dio gran apoyo y me está permitiendo finalizar esta etapa de mi vida, para comenzar con una nueva.

Gracias a todas esas personas que hicieron más gratos estos años de universidad ya que a pesar de que somos de distintos lugares, creamos lazos importantes, que espero no se rompan.

Gracias, infinitas gracias a todos.....

Dedicatoria

- ✓ *En estos momentos, en que puedo decir que he cumplido una etapa de mi vida, debo dar gracias a mis padres Doraima Trotman, Omar Leyva y Alberto Ricardo, por haber sido un pilar fundamental para lograr mis objetivos y estar siempre conmigo. Padres, gracias por el esfuerzo y sacrificio que día a día hicieron para que pudiera salir adelante, gracias por el amor incondicional y la dedicación que han puesto para que llegara este momento.*
- ✓ *A mi hermano Yosvany Leyva, porque es y será mi mejor amigo.*
- ✓ *A mi novia Dayana Chávez, por convertirse en la persona que creyó en mí cuando más lo necesitaba.*

*Esta memoria va dedicada con mucho amor a mi
familia.*

Pensamiento



“No debemos afirmar lo que no podemos probar. La intuición es un auxilio, muchas veces poderosa, pero no es una vía científica e indudable para llegar al conocimiento. ”

Cmdt. Hugo Chávez Frías

Resumen

El trabajo titulado **Evaluación de las condiciones Ingeniero - Geológicas del Parque Eólico Playa “La Herradura I”, las Tunas, a partir de la interpretación de un complejo de métodos geofísicos**; tiene como objetivo evaluar la condiciones ingeniero - geológica del medio donde se realizarán las cimentaciones para emplazar los aerogeneradores del Parque Eólico Playa “La Herradura I”. La metodología aplicada en el área inició por la revisión de los trabajos precedentes y culminó con la interpretación de los resultados a partir de las propiedades físico - mecánicas, los trabajos de geofísica, las condiciones hidrogeológicas y el comportamiento de los suelos en el área de estudio. A partir de la interpretación de los resultados de los métodos geofísicos empleados (sísmica y tomografía eléctrica), se determinaron las propiedades físico - mecánicas, el corte ingeniero geológico y los parámetros hidrogeológicos (profundidad del nivel del agua y coeficiente de filtración), lo que permitió conocer las condiciones ingeniero - geológicas del área de emplazamiento de los aerogeneradores y sus alrededores, identificar las zonas anómalas originadas por procesos de carsificación y determinar parámetros dinámicos y de deformación del corte geológico. Concluimos que estos resultados pueden ser empleados para obtener un mayor conocimiento sobre la geología y condiciones ingeniero - geológicas del área, para así tomar medidas correctoras del comportamiento de los suelos evitando futuros problemas en la estructura de los aerogeneradores.

Summary

The work titled **Evaluation of the Engineer-geologic conditions of the Eolic Park Beach “The Horseshoe”, the Tunas, starting from the interpretation of a complex of geophysical methods.** He has as objective to evaluate the conditions engineer - geologic of the means where they will be carried out the foundations to summon the aero generators of the Eolic Park Beach “The Horseshoe”. For this a methodology was applied in the area leaving of the revision of the precedent works and that it culminates with the interpretation of the results starting from the physical-mechanical estates, the geophysics works, the conditions hydrogeological and the behavior of the floors in the study area.

Starting from the interpretation of the results of the methods geophysical employees (seismic and electric tomography), the physical - mechanical estates, the cut geologic engineer and the parameters hydrogeological were determined (depth of the water level and filtration coefficient), what allowed to know the geologic conditions engineer of the area of location of the aero generators and their surroundings, to identify the anomalous area originated by carsificación processes and to determine dynamic parameters and of deformation of the geologic cut. These results can be employees to obtain a bigger knowledge on the geology and geologic conditions engineer of the area, he stops this way to take measured proofreaders of the behavior of the floors avoiding future problems in the structure of the aero generators.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Características geográficas y geológicas del área de estudio.	8
I.1 Ubicación geográfica y vías de acceso principales	8
I.2 Relieve	9
I.3 Clima y Vegetación	10
I.4 Características Geológicas de la región	11
I.5 Geología del área de estudio	12
I.5.1 Tectónica.....	15
I.5.2 Procesos Geodinámicos y Antrópicos	18
I.5.3 Características Sismológicas del área de estudio	21
Capítulo II: Metodologías de los trabajos de investigaciones aplicadas	23
Introducción.....	23
II.1 Primera etapa (Revisión Bibliográfica)	24
II.1.1 Trabajos de Geofísica	24
II.2 Segunda etapa (Gabinete)	29
Capítulo III: Interpretación Geólogo – Geofísica	30
Introducción.....	30
III.1 Resultados de los métodos geofísicos	30
III.1.1 Sísmica.....	32
III.1.2 Tomografía Eléctrica	34
III.2 Parámetros Hidrogeológicos	36
III.2.1 Profundidad del Nivel de las Aguas.....	37
III.2.2 Coeficiente de Filtración	37

III.3 Condiciones Ingeniero - Geológicas y Propiedades Físico - Mecánicas	38
III.4 Fenómenos Físico - Geológicos	44
Conclusiones	51
Recomendaciones	52
Bibliografía	53
Anexos	

Introducción

La Política Energética Cubana referida a la electricidad está dirigida a asegurar el suficiente suministro de esta energía acorde con el desarrollo energético esperado. En los últimos cinco años, el consumo energético en Cuba ha crecido establemente en la misma manera que la economía nacional ha recobrado su salud. La generación de electricidad se basa aún en el uso intensivo de los combustibles fósiles, pero la estructura de tal generación ha cambiado. Cuba cree firmemente que el desarrollo y la aplicación de la potencia eólica, así como otras fuentes renovables de energía que son la clave para el futuro, no solo para nosotros, sino para todo el mundo.

Una revisión del uso de la potencia eólica en nuestro país, muestra que las principales oportunidades están en los sitios donde no hay red eléctrica, fenómeno común en áreas rurales de los países en desarrollo. Miles de sistemas aislados para el bombeo de agua operan en Cuba, pero el uso de pequeños sistemas de energía eólica es limitado y prácticamente no existen. MORENO, C. ETAL. The Use of Wind Energy in Cuba, Proceedings of European Wind Energy Conference, Goteborg, Sweden, 1996.

En los últimos quince años, las condiciones básicas han sido creadas para impulsar el uso de algunas energías renovables como complemento al balance energético nacional y para la electrificación de objetivos aislados. Existen limitaciones prácticas a los intentos de desarrollar el mercado de parques eólicos conectados a la red eléctrica. Las principales limitaciones para el desarrollo del mercado eólico en Cuba son:

- El costo de generación debe estar por debajo del costo evitado de la energía.
- El bajo costo de la electricidad convencional para el sector industrial.
- No hay un programa nacional para el desarrollo de la energía eólica.

Se entiende por Parque Eólico a un grupo de aerogeneradores que transforman la energía eólica en energía eléctrica. Los parques eólicos pueden situarse en tierra o en mar (*offshore*), siendo los primeros los más habituales, aunque los parques

offshore han experimentado un crecimiento importante en Europa en los últimos años.

El número de aerogeneradores que componen un parque es muy variable, y depende fundamentalmente de la superficie disponible y de las características del viento en el emplazamiento. Antes de montar un parque eólico se estudia el viento en el área elegida durante un tiempo que suele ser superior a un año. Los parques eólicos proporcionan diferente cantidad de energía dependiendo de las diferencias sobre diseño, situación de las turbinas, y por el hecho de que los antiguos diseños de turbinas eran menos eficientes y capaces de adaptarse a los cambios de dirección y velocidad del viento. ECOSOL SOLAR, COPEXTEL S.A. Proposal for cooperation, Habana, Cuba, 2002.

El potencial eólico en Cuba

De acuerdo con el estudio Evaluación del Potencial Eólico Cubano (de 1991 a 1998) y el Atlas Eólico Cubano Preliminar, la costa norte desde Villa Clara hasta Guantánamo es una región de altas velocidades del viento, donde por lo menos ocho zonas han sido identificadas con velocidades medias anuales superiores a 5,7 m/s a 10 m de altura. No obstante, el régimen de viento no es homogéneo y es fuertemente influenciado por condiciones locales, debido a la positiva interrelación entre los vientos alisios y las brisas locales, los eventos meteorológicos estacionales, tales como los frentes fríos provenientes de Norteamérica y otros que refuerzan el régimen de viento en la costa norte. IGP. 1997. Estudios sobre Geología de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica (CNDIG). Ciudad de La Habana. 140-153, 165-178 pp.

Lo anteriormente mencionado, junto con las ventajas del paisaje y el uso limitado de la tierra, empleada fundamentalmente para la agricultura y el ganado, crean buenas condiciones para instalar entre 200 y 500 MW en la isla grande, esto representa entre el 5 y el 12 % de la capacidad de generación instalada actualmente por el Sistema Energético Nacional (SEN), en dependencia del tamaño de las turbinas que se empleen. MORENO, C. ET AL. The Use of Wind

Energy in Cuba, Proceedings of European Wind Energy Conference, Goteborg, Sweden, 1996.

Para la construcción de Parques Eólicos es necesario el estudio detallado del terreno donde se construirá la obra, dicho estudio se realiza a partir del empleo de diferentes métodos geofísicos.

Los métodos geofísicos intentan evaluar las características del terreno basándose en la medida de ciertas magnitudes físicas tomadas generalmente en la superficie del terreno. No obstante, gracias a su rapidez y economía, están especialmente indicados para investigar áreas extensas.

Pueden plantearse las siguientes opciones:

- Métodos Geoeléctricos.
- Prospección sísmica.

Métodos eléctricos

Permiten evaluar la resistividad media del subsuelo mediante la medición de una diferencia de potencial entre dos electrodos situados en la superficie. La profundidad hasta la que puede aplicarse varía según el medio geológico.

Por lo tanto, tienen una menor aplicación en la ingeniería civil que los métodos sísmicos de refracción, aunque pueden servir para detectar la profundidad del nivel freático. Donde sí tienen una utilización interesante es en la determinación de cavernas en zonas cársticas, dada la clara diferencia de resistividad existente entre un terreno y el aire, siendo esta última prácticamente infinita.

Métodos sísmicos

Constituyen pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno como parte de las técnicas de reconocimiento geotécnico.

La Cimentación: no es más que el conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Se buscará siempre que el terreno de apoyo sea resistente y, si

eso no fuese posible, habrá que buscar soluciones alternativas. En muchos casos, los cimientos no solo transmiten compresiones, sino que mediante esfuerzos de rozamiento y adherencia llegan a soportar cargas horizontales y de tracción, anclando el edificio al terreno si fuese necesario.

La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la superestructura. Hay que prestar especial atención ya que la estabilidad de la construcción depende en gran medida del tipo de terreno. Siempre que sea posible, se preferirá que los cimientos estén solicitados por cargas centradas, ya que las excéntricas pueden provocar empujes diferenciales.

Capacidad portante: es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente es la máxima presión media del suelo o terreno. En general las cargas que transmiten las cimentaciones a las capas de terreno causan tensiones y por lo tanto deformaciones que dependen en gran medida de las propiedades del terreno soportante.

Estas deformaciones tienen lugar siempre y su suma produce asentamientos de las superficies de contacto entre cimentación y terreno, es por ello que las características del terreno sobre los que se construye influyen de modo determinante en la selección del tipo y tamaño de los cimientos usados; estos últimos a su vez, afectan significativamente el diseño de la superestructura, el tiempo de construcción del edificio y, en consecuencia, los costos de la obra.

Por lo tanto, para lograr una edificación segura y económica es fundamental disponer de cierto conocimiento del suelo, para saber si se podrá construir en terreno natural o se necesita de un mejoramiento, que variara según las características del terreno, el tipo de construcción y el uso que se le dé.

Generalidades del Parque Eólico Playa “La Herradura I”, las Tunas

El Parque Eólico Playa “La Herradura I”, ocupa alrededor de 12 kilómetros cuadrados, con una potencia de 51 Mega watt. El estudio de las condiciones para su construcción comenzó en el año 2013, en la zona norte de Las Tunas y será el mayor de los construidos en Cuba. El proyecto contempla la instalación de 34

aerogeneradores en la costa norte, desde La Herradura hasta Punta de Lirio, en el municipio de Jesús Menéndez, a más de 700 kilómetros al este de La Habana.

Según el estudio de prefactibilidad técnica y económica, el parque tendrá capacidad para generar 150 gigas watt/hora al año, lo que permitirá reducir emisiones de gases contaminantes y ahorrar costos de importación. Investigaciones realizadas sobre la prospección eólica en Cuba, revelaron que el potencial energético de ese enclave de la costa norte de Las Tunas es de los más altos y estables del país, comparable al de zonas de otras naciones con gran aprovechamientos de la fuerza de los vientos.

El lugar fue escogido por los especialistas debido al constante y bien organizado régimen de brisas (5,6 m/s, provenientes del Este), su cercanía a puertos e industrias, la disposición de la costa, la baja incidencia de fenómenos meteorológicos extremos y el reducido impacto ambiental. La fabricación de las estructuras de acero y la extracción de los áridos necesarios para la inversión, acontecerán en áreas aledañas al emplazamiento, sin graves afectaciones medioambientales. Sitio web de las Fuentes Renovables de Energía en Cuba. 2015. (<http://www.ecured.cu>).

Por las características de la zona donde se prevé realizar el emplazamiento de los aerogeneradores que conformarán el Parque Eólico Playa “La Herradura I”, se hace necesaria la presente investigación: **Evaluación de las condiciones Ingeniero - Geológicas del Parque Eólico Playa “La Herradura I”, las Tunas, a partir de la interpretación de un complejo de métodos geofísicos.**

El **Problema** de nuestra investigación está dado por el insuficiente conocimiento sobre las condiciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas del medio natural donde se emplazarán las bases de los aerogeneradores del Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

Objeto de estudio: El terreno donde se construirá el Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

El **Objetivo General** de la investigación es evaluar la condiciones ingeniero-geológica del medio donde se realizarán las cimentaciones para emplazar el Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

Objetivo específicos:

1. Determinar las condiciones ingeniero - geológicas del área de emplazamiento de los aerogeneradores y sus alrededores.
2. Determinar parámetros dinámicos y de deformación del corte geológico, a través de un complejo de métodos geofísicos.
3. Identificar las zonas anómalas originadas por procesos de carsificación.

El Campo de acción: Las condiciones ingeniero geológicas de los suelos donde se construirá el Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

Hipótesis: Si se conocen los datos geofísicos, las propiedades físico - mecánicas, el corte ingeniero - geológico y los parámetros hidrogeológicos, entonces es posible caracterizar el medio natural donde se realizará el emplazamiento del Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

Los aportes fundamentales de la investigación

Los aportes fundamentales de esta investigación van encaminados a ofrecer la información necesaria que se requiere para contrarrestar fenómenos físico - geológicos, desarrollados en el medio natural del emplazamiento del objeto de obra que nos ocupa, dando así mayor conocimiento y grado de detalle sobre la geología y condiciones ingeniero - geológicas del área donde se construirá el Parque Eólico Playa “La Herradura I”. También es de gran importancia a la hora de realizar cambios de emplazamiento de algunos aerogeneradores por las condiciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas extremadamente complejas, en esto influyó notablemente la aplicación del complejo de métodos de geofísicos utilizados en la investigación.

Estado del Arte de la Investigación

Parque Eólico Cerro de Hula, Tegucigalpa, República de Honduras

El Parque Eólico Cerro de Hula, es el primero instalado dentro del territorio hondureño. Fue ideado primeramente como una futura solución a la producción de electricidad en el país, dicho proyecto comenzó con una producción de 67 MW de electricidad en el mes de octubre del 2011, este proyecto (Costo: US\$ 290 millones de dólares), ahora su producción es de 102 megavatios de capacidad eléctrica ya finalizado en diciembre del 2011. Sitio web de las fuentes renovables de energía en Cuba (ecured@idict.cu)

Parque Eólico Tandil, Buenos Aires, Argentina

Puesto en servicio desde el 25 de mayo de 1995, con dos turbinas eólicas marca Neg Micon, con una potencia nominal de 800 kW. Cuenta con 2 máquinas de 400 KW cada una. El parque está conectado a la red y así contribuye a la generación de energía. Les suministra energía a 2046 usuarios rurales de la zona. Sitio web de las fuentes renovables de energía en Cuba (ecured@idict.cu)

Parque Eólico Gibara, Holguín, Cuba

Implementación de un parque eólico con potencia instalada de 4,5 MW conectado a la red local y sincronizada al Sistema Energético Nacional (SEN), emplazado en el municipio de Gibara al norte de la provincia de Holguín. La electricidad producida se destina a la sustitución de parte de la energía generada a partir de la quema de combustibles fósiles por las plantas que aportan (SEN). Sitio web de las fuentes renovables de energía en Cuba (ecured@idict.cu)

Parque Eólico de Turiguanó, Ciego de Ávila, Cuba

Fue inaugurado el 21 de abril de 1999 para aportar su energía limpia al Sistema Electroenergético Cubano en la región Turiguanó - Cayo Coco. Aporta 998.5 MWh anual de energía a la red local, que es el 40 % del consumo anual actual de la Isla Turiguanó, que dejará de recibirse del SEN, ahorrando 430 toneladas anuales de combustible y evitando la emisión de 215 toneladas anuales de contaminantes a la atmósfera. Tomado del Sitio web de las fuentes renovables de energía en Cuba (ecured@idict.cu).

Capítulo I: Características geográficas y geológicas del área de estudio.

I.1 Ubicación geográfica y vías de acceso principales

La zona seleccionada para el emplazamiento de los aerogeneradores está ubicada a lo largo de la faja litoral Norte de la provincia de las Tunas, más directamente al Este del poblado o caserío Playa “La Herradura”, de la que toma el nombre, tiene una longitud en dirección Este - Oeste de 6 km y de 2 km máximo en dirección Norte - Sur, lo que representa una superficie aproximada de 12 km cuadrados. Cartográficamente se enmarca en las hojas 4979-IV-d, 4979-IV-c, 4979-IV-b, y 4979-IV-a, de mapas a escala 1:25 000.



Figura # 1: Imagen satelital del área de estudio. Tomado de Rodríguez Prieto, Pedro. 2012. Informe del Mapeo Ingeniero Geológico del Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

La principal vía de acceso a la zona de interés es la carretera que se extiende desde la Ciudad de Puerto Padre hasta la salinera ubicada al Oeste de Playa “La Herradura”. El acceso al resto de la zona se realiza desde el Sur a través de terraplenes en muy mal estado de conservación y caminos de leñadores.

I.2 Relieve

EL área de estudio aparece ubicada directamente sobre la Primera Terraza denudativa de origen marino, cuya superficie se inclina con ángulos entre 1 y 3 grados en dirección al mar. El relieve de la terraza es acentuadamente llano, aunque presenta sectores relativamente elevados y otros hundidos (Figura 2) como expresión de los efectos de la actividad Neotectónica, por la acción de los procesos cárscicos y por la existencia de camellones alargados y dispuestos paralelamente a la línea de costa, originados por la acumulación de depósitos de tormenta. En general las cotas de la superficie varían entre 1 y 3 metros. Batista Martínez, A. 2001. Calas hidrogeológicas Granja Integral Cultivo del camarón. Las Tapas, Municipio Jesús Menéndez, ENIA, UA No. 5.

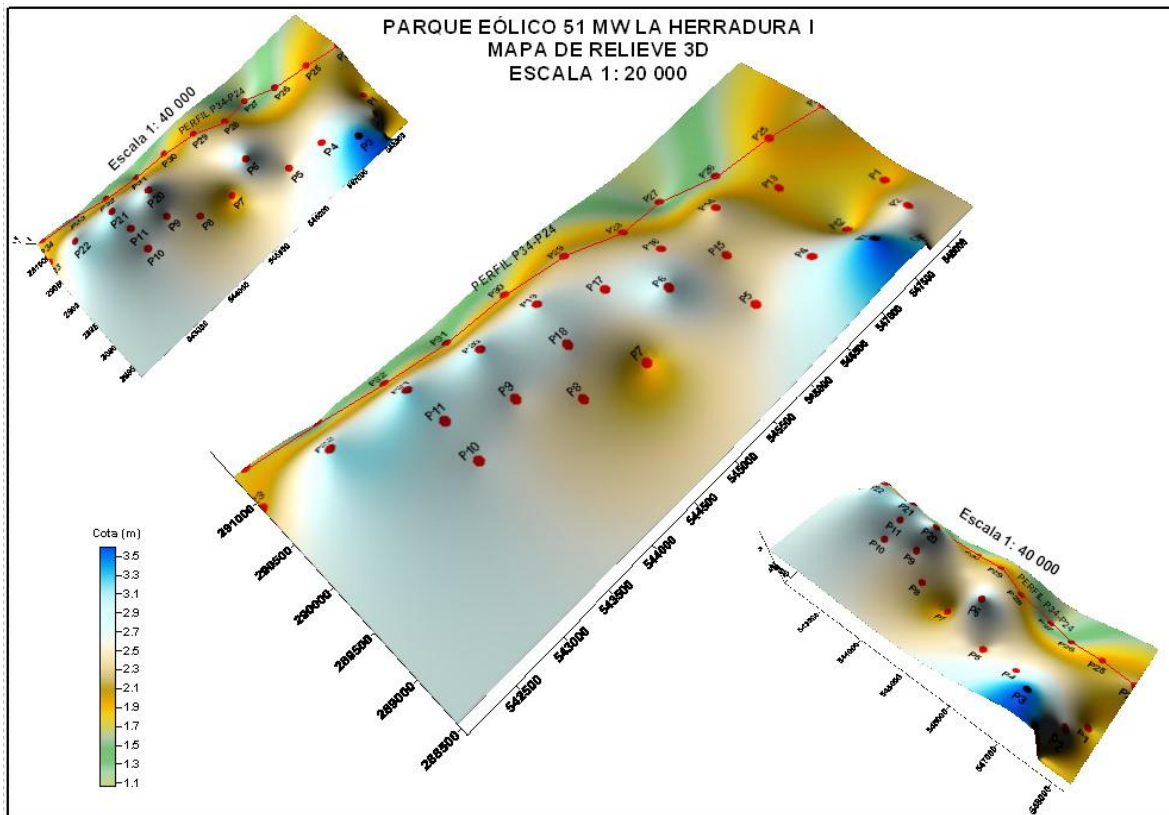


Figura # 2: Mapa 3D del relieve del Parque Eólico Playa “La Herradura I”. Tomado de los Informes Ingeniero - Geológicos ofrecidos por la ENIA.

Las formas cárscicas predominantes en toda su superficie son los lapiés de bordes filosos, las dolinas, casimbas, hoyos cárscicos de diferentes diámetros, pequeñas

cavernas y las acanaladuras producidas por el ensanchamiento a expensas de la carsificación de planos de fractura de ordenes inferiores.

En la parte del área próxima a la costa y coincidiendo con las zonas de inundación permanentes o periódicas se observa el fenómeno de la redeposición de carbonato en la superficie de las rocas, lo que crea una costra carbonatada compacta y cementa las rocas calizas, causando el enmascaramiento de la estructura de las mismas y borrando las formas originadas por los procesos cárlicos precedentes. Batista Martínez, A. 2001. Calas hidrogeológicas Granja Integral Cultivo del camarón. Las Tapas, Municipio Jesús Menéndez, ENIA, UA No. 5.

Al Este del caserío de Playa “La Herradura”, la faja litoral de la terraza está ligeramente levantada (1 a 2 metros) con respecto al resto del área y se observa una franja con un ancho variable (20 a 70 metros), con intenso desarrollo del Carso desnudo donde prevalecen formas de lapiés y hoyos con bordes prominentes y acentuadamente filosos.

Al Sur de esta franja aparecen acumulaciones o barras de depósitos de tormenta compuestos por gravas arenosas con guijarros y cantos de rocas calizas redondeados, sueltos o mullidos de Edad Holoceno. En el resto del área, la zona litoral de la Primera Terraza Marina se haya casi al nivel del mar, por lo que solo se observa en tramos discontinuos, pues generalmente aparece cubierta por las barras de los depósitos de tormenta, que llegan a alcanzar los 3 m de altura.

Se hace notar que el escalón de la terraza que normalmente se encuentra ubicado al Sur, no tiene expresión en las fotos aéreas ni tampoco fue encontrado durante los trabajos de mapeo, esta situación muestra que al menos la evolución geológica del bloque en que se encuentra dicha terraza ha sido muy diferente a la evolución de los bloques litorales aledaños. Batista Martínez, A. 2001, Calas hidrogeológicas Granja Integral Cultivo del camarón, Las Tapas, Municipio Jesús Menéndez.

I.3 Clima y Vegetación

El clima predominante en el área de estudio es del tipo Cálido Tropical, con estación lluviosa en el verano. En la temporada que va aproximadamente de

noviembre a abril, las variaciones del tiempo y el clima se hacen más notables, con cambios bruscos en el tiempo diario, asociados al paso de sistemas frontales, a la influencia anticiclónica de origen continental y de centros de bajas presiones extra tropicales.

De mayo a octubre, por el contrario, se presentan pocas variaciones en el tiempo, con la influencia más o menos marcada del Anticiclón del Atlántico Norte. Los cambios más importantes se vinculan con la presencia de disturbios en la circulación tropical (ondas del este y ciclones tropicales). La cubierta vegetal en general es vegetación típica de poca altura (manglares). Batista Martínez, A. 2001, Calas hidrogeológicas Granja Integral Cultivo del camarón, Las Tapas, Municipio Jesús Menéndez.

I.4 Características Geológicas de la región

Dentro de la región de estudio aparecen aflorando rocas pertenecientes a los dos niveles estructurales que caracterizan la estructura geológica del territorio cubano, el superior o Neoautóctono constituido por las rocas pertenecientes a los Sistemas Neógeno y Cuaternario y el inferior (subyacente) o Substrato Plegado compuesto por los depósitos pertenecientes a los Sistemas Cretácico y Paleógeno, el contacto entre ambos complejos estructurales está representada por una significativa discordancia estructural.

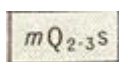
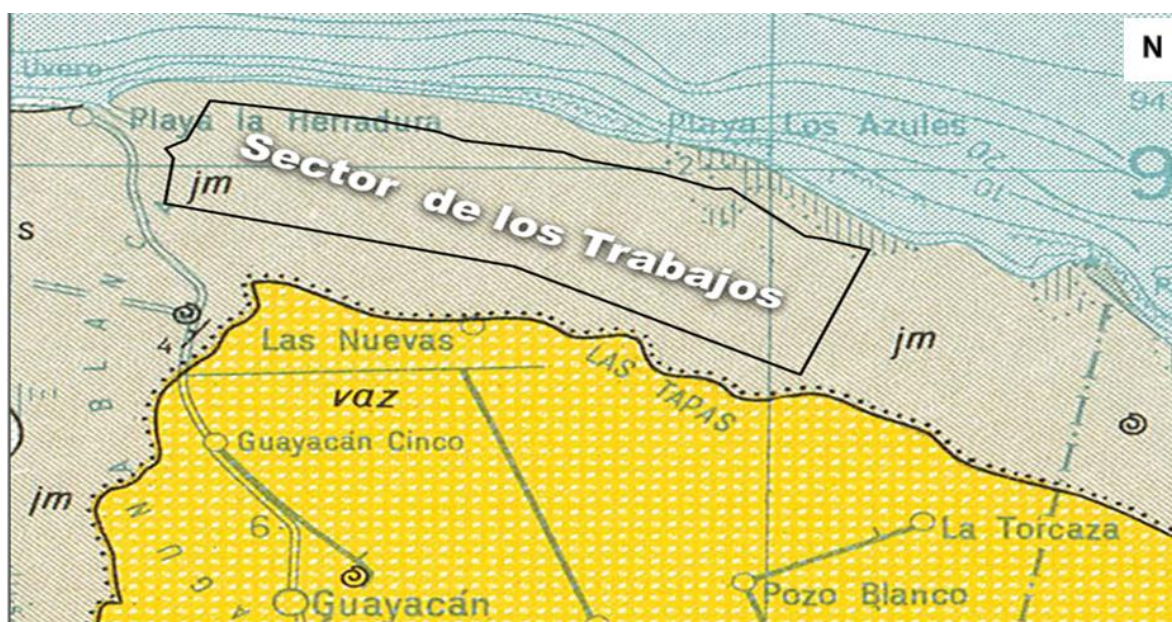
Los depósitos correspondientes al Substrato Plegado están representados por las rocas de la Fm. Gibara (gb, C_{r1-2}), pertenecientes al Sistema Cretácico que afloran al Sur-Suroeste, fuera de los límites del área de interés aparecen muy tectonizados y plegados como resultado de su emplazamiento tectónico; estas condiciones favorecen el desarrollo intenso de los procesos de carsificación (asociados a los sistemas cavernarios de considerable extensión) y de los procesos de meteorización, que pueden llegar a desarrollarse incluso a profundidades superiores a los 30 m, tendiendo a reducir sustancialmente las propiedades de resistencia y formación del macizo rocoso.

Las rocas carbonatadas y carbonatado-terrágenas del complejo Neoautóctono que abarca en su totalidad la parte superior del corte litológico presente en el área de

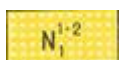
estudio, presentan bajo grado de fracturación y meteorización (a excepción de cuando son interceptadas por zonas de falla, donde aparecen de altamente fracturadas hasta trituradas) y por tanto baja calidad geotécnica, no obstante dentro de estas, las diferentes variedades petrográficas de las rocas carbonatadas aparecen en mayor o menor grado afectadas por los procesos de carsificación, presentando desde pequeñas cavidades y surcos de lixiviación hasta importantes sistemas cavernarios. Rodríguez Prieto, P; Reyes, Z.; 2012.

1.5 Geología del área de estudio

Las condiciones geólogo- estructurales descubiertas en la zona de estudio son relativamente homogéneas (Figura # 3). El corte estratigráfico está representado en su inmensa mayoría por rocas de edad Cuaternario de composiciones carbonatadas, dislocadas en mayor o menor medida por los movimientos neotectónicos y muy afectadas por los procesos de carsificación.



jm – Fm: Jaimanitas: calizas organodetríticas y calcarenitas débilmente consolidadas.



vaz – Fm: Vázquez: margas, calizas y arcillas.

Figura # 3: Recorte del mapa geológico del área de estudio. Tomado de Rodríguez Prieto, P. 2012. Informe del Mapeo Ingeniero Geológico del Parque Eólico Playa "La Herradura I".

El Corte Lito - Estratigráfico existente en el área de estudio hasta la profundidad de 25 m, está compuesto de arriba hacia abajo por las secuencias siguientes:

Depósitos de tormenta (Dt, edad Q4)

Compuestos por gravas arenosas y arenas con gravas, en ambos casos con guijarros y cantos de rocas calizas, medianamente compactadas, de colores con tonalidades grises a crema, reacción brusca al ácido clorhídrico (HCl), secas a ligeramente húmedas, estructura homogénea, los clastos de las fracciones más gruesas aparecen típicamente en la base, son poco redondeados, generalmente predomina la fracción arenosa en la parte superior.

En ocasiones estos depósitos aparecen redepositados por la acción antrópica, en su posición original forman un camellón alargado, paralelos a la línea de costa, siempre sobre las Calizas de la Primera Terraza Marina, el espesor máximo medido para estos sedimentos es de 2.5 m a 3.0 m. Existen entre la costa y el límite Norte del Parque una duna arenosa que se presenta en algunas zonas mezclada con guijarros (producto de corales fundamentalmente).

Sedimentos de origen marino, Formación Varadero (Vr, edad Q4)

Formados por arenas de grano medio a fino, poco compactas a sueltas, de composición calcárea y cuarzosa, de color blanco a crema, con espesores inferiores a 1 m, yacen en forma de barras costeras sobre las rocas de la Fm. Jaimanitas. En casi todo el litoral se desarrollan los procesos de abrasión marina donde se forman escarpes costeros de poca altura generalmente menores de 1.0 - 1.5 m. Los sedimentos de playa se localizan en la Playa "La Herradura". IGP (Instituto de Geología y Paleontología). 1994. Léxico Estratigráfico de Cuba.

Formación Jaimanitas (Js edad Q4)

Datada en el Pleistoceno Superior, la cual está formada por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas, corales de especies actuales y ocasionalmente biohémicas. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla de carbonato – arcilloso de composición ferruginosa de color rojo ladrillo. También se

encuentran calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blancuzca o amarillenta.

Desde el punto de vista estratigráfico, yace discordantemente sobre la Formación Vázquez, y cubierta concordantemente por los depósitos innominados del Cuaternario, en el caso que nos ocupa está representado por suelos incipientes de poco espesor (no sobrepasa como generalidad los 20 cm), con alto contenido de materia orgánica. El ambiente de sedimentación reconocido predominante son las facies de playa, post-arrecifal y más limitadamente arrecifal. IGP (Instituto de Geología y Paleontología). 1994. Léxico Estratigráfico de Cuba.

La Formación Vázquez (N_1^1 - N_1^2 Vq)

Representa el Mioceno en la parte baja del corte estudiado (la segunda y tercera decena de metros) la cual está compuesta por alternancia de margas, limolitas calcáreas o arcillosas, argilitas y arcillas esmécticas, arcillas arenáceas, subordinadamente calizas biodetríticas arcillosas, calizas micríticas, calcilutitas poco consolidadas (éstas a veces con débil fosfatización), calcarenitas, areniscas, pseudoconglomerados, conglomerados calcáreos y polimícticos, constituidos éstos por serpentinitas, gabros, cuarzo, vulcanitas y granitoides.

Algunos horizontes son muy ricos en macrofósiles, principalmente moldes e impresiones de bivalvos. Ellas contienen también yeso, pirita y lignito. Colores variados: crema, amarillento, grisáceo, verdoso, rojizo y blancuzco, predominando el primero. En el corte estratigráfico está cubierta discordantemente por la Fm. Jaimanitas y el ambiente de sedimentación reconocido es el de cuenca restringida, en un medio reductor, probablemente pantanos y lagunas costeras, argumentado por la presencia de arcilla con yeso, pirita, restos vegetales y lignito, las asociaciones bentónicas presentes en otros horizontes y localidades caracterizan un ambiente sub-litoral de moderada energía. IGP (Instituto de Geología y Paleontología). 1994. Léxico Estratigráfico de Cuba.

I.5.1 Tectónica

Las secuencias de rocas pertenecientes a los dos niveles estructurales existentes en la región de estudio aparecen dislocadas por un número importante de fallas de diferentes órdenes con elementos de yacencia variables. Estas estructuras presentan longitudes entre cientos y miles de metros, con ancho de la zona de cizallamiento entre las unidades y las decenas de metros.

Las zonas de fallas de mayor orden limitan los bloques neotectónicos de mayor extensión y las de menor orden por lo general dislocan a estos en micro bloques más pequeños. Dentro de la región las direcciones principales de las estructuras son Noroeste - Sureste, Noreste - Suroeste y Este - Oeste, en un orden muy subordinado aparecen las estructuras de dirección Norte - Sur. En general todas las fallas son de tipo Normal, con planos de cizallamiento verticales y sub-verticales.

Los depósitos del Substrato Plegado, que ocupan la mayor parte del corte litológico presente en la región, aparecen intensamente fracturados y plegados, debido al efecto de los movimientos de sobre-corrimientos originados entre el Paleoceno Superior y el Eoceno Inferior, la Orogenia Cubana, ocurrida entre el Eoceno Medio y el Oligoceno y los movimientos Neotectónicos, desarrollados entre el Mioceno Inferior y el Cuaternario reciente. Mapeo Ingeniero - Geológico del Parque Eólico Playa “La Herradura I”, 2013.

Las rocas del complejo Neoautóctono, están menos tectonizadas (fuera de la zona de fallas) y generalmente yacen horizontalmente o con yacencias monoclinales poco acentuadas, originadas como resultado del basculamiento de los bloques que tienen lugar dentro de los movimientos Neotectónicos.

El estudio y ubicación espacial de las zonas de fallas y de alta fracturación reviste una gran importancia desde el punto de vista ingeniero geológico pues las mismas no solo pueden reducir la calidad geotectónica del macizo rocoso o condicionar el régimen hidrodinámico de las aguas subterráneas, sino que también favorecen el desarrollo intenso de procesos físico-geológicos desestabilizadores como la meteorización y la carsificación.

Como resultado de los trabajos realizados, dentro del área de estudio fueron localizadas 6 zonas de fallas y 2 zonas de alta fracturación de las rocas, todas originadas como resultado de la actividad Neotectónica, a continuación se presenta la descripción general de las mismas. Tomado del Mapeo Ingeniero-Geológico del Parque Eólico Playa “La Herradura I”, 2013.

Zona de falla F1

Es el sistema más destacado y antiguo del área de estudio y se localiza en su sector Oeste, posee un rumbo 135° SE, al Noreste del área su expresión está dada por la posición del estero que sale de la ensenada de Playa “La Herradura” y se desarrolla hacia el Sureste, en la zona Suroeste del área la falla disloca las rocas Calizas, con rechazos verticales totales de hasta 0.50 m, con planos de fracturas verticales a subverticales, ocupa un ancho aproximado de 120 m.

En la zona de falla las rocas que aparecen varían de fracturadas a muy fracturadas, la resistencia de estas es de poca o media, los bordes de los bloques desplazados son firmes y resistentes, a partir de la observación se les asocian hoyos cársticos de diversos tamaños, dolinas y sistemas de cuevas pequeñas, aunque no se descarta que en otros sectores donde el acceso se imposibilita totalmente pueda tener asociadas formas cársticas de mayor envergadura.

Zona de falla F2

Comprendida por dos zonas dislocadas, posee un rumbo de 80° NE. El área uno por su porción central en dirección Noreste y el área dos por el sector Suroeste; son también de los sistemas más antiguos, posiblemente de edad Holoceno tardío. Poseen un espesor de 100 m aproximadamente, en las zonas documentadas los rechazos verticales son apenas de 0.25 m de amplitud. Los planos de falla son casi verticales y muchas de las fracturas asociadas son cerradas o selladas por calcitas de procesos secundarios.

Se le asocian hoyos cársticos, dolinas y acanaladuras de poca extensión, en la zona de falla los sectores rocosos aparecen pocos o medio resistentes y moderadamente meteorizados.

Zona de falla F3

De rumbo 188° SO; en sí son dos zonas de fallas muy similares, ubicadas en el sector Oeste del área estudiada, representan los sistemas más jóvenes y ambas zonas presentan un ancho de 70 a 80 metros. Los planos de fallas son verticales, con rechazos verticales de amplitud de hasta 0.30 m. Se reportan fracturas abiertas y cerradas, con bordes resistentes. En las zonas de fallas las rocas aparecen fracturadas y la resistencia es media, con meteorización moderada; se le asocian hoyos cárnicos, dolinas y casimbas de hasta 3 m de diámetro y sistemas cavernarios o cuevas relativamente desarrollados, todos típicamente alineados en la misma dirección o rumbo de la estructura.

En la zona se aprecian sectores circulares y hundidos de hasta 15 m de diámetro, cubiertos por una capa de materia vegetal.

Zona de falla F4

Está representada por dos Zonas de Fallas que divergen en un punto, poseen rumbo 150° SE, aparecen en el sector Noreste del área de estudio. Presentan rechazos verticales aunque discretos. Se le asocian sectores anulares inundados de agua, que en los casos que fueron corroborados en otros sectores del área se corresponden con dolinas y casimbas inundadas de agua y esta última de color carmelita muy oscuro.

Zona de falla F5

Ubicada muy cerca del área de estudio por su sector Suroeste, es paralela a la Zona de Falla 1, posee un rumbo 135° SE. Los planos de fractura varían de verticales a subverticales, con rechazo horizontal de hasta 0.50 m y rechazo vertical total de hasta 0.85 m. En la zona de falla las rocas aparecen moderadamente meteorizadas y la resistencia varía de poca a media, se le asocian hoyos cárnicos, dolinas y cuevas de diferentes tamaños (3 m de diámetro) ubicadas a lo largo del rumbo de la estructura, la zona de falla posee un ancho visible de hasta 80 m.

Zona de falla F6

Representada por dos estructuras ubicadas fuera del área en dirección Norte, en el mismo borde del litoral, presentan rumbos Este - Oeste y 105° SE, en ambos casos poseen rechazos verticales de hasta 0.30 m, su ancho no está definido pues se adentran al mar, a partir de la intercepción de estas zonas de falla con las zona de falla catalogada como F3 (que presentan hasta 70 m de ancho) los sectores quedan divididos o desmembrados en bloques casi cuadrados, que en muchos casos la abrasión marina ha logrado separar y transportar. En las zonas de falla las rocas aparecen medios resistentes y moderadamente meteorizados.

Zona de alta fracturación

Se representa por dos zonas ubicadas casi en el centro del área de estudio, ambas con rumbo 188° SO, durante las observaciones de campo no se encontraron rechazos horizontales ni verticales, los planos de fracturación son verticales, abiertos y cerrados o sellados por calcita. Los bordes de los planos son medio resistentes y poco meteorizados. Las zonas de alta fracturación ocupan un ancho cada una de hasta 75 m. Dentro de las mismas aparecen hoyos cárnicos, dolinas y pequeñas cavernas alineadas (todas en la misma dirección de las estructuras).

I.5.2 Procesos Geodinámicos y Antrópicos

Como resultado de las investigaciones realizadas se pudo constatar que los procesos físicos - geológicos desestabilizadores que más afectan a las secuencias de rocas descubiertas dentro de los límites del área son:

- 1) Inundación.
- 2) Carso.
- 3) Empantanamiento.

Inundación

Estos están ampliamente extendidos en el área de los trabajos, los mismos tienen su origen en primer lugar, debido a los valores muy bajos de las cotas absolutas del terreno, que en su mayor parte no sobrepasan los 2 m sobre el nivel del mar y

en segundo lugar a la escasa disección vertical existente, lo que provoca que el drenaje de las aguas pluviales sea totalmente encausado a lo largo de la superficie del terreno o a través de las formas cársicas existentes. Hacia el Este del área existen abundantes zonas donde las aguas pluviales están empantanadas casi permanentemente, formando lagunas pre-litorales, en ocasiones de grandes dimensiones.

Carso

Los fenómenos físico - geológicos de mayor relevancia en toda la zona del parque se relacionan con el desarrollo cársico, el cual se manifiesta superficialmente y casi de forma continua por una alta densidad de formas típicas de lapiés (dientes de perro), abundantes dolinas y casimbas, mientras que en profundidad hay variaciones en cuanto a la aparición de estas cavidades tanto en densidad como en tamaños aunque predominan las pequeñas (Figura # 4). Obviamente todas estas formas están en gran medida comunicadas entre si y condicionan la alta porosidad y consecuente permeabilidad del macizo.



Figura # 4: Forma cársica presente a 40 m del área de emplazamiento del Parque Eólico Playa "La Herradura I".

Las formas cársicas de dientes de perro tienen bordes filosos y alturas que no sobrepasan los 5 cm, alternando en la superficie con un pavimento calcáreo (caliche), en ocasiones cubierto por escasa capa vegetal. También aparecen hoyos y casimbas dispersas con formas muy irregulares en planta, desarrollo limitado o puntual que en profundidad alcanza entre 0.30 y 1.10 metros (medidos a partir del nivel actual del terreno).

Teniendo en cuenta fundamentalmente las zonas en que se desarrollan los procesos cárscicos y las formas originadas por los mismos, dentro del límite del área de estudio se pueden diferenciar 2 zonas:

Zona con desarrollo del Carso Superficial

Dentro de este se pueden diferenciar dos sectores perfectamente distinguibles por el grado de denudación que presentan las diferentes formas. Tomado del Mapeo Ingeniero - Geológico del Parque Eólico Playa “La Herradura I”, 2013.

1- Carso Desnudo o Litoral: aparece localizado en la faja litoral al Este de la Playa La Herradura, en todo el sector Norte del área formando una faja con un ancho variable entre 45 y 65 metros desde la misma línea costera y en muchos sectores ubicados en el interior de la zona de estudio. Se caracteriza por presentar un intenso desarrollo de las formas lapizadas (diente de perro) de bordes prominentes y muy filosos, hoyos cárscicos vacíos con bordes muy irregulares y afilados con diámetros máximos de 1.5 m, acanaladuras cárscicas desarrolladas a expensas de fracturas ensanchadas por la acción disolutiva-corrosiva de diferentes longitudes y ancho máximo de 1 m y otras formas cárscicas de menor tamaño, en general en casi toda la superficie se desarrollan formas disolutivas irregulares, de tamaños muy disimiles, intercomunicadas entre sí, que le confieren un aspecto esquelético a toda la superficie.

En algunos de los fondos de hoyos y de acanaladuras existentes aparecen fragmentos aislados de Calizas arrecifales muy carsificados (carsolitos), con huecos y conductos cárscicos de pequeño diámetro, intercomunicados y de bordes filosos.

2- Carso Cubierto: aparece desarrollado en la zona interior de la superficie de la Terraza Marina de forma discontinua y se caracteriza por la presencia de formas de lapiés generalmente denudadas con bordes muy desgastados, hoyos cárscicos de formas redondeados y regulares de hasta 4 m de diámetros, acanaladuras cárscicas de varios metros de longitud y ancho muy variable, pequeñas cuevas verticales a subverticales de hasta 0.85 m de diámetro, vacías o rellenas por sedimentos de variada génesis con abundante materia orgánica, pequeñas

casimbas y dolinas circulares o elípticas de diferentes direcciones, con mayor dimensión superficial que en profundidad. Presenta diámetros máximos de hasta 1.5 m y otras formas de menor tamaño, todas generalmente cubiertas y rellenas de restos vegetales que pueden presentar espesores de hasta 0.45 m.

Zona con desarrollo del Carso Intermedio y Profundo

Se refiere a las formas cársticas formadas o desarrolladas por encima del nivel superior de las aguas subterráneas, dentro de este propio nivel y por debajo de la superficie del terreno (cavernas y sistemas cavernarios o de cuevas), desarrolladas a expensas del flujo hidrodinámico de las aguas subterráneas en otras épocas, aunque pueden estar intercomunicadas con las formas superficiales. Este tipo de formas cársticas no presentan gran desarrollo vertical en comparación con su desarrollo horizontal que puede llegar a ser de hasta centenares de metros e incluso de kilómetros.

Empantanamiento

Debe su origen a la presencia en el área de pequeñas depresiones donde se acumulan las aguas pluviales y se empantanar temporalmente hasta que se infiltran o evaporan (Ver Figura # 5).



Figura # 5: Fotos del proceso de empantanamiento en el área de emplazamiento del Parque Eólico Playa “La Herradura I”.

I.5.3 Características Sismológicas del área de estudio

Teniendo en cuenta el contenido de la Norma Cubana “Construcciones Sismo-resistentes, requisitos básicos para el diseño y construcción”, el área de trabajo se

sitúa dentro de la Zona 0 de Riesgo Sísmico muy bajo, sin efectos dañinos para las edificaciones y obras, donde no es necesario tomar medidas sismo resistente.

No obstante, por la importancia de la obra y sus características técnicas - constructivas, se deben tener en cuenta las condiciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas, que cuando son muy desfavorables aumentan significativamente el valor de la aceleración horizontal máxima.

Capítulo II: Metodologías de los trabajos de investigaciones aplicadas

Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación (figura # 6) para determinar las características litológicas del subsuelo en el área donde se construirá el Parque Eólico, a partir de la aplicación de un complejo de métodos geofísicos, donde se parte de la revisión de los trabajos de campo y se realiza la interpretación de los resultados obtenidos a partir de las propiedades físico-mecánicas, la interpretación geofísica y las condiciones hidrogeológicas de los suelos en el área de estudio.



Figura # 6: Metodología aplicada en la investigación.

El trabajo se dividió en dos etapas:

II.1 Primera etapa (Revisión Bibliográfica)

Recopilación de toda la información disponible (Estudios geotécnicos anteriores e información acumulada). Esta información fue procesada y depurada de la información inicial:

- Trabajos Topográficos.
- Perforación de calas.
- Muestreo.
- Trabajos de Laboratorio (Suelos: peso específico, granulometría y límites de Atterberg; Rocas: peso específico, humedad, absorción, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción; Agua: análisis químico completo de agua).
- Geofísica (Tomografía eléctrica: Perfiles E-W y N-S, est. c/5 m, L= 100 m y Perfiles sísmicos con 12 puestas ,3 W-E, y 1 N-S, L= 92 m, est. c/4 m).
- Trabajos Hidrogeológicos.

II.1.1 Trabajos de Geofísica

A continuación se describe un síntesis de la metodología utilizada para cada método geofísico empleado en la presente investigación: sísmica y geo - electricidad.

Metodología utilizada para cada método geofísico empleado en la investigación

Prospección Sísmica

La longitud de las puestas en los 4 perfiles realizados fue de 92.00 m con distancia entre geófonos de 4.00 m, según metodología 2D MASW (Multichanne Analysis Surface Waves), utilizando el Sismógrafo GEODE-24 de 24 canales, marca Geometrics (ver figura # 7) y la recepción de los datos se efectuó con el Seis Module Controller instalado en una Laptop Panasonic modelo CF-31.

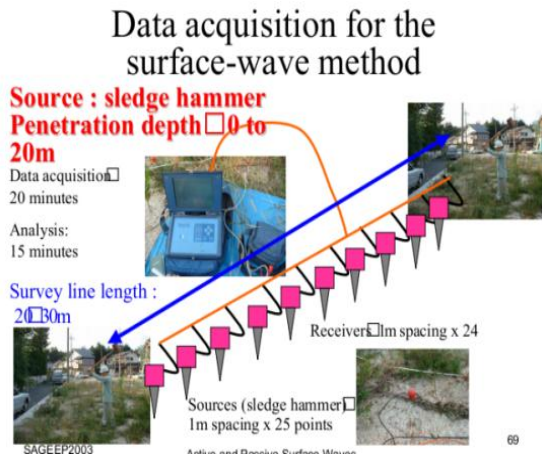


Figura # 7: Instrumentos y accesorios utilizados en la prospección sísmica (Estación Sísmica de 24 canales de la Geometrics).

La excitación de las ondas sísmicas se hizo mediante golpes (percusión) sobre el terreno, provocados por una mandarina de 20 libras (ver Figura 8 y 9).

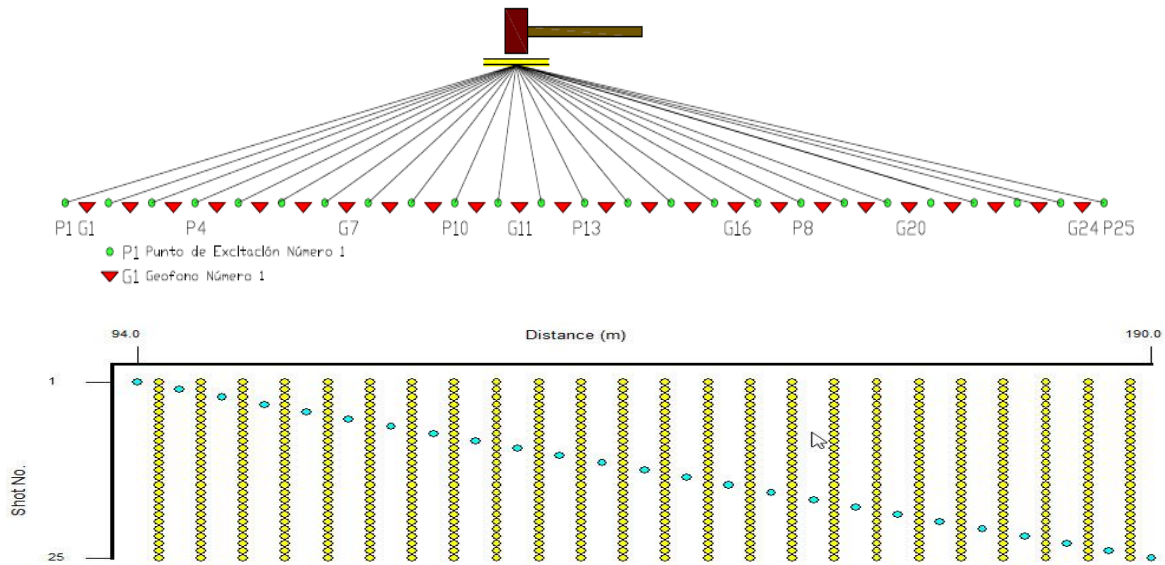


Figura # 8: Dispositivos de medición de las ondas Rayleigh de forma activa 2D.

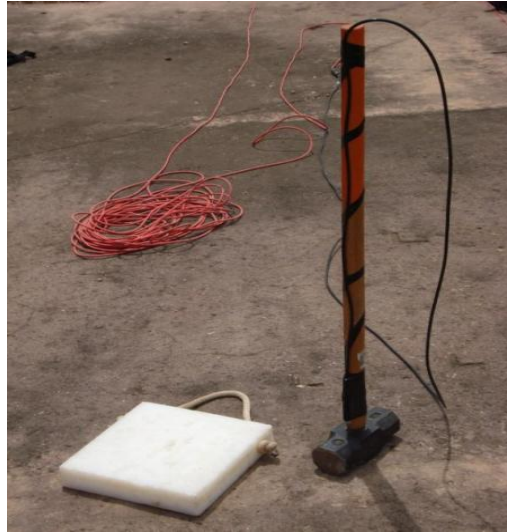


Figura # 9: Accesorios para la excitación de las ondas Rayleigh y/o Vp.

Este procedimiento de mediciones de las ondas superficiales mediante golpes se hace con el objetivo de conocer, de manera bidimensional (2D), la variabilidad de las ondas de cizalla. Al hacerse el estudio de manera activa o mediante golpes, los registros son de frecuencias mayores y por tanto se puede conocer con mayor precisión la variación de las Vs en la parte superior del corte. Los geófonos utilizados fueron los de 4.5 Hz. La excitación de las Ondas Superficiales se hace en todos los puntos medios entre los geófonos en todos los perfiles medidos.

Durante el procesamiento se obtuvieron los cortes de velocidad Vs obtenidos del procesamiento activo 2D MASW mediante el paquete de software Seislmager (ver figura # 10).



Figura # 10: Paquete de software Seislmager.

Tomografía Eléctrica (Geo - electricidad)

Los trabajos se ejecutaron por el Grupo de Geofísica de la UIC Camagüey con el objetivo de determinar la caracterización litológica del subsuelo hasta la profundidad de interés y el posible desarrollo cárstico (alcance máximo 16.00 m de profundidad).

Las observaciones se realizaron sobre una red de perfiles topográficos trazados previamente, con separación entre ellos de 5.00 m para los siete (7) perfiles ubicados en dirección E - W y separación de 7.00 m para los tres (3) perfiles ubicados en dirección N - S, todos con un paso de investigación de 5.00 m. (Ver anexo 3).

Para dar cumplimiento a esta tarea fue utilizado el método de Tomografía Eléctrica Wenner (TEW), en su variante Polo - Dipolo (ver Figura # 11).

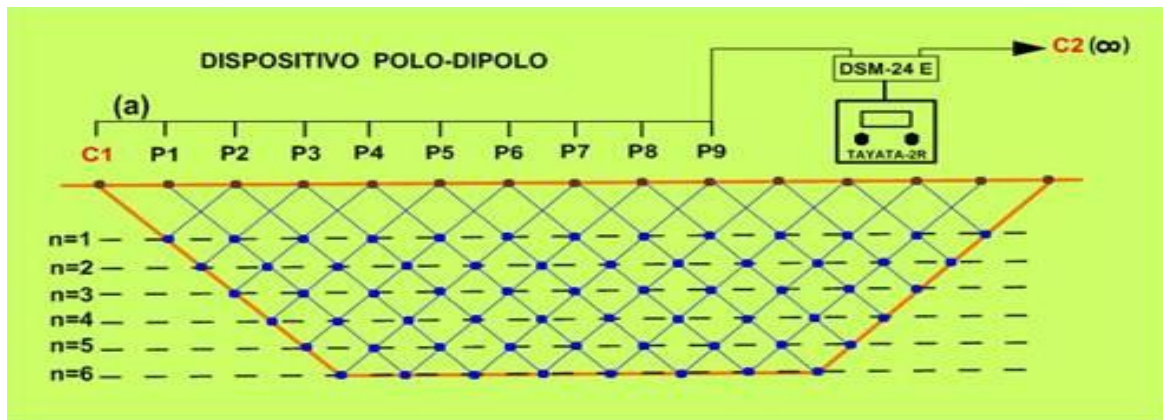


Figura # 11: Dispositivo Polo - Dipolo (PD33E4).

El electrodo infinito (C2) siempre fue ubicado en un mismo punto, a una distancia superior a los 200.00 m del área de estudio, eligiéndose una pequeña casimba inundada para su colocación, con el objetivo de obtener señales confiables durante el proceso de adquisición de los datos.

En la determinación de la resistividad aparente (ρ_a , Ohm.m) de los materiales rocosos, así como su distribución en el subsuelo, a partir de las observaciones a lo largo de los perfiles trazados, se utilizó la Estación Geo - Eléctrica Digital "TAYATA-2R" acoplado a un Sistema Multi - Electrónico de veinticuatro (24)

electrodos "DSM-24E" y un Generador de Corriente Continua "VIL-3T" de 180 V de salida (ver Figura # 12).



Figura # 12: (Foto) Estación Geo - Eléctrica "TAYATA - 2R", Dispositivo "DSM - 24E" y Generador de CC "VIL - 3T" de la Iris Instruments.

Este equipamiento permitió realizar lecturas consecutivas de los parámetros corriente (I, mA) en la línea de alimentación, así como también la diferencia de potencial (ΔV , mV) entre los electrodos de potencial para 6 niveles de profundidad. La separación máxima entre electrodos (a) fue de 5.00 m, siendo la longitud máxima del dispositivo empleado igual a 30.00 m, lo que nos permitió alcanzar una profundidad promedio cercana a los 16.00 m.

De forma general el sistema estuvo compuesto por:

- Fuente de energía eléctrica, Transmisor y Receptor.
- Electrodo metálicos de latón, tanto de Corriente como de Potencial.
- Sistema multi - electrodos de 24E y Cables.

Durante la interpretación final de los datos obtenidos, se estableció la relación existente entre la resistividad eléctrica y varios parámetros geológicos tales como: la presencia de fluidos, la porosidad, la compactación y/o cementación del material rocoso.

Los datos geofísicos de campo, fueron editados y sometidos a un tratamiento digital computarizado, proceso durante el cual se calcularon los valores de resistividad aparente del subsuelo (pa), creándose además las bases de datos

requeridas durante el procesamiento. El análisis estadístico de los datos muestra que la resistividad en el área presenta una variación significativa, en el orden de más de mil unidades Ohm.m (de menos de 20 hasta 1040).

En el procesamiento de los datos se utilizó el software “RES2DINV” para crear de forma automática un modelo bidimensional (2D) de la resistividad real del subsuelo. El modelo 2D usado por el programa, divide el subsuelo en un número determinado de bloques rectangulares, teniendo como objetivo el cálculo de las propiedades eléctricas de dichos bloques.

II.2 Segunda etapa (Gabinete)

- 1- Procesamiento de la información y obtención de los mapas geotécnicos de superficie y techo de la roca.
- 2- Interpretación de los resultados.

Todos los datos primarios obtenidos en los trabajos de campo (topografía, geofísicos, reconocimiento geológico en y los alrededores del área, perforación, descripción y muestreo, pruebas hidrogeológicas y observaciones sistemáticas) y de laboratorios (suelos, rocas y aguas) fueron recopilados y procesados, mediante métodos geo-estadísticos y gráfico - analíticos. Para la confección del presente informe se utilizaron software del paquete Microsoft Office, AutoCAD y RockWorks Complete (Multi - User).

Capítulo III: Interpretación Geólogo – Geofísica

Introducción

En el siguiente capítulo se exponen los resultados obtenidos mediante la interpretación de los métodos Geofísicos: Tomografía Eléctrica y Sísmica de ondas superficiales en la zona de estudio perteneciente al Parque Eólico de Playa “La Herradura I”, Las Tunas, con el objetivo de dilucidar el corte Geológico presente y los fenómenos físico - geológicos que interactúan en el mismo así como la estimación de los módulos dinámicos de las capas geológicas detectadas.

III.1 Resultados de los métodos geofísicos

Del procesamiento de las mediciones se confeccionaron los cortes de Resistividad para todos los perfiles (del PG1 al PG10) y los cortes de velocidad (V_s) por los perfiles PG3, PG4, PG5 Oeste - Este y PG9 Sur - Norte (Consultar Anexo 3), así como los mapas con la distribución espacial para diferentes profundidades de las resistividades y velocidades (V_s) asociadas al terreno bajo estudio. Las profundidades que se representan en estos mapas son: 0.50, 1.50, 2.60, 4.00, 6.50, 10.00, 14.00, 16.00, 20.00, 25.00, 30.00 y 35.00 metros respectivamente.

Entre 0.50 y 16.00 metros que fue la máxima profundidad alcanzada por Geoelectricidad, coinciden en profundidad ambas representaciones o sea Tomografía Eléctrica y Sísmica 2D MASW, continuando la representación desde 20 m hasta 35 m solo por la Sísmica que alcanzó profundidades de hasta 60 m.

Con el procesamiento de las mediciones Sísmicas se pudo obtener las velocidades (V_p y V_s), con las cuales fue posible el cálculo de los módulos dinámicos de Rigidez (G), Young (E) y Coeficiente de Balasto (K) así como el coeficiente de Poisson. El comportamiento de estos módulos a nivel espacial se representa en los mapas correspondientes para las profundidades de 0.50, 4.00, 10.00, 20.00 y 30 metros, donde además se da la estimación del valor medio y la dispersión del módulo correspondiente para la profundidad que se representa. (Ver tabla # 1).

Tabla # 1: Estimación de los Módulos Dinámicos asociados a las capas por método de Prospección Sísmica.

	Capa	H(m)	Poisson		Peso Unitario		G(Kg/Cm2)		E(Kg/Cm2)		K(Kg/Cm2)		Resistividad (OHM.M)	Velocidad Vs (M/S)
			Media	Desv	Media	Desv	Media	Desv	Media	Desv	Media	Desv		
1	Calcarenita Carbonatada	0.5	0.24	0.00	1.90	0.06	15700	6705	38724	16567	24440	10437	>20-500	480-1040
2	Caliza Biodetrítica Porosa	4	0.47	0.01	2.39	0.10	19100	8820	55949	25652	270361	81305	1-20	440-1000
3	Caliza Biodetrítica Masiva	14	0.46	0.00	2.62	0.06	34584	7462	100904	21596	409905	61373	>20-500	1000-1300
4	Marga Carbonatada	30	0.47	0.01	2.17	0.08	9564	5373	28156	15686	175322	54229	-	480-800

Con la interpretación conjunta de la información brindada por Geofísica y la información Geológica disponible por perforaciones, se confeccionaron los cortes Geólogo - Geofísicos por los perfiles PG4 Oeste - Este y PG9 Sur - Norte.

Teniendo en cuenta la representatividad y correlación de los datos, se escogió el corte Geólogo - Geofísico por el perfil PG9 de orientación Sur - Norte para la Estimación de los Módulos Dinámicos asociados a las capas Ingeniero - Geológicas presentes en este corte, de tal forma que las profundidades escogidas para los cálculos transiten por la capa correspondiente (ver figura # 13).

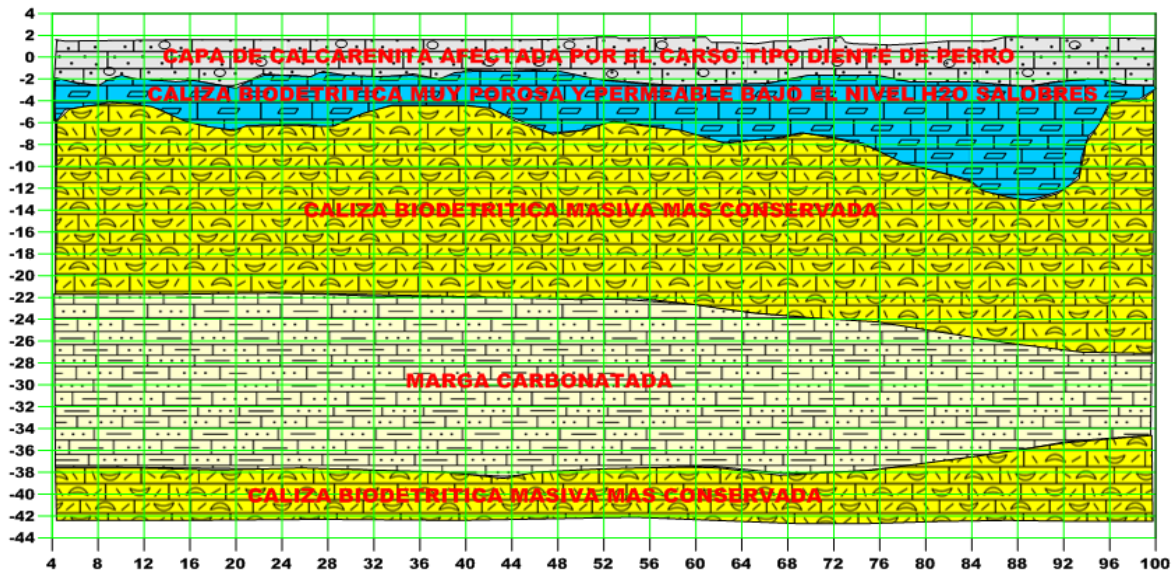


Figura # 13: Corte geológico – geofísico de orientación Sur - Norte.

III.1.1 Sísmica

Es de señalar que las ondas sísmicas (V_s), se transmiten por el esqueleto del material siendo inmunes a la influencia del agua o sea, las mismas no se transmiten por los líquidos pues no tienen rigidez por lo que la información que nos brindan está directamente correlacionada con la rigidez del material por donde se transmiten.

Según esta premisa, observe como las zonas de baja resistividad se correlacionan con zonas de baja velocidad relativa, esta circunstancia es muy evidente para las plantas de isohmas y V_s que se representan para la profundidad de 14 m, donde es evidente que la zona de baja resistividad, (del orden menor a los 7 $\Omega.m$ localizada al Oeste del emplazamiento y que contiene a las porciones Oestes de los perfiles 3, 4 y 5 donde se hizo sísmica), se correlacionan con una zona de baja velocidad relativa del orden de los 760 a 880 m/s que según el código internacional IBC 2000 se corresponde con rocas que están al inicio del intervalo de clasificación, por lo que se infiere una menor rigidez y por tanto confirma el estado de alteración en estas zonas de las rocas presentes que no puede ser otro que alta porosidad y permeabilidad dados por los procesos de carsificación.

Por otra parte, resulta muy característico el Corte de Velocidades (V_s) por el perfil PG9 con orientación Sur - Norte (figura # 14), pues se observa como en la porción más al Sur del perfil prácticamente aflora la alta velocidad del orden de los 1000 - 1200 m/s correlacionándose con la alta resistividad detectada en los perfiles más al Norte PG1 - PG3 del orden de los 500 y mayor que 500 $\Omega.m$ caracterizando la caliza masiva más conservada. Obsérvese como se acuña el material de Norte a Sur lo que está de acuerdo con los procesos de deposición en las zonas costeras.

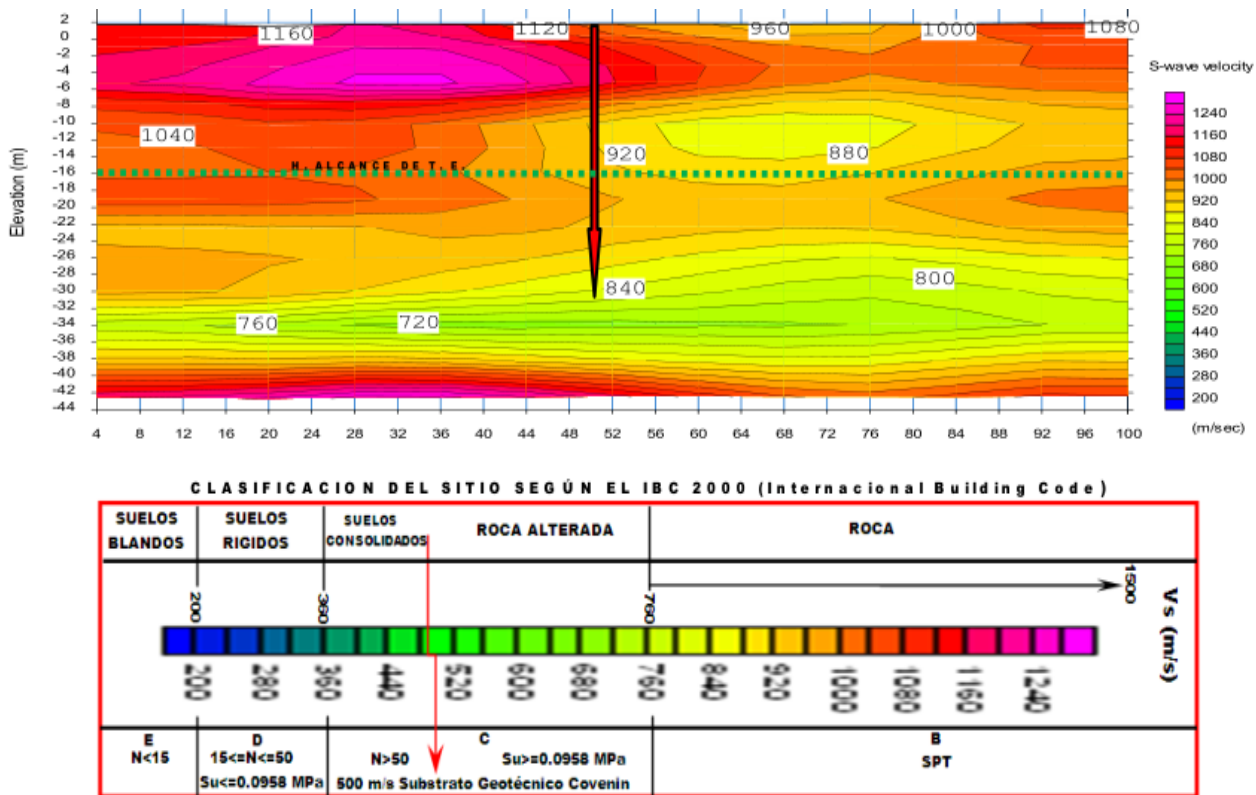


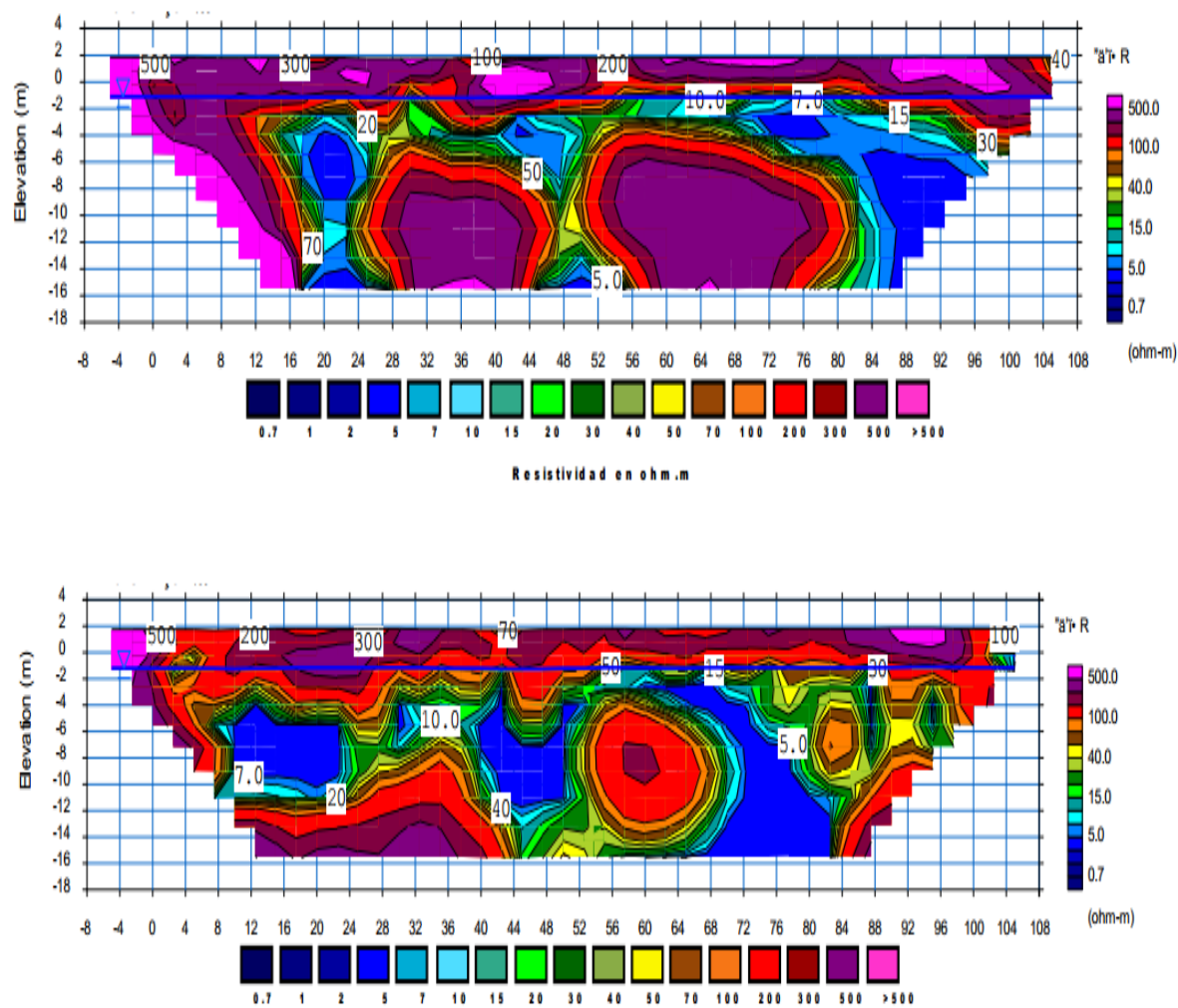
Figura # 14: Corte de velocidades de cizalla.

Por lo característico de este perfil que es transversal a los procesos de deposición y la buena correlación existente entre los datos Geofísicos y Geológicos se escogió el corte Geólogo – Geofísico, interpretado como patrón para la estimación de los módulos dinámicos asociados a cada capa Ingeniero - Geológica, los cuales se presentan en donde además de los módulos G, E y K, se estimaron los coeficientes de Poisson y el peso unitario, siendo los valores presentados el

resultado del procesamiento estadístico de los cálculos por lo que se exponen los valores medios y la dispersión.

III.1.2 Tomografía Eléctrica

De un análisis general de los materiales disponibles es evidente que los mayores valores de resistividad caracterizan la roca masiva más conservada, estos valores se enmarcan hacia la porción Norte y Noroeste del emplazamiento. Esta circunstancia se puede observar muy bien tanto en los cortes de resistividad por los perfiles PG1 - PG3 como en los mapas de distribución de las resistividades para diferentes profundidades, así como los cortes de velocidad por perfiles y mapas de distribución de las velocidades (V_s) y módulos dinámicos estimados. (Ver figura # 15).



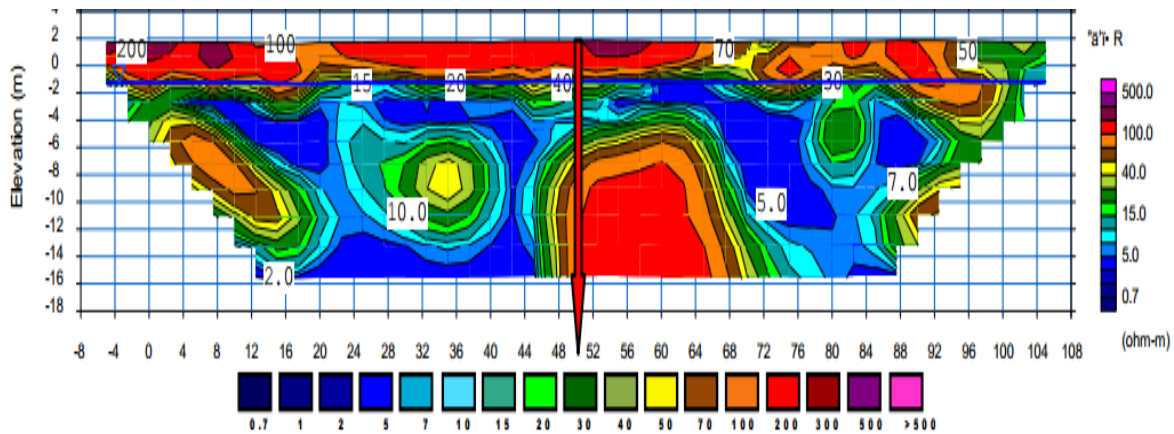


Figura # 15: Cortes de resistividad por los perfiles PG1, PG2 y PG3, respectivamente.

Así mismo, de acuerdo con estos datos, la zona de mayor debilidad en los materiales se localiza hacia la porción Sureste donde los valores de resistividad, velocidad y magnitud de los módulos estimados son comparativamente menores.

Obsérvese que en los perfiles PG1 - PG3 se alcanzan valores de resistividad de hasta 500 Ω .m, el corte de velocidades (V_s) por el perfil PG3 refleja hacia esta zona (porción Centro-Oeste del perfil) una alta velocidad desde 1040 - 1300 m/s con un espesor de 14 m, los mapas de distribución de velocidades y módulos dinámicos también reflejan altos valores relativos comparados con la zona Sureste del emplazamiento.

Por otra parte resulta llamativo el cambio brusco en los valores de resistividad que se observa en los cortes de resistividad por los perfiles a partir de los 3 m de profundidad, donde los valores llegan a bajar anómalamente hasta alcanzar 1 Ω .m. Esta circunstancia se puede observar a nivel de área en los mapas de distribución de resistividades para diferentes profundidades donde es evidente que para la planta a 4 m de profundidad se manifiesta el bajón anómalo de la resistividad coloreado en las diferentes tonalidades del azul.

Es llamativo el caso de los perfiles PG1 y PG2 donde se observan bolsones anómalamente bajos de resistividad que alcanzan los 5 Ω .m rodeados por una alta resistividad relativa que llega a alcanzar los 500 y mayor que 500 Ω .m. característico de las calizas duras recristalizadas donde se forman cavernas.

Es evidente que el bajón anómalo de la resistividad a partir de los 3 m de profundidad aproximadamente está dado por la influencia de la intrusión salina en el área. Téngase en cuenta que la resistividad del agua de mar se estima en los 0.7 Ω .m. Estas zonas anómalas de baja resistividad se detectan a partir de la planta de 4 m de profundidad llegando a alcanzar de 1 - 2 Ω .m. Obsérvese como la zona del emplazamiento delimitada por los pozos P - 1 y P - 5 queda invadida por la penetración proveniente del Norte para los 6.5 m de profundidad como se manifiesta en la planta de isohomas correspondiente.

Para las profundidades de 10 a 14 metros según las plantas de isohomas correspondientes, la zona de emplazamiento es inmune a la penetración y puede observarse como esta, proveniente del Norte, bordea la zona del emplazamiento por el Oeste, extendiéndose hacia el Sur del mismo con valores de resistividad llegando a los 1 - 2 Ω .m. Para los 16 m de profundidad según se observa en planta de isohomas correspondiente, la zona del emplazamiento sufre los efectos de la penetración de la intrusión salina.

Por las características de estas zonas anómalas de baja resistividad se pensaba que pudieran ser cavernas rellenas de agua de mar (0.7 Ω .m) por lo que se mandaron a perforar 3 pozos paramétricos en sendas anomalías correspondientes para discernir el origen de las mismas. Según los resultados de estos pozos, no existen cavernas por lo que es de suponer que en estas zonas las rocas deben tener una alta porosidad producto de oquedades cársticas que se comunican y por tanto alta permeabilidad que permiten el paso a la penetración de la intrusión salina.

III.2 Parámetros Hidrogeológicos

En el área existe un acuífero freático o libre, de fisura, que descarga sus aguas en dirección al mar, con un caudal variable (según la época del año) entre 3.5 y 8.5 l/s y que se alimenta fundamentalmente de las aguas pluviales que se infiltran por los poros, grietas y formas cársticas superficiales.

Las rocas acuíferas están representadas por diferentes variedades petrográficas; calizas arrecifales, arenosas, organógenas y biodetríticas, biohémicas, arcillosas y calcarenitas, carsificadas en mayor o menor grado, de edad Pleistoceno Superior (Fm. Jaimanitas) con potencia en el sector entre 22.00 y 24.00 metros. Subyacen a estas rocas poco permeables, representadas por margas calcáreas, arcillas, calizas margosas de edad Mioceno Medio (Fm. Vázquez).

Las aguas del acuífero freático presentan conexión hidráulica con las aguas del mar debido a la existencia de cavernas, canales y otras formas cársticas bien desarrolladas e interconectadas entre sí, de zonas de alta fracturación o de zonas de fallas permeables en toda la faja litoral.

III.2.1 Profundidad del Nivel de las Aguas

En la Tabla # 2, se ofrecen los niveles medios de las aguas, resultado de varias mediciones realizadas.

Tabla # 2: Niveles medios de las aguas en el área de estudio.

	Máx.	Mín.
Nivel (m)	1.71	1.67

III.2.2 Coeficiente de Filtración

En la Tabla # 3 se ofrecen los valores de los coeficientes de filtración obtenidos de las pruebas realizadas en los pozos y los intervalos ensayados.

Tabla # 3: Coeficientes de filtración por intervalos de ensayos (m/día).

Media	INTERVALO DE ENSAYO (m)		
	NF- 5.00	5.00 -10.00	10.00- 15.00
Máx.	11.23	17.54	13.15
Mín.	7.63	16.85	12.39

De acuerdo a los coeficientes de filtración por la clasificación de la permeabilidad, los coeficientes de filtración caracterizan al medio como permeables a muy permeables.

III.3 Condiciones Ingeniero - Geológicas y Propiedades Físico - Mecánicas

Una interpretación integral de los resultados de los métodos geofísicos, las perforaciones y los ensayos de rocas y suelos, permitió confeccionar cortes Ingeniero - Geológicos hasta la profundidad 30.00 - 35.00 metros (Ver anexo 2), compuesto mayoritariamente por materiales calcáreos jóvenes, afectados por los procesos cárscicos desarrollados con mayor intensidad desde la superficie hasta la cota - 16.00 m, seguido por materiales terrígeno carbonatados con intercalaciones de rocas calizas. (Ver figura 16).

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: P23-1 Central

Cota del Pozo: 1.965 m

Coordenadas: X: 542012.362 Y: 290 781.024

Nivel Freático: 1.64 m

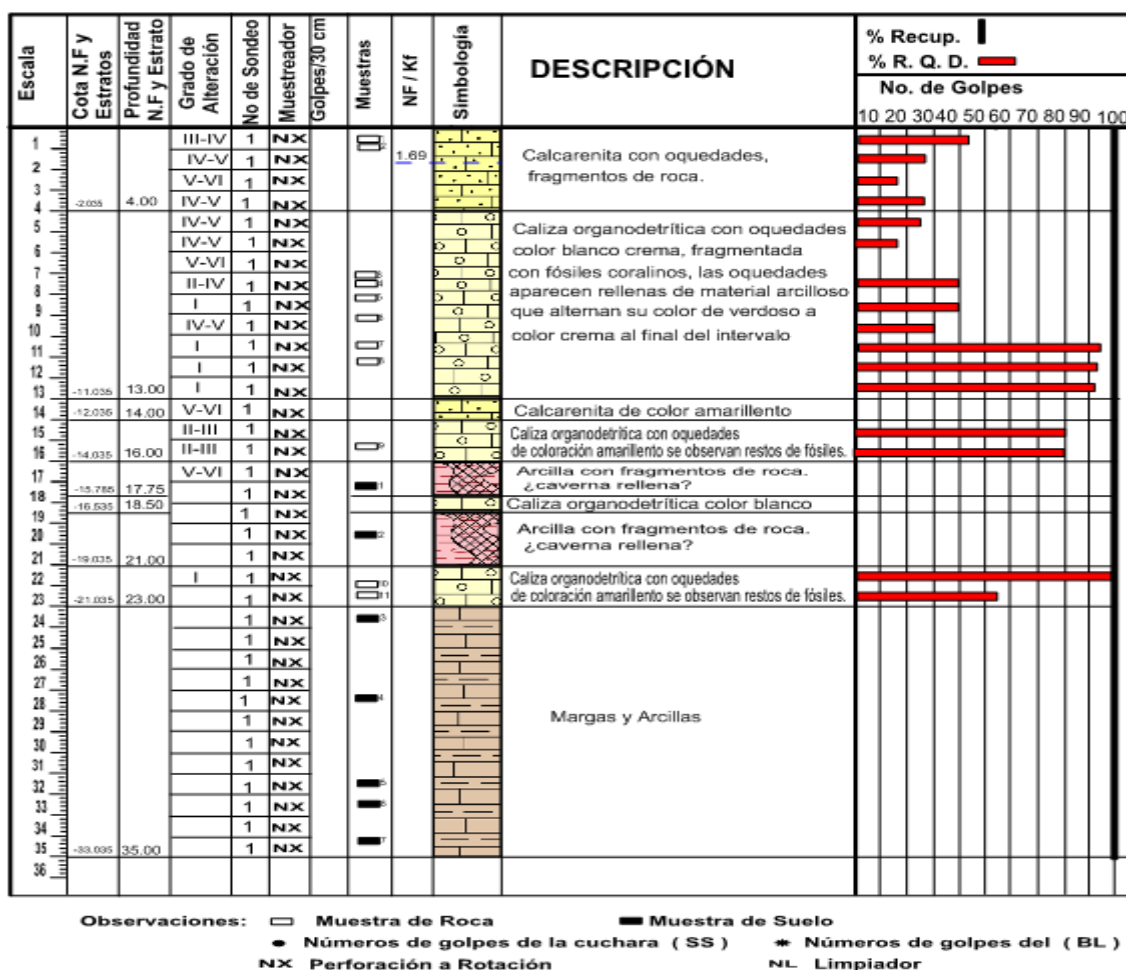


Figura # 16: Corte Ingeniero – Geológico del pozo P-23. Parque Eólico Playa “La Herradura I”. Tomado de los informes Ingeniero - Geológicos.

Capa 1

Calcarenitas, roca sedimentaria de origen marino perteneciente a la Formación Jaimanitas (Q_{4js}), de colores blanco a blanco-crema claro, con intensidades grisáceas o carmelitas rojizo a intervalos por toda la capa. Compuesta por material arenoso, con predominio granulométrico de fino a media, restos de conchas de moluscos y corales de especies actuales, afectada por estructuras cársticas. En su desarrollo espacial muestra diferentes grados de cementación (con carbonato de calcio) y alteración. Está protegida en la parte más superficial (espesor entre 0.05 - 0.30 m) por una costra calcárea (caliche o calcrete), dura y recristalizada, con valores físico - mecánicos extremos no incluidos en el procesamiento estadístico. El espesor promedio detectado es de 4.52 m (mínimo 4.00 m y máximo 5.00 m).

Observando la Tabla # 4 (Consultar anexo 3), los valores de densidad varían debido a que son rocas con diverso grado de porosidad ofreciéndose los valores medios de esta propiedad. Los valores promedios de resistencias a compresión simple (natural 3.54 MPa y saturada 3.30 MPa), determinados a testigos de roca por ensayos de laboratorio, clasifica como una roca de resistencia MUY BAJA (Tabla # 5), lo cual está en correspondencia con el índice RQD (Rock Quality Designation), promedio de 37 %, que es bajo pero está condicionado por la discontinuidad del macizo debido al desarrollo cársico y el inevitable deterioro que produce el proceso de perforación (Ver Gráfico # 1).

Tabla # 5: Clasificación de la roca según su resistencia a compresión simple (q_u).

Clasificación	Resistencia a compresión simple (q_u en MPa)
MUY ALTA	$q_u > 200$
ALTA	$50 < q_u \leq 200$
MEDIA	$15 < q_u \leq 50$
AJA	$5 < q_u \leq 15$
MUY BAJA(semi-roca)	$1 < q_u \leq 5$

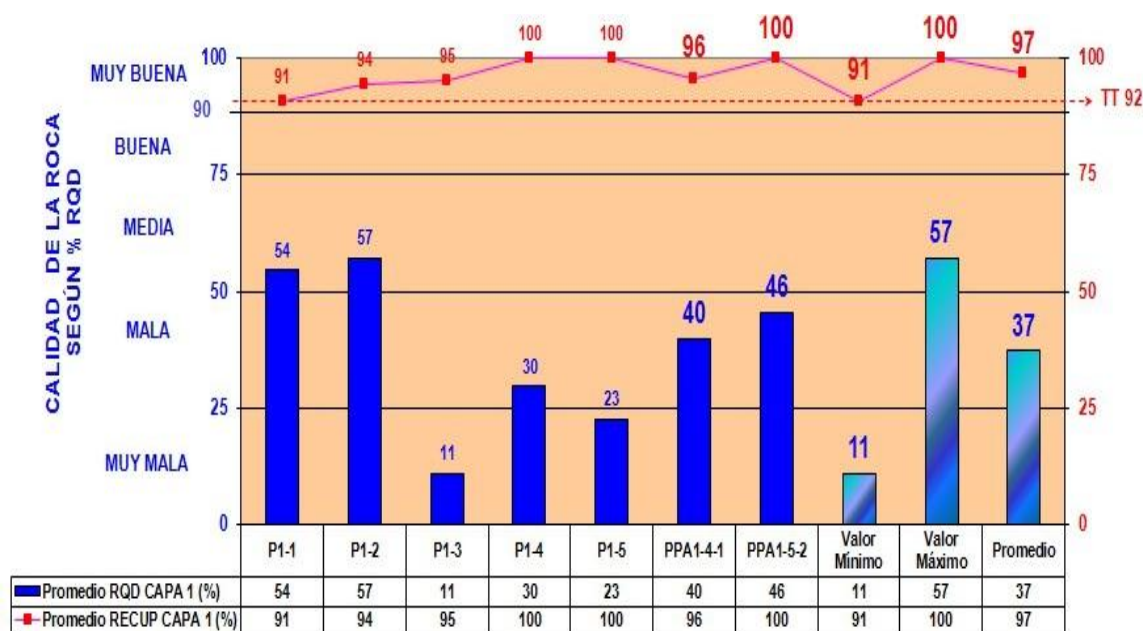


Gráfico # 1: Comportamiento del RQD y de la Recuperación en la Capa 1.

Sin embargo como corroboran los resultados de los métodos geofísicos, el valor alto del coeficiente de ablandamiento, 0.93 obtenido a partir de los promedios de las resistencias secas y saturadas y las observaciones de algunas excavaciones en la zona, esta capa en su conjunto tiene comportamiento favorable para utilizarla como base de la cimentación de este objeto.

En la Tabla # 6 se muestran los Módulos Dinámicos determinados a partir de los valores mínimos de Vs registrados en la zona base del cimiento para las rocas de esta capa. Esta capa está cubierta por tierra vegetal, suelo mullido de color carmelita, joven, de escaso espesor (0.05 - 0.30 m) y con alto contenido de humus, que constituye material de limpieza durante la construcción.

Tabla # 6: Propiedades físico - mecánicas de la Capa 1 (según métodos geofísicos).

Gs	G	E	K	Po	pa	Vs	Vp
(MPa)					(Ohm.m)	(m/s)	
19.0	66.27	163.74	103.16	0.24	50-300	600	1020

Donde: **Gs**- peso específico; **G**- módulo dinámico de rigidez; **E**- módulo de Young; **K**- coeficiente de balasto; **Po**- coeficiente de Poisson; **pa**- resistividad aparente; **Vs**- velocidad de ondas s (superficiales); **Vp**- velocidades de ondas p (transversales).

En la tabla # 7 (anexo 3), se determinan las mismas propiedades físico – mecánicas según los ensayos de laboratorio.

Capa 2

Calizas biodetríticas, roca sedimentaria de origen marino (organógenas autóctonas), enmarcada en la Formación Jaimanitas (Q_{4js}), de color blanco a blanco - crema claro, con intensidades grisáceas a crema rojizo por intervalos. Compuestas por una material areno - gravoso calcáreo con matriz de cementación similar, que agrupa restos de corales y conchas de especies actuales, en distintos grados de conservación, en ocasiones compuesta totalmente por corales (denominadas biohermas o arrecifales).

En su desarrollo presenta diferentes grados de alteración, porosidad y cementación. En profundidad se detectaron cavidades cársticas rellenas, al parecer no relacionadas entre sí, que se desarrollan entre las cotas -10.80 m y -19.50 m, referidos al NMM. Superior al nivel -10.80 m hasta su contacto con el piso de la Capa 1 a la cual subyace, no se detectaron estructuras cársticas. El espesor promedio perforado es de 16.00 m (mínimo 13.60 m y máximo 19.00 m). Esta capa se detectó en los cinco pozos subyaciendo (por debajo) a la Capa 1 y sobre - yaciendo (por encima) o intercalada con la Capa 3.

Según los valores de resistencias a compresión simple (natural 8.48 MPa y saturada 8.45 MPa), determinados por ensayos de laboratorio, clasifica la roca de Resistencia BAJA (Tabla # 5). El índice RQD promedio es de 53% (Gráfico # 2) que unido a las altas velocidades de ondas transversales y su coeficiente de ablandamiento próximo a la unidad, muestran que esta capa posee condiciones favorables para la cimentación.

Tabla # 7: Propiedades físico - mecánicas de la Capa 2 (según métodos geofísicos).

Gs	G	E	K	Po	pa	Vs	Vp
(MPa)					(Ohm.m)	(m/s)	(m/s)
25.05	153.99	452.30	2399.09	0.47	5-200	800	3290

Donde: **Gs**- peso específico; **G**- módulo dinámico de rigidez; **E**- módulo de Young; **K**- coeficiente de balasto; **Po**- coeficiente de Poisson; **pa**- resistividad aparente; **Vs**- velocidad de ondas s (superficiales); **Vp**- velocidades de ondas p

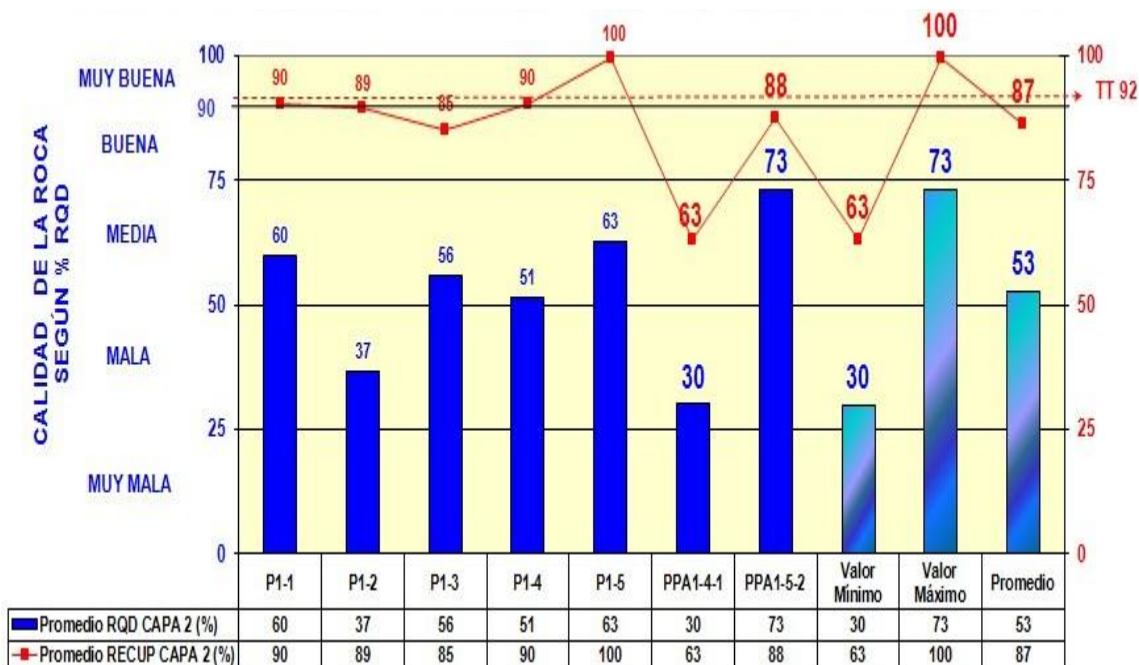


Gráfico # 2: Comportamiento del RQD y recuperación la Capa 2.

Capa 3: Marga carbonatada, paquete sedimentario con alternancia de suelos calcáreos y arcillosos, representados por margas, limolitas calcáreas o arcillosas y arenas arcillosas con gravas o gravosas, con alternancias de pequeños lentes de caliza biotritica o arcillosas, débiles y poco cementadas. Todos estos materiales presentan coloraciones predominantes crema, amarillentas con tonalidades verdosas y grisáceas. Se le detectó a esta capa un espesor promedio de 8.41 m (máximo 13.00 m y mínimo 7.25 m), y puede aparecer desde los 22.00 m de profundidad hasta los 24.60 m, medidos a partir del nivel actual del terreno. Este paquete de marga carbonatada subyace, transicional o se intercalan con la Capa 2, pertenece a la Formación Vázquez (N_1^1 - N_1^2 vq).

Debido al proceso de perforación estos litotipos deterioran su estructura natural (macizo rocoso o semi-rocoso) y son recuperados en forma de suelos. A continuación ofrecemos, como información genética complementaria, los suelos predominantes recuperados, según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), transitan desde arenas arcillosas (donde predominan las fracciones del material granular) con gravas o gravosas (SC), gravas arcillosas (o arcillo limosas) con arena o arenosas (GC), arcilla de baja plasticidad con gravas (CL) hasta arcilla muy plástica gravosa (CH), presentando datos similares en el peso específico y la plasticidad de intermedia a ligeramente alta (ver Tabla # 8).

Tabla # 8: Propiedades físicas promedio de los suelos recuperados (rocas o semi - rocas alteradas por el proceso de perforación) en la Capa 3 según ensayos.

SUCS	Intervalo de muestreo	Granulometría				Plasticidad			Condiciones naturales
		Gra	Are	Lim	Arc	LL	LP	IP	Gs
	(m)	(%)				(%)			(kN/m ³)
SC	21.80 -30.00	25	31	45		49	20	29	27.9
GC	23.00 -34.60	41	24	35		44	20	24	27.5
CL	27.60 -32.20	14	31	56		46	19	27	27.7
CH	23.10 -33.10	17	18	65		54	19	35	27.8

Donde: **SUCS**- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; **Profund.**- intervalo de muestreo; **Gra**- grava; **Are**- arena; **Lim**- limo; **Arc**- arcilla; **LL**- límite líquido; **LP**- límite plástico; **IP**- índice de plasticidad; **Gs**- peso específico

Otras características físico - mecánicas obtenidas por vía dinámica se presentan en la Tabla # 9.

Tabla # 9: Propiedades físico - mecánicas de la Capa 3 (según métodos geofísicos).

Gs	G	E	K	Po	pa	Vs	Vp
(MPa)					(Ohm.m)	(m/s)	(m/s)
27.5.0	54.92	162.53	1329.88	0.48	5-200	500	2553

Donde: **Gs**- peso específico; **G**- módulo dinámico de rigidez; **E**- módulo de Young; **K**- coeficiente de balasto; **Po**- coeficiente de Poisson; **pa**- resistividad aparente; **Vs**- velocidad de ondas s (superficiales); **Vp**- velocidades de ondas p (transversales).

III.4 Fenómenos Físico - Geológicos

Los fenómenos físico - geológicos se concentran principalmente en el desarrollo erosivo-disolutivo del carso en general poco desarrollado, visible superficialmente en toda el área de estudio y zonas colindantes, sin orientación preferencial, actuando al parecer asociado a las zonas de debilidad estratigráfica.

La Capa 1 (roca calcarenitas) está afectada por un carso de actividad baja a moderada, y se evidencia en los campos de lapiés (dientes de perro), los hoyos de disolución y las casimbas (inundadas o no) con desarrollo predominantemente vertical o subvertical.

Las formas cársticas de dientes de perro tienen bordes filosos y alturas que no sobrepasan los 5 cm, alternando en la superficie con un pavimento calcáreo (caliche), en ocasiones cubierto por escasa capa vegetal. También aparecen hoyos y casimbas dispersas con formas muy irregulares en planta (dimensiones desde 0.09 m hasta 1.45 m), desarrollo limitado o puntual que en profundidad alcanza promedio de 1.80 m (medidos a partir del nivel actual del terreno). Como generalidad hacia el fondo estas estructuras aumentan el diámetro (forma de embudo inverso).

El desarrollo cársico más profundo desarrollado en las rocas que componen la Capa 2 (caliza biodetrítica), es inactivo o de actividad baja, presentándose como cavidades cársticas rellenas, con desarrollo predominantemente horizontal a profundidades que oscilan desde 12.60 m (cota -10.80 m en el P - 4) y 21.30 m (cota -19.50 m en el P - 5) medidos a partir del nivel actual del terreno, con formas de bolsones y alturas (de techo al piso) desde 0.40 m hasta 2.30 m.

Para ofrecer una idea de la magnitud del desarrollo cásico, se debe decir que del total de metros perforados (155.95 m) en las capas 1 y 2, corresponden a rocas afectadas por este fenómeno (10.35 m), equivalente al 6.64 % del volumen del macizo que servirá de base natural a la cimentación.

Los suelos que en su generalidad rellenan estas cavidades son compactos y de composición gravo o areno arcillosos carbonatado - ferruginosos de color rojizo a crema oscuro o carmelita, de origen cársico - eluvial, en menor medida aluvial (por transporte de corrientes de aguas superficiales que se infiltran por grietas y oquedades). Según el SUCS, los suelos que rellenan las cavidades existentes en la Capa 2, transitan desde arenas arcillosas con gravas (SC) hasta gravas arcillosas (o arcillo limosas) con arena (GC), y puntualmente arcillas muy plástica con gravas (CH), coincidiendo todos estos grupos en valores similares de peso específico, plasticidad de intermedia a ligeramente alta. Más detalles de los valores físicos promedios expuestos en la Tabla # 10.

Tabla # 10: Propiedades físicas promedio de los suelos que rellenan las cavernas (según ensayos).

SUCS	Intervalo de muestreo	Granulometría				Plasticidad			Condiciones naturales
		Gra	Are	Lim	Arc	LL	LP	IP	Gs
	(m)	(%)				(%)			(kN/m ³)
SC	14.80-20.10	20	38	42		50	21	29	27.4
GC	12.60-20.20	40	23	37		41	16	25	27.2
CH	14.00-14.60	24	18	58		53	19	34	27.9

Donde: **SUCS** - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; **Profund** - intervalo de muestreo; **Gra** - grava; **Are** - arena; **Lim**- limo; **Arc** - arcilla; **LL** - límite líquido; **LP** - límite plástico; **IP** - índice de plasticidad; **w** - humedad natural; **Gs** - peso específico.

A partir de los resultados obtenidos, fue posible confeccionar el Mapa de Zonación de la Carsificación de toda el área de estudio. (ver figura # 17).

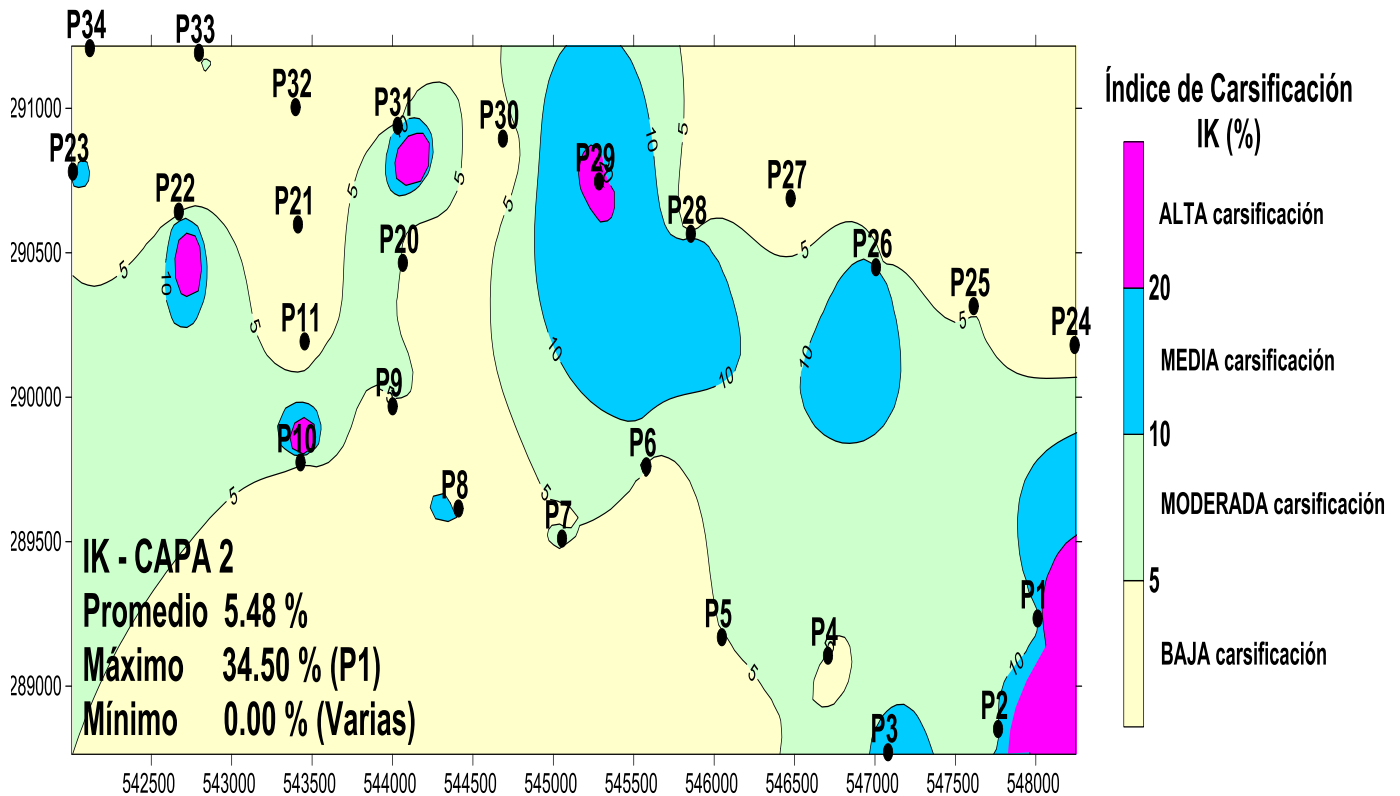


Figura # 17: Mapa de Zonación de la Carsificación de acuerdo al índice IK (N máxima).

La Capa 1: Calcarenitas afectadas por un carso de actividad baja a moderada, y se evidencia en los campos de lapiés (dientes de perro), los hoyos de disolución y las casimbas (inundadas o no) con desarrollo predominantemente vertical o sub - vertical.

Capa 2: Caliza biodetrítica, el carso desarrollado en las rocas es de actividad baja, mostrando cavidades cársticas rellenas y vacías predominando las primeras, probablemente con extensión horizontal a profundidades que oscilan desde 5.50 m hasta 18.50 m medidos a partir del nivel actual del terreno, con formas de bolsones y alturas (de techo al piso) desde 0.30 m hasta 2.65 m.

Los suelos que rellenan estas cavidades por lo general son compactos y de composición variable desde arcillosos hasta gravo o areno arcillosos, carbonatados, ferruginosos, de color rojizo a carmelita o crema oscuro, de origen

cársico - eluvial, en menor medida aluvial (por transporte de corrientes de aguas superficiales que se infiltran por grietas y oquedades). Según la NC 59: 2000, los suelos que rellenan las cavidades cársicas transitan desde arenas arcillosas con gravas (SC) hasta gravas arcillosas (GC), y en ocasiones arcillas de baja a media plasticidad con gravas (CL), coincidiendo todos estos grupos en valores similares de peso específico, plasticidad de intermedia a ligeramente alta.

Conclusiones

1. Los estudios realizados a través de los métodos geofísicos empleados en el área de estudio (cimiento y alrededores desbrozados), no detectaron la presencia de carso con envergadura que invalide la construcción de la cimentación y futuro montaje de los aerogeneradores proyectados. Los resultados de los tres pozos paramétricos, perforados en las zonas de anomalías de baja resistividad y velocidad (Vs), confirmaron la existencias de rocas alteradas, porosas, permeables y pobremente cementadas descartando el supuesto de cavernas vacías o rellenas por suelos saturados de agua salobre o marina, producto de los efectos de la intrusión salina.
2. Al realizar la interpretación de los parámetros dinámicos y de deformación del corte, se determinaron cinco (5) capas, compuestas de arriba hacia abajo por:
 - *Capa 1:* Calcarenitas afectadas por el carso (diente de perro).
 - *Capa 2:* Calizas biodetríticas muy porosas y permeables bajo el nivel de agua salobre.
 - *Capa 3:* Calizas biodetríticas masivas más conservadas.
 - *Capa 4:* Margas carbonatadas.
 - *Capa 5:* Calizas biodetríticas masivas más conservadas.
3. De la interpretación y análisis de los datos geofísicos obtenidos, se infiere que la mejor conservación de las rocas existentes, es hacia la porción Norte y Noroeste (N-NW) del emplazamiento; así mismo la zona de menor conservación de las rocas se detecta hacia la porción Sureste (SE) del emplazamiento. Partiendo de los resultados plasmados, consideramos que los estratos más superficiales del corte geológico existente en el área, presentan condiciones favorables para usarse como base de cimentación, aunque existen zonas donde se debe prestar mayor atención a la hora de realizar dichos cimientos.

Recomendaciones

1. La profundidad de cimentación debe tratar en lo posible de no superar los 1.5 m para evitar la complicación que entraña trabajar por debajo del nivel freático en un medio de permeabilidad considerable.
2. Es necesario tomar medidas correctivas para mitigar los efectos de las agresividades ambientales antes y durante la excavación, colocación de la armadura de refuerzo, elaboración y vertido del hormigón para la ejecución de la cimentación.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación de estos métodos es favorable y se recomienda su utilización en zonas enclavadas en ambientes costeros donde existan condiciones ingeniero - geológicas semejantes a las descritas en este trabajo.

Bibliografía

- ALONSO RODRÍGUEZ, JAVIER. 2000. Alteración de las Rocas. Causas: Factores y procesos de alteración. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. España.
- BATISTA MARTÍNEZ, ANDRÉZ. 2001. Informe Ingeniero Geológico. Calas hidrogeológicas Granja Integral Cultivo del camarón. Las Tapas. Municipio Jesús Menéndez.
- PAVÓN, ÁNGEL; BOZA, JOSÉ M. 2000. Informe Ingeniero Geológico Granja Integral Cultivo del Camarón Acceso Vial. Municipio Jesús Menéndez.
- PAVÓN, ÁNGEL; BOZA, JOSÉ M. 2001. Informe Ingeniero Geológico Granja Integral Cultivo del Camarón Tunas I. Objeto de Obra: Comunidad. Municipio Jesús Menéndez.
- PAVÓN, ÁNGEL; BOZA, JOSÉ M. 2001. Informe Ingeniero Geológico Granja Integral Cultivo del Camarón. Municipio Jesús Menéndez.
- SALGADO GUERRA, IRAELIA. 2001. Informe Ingeniero Geológico. Granja Integral Cultivo del camarón (Industria). Las Tapas. Municipio Jesús Menéndez.
- CANADIAN GEOTECHNICAL SOCIETY (1985). Canadian Foundation Engineering Manual.
- DÍAZ VIERA, MARTIN; GONZÁLEZ, RICARDO C. 2009. Geoestadística Aplicada. Análisis de exploración de datos. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- ECOSOL SOLAR, COPEXTEL S.A. Proposal for cooperation. 2002. Habana, Cuba.
- GEOMETRICS SEIS MODULE CONTROLLER SOFTWARE. 2005. Geometrics USA.
- GEOPLOT VISUALIZE DATA, Version 8.2.5.0 OYO Corporation 2004.

- HERNANDÉZ-SARLABOUS, MA. MARGARITA. 1986. Petrografía de las rocas sedimentarias. Editorial Pueblo y Educación.
- IGME (INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA DE ESPAÑA). 2001. Ingeniería Geológica. Mecánica de Rocas
- IGP (INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y PALEONTOLOGÍA). 1994. Léxico Estratigráfico de Cuba.
- IGP. 1997. Estudios sobre Geología de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica (CNDIG). Ciudad de La Habana. 140-153, 165-178 pp.
- IGP. 2001. Mapa Geológico de las Provincias Orientales. Edición digital. Escala 1:100000. Hoja 5079. Cabo Lucrecia. Grupo CASIG. MINBAS.
- INFORMES INGENIERO – GEOLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS, 2014.
- ISRM. 1981. Rock characterization. Testing and monitoring. ISRM suggested methods. Brown, E. T. Ed. Commission on testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press.
- KLIMENTOV, P; KONONOV, V. 1982. Metodología de las Investigaciones Hidrogeológicas. Editorial MIR. URSS.
- MORENO, C. ETAL. 1996. The Use of Wind Energy in Cuba, Proceedings of European Wind Energy Conference, Goteborg, Sweden.
- OFICINA NACIONAL DE HIDROGRAFÍA Y GEODESIA (ONHG). 2000. Nomenclatura de Nombres Geográficos Normalizados de Cuba. Comisión Nacional de Nombres Geográficos. 12, 98, 213 pp.
- PICK WIN SOFTWARE VERSION 3.2.0.1 OYO. Oct/2006 Corporation Japan.
- PLOTREFA_EE SOFTWARE VERSION 2.8.0.1 OYO. Oct/2006. Corporation Japan.
- RODRÍGUEZ PRIETO, PEDRO; REYES, ZULEMA. 2012. Informe del Mapeo Ingeniero Geológico realizado en el área de emplazamiento del Parque Eólico de 51 MW Playa Herradura I. Centro de Servicios de Investigaciones

Aplicadas. Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad (INEL).
Unión Nacional de Empresas Eléctricas (UNE).

SITIO WEB DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN CUBA. 2015.
(<http://www.ecured.cu>).

Anexos

Anexo 1 Columnas litológicas

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: P23-2 Norte

Cota del Pozo: 1.884 m

Coordenadas: X: 542012.362

Y: 290 788.024

Nivel Freático: 1.70 m

Escala	Cota N.F. y Estratos	Profundidad N.F. y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup. % R. Q. D. ■ No. de Golpes									
											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1			V-VI	1	NX					Calcarenita, con fragmentos de roca dura y carsificada con material arenoso										
2			II-III	1	NX			1.70		roca porosa de color crema, con intercalaciones de arena fina-media, gravas, fragmentos rocosos,										
3			V-VI	1	NX															
4		-2.81	V-VI	1	NX															
5		4.70	IV-V	1	NX															
6			IV-V	1	NX															
7			II-III	1	NX															
8			IV-V	1	NX															
9			III-IV	1	NX															
10			I	1	NX															
11			I	1	NX															
12			I	1	NX															
13		-11.31	IV-V	1	NX															
14		13.20	V-VI	1	NX															
15			V-VI	1	NX															
16		-14.11	IV-V	1	NX															
17		16.00	III-IV	1	NX															
18			III-IV	1	NX															
19		-17.61	V-VI	1	NX															
20		19.50	V-V	1	NX															
21		-19.11	V-VI	1	NX															
22		21.00	IV-V	1	NX															
23			IV-V	1	NX															
24		-21.71		1	NX															
25		23.60		1	NX															
26				1	NX															
27		-24.46		1	NX															
28		26.35		1	NX															
29		-25.61		1	NX															
30		27.50		1	NX															
31		-28.11		1	NX															
32		30.00																		
33																				
34																				
35																				
36																				

Observaciones: □ Muestra de Roca

■ Muestra de Suelo

● Números de golpes de la cuchara (SS)

● Números de golpes del (BL)

NX Perforación a Rotación

NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: P23-3 Oeste

Cota del Pozo: 1.891 m

Coordenadas: X: 542 005.362

Y: 290 781.024

Nivel Freático: 1.10 m

Escala	Cota N.F. y Estratos	Profundidad N.F. y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup. I % R. Q. D. — No. de Golpes									
											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	1.891	1.891	V-VI	1	NX		12	1.10		Calcarenitas con oquedades										
2		1.850	III-IV	1	NX		13			Caverna rellena de material arcilloso										
3			V-VI	1	NX		14			Calcarenita con oquedades,										
4			V-VI	1	NX		15			fragmentos de roca.										
5	-2.91	4.80	V-VI	1	NX		16													
6			III-IV	1	NX		17			Caliza organodetrítica con oquedades										
7			I	1	NX		18			color blanco crema, fragmentada										
8			III-IV	1	NX		19			con fósiles coralinos, las oquedades										
9			II-III	1	NX		20			aparecen rellenas de material arcilloso										
10			III-IV	1	NX		21			que alternan su color de verdoso a										
11			III-IV	1	NX		22			color crema al final del intervalo										
12			V-VI	1	NX		23													
13			V-VI	1	NX		24													
14	-12.91	14.80	V-VI	1	NX		25			Arcilla con fragmentos de roca.										
15			IV-V	1	NX		26			Caverna rellena										
16	-13.31	15.20	IV-V	1	NX		27			Caliza organodetrítica color blanco										
17	-13.91	15.80	IV-V	1	NX		28			Arcilla con fragmentos de roca.										
18	-14.31	16.20	V-VI	1	NX		29			Caverna rellena										
19			IV-V	1	NX		30			Caliza organodetrítica con oquedades de coloración amarillenta										
20	-17.01	18.90	IV-V	1	NX		31			se observan restos de fósiles										
21			V-VI	1	NX		32			Arcilla con fragmentos de roca.										
22	-18.41	20.30	V-VI	1	NX		33			Caverna rellena										
23			V-VI	1	NX		34			Caliza biotetrítica con oquedades de coloración amarillenta										
24	-19.91	21.80	V-VI	1	NX		35			se observan restos de fósiles										
25			V-VI	1	NX		36													
26			V-VI	1	NX		37			Margas y Arcillas										
27	-23.51	25.40	IV-V	1	NX		38			Caliza biotetrítica con oquedades de coloración amarillenta										
28	-23.91	25.80	IV-V	1	NX		39			se observan restos de fósiles										
29				1	NX		40													
30				1	NX		41			Margas y Arcillas										
31	-28.11	30.00		1	NX		42													

Observaciones: ☐ Muestra de Roca

☒ Muestra de Suelo

● Números de golpes de la cuchara (SS)

✱ Números de golpes del (BL)

NX Perforación a Rotación

NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: P23-4 Sur

Cota del Pozo: 1.893 m

Coordenadas: X: 542 012.362

Y: 290 774.024

Nivel Freático: 1.10 m

Escala	Cota N.F y Estratos	Profundidad N.F y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup. % R. Q. D. ■ No. de Golpes									
											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1			V-VI	1	NX			1.10		Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.										
2			V-VI	1	NX															
3			V-VI	1	NX															
4			V-VI	1	NX															
5	-3.035	5.00	V-VI	1	NX															
6			IV-V	1	NX					Caliza organodetrítica con oquedades color blanco crema, fragmentada										
7			V-VI	1	NX															
8			II-III	1	NX					con fósiles coralinos, las oquedades aparecen rellenas de material arcilloso										
9			I	1	NX					que alternan su color de verdoso a color crema al final del intervalo										
10			II-III	1	NX															
11			V-VI	1	NX															
12	10.635	12.60	V-VI	1	NX															
13	-11.54	13.50	V-VI	1	NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena										
14			V-VI	1	NX															
15			III-IV	1	NX					Caliza biotetrítica con oquedades monolitos, de color crema carsificada										
16			III-IV	1	NX					con restos de conchas, mezclada con un material gravo arenoso arcilloso										
17	-15.34	17.30	III-IV	1	NX															
18	-16.34	18.30	III-IV	1	NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena										
19			III-IV	1	NX															
20			III-IV	1	NX					Caliza biotetrítica con oquedades monolitos, de color crema carsificada										
21			III-IV	1	NX					con restos de conchas, mezclada con un material gravo arenoso arcilloso										
22	-20.04	22.00	IV-V	1	NX															
23			IV-V	1	NX					Margas y Arcillas										
24	-22.44	24.40	V-VI	1	NX															
25	-22.69	24.65	IV-V	1	NX					Caliza organodetrítica con oquedades										
26				1	NX															
27				1	NX					Margas y Arcillas										
28				1	NX															
29	-26.54	28.50		1	NX															
30	-27.04	28.00		1	NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena										
31	-28.04	30.00		1	NX					Margas y Arcillas										
32																				
33																				
34																				
35																				
36																				

Observaciones: □ Muestra de Roca

■ Muestra de Suelo

● Números de golpes de la cuchara (SS)

✱ Números de golpes del (BL)

NX Perforación a Rotación

NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesús Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: P23-5 Este

Cota del Pozo: 1.841 m

Coordenadas: X: 542 019.362

Y: 290 781.024

Nivel Freático: 1.69 m

Escala	Cota N.F y Estratos	Profundidad N.F y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup.
											% R. Q. D.
											No. de Golpes
											10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
1			III-IV	1	NX			1.89		Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.	
2			IV-V	1	NX						
3			IV-V	1	NX						
4		4.20	V-VI	1	NX						
5			IV-V	1	NX					Caliza organodetrítica con oquedades color blanco crema, fragmentada con fósiles coralinos, las oquedades aparecen rellenas de material arcilloso que alternan su color de verdoso a color crema al final del intervalo	
6			IV-V	1	NX						
7			IV-V	1	NX						
8			IV-V	1	NX						
9			III-IV	1	NX						
10			I	1	NX						
11			I	1	NX						
12			I	1	NX						
13		13.70	III-IV	1	NX						
14			IV-V	1	NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena	
15		16.00	IV-V	1	NX						
16			IV-V	1	NX					Caliza biotetrítica de color crema carsificada con restos de conchas, mezclada con un material gravo arenoso arcilloso	
17			IV-V	1	NX						
18		18.30	V-VI	1	NX						
19		19.50	IV-V	1	NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena	
20			IV-V	1	NX						
21		20.60	V-VI	1	NX					Caliza organodetrítica con oquedades	
22		21.30	V-VI	1	NX						
23		22.00		1	NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena	
24				1	NX						
25				1	NX					Margas y Arcillas	
26				1	NX						
27				1	NX						
28				1	NX						
29				1	NX						
30		30.50		1	NX						

Observaciones: ☐ Muestra de Roca

☒ Muestra de Suelo

● Números de golpes de la cuchara (SS)

* Números de golpes del (BL)

NX Perforación a Rotación

NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: PA-1

Cota del Pozo: 1.813 m

Coordenadas: X: 542 017.359

Y: 290 803.521

Nivel Freático: m

Escala	Cota N.F y Estratos	Profundidad N.F y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup.										
											% R. Q. D.										
											No. de Golpes	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1					NX					Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.	<div></div>										
2					NX						<div></div>										
3					NX						<div></div>										
4	-2.64	4.60			NX						<div></div>										
5					NX					Caliza organodetrítica con oquedades color blanco crema, fragmentada con fósiles coralinós, las oquedades aparecen rellenas de material arcilloso que alternan su color de verdoso a color crema al final del intervalo											
6					NX						<div></div>										
7					NX						<div></div>										
8					NX						<div></div>										
9	-7.54	9.50			NX					Arcilla con fragmentos de roca. Caverna rellena.											
10	-8.04	10.00			NX						<div></div>										
11					NX						<div></div>										
12					NX						<div></div>										
13					NX					Caliza biotetrítica de color crema carsificada con restos de conchas, mezclada con un material gravo arenoso arcilloso											
14					NX						<div></div>										
15	-13.04	15.00			NX						<div></div>										
16																					
17																					

Observaciones: □ Muestra alterada (bolsa) ■ Muestra semialterada (pomo)
● Números de golpes de la cuchara (SS) * Números de golpes del (BL)
NX Perforación a Rotación NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: PA-2

Cota del Pozo: 1.769 m

Coordenadas: X: 542 992.358

Y: 290 774.521

Nivel Freático: m

Escala	Cota N.F. y Estratos	Profundidad N.F. y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
											% R. Q. D.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
											No. de Golpes	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1					NX					Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

Observaciones: □ Muestra alterada (bolsa) ■ Muestra semialterada (pomo)
 ● Números de golpes de la cuchara (SS) * Números de golpes del (BL)
 NX Perforación a Rotación NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.

Pozo: PA-3





Cota del Pozo: 1.832 m

Coordenadas: X: 542032.359

Y: 290784.021

Nivel Freático: m

Escala	Cota N.F y Estratos	Profundidad N.F y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup.	% R. Q. D.									
											No. de Golpes										
											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
1					NX					Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.											
2					NX																
3					NX																
4					NX																
5	-3.04	5.00			NX																
6					NX					Caliza organodetrítica con oquedades color blanco crema, fragmentada con fósiles coralinos, las oquedades aparecen rellenas de material arcilloso que alternan su color de verdoso a color crema al final del intervalo											
7					NX																
8					NX																
9					NX																
10					NX																
11					NX																
12					NX																
13					NX																
14					NX																
15	-13.04	15.00			NX																
16																					
17																					

Observaciones:  Muestra alterada (bolsa)  Muestra semialterada (pomo)
 Números de golpes de la cuchara (SS)  Números de golpes del (BL)
 NX Perforación a Rotación NL Limpiador

Obra: Parque Eólico La Herradura.

Situación: Las Tapas, Jesus Menéndez, Provincia Las Tunas.
































Pozo: Phg-1

Cota del Pozo: 1.891 m

Coordenadas: X: 542012.362

Y: 290778.024

Nivel Freático: m

Escala	Cota N.F. y Estratos	Profundidad N.F. y Estrato	Grado de Alteración	No de Sondeo	Muestreador	Golpes/30 cm	Muestras	NF / Kf	Simbología	DESCRIPCIÓN	% Recup. 	% R. Q. D. 								
											No. de Golpes									
											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1					NX					Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.										
2					NX															
3					NX															
4	-2.54	4.50			NX															
5					NX					Caliza organodetrítica con oquedades color blanco crema, fragmentada con fósiles coralinos, las oquedades aparecen rellenas de material arcilloso que alternan su color de verdoso a color crema al final del intervalo										
6					NX															
7					NX															
8					NX															
9					NX															
10					NX															
11					NX															
12					NX															
13					NX															
14					NX															
15	-13.04	15.00			NX															
16																				
17																				

Observaciones: □ Muestra alterada (bolsa) ■ Muestra semialterada (pomo)
● Números de golpes de la cuchara (SS) * Números de golpes del (BL)
NX Perforación a Rotación NL Limpiador

LEYENDA

	Calcarenita con oquedades, fragmentos de roca.
	Caliza organodetrítica con oquedades de coloración amarillento se observan restos de fósiles.
	Margas y Arcillas
	Arcilla con fragmentos de roca. ¿caverna rellena?
	Arcilla arenosa de color naranja rojizo
	Nivel Freático
	Caverna Vacía

Anexo 2 Propiedades Físico-Mecánicas

Tabla # 4: Propiedades físico-mecánicas de la Capa 1 (según ensayos de laboratorio).

#	Muestra	Intervalo de muestreo	Condiciones naturales				Valores mecánicos			Resistencia según la compresión simple	Ablandamiento frente al agua (kpz)
			□ _h	□ _d	□ _{sat}	Abs	σ _{c_{nat}}	σ _{c_{sat}}	σ _t		
		(m)	(kN/m ³)				(MPa)				
1	MR-1	0.00-0.20	21.34*	20.30			13,70*			Baja	-
	MR-2	1.05-1.20	12.38	21.27*			1.90			Muy Baja	-
2	MR-12	0.80-1.00	17.42	17.38			9.9*			Baja	-
	MR-13	4.80-5.00	18.41	15.57	20.28	10.10		3.10		Muy Baja	-
3	MR-22	1.53-1.70	16.33	16.25			4.60				-
	MR-23	1.70-2.00	16.50	16.34			3.50				sufre ablandamiento
	MR-23		16.34	13.39	18.39	12.60		2.30			-
	MR-24	3.40-3.52	14.87	12.51	16.72	12.40		1.60			-
4	MR-45	0.40-0.57	14.93	14.71			4.40				-
	MR-46	1.34-1.46	12.55	12.37			2.60				-
	MR-47	1.71-1.84	14.09	10.97	16.44	16.70	2.70				no se ablanda
	MR-47		18.09	16.21	19.85	9.70		3.00			
	MR-48	5.07-5.32	16.76	14.56	18.41	9.90		6.50		Baja	-
5	MR-65	0.00-0.20	17.29	17.20			5.10			Baja	-
valor mínimo			12.38	10.97	16.44	9.70	1.90	1.60		no se ablanda	
valor máximo			18.41	20.30	20.28	16.70	5.10	6.50			
valor promedio			15.84	15.21	18.35	11.90	3.54	3.30			
varianza			3.81	6.28	2.46	7.17	1.43	3.57			
desviación estándar			1.95	2.51	1.57	2.68	1.20	1.89			
numero de valor			13	14	6	6	7	5			
error de la media			0.54	0.67	0.64	1.09	0.45	0.84			
valor de cálculo			14.76	13.87	17.07	9.71					

Donde: γ_h - peso específico húmedo; γ_d - peso específico seco; γ_{sat} - peso específico saturado; **Abs.**- absorción; $\sigma_{c_{nat}}$ - resistencia a la compresión con humedad natural; $\sigma_{c_{sat}}$ - resistencia a la compresión saturada; σ_t - resistencia a la tracción; *- valores no representativos que no fueron incluidos en los cálculos estadísticos.

Tabla #7: Propiedades físico-mecánicas de la Capa 2 (según ensayos de laboratorio).

#	Muestra	Intervalo de muestreo	Condiciones naturales				Valores mecánicos			Resistencia según la compresión simple	Ablandamiento frente al agua (kpz)
			□ _h	□ _d	□ _{sat}	Abs	σ _{c_{nat}}	σ _{c_{sat}}	σ _t		
		(m)	(kN/m ³)				(MPa)				
1	MR-3	7.10-7.38	20.37	18.97	21.02	3.20		22.50*		Media	no se ablanda
	MR-4	7.60-7.80	21.54	21.10			22.10*				sufre ablandamiento
	MR-5	8.10-8.48	23.70	23.49*			33,90*				
	MR-5A		22.19	18.62	22.67	2.20		19.20*			
	MR-6	9.00-9.40	19.04	18.67			11.90			Baja	no se ablanda
	MR-6A		20.55	19.85					8.30		
	MR-6B		19.72	18.67	20.31	3.00		18.70*		Media	-
	MR-7	10.60-10.75	21.05	20.09	21.19	0.60		29,80*			
	MR-8	11.35-11.60	18.19	17.73			6.80			Baja	-
	MR-9	15.45-15.65	18.48	17.22	19.08	3.30		10.20			-
	MR-10	22.00-22.20	19.49	19.24	21.45	1.30		12.30			-
	MR-11	22.55-22.90	18.19	17.45			11.20				-
	MR-11A		19.49	18.88					7.80		
2	MR-14	5.00-5.20	18.03	17.59			6.60				Baja
	MR-15	5.30-5.50	18.53	16.93	19.42	4.80		9.90			
	MR-16	6.05-6.50	17.34	16.51					6.10	no se ablanda	
	MR-16A		16.19	15.17			6.70				
	MR-16B		17.16	15.00	18.36	7.00		13.10			
	MR-17	8.45-8.80	20.96	20.43			16.90			Media	no se ablanda
	MR-17A		22.30	20.86	22.82	2.30		19.00*			
	MR-18	9.20-9.50	20.57	20.03			19.20*				no se ablanda
	MR-18A		21.74	20.46	22.17	1.90		35.70*			
	MR-19	10.30-10.60	19.72	18.83			15.00				no se ablanda
	MR-19A		20.78	19.05	21.45	3.20		20.08*			
	MR-20	11.70-12.00	17.96	17.38			6.70			Baja	no se ablanda
	MR-20B		17.89	16.10	18.58	3.80		7.50			

	MR-20A	16.10-16.35	17.54	15.20	18.00	2.60		6.00			-
	MR-21	17.70-17.90	17.42	15.34	17.98	3.20		6.60			-
3	MR-25	4.80-5.00	18.93	17.22	19.93	5.30		12.80			-
	MR-26	5.54-5.78	16.46	16.37			18.80			Media	
	MR-26		20.02	19.70					9.60		
	MR-27	5.78-6.00	19.24	19.03			9.60			Baja	no se ablanda
	MR-27		19.86	18.89	20.91	5.30		8.20			
	MR-28	6.00-6.38	16.31	16.12			6.50				-
	MR-28		16.40	16.25					6.00		
	MR-29	6.38-6.60	18.48	18.26			5.10			Muy Baja	no se ablanda
	MR-29		17.37	15.88	18.26	5.10		3.90			
	MR-30	7.23-7.54	15.00*	14.81*					4.00		
3	MR-30		15.01*	14.71*			5.30			Baja	no se ablanda
	MR-31	7.62-7.77	19.53	17.26	20.71	6.00		4.30*		Muy Baja	
	MR-32	7.77-8.00	15.00*	14.82*			5.30			Baja	
	MR-33	8.33-8.75	17.72	17.48			9.60				no se ablanda
	MR-33		17.77	15.98	19.01	6.90		8.60			
	MR-34	8.75-9.00	24.06*	23.89*			44,30*			Media	-
	MR-35	9.00-9.31	20.68	20.45			30,70*				
	MR-35		23.33	22.92					11.10	Baja	no se ablanda
	MR-35		22.93	22.17	23.11	0.80		46,90*		Media	
	MR-36	9.43-9.77	18.97	18.85			10.10			Baja	
	MR-36		18.75	18.53					7.60		no se ablanda
	MR-36		19.10	17.16	19.91	4.20		9.50			
	MR-37	10.00-10.24	18.82	18.65			8.80				
	MR-37		18.34	16.30	18.79	2.50		15.30*		Media	no se ablanda
	MR-38	10.44-10.62	16.41	15.92			6.10			Baja	-
	MR-39	11.00-11.20	17.09	15.51	18.21	6.50		4.20		Muy Baja	sufre ablandamiento
	MR-40	11.46-11.65	16.71	16.42			6.10			Baja	
	MR-41	16.54-16.69	16.76	16.58			5.30				-
	MR-42	16.77-17.00	17.10	16.75			5.30				-
	MR-43	25.44-25.54	17.56	16.23	18.18	3.50		5.90			sufre ablandamiento
	MR-44	25.60-25.75	20.32	19.95			10.60				
4	MR-45	0.40-0.57	14.93*	14.71*			4.40*			Muy Baja	-
	MR-49	5.07-5.32	17.01	16.60			5.80			Baja	-

4	MR-50	7.17-7.41	17.99	17.66			6.40			Media	no se ablanda
	MR-50		17.06	16.82				5.10			
	MR-50		17.95	16.45	18.72	4.30		8.80			
	MR-51	7.53-7.81	18.42	18.19					7.50		-
	MR-51		19.51	18.35	20.26	3.90		15.30*			
	MR-52	7.81-8.00	22.65	22.28			20.60*			Alta	no se ablanda
	MR-52		23.47	22.89	23.81	1.50		70.00*			
	MR-53	8.00-8.39	21.10	20.81			8.40			Baja	-
	MR-54	8.39-8.59	23.29	23.06*			25.80*			Media	-
	MR-55	8.83-9.00	20.82	23.02*			25.00*				-
	MR-56	9.10-9.25	20.85	19.73	21.67	3.90		21.50*			-
	MR-57	9.56-9.71	18.44	16.98	19.19	4.10		10.50		Baja	-
	MR-58	10.17-10.48	17.42	17.27			7.70				Muy Baja
	MR-58		18.55	18.33					4.90		
	MR-58		17.82	16.27	18.54	4.10		12.30			
	MR-59	11.59-11.73	20.37	19.55	20.89	2.50		13.30		Baja	-
	MR-60	14.24-14.39	18.20	16.98	18.99	4.40		8.40			no se ablanda
	MR-61	14.40-14.53	17.60	17.27			8.70				no se ablanda
	MR-62	21.07-21.28	20.67	19.48	21.41	3.50		14.40*			
	MR-63	21.85-22.00	20.12	19.94			10.00				
4	MR-64	24.40-24.58	21.32	20.56	21.98	3.10		7.90			-
5	MR-66	5.25-5.55	17.23	16.03	18.65	8.20		4.60*		Muy Baja	no se ablanda
	MR-67	5.60-5.78	17.63	16.91			5.20			Baja	-
	MR-68	7.85-8.10	19.37	18.38	20.04	3.50		7.20			-
	MR-69	8.10-8.25	19.46	19.28			6.00				-
	MR-70	9.40-9.62	16.49	16.23			9.30				no se ablanda
	MR-71	9.62-9.80	19.22	16.53	19.93	3.70		17.90*			-
	MR-72	10.10-10.20	29.93*	29.69*					21.40*		sufre ablandamiento
	MR-73	11.10-11.34	20.19	20.05			9.80				
	MR-73	11.10-11.34	16.21	15.95					5.80		
	MR-74	11.35-11.55	17.34	15.76	18.06	4.20		5.80			
	MR-75	12.20-12.36	26.76*	26.36*					10.70	-	
	MR-76	16.20-16.35	16.94	16.71			4.70*			Muy Baja	sufre ablandamiento
	MR-77	16.70-16.90	16.65	15.05	17.00	2.10		1.80*			-
	MR-78	17.00-17.20	16.14	16.01					5.70		

MR-79	19.62-19.85	18.56	17.31	18.99	2.30		4.80*			-
MR-80	20.00-20.18	16.93	16.63			8.40			Baja	-
valor mínimo		16.14	15.00	17.00	0.60	5.10	4.20	4.00	no se ablanda	
valor máximo		23.70	22.92	23.81	8.20	18.80	13.30	11.10		
valor medio		18.93	17.97	19.99	3.70	8.48	8.45	7.16		
varianza		3.58	3.58	2.79	2.85	11.32	8.41	4.75		
desviación estándar		1.89	1.89	1.67	1.69	3.37	2.90	2.18		
numero de valor		91	88	39	38	33	24	14		
error de la media		0.20	0.20	0.27	0.27	0.59	0.59	0.58		
valor de cálculo		18.53	17.57	19.46	3.15	7.31	7.26	5.99		

Donde: γ_h - peso específico húmedo; γ_d - peso específico seco; γ_{sat} - peso específico saturado;

Abs.- absorción; **σ_{nat}** - resistencia a la compresión con humedad natural; **σ_{sat}** - resistencia a la compresión saturada; **σ_t** - resistencia a la tracción.

Anexo 3 Resultados Tomografía Eléctrica y Sísmica 2D por perfiles

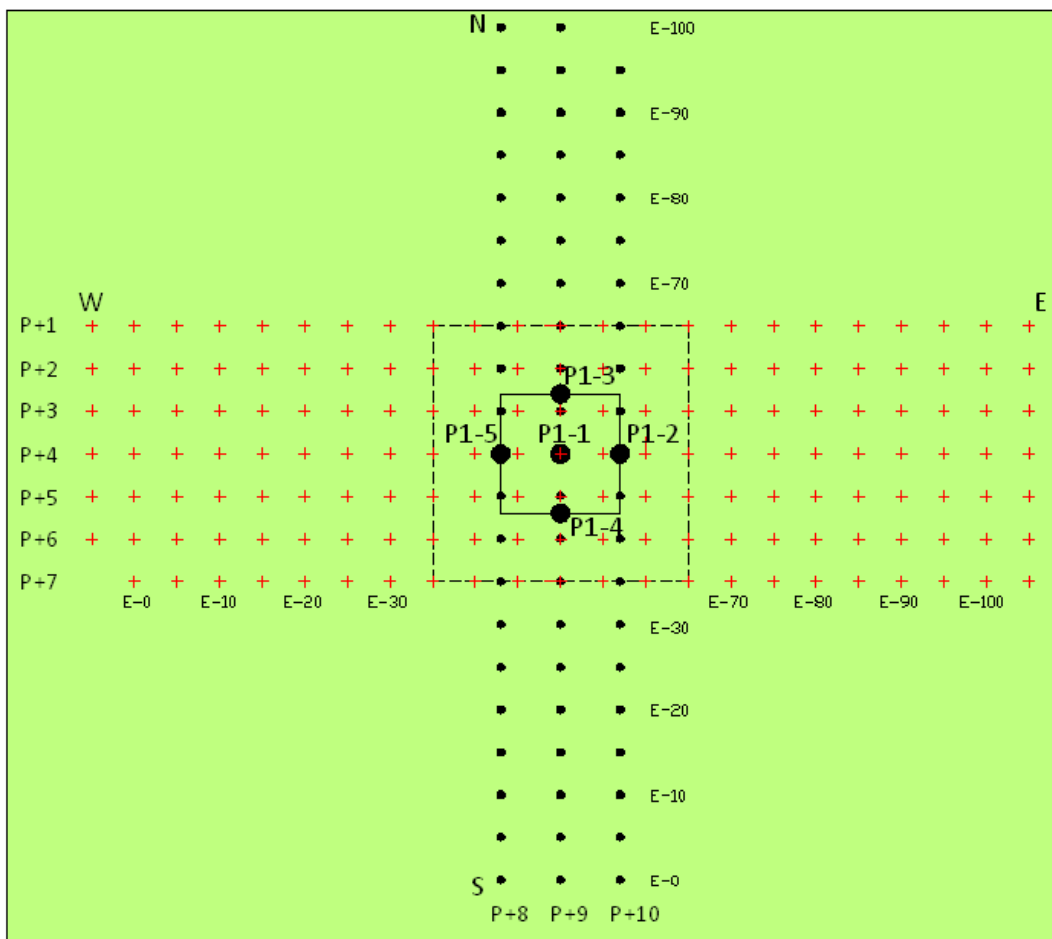
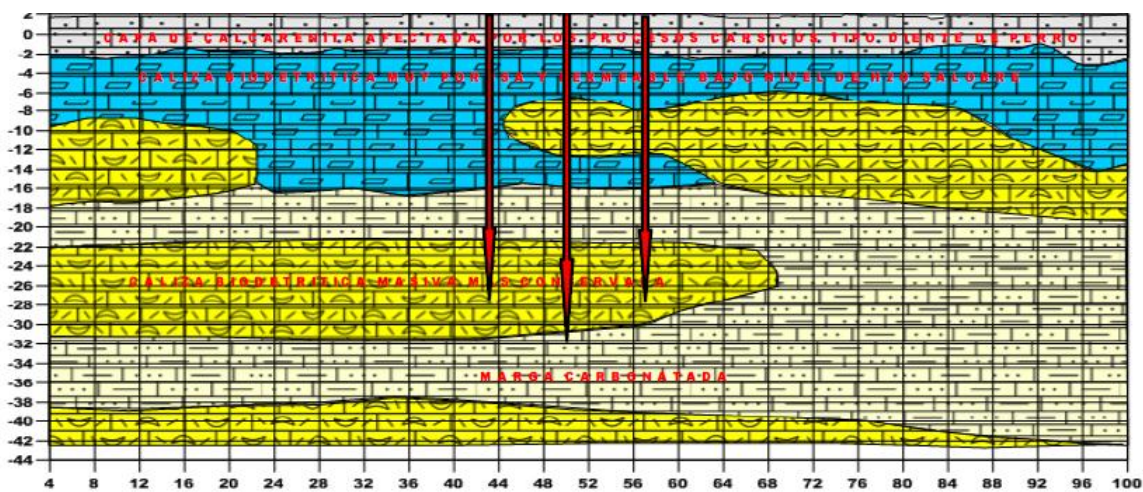
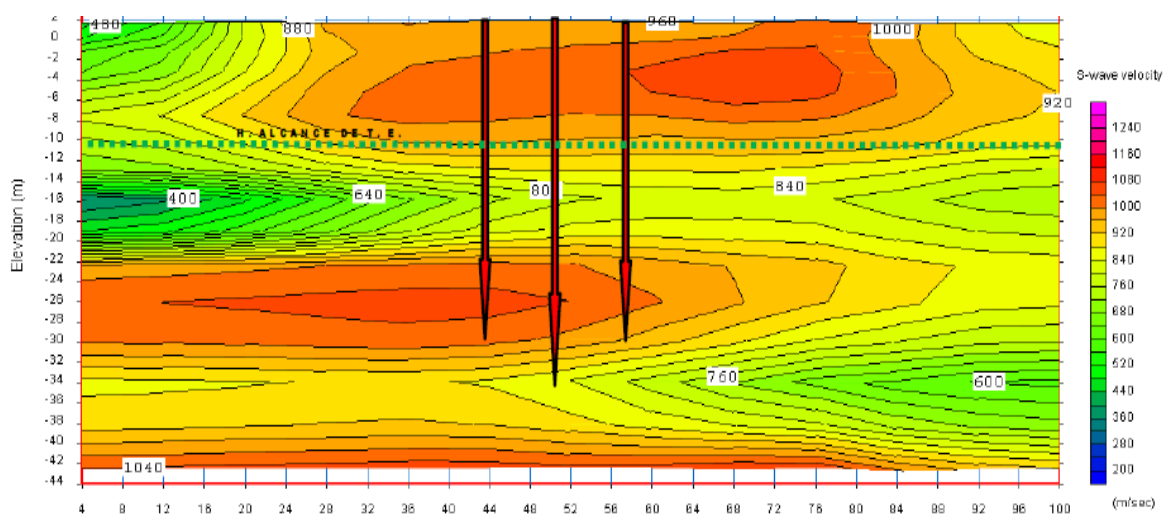
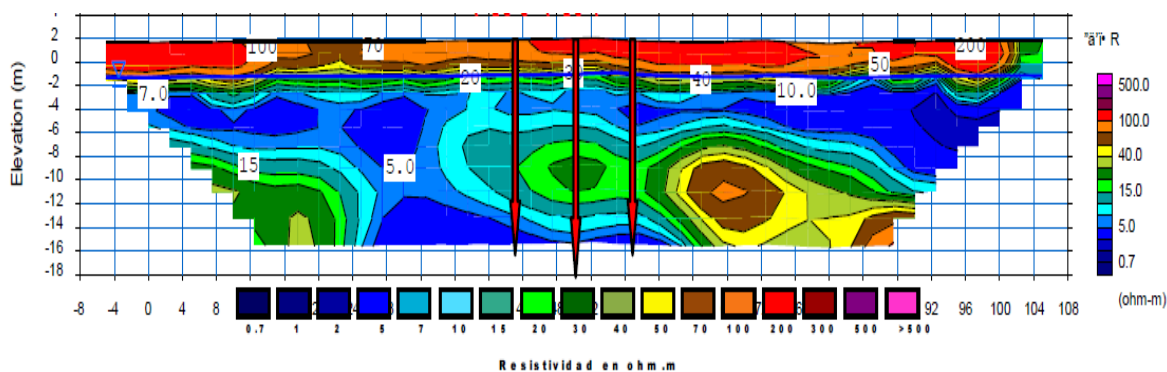
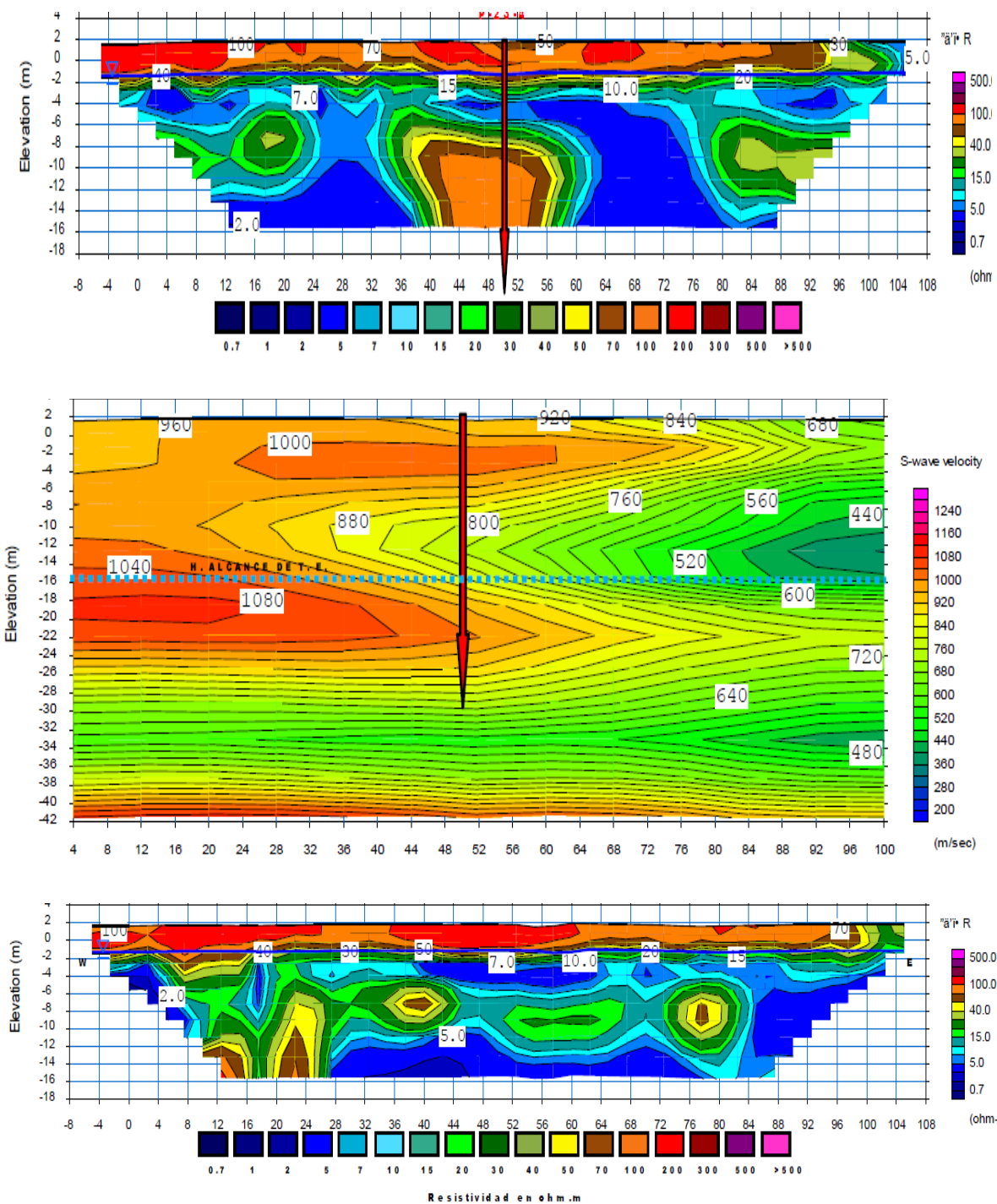
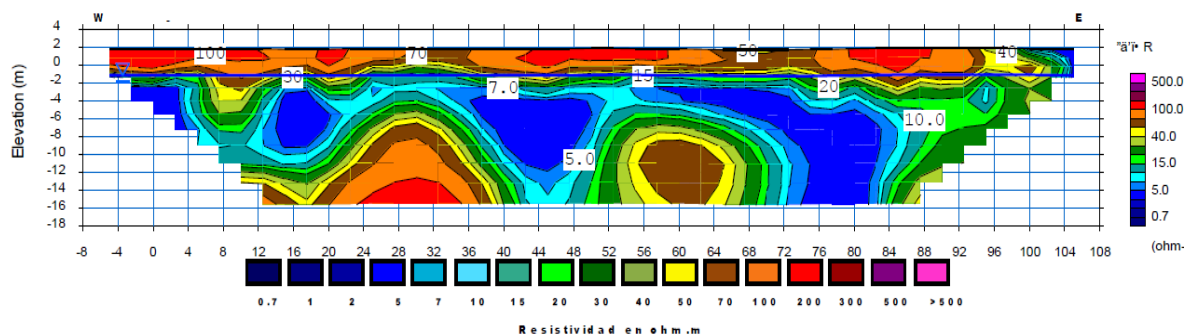


Fig. 1. Esquema topográfico donde se ejecutaron los trabajos geofísicos de Resistividad (TEW). Plataforma-1.

(Dirección W-E)







(Dirección S-N)

