



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, **Danai Cedeño Texidó**, autor de este trabajo de diploma certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Danai Cedeño Texidó

Firma del Diplomante

Ing. Lilian García Macía

Firma del Tutor

M.S.c. Amalia Beatriz Riberón

Firma del Consultante

Danai Cedeño

Texidó



DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi madre querida, a mi abuelita del alma y principalmente lo dedico a mi abuelito que ya no se encuentra entre nosotros pero fue un eslabón principal en mi etapa universitaria.

Danaí Cedeño

Texidó



AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo lleva implícito una serie de gratos esfuerzos y apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer:

Agradezco a mis madres Dania Cedeño Texidó y María Teresa Texidó Galván desde lo más profundo de mi corazón por su amor, paciencia, comprensión, y por darme su apoyo incondicional.

A mis tías por estar siempre en el momento en que las necesité, por su amor y por ser muy buenas consejeras.

A mi querido hermano que a pesar de tener poca edad ha sabido ayudarme y apoyarme.

A mis primos queridos que siempre están presentes para corregirme cada error que pueda cometer en la vida, pero principalmente al que más llevo conmigo porque es como un ángel Reynier Leyva.

Aquel que ha sabido ser como un padre Raydel Lafitta López aparte de mi abuelo que ya no está, por apoyarme en los momentos que más lo he necesitado.

A mis amigos Neolvis, Yennis, Arnel, Yanet,

A mi novio Luis Miguel por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

Al departamento de Geología por tener una representación de profesores líderes que han sabido impartir las clases con toda su dedicación.

A mis compañeros del Grupo que han compartido cinco años de sacrificios y alegrías.

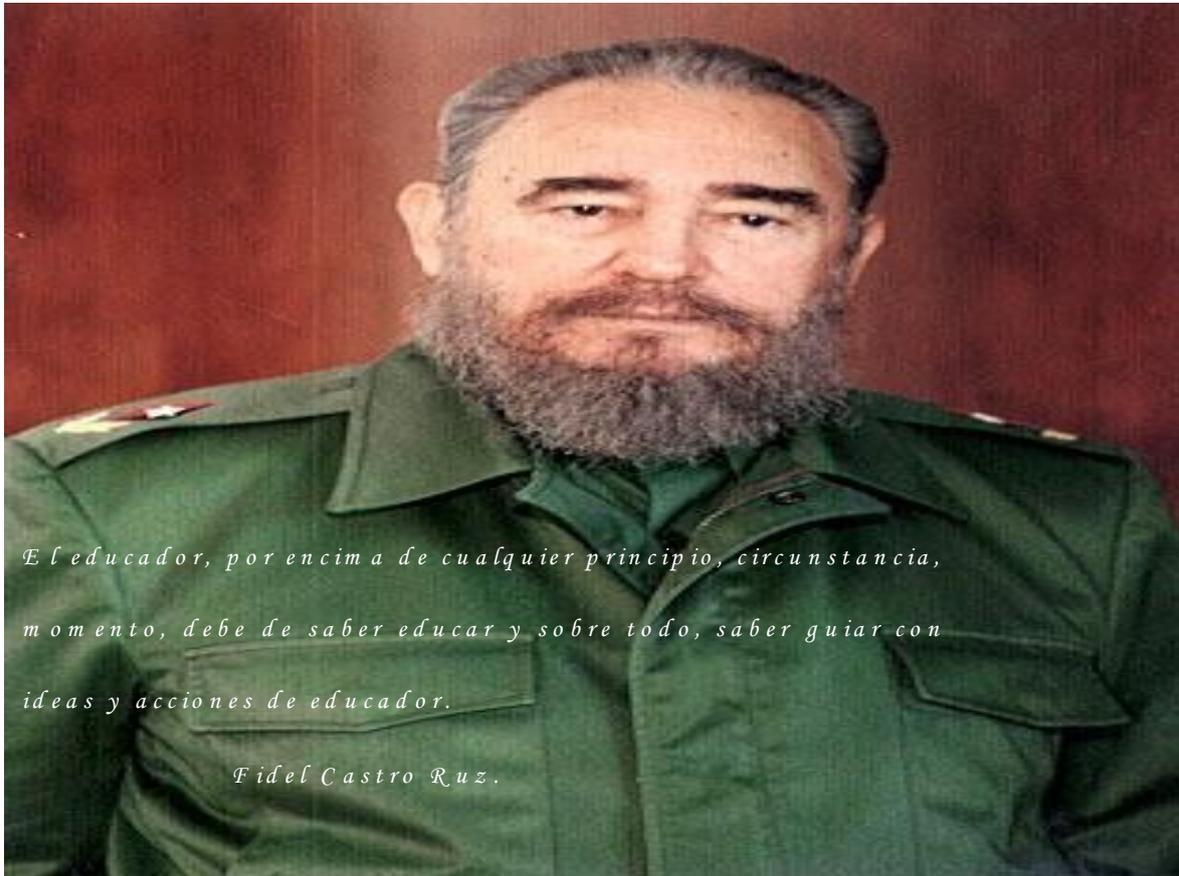
A mi tutora Lillian García, por ser guía, por ayudarme con la realización de este trabajo, a la Máster en ciencias Beatriz Riverón, a la Ingeniera Liuska la cuál le agradezco más que a nada por ayudarme cuando más lo necesité, y al Geólogo Rolando trabajador de la Enia de Holguín.

A Dios por permitirme estar viva para disfrutar de este momento.

Dania Cedeño
Texidó



P E N S A M I E N T O



Danai Cedeño

Texidó



RESUMEN

El presente trabajo titulado: **Estudio de la viabilidad geológica para la construcción de un parque eólico Herradura I. Las Tunas**, tuvo como objetivo identificar los procesos geológicos que afectan el suelo donde se construirá el Parque Eólico Herradura I. Las Tunas, así como determinar las condiciones Ingeniero Geológicas y la viabilidad geológica para la construcción del mismo. La metodología aplicada consta de tres etapas fundamentales: Etapa preliminar, procesamiento de la información, e Interpretación de los resultados. Se realizó una amplia caracterización de las estructuras presentes y fenómenos que afectan el área de estudio. El procesamiento de la información se determinó a partir de programas de computación los que dieron paso a la interpretación de los mapas confeccionados. Como resultados se obtuvo las capas ingeniero-geológicas con capacidad para la cimentación de los aerogeneradores del Parque Eólico la Herradura I, los principales procesos y fenómenos geológicos que afectan el área de estudio y las propiedades físico-mecánicas.

Danaí Cedeño

Texidó



SUMMARY

The present titled work: I study of the geologic viability for the construction of a park Eolic Horseshoe I. The Tunas, he/she has as objective to determine the geologic viability for the construction of the Eolic Park, as well as to identify the geologic processes that affect to the Park, for I finish to determine Geologic characteristic Engineer. The applied methodology consists of three fundamental stages: Preliminary stage, Prosecution of the information, and Interpretation of the results. In which are carried out a wide characterization of the present structures and phenomena that affect the study area. The prosecution of the information was determined starting from calculation programs, interpretation of maps. As results the engineer-geologic layers were obtained with capacity for the foundation, the main processes and geologic phenomena that affect the study area, as well as the physical-mechanical properties.

Dani Cedeño

Texidó



ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS, HIDROGEOLÓGICAS E INGENIERO GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
1.1 Generalidades	6
1.2 Características físico – geográfica	8
1.2.1 Ubicación geográfica	8
1.3 Características Geológicas de la Región	9
1.4 Geología del área de estudio	10
1.5 Características Tectónicas del sector de estudio	12
1.6 Características Hidrogeológicas	13
1.7 Procesos Geodinámicos Y Antrópicos	15

CAPITULO II: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN APLICADAS	20
2.1 Introducción	20
2.2 Etapa preliminar: Recopilación y Revisión de la información existente.	20
2.3 Segunda Etapa: Procesamiento de la información	20
2.4 Tercera Etapa: Interpretación de los resultados.	20

CAPITULO III: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD GEOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO HERRADURA I.LAS TUNAS.	31
3.1 Introducción	31

Danai Cedeño
Texidó



3.2 Interpretación de informaciones geofísicas.....	32
3.3 Interpretación de las pruebas de Hidrogeología.....	41
3.4 Condiciones de cimentación.....	45
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49

Danaí Cedeño

Texidó



INTRODUCCIÓN

Todas las obras se apoyan sobre el terreno de una u otra forma, y muchas de ellas utilizan el suelo como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por el del suelo utilizado para conformar los rellenos.

Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales quizás no tomados en consideración en el diseño, productores a su vez de deformaciones importantes, fisuras, grietas o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono. (Tomado de <http://www.ecured.cu/index.php/Suelo>)

Un parque eólico es una agrupación de aerogeneradores que transforman la energía eólica en energía eléctrica.

Los parques eólicos se pueden situar en tierra o en el 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 emplazamiento elegido durante un tiempo que suele ser superior a un año. Para ello se instalan veletas y anemómetros. Con los datos recogidos se traza una rosa de los que indica las direcciones predominantes del viento y su velocidad.

Los parques eólicos proporcionan diferente cantidad de energía dependiendo de las diferencias sobre diseño, situación de las turbinas, y por el hecho de que

Danaí Cedeño

Texidó



los antiguos diseños de turbinas eran menos eficientes y capaces de adaptarse a los cambios de dirección y velocidad del viento.

Un **aerogenerador** es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Tomado de

(<http://wiki.ismm.edu.cu:8080/wiki/Parque%20e%C3%B3lico.html>)

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, etc.

Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red.

Ya en la primera mitad del siglo XX, la generación de energía eléctrica con rotores eólicos fue bastante popular en casas aisladas situadas en zonas rurales.

En Europa se distingue claramente un modelo centro-europeo, donde los aerogeneradores llegan a ubicarse en pequeñas agrupaciones en las cercanías de las ciudades alemanas, danesas, neerlandesas, y un modelo español, donde los aerogeneradores forman agrupaciones (a veces de gran tamaño) en las zonas montañosas donde el viento es frecuente, normalmente alejadas de los núcleos de población.

Danaí Cedeño

Texidó



La energía eólica se está volviendo más popular en la actualidad, al haber demostrado la viabilidad industrial. Nació como búsqueda de una diversificación en el abanico de generación eléctrica ante un crecimiento de la demanda y una situación geopolítica cada vez más complicada en el ámbito de los combustibles tradicionales. Tomado de (<http://wiki.ismm.edu.cu:8080/wiki/pedia/A/Parque%20e%C3%B3lico.html>)

Por las características del área donde se investiga y por lo antes planteado es que se hace necesaria la siguiente investigación: **Estudio de la viabilidad geológica para la construcción del parque eólico Herradura I. Las Tunas.**

Problema: Insuficiente conocimiento de las condiciones ingeniero geológicas del terreno donde se emplazará el Parque Eólico Herradura I. Las Tunas.

Objeto: El suelo donde emplazará el Parque Eólico Herradura I. Las Tunas.

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

Objetivo: Evaluar la viabilidad geológica e ingeniero geológicas del área donde se construirá el Parque Eólico Herradura I. Las Tunas.

Objetivos Específicos

- Identificar los procesos geológicos que afectan el suelo donde se construirá el Parque Eólico Herradura I. Las Tunas.
- Determinar las condiciones Ingeniero Geológicas.
- Determinar la viabilidad geológica para la construcción del Parque Eólico Herradura I, Las Tunas.

Hipótesis: Si se determinan las condiciones Ingeniero Geológicas y se identifican los procesos geológicos que afectan el área, entonces se podrá hacer una correcta evaluación de la viabilidad geológica para la construcción del Parque eólico Herradura I. Las Tunas.

Estado del Arte de la Investigación

Parque Eólico Cerro de Hula, Tegucigalpa, República de Honduras

Danaí Cedeño

Texidó



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.

Parque Eólico Tandil, Buenos Aires, Argentina

Puesto en servicio desde el 25 de mayo de 1995, con dos turbinas eólicas marca NegMicon, 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.

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).

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).

Danaí Cedeño

Texidó



Capítulo I

Dani Cedeño

Textidó

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS, HIDROGEOLÓGICAS E INGENIERO GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

1.1 Generalidades

1.2 Características físico – geográfica

1.2.1 Ubicación geográfica

1.3 Características Geológicas de la Región

1.4 Geología del área de estudio

1.5 Características Tectónicas del sector de estudio

1.6 Características Hidrogeológicas

1.7 Procesos Geodinámicos y Antrópicos

1.1 Generalidades

La mayor parte del territorio es ondulado con algunos cerros al Norte y al Noroeste, donde se destacan los cerros del Fraile y la Loma de la Cruz. Este último uno de los símbolos de la ciudad.

Se caracteriza por un complicado y singular relieve, relacionado con las condiciones litológicas (rocas) y tectónicas (estructurales). En el territorio se pueden distinguir tres regiones principales: Las llanuras que bordean la costa y zona centro - sur de la provincia (Llanura de Nipe y del Cauto), con alturas entre 0.50 m, que presentan un carácter abrasivo del litoral al interior de la provincia, acumulativo con fragmentos de terrazas marinas, playas, en algunos sectores y ciénagas marginales con mangle entre otros.

La zona centro – sur, ocupada por llanuras de origen marino, por lo que actualmente fluyen importantes ríos con la presencia de formas y complejos fluviales, presentando un desarrollo pronunciado de depósitos aluviales. En el sector occidental, las llanuras denudativas onduladas y colinosas, que bordean

Danaí Cedeño

Texidó

el sistema de elevaciones de Maniabón y alcanzan alturas entre 50 – 100 m , con pendientes entre 0 – 8% .

Los valles se encuentran alineados, al igual que las cadenas de elevaciones en dirección este – oeste y los efectos de la erosión diferencial son evidentes en toda el área. Con alturas entre 100 – 300 m , aparece el sistema de elevaciones o cerros de Maniabón de singular morfología. En las alturas y zonas colinosas, con pendientes entre 8 – 15% , se observan procesos erosivos – cársicos y denudacionales que conforman típicos cerros de pendientes abruptas y cimas planas (mogotes).

El relieve del área, al igual que el del Archipiélago Cubano, está condicionado por su posición geográfica en el Arco Insular de las Antillas Mayores y por la influencia de las oscilaciones paleo-climáticas y glacioeustáticas del Cuaternario. En la etapa Neotectónica predominan los desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos, la sedimentación de una cobertura poco deformada, que cubre parcialmente a las estructuras antiguas. La llanura costera donde se ubica el área, forma parte de la sub-región Gíbara-Puerto Padre, y pertenece al segundo nivel de terraza con alturas que oscilan entre 1.00-5.00 m s/NMM, de génesis marina donde predominan los procesos denudativo-abrasivos y cubierta por vegetación típica de poca altura (manglares, uva caleta, guao de costa, júcaro, entre otros especies), debido al pobre desarrollo de suelos, el sustrato rocoso superficial y el ambiente salino. Esta llanura colinda al norte con el primer nivel de terraza, donde predominan los procesos acumulativos, representados por las marismas (playazos) inundadas permanente o temporalmente y los perfiles emergidos de playas (duna-berma-litoral) o terrazas rocosas.

El relieve llano, desarrollado sobre rocas carbonatadas del Cuaternario, se ve afectado como generalidad por morfoesculturas y morfoestructuras (cavidades de diversos tamaños y sistemas superficiales de grietas, en menor medida) generadas por procesos de carsificación, que aportan ondulaciones notables o enmascaradas por la escasa capa de suelos o la vegetación. Son

Dani Cedeño

Texidó

representativos los campos de lapieés (dientes de perro), hoyos de disolución y casimbas (inundadas o no).

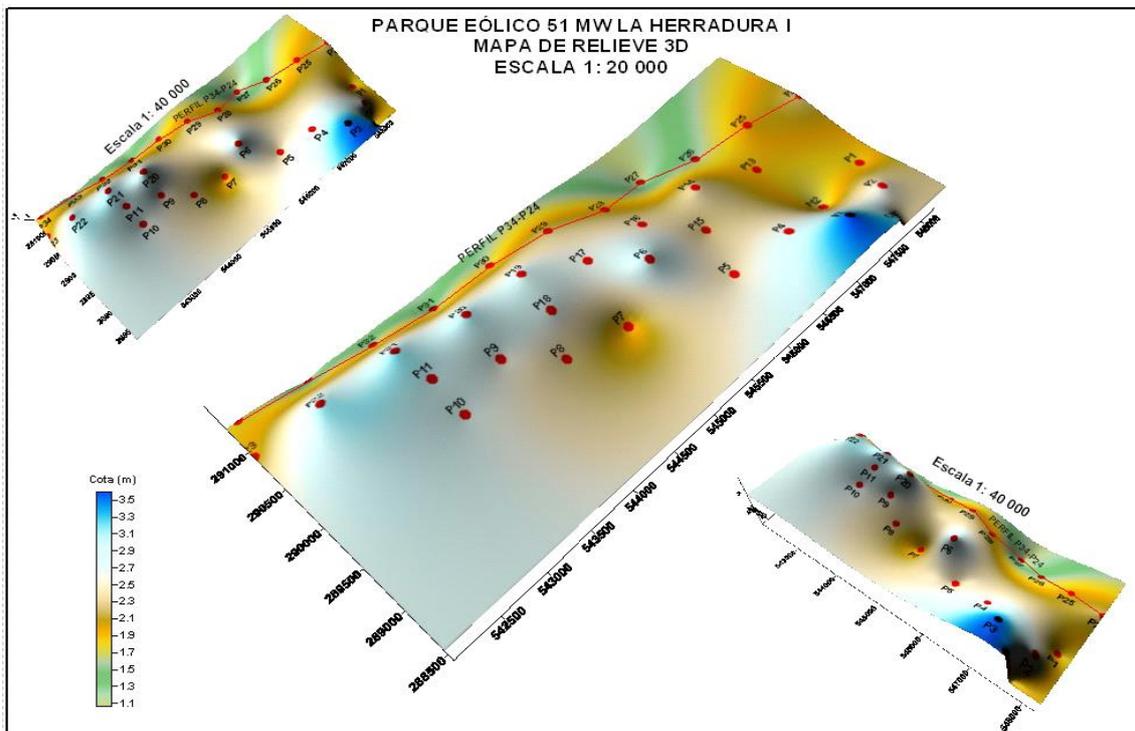


Figura # 1: Mapa 3d del relieve del Parque Eólico Playa “La Herradura I”. Tomado de los Informes Ingeniero - Geológicos ofrecidos por la ENIA .

1.2 Características físico – geográfica

1.2.1 Ubicación geográfica

El área de estudio del Parque Eólico La Herradura I, con un largo máximo de 6.45 km (en dirección Este-Oeste) y un ancho aproximado a los 2.00 km (en dirección Norte-Sur), se ubica en la zona costera septentrional del Municipio Jesús Menéndez, en la Provincia Las Tunas, específicamente al norte-noroeste (N-NW) del Poblado Las Tapas (extremo oriental), y al sur (S) de las playas Azules-La Genovesa (porción central) y al este (E) de Playa La Herradura (extremo occidental). Distante de la línea de costa (litoral) a unos 300.00 m. Cartográficamente (según ONHG, 2000) se enmarca en las hojas 4979-IV-d, 4979-IV-c, 4979-IV-b, y 4979-IV-a, de mapas a escala 1:25000.

Danaí Cedeño

Texidó

A esta área se accede por la carretera que une el Poblado de Lora y la Playa La Herradura (distante a 13.00 km), y los caminos que unen a ésta carretera con los poblado Pozo Blanco - Las Tapas (8.30 km desde Lora), o La Playa La Herradura con Las Tapas (camino costero de 11.40 km). Existen además trillos y caminos carboneros antiguos poco transitados en varias direcciones que atraviesan el área y la comunican con las localidades referidas.



Figura # 2: Imagen satelital del área de estudio. Tomado de Rodríguez Prieto, Pedro. 2012. Informe del Mapeo Ingeniero Geológico del Parque Eólico Playa "La Herradura I".

1.3 Características Geológicas de la Región.

Los depósitos correspondientes al Substrato Plegado 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 (se asocian los sistemas cavernarios de considerable extensión) y de los procesos de meteorización, que pueden llegar a desarrollarse incluso a profundidades

Dani Cedeño

Texidó

superiores a los 30m , tendiendo a reducir sustancialmente las propiedades de resistencia y formación del macizo rocoso .

Las rocas carbonatadas y carbonatado-terrigenas 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 mejor 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.

1.4 Geología del área de estudio

La geología del área se enmarca en el Neoautóctono Cubano, conocido también como la Asociación Estructuro Formacional (AEF) de Neoplataforma, específicamente en el Sistema Cuaternario con desarrollo más superficial (en las dos primeras decenas de metros del corte), donde las transgresiones y regresiones glacioeustáticas del nivel del mar, jugaron un rol determinante en la historia de la sedimentación y posterior litificación cuando eran sometidos al intemperismo sub-aéreo tropical. Asimismo representado por el Sistema Neógeno, sub-serie Mioceno Inferior terminal-Mioceno superior basal, el que aflora tierra adentro paralelo a la franja cuaternaria, a la que subyace en profundidad.

En el área, el Cuaternario es agrupado en la Formación Jaimanitas ($Q_4 js$), 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 carbonato-arcillosa 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 blanquizca o amarillenta.

Danaí Cedeño

Texidó

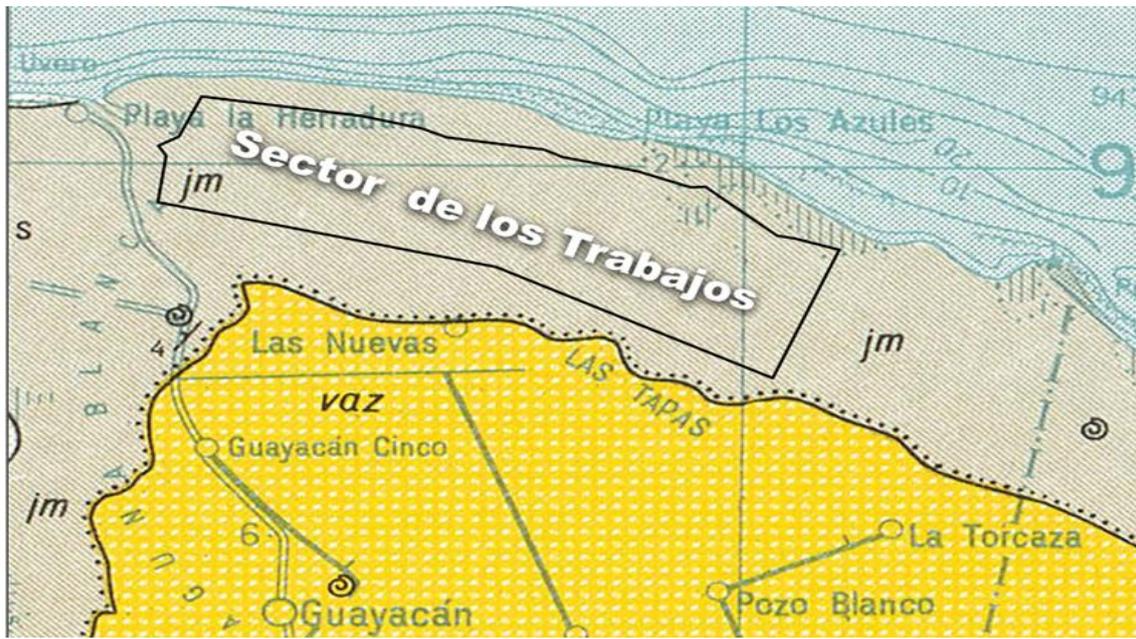
Desde el punto de vista estratigráfico, yace discordantemente sobre la Formación Vázquez, y cubierta concordantemente por los depósitos innominados del Cuaternario, en el caso que nos ocupa representado por suelos incipientes de poco espesor (no sobrepasa como generalidad los 20 cm), con alto contenido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

La Formación Vázquez ($N_1^1 - N_1^2$ vq), representa el Mioceno, 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, calcilitas 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 blaucuzco, 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.

Danaí Cedeño

Texidó



jm - Fm: Jaimanitas: calizas organodetríticas y organógenas, 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".

1.5 Características Tectónicas del sector de estudio

Las zonas donde se realizaron los trabajos aparece ubicada directamente sobre diferentes bloques neotectónicos, limitados por zonas de fallas normales y por zonas de alta fracturación, las diferencias hipsométricas entre los mismos no es significativa pero es evidente y en general provoca junto a la acción de otros procesos naturales la existencia de zonas de inundación permanentes y temporales.

La ausencia de escalones de terrazas marinas ubicadas a diferentes niveles, de escalones de terrazas "colgados" y del escalón de la primera terraza en el sector Sur del área, de cauces fluviales permanentes o incluso temporales y de depósitos sueltos de variada génesis, indica que en época relativamente

Dani Cedeño

Texidó

reciente ,los procesos de abrasión marina labraron una superficie acentuadamente llana inclinada en dirección al mar ,y que esta a su vez, debido a la intersección de varias zonas de fallas neotectónicas de diferentes órdenes, quedó dividida en varios bloques de escasa extensión ,con desplazamientos verticales y basculamientos pocos intensos, como resultado de esta evolución ,los bloques neotectónicos existentes presentan escasa diferenciación hipsométricas entre si y relaciones tectónicas bastantes simples.

1.6 Características Hidrogeológicas

En la región de estudio se reporta la existencia de 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.l.seg.

Las rocas acuíferas están representadas por diferentes variedades petrográficas de rocas calizas de edad Mioceno-Cuaternario que aparecen en mayor o menor grado agrietadas, y generalmente afectadas por los procesos de carsificación, lo que les confiere una alta permeabilidad.

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.

Por los estudios realizados en la zona, podemos decir que en el área existe un acuífero sin presión o freático, que se alimenta fundamentalmente de las aguas pluviales que se infiltran por los poros, grietas, formas cársticas superficiales o de zonas de aereación.

Las rocas acuíferas están representadas por 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 m. Subyacen a estas rocas poco

permeables, representadas por margas calcáreas, arcillas, calizas margosas de edad Mioceno Medio (Fm. Vázquez).

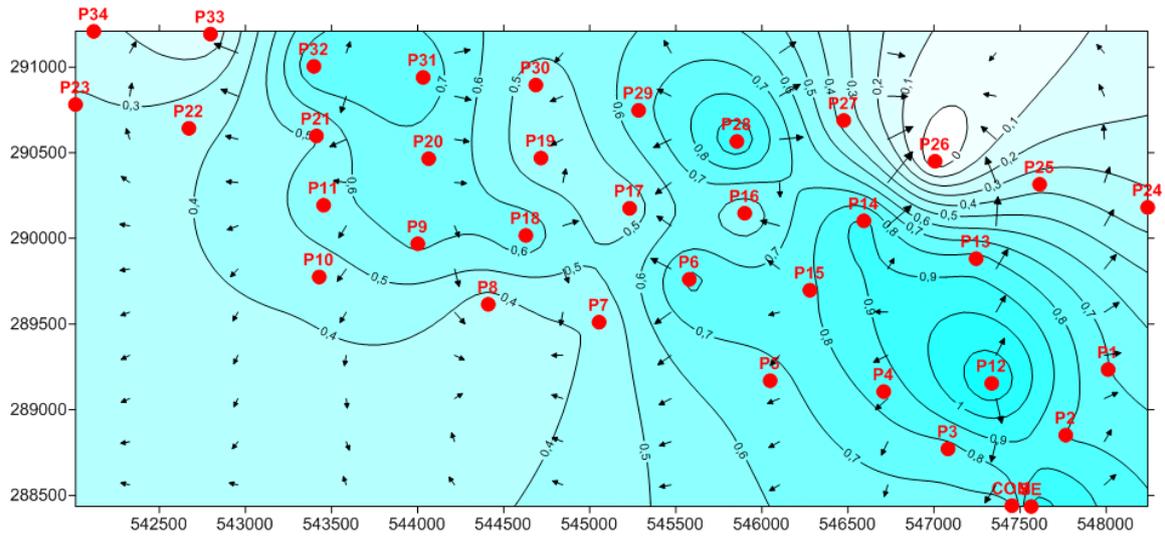


Figura # 4 Mapa Hidrogeológico de Hidroisohipsas escala 1:20 000 del Parque Eólico Playa "La Herradura I". Tomado de los Informes Ingeniero - Geológicos ofrecidos por la ENIA

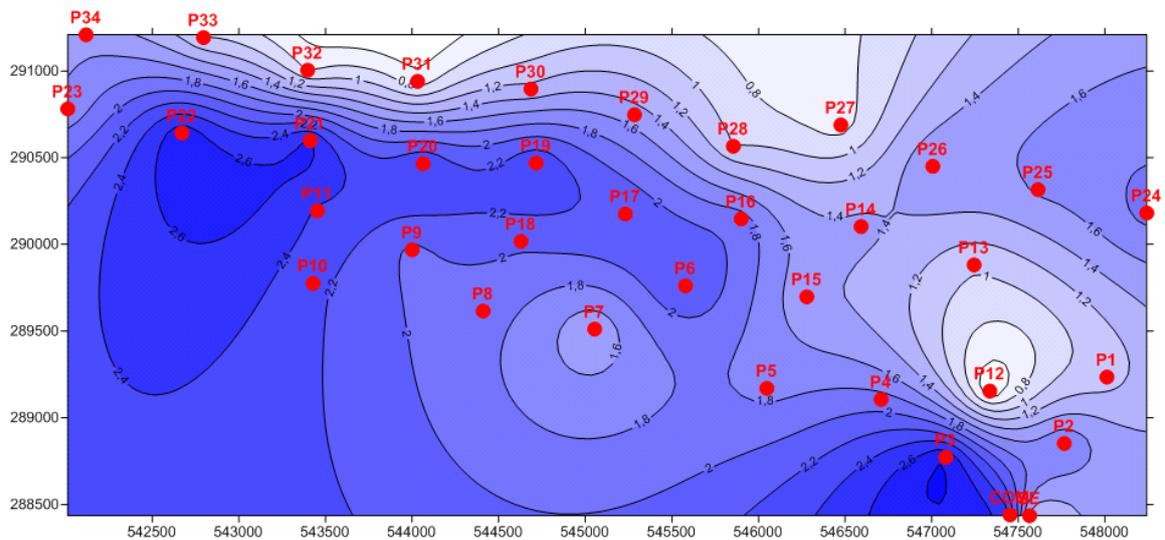


Figura # 5 Mapa Hidrogeológico de estratoisohipsas escala 1:20 del Parque Eólico Playa "La Herradura I". Tomado de los Informes Ingeniero - Geológicos ofrecidos por la ENIA

Danaí Cedeño
Texidó

1.7 Procesos Geodinámicos Y Antrópicos

Los fenómenos físico-geológicos que han alcanzado un desarrollo significativo en el área son:

- **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. Véanse las siguientes imágenes:



Figura 5: Foto de la evidencia de Empantanamiento en la zona.

- **Carso**

Los fenómenos físico-geológicos se concentran principalmente en el desarrollo erosivo-disolutivo del carso en general poco desarrollados, sin orientación preferencial, actuando al parecer asociado a las zonas de debilidad estratigráfica.

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), también se encuentran hoyos cársticos como se muestra en la foto siguiente.



Figura 6: Foto de un cenote que se localiza a menos de 40.00 m del área de emplazamiento.

Para ofrecer una idea de la magnitud del desarrollo cársico, se debe decir que del total de metros perforados (155.95 m) en las capas, 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.

Teniendo en cuenta fundamentalmente las zonas donde se desarrollan los procesos cársicos y las formas originadas por los mismos, dentro de los límites del área de estudio se pueden diferenciar dos zonas:

1. Zona con desarrollo del Carso Superficial

Dentro de este se puede diferenciar dos sectores perfectamente distinguibles por el grado de denudación que presenta las diferentes formas

- Carso desnudo y litoral

Danaí Cedeño

Texidó

El carso desnudo 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 m 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 formas lapiezadas (diente de perro) de bordes prominentes y muy filosos, hoyos cársicos vacíos con bordes muy irregulares y afilados

- **Carso cubierto.**

El Carso cubierto aparece desarrollado en el interior de la superficie de la Terraza Marina de forma discontinua y se caracteriza por la presencia de formas de lapiez generalmente desnudas con bordes muy desgastados, hoyos cársicos de formas redondeadas y regulares de diámetro de hasta 3 y 4 m, pequeñas cuevas verticales a subverticales de hasta 0,85 m de diámetro, vacías o rellenas con sedimentos de variadas génesis con abundante materia orgánica.

2. Zona con desarrollo del Carso intermedio y profundo.

Se refiere a las formas cársicas 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 forma cársica, no presenta gran desarrollo vertical en comparación con su desarrollo horizontal, que puede llegar a ser de hasta centenares de metros e incluso de kilómetros.

Dentro del área estudiada las formas cársicas de mayor extensión pertenecen a esta zona, pero no fueron estudiadas con detalles.

Ver fotos:



- **Procesos de inundación.**

Figura 7: Foto de desarrollo del Carso con envergadura.

Los procesos de inundación están ampliamente extendido 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 2m sobre el nivel del mar y en segundo lugar a la escasa disección vertical (prácticamente nula) existentes 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 cársticas existentes. Ambos factores unidos a la cercanía a la superficie del terreno del nivel superior de las aguas subterráneas conectadas hidráulicamente con las aguas del mar, originan que con variaciones de tan solo 0,30 y 0.40 m en el espesor del espejo del agua, causadas por lluvias medianamente intensas, ocurran incremento del 300 a 400 % de la superficie ocupada por las zonas inundadas.

Además de los inconvenientes que la zona de inundación acarrea a la hora de realizar las excavaciones para construir las bases de los aerogeneradores y de sus obras inducidas, si las aguas son también altamente salinizadas y por tanto agresivas al acero y al hormigón, se originan nuevas condicionantes para las soluciones de cimentación.

Danaí Cedeño

Texidó



Capítulo II

Dani Cedeño

Textidó

CAPITULO II: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN APLICADAS.

2.1 Introducción

2.2 Etapa preliminar: Recopilación y Revisión de la información existente.

2.3 Segunda Etapa: Procesamiento de la información

2.4 Tercera Etapa: Interpretación de los resultados.

Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la valorar de la viabilidad geológica para la construcción del Parque Eólico, Herradura I.Las Tunas, según las tres etapas principales. Se parte de la revisión de los trabajos precedentes donde se adquiere la información base. Se describe el método de procedimiento utilizado en el análisis de las propiedades físico mecánicas el comportamiento de los suelos y así valorar la viabilidad geológica para la construcción del Parque Eólico Herradura I, Las Tunas.

Danaí Cedeño

Texidó

La investigación en el área de estudio, se realiza en tres etapas fundamentales
Ver figura siguiente:

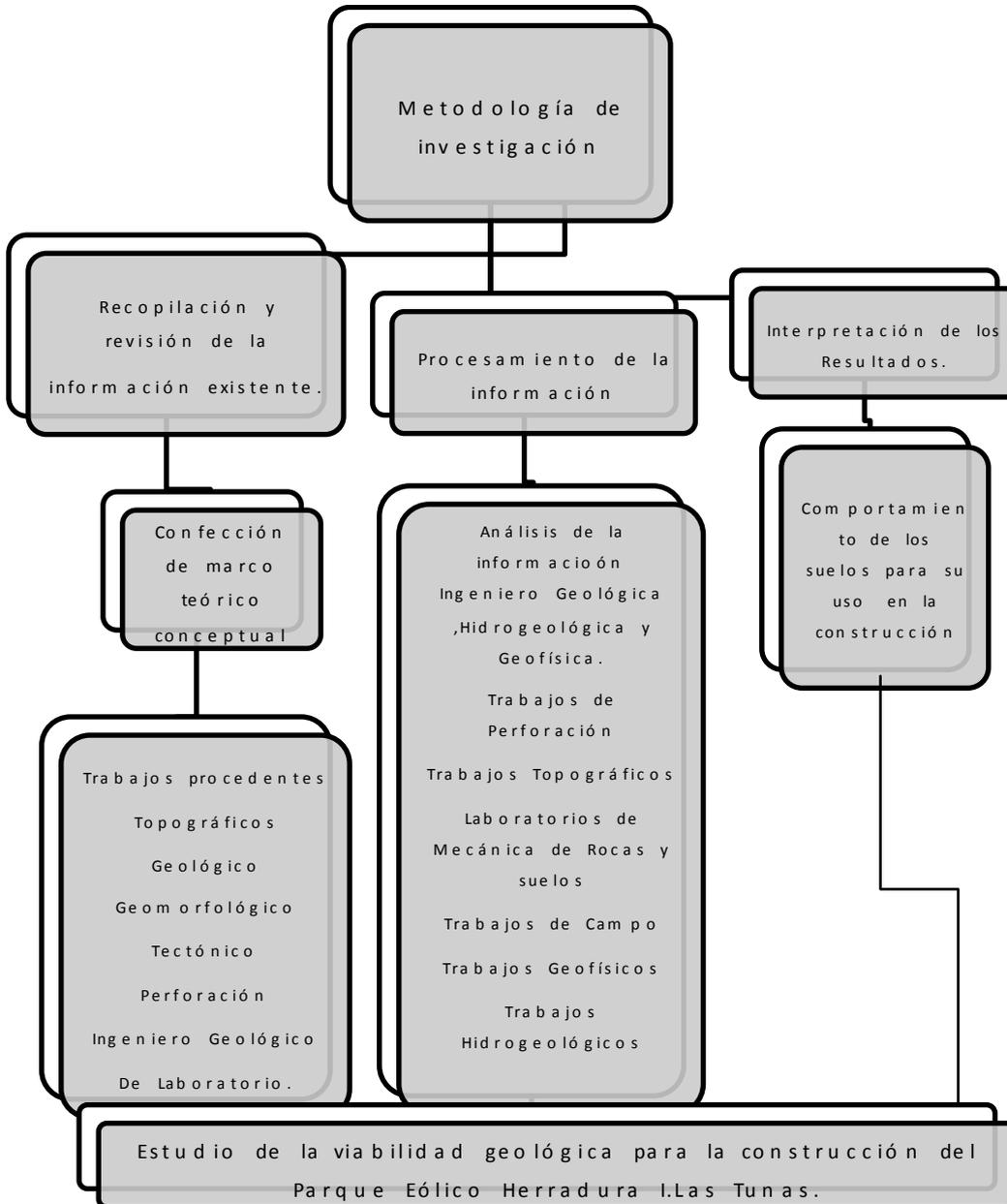


Figura 8: Metodología aplicada para el desarrollo de la investigación.

Etapa preliminar: Recopilación y Revisión de la información existente.

En esta etapa se realiza el análisis de la bibliografía existente de la región y área de estudio, de la cual se revisa y recopila la información útil para la

investigación. Se hacen búsquedas en el centro de información del ISMMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet. Estudios anteriores de otras instituciones. Como resultados se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico e ingeniero geológico. En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación.

Segunda Etapa: Procesamiento de la información.

Para obtener las informaciones necesarias de campo y laboratorio que garantizan el cumplimiento del objetivo de la investigación se realizan visitas a la zona de estudio con el objetivo de precisar el tipo de perforación, los puntos de muestreo y la metodología a seguir en la toma de muestras para los diferentes ensayos de laboratorio.

En los **trabajos topográficos** para el replanteo de los pozos y los puntos de los perfiles geofísicos (estaquillado) se utilizó la Estación Total (ET) LEICA TCR-805, a la cual se introdujeron las coordenadas de los pozos y las coordenadas de los 10 perfiles geofísicos (inicio y final) en cada plataforma. Una vez descargada la estación total con el programa LEICA Geo-Office y comprobado la veracidad de los datos, se procedió al replanteo de dichos puntos por coordenadas proyectadas (según datos ofrecidos por INEL).

Ya en el terreno, se procedió con la cinta métrica de 50.00 m, al replanteo de los restantes puntos en cada perfil geofísico, haciendo coincidir el 0+00 replanteado con la ET con el 0.00 de la cinta y al 0+50 con el 50.00 de la cinta, leyendo sobre la misma, todos los valores intermedio y así sucesivamente.

La base altimétrica fue ejecutada mediante una nivelación geométrica, conocida como Nivelación Técnica, con el nivel Ni-020 y el uso de miras bilaterales de tres metros, precisión 20 mm \sqrt{k} , permitiendo dar altura a todos los puntos establecidos en el terreno (pozos y estaquillado). Los puntos de comienzo y cierre fueron los mencionados anteriormente

Danaí Cedeño

Texidó

Como modo de comprobación se realizó una Nivelación Taquimétrica conjuntamente con la poligonal con la Estación Total, la cual fue comparada con la nivelación Técnica, no existiendo errores mayores del permisible.

Para las medición de las poligonales de Nivelación se tuvieron en cuenta las exigencias reflejadas en las instrucciones Técnicas para Levantamientos Topográficos Escala 1:2000, 1:1000 y 1:5000 del M I C O N S

Los Controles Altimétrico y Planimétrico se realizaron a partir de los vértices mencionados conjuntamente con las mediciones de la ET verificada el 13/04/2013 y certificada acta para el Uso por el Laboratorio de G E O C U B A Holguín, asimismo la cinta métrica, el nivel y las miras, evaluados como aptos para su uso.

En el transcurso de **los trabajos de perforación** se tomaron, por parte del personal técnico encargado de la obra, 80 (ochenta) testigos de rocas (del M R 23-1 al M R 23-80) y 28 (veinte y ocho) muestras alteradas (bolsas) de suelo (de M S 23-1 al M S 23-28), enumerados todos de forma continua. Todas las muestras tomadas fueron fotografiadas con una cámara digital S O N Y de alta resolución para dejar evidencia. Estas muestras fueron obtenidas con el objetivo de enviarlas y ensayarlas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la U I C Camagüey.

Todos los pozos se realizaron con el método rotario a baja velocidad, con circulación interna de agua restringida y controlada, y en la mayoría de los sondeos en seco, para evitar el lavado o desintegración de las rocas alteradas o poco cementadas y así lograr una alta recuperación, alcanzando como promedio 94.5%, superior a la exigida por la Tarea Técnica. En general los primeros metros se perforaron con simple-tubos (N X) de 127 mm de diámetro, continuando con 108 mm y culminando el pozo con 89 mm. Fueron perforados un total de 215.50 m, de ellos 90.00 m en categoría B3 y 125.00 m en categoría C3, distribuidos de la siguiente manera: 10.35 m en suelo (4.80%), 42.05 m en semi-roca (19.51%) y 163.10 m en rocas (75.68%). En todos los casos fueron encamisados los primeros 8.00 m de cada pozo (72.00 m).

Danaí Cedeño

Texidó

Las descripciones, muestreo y clasificaciones de los suelos o rocas perforados, fueron realizados indistintamente por los especialistas encargados de las investigaciones, utilizando como referencia la normativa vigente en Cuba.

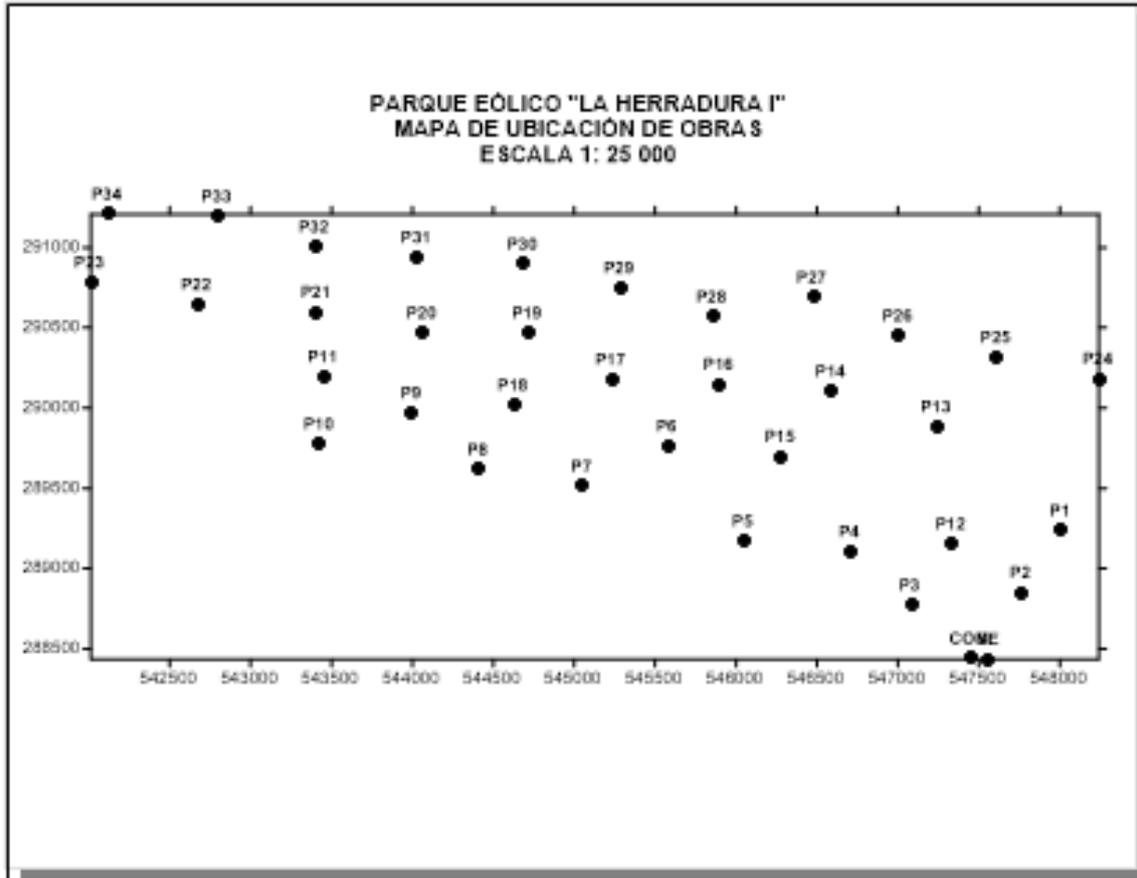


Figura 9: Mapa de datos reales

En el laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la UIC Holguín, se realizaron Los ensayos físicos y mecánicos de las muestras, respondiendo a las tareas técnicas emitidas al mismo personal técnico responsable de la obra. Se rigieron por las normas internacionales del grupo ASTM y las cubanas del grupo NC, las que se mencionan a continuación:

• ASTM D 854-06:	Determinación del Peso Específico de los suelos.
• ASTM D 422-63 (Reaprobada en 2002):	Análisis del tamaño de las partículas de los suelos.
• ASTM D 4318-05:	Determinación del Límite líquido, Límite plástico e

Danaí Cedeño
Texidó

	Índice de plasticidad.
• ASTM D 2216-05:	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad del suelo y la roca mediante la masa).
• NC-156:2002:	Determinación del Peso Específico Natural.
• NC 62/2000:	Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de roca.
• NC 18:1999:	Determinación de la resistencia a la Tracción por fractura de Muestras de testigos de roca intacta.

A las muestras hidroquímicas se les realizaron las siguientes determinaciones: pH, conductividad eléctrica (Cond.), SST, CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4 , Ca, Mg y Na+K y dureza total.

Todos los datos primarios obtenidos en los **trabajos de campo** (topografía, geofísicos, reconocimiento geológico en los alrededores de la plataforma, 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, utilizando la normativa vigente para cada especialidad, con el objetivo de caracterizar todas las capas ingeniero-geológicas que conforman el corte estudiado.

Para la confección del presente informe con sus anexos se utilizaron software del paquete Microsoft Office, AutoCAD y Rock Works Complete (Multi-User).

Trabajos de Geofísicos

Los métodos geofísicos aplicados en la investigación son Sísmica de ondas superficiales y Geoelectricidad, para los cuales se aplicó la siguiente metodología:

Sísmica.

La longitud de puestas en los 4 perfiles realizados fue de 92.00 m con distancia entre geófonos de 4.00 m, según metodología 2D MASW

Danaí Cedeño

Texidó

(Multichannel Analysis Surface Waves), utilizando el Sismógrafo GEODE-24 de 24 canales, marca Geometrics, ver figura 10 que se ofrece a continuación:



Figura 10: Sismógrafo GEODE-24, marca Geometrics

La recepción de los datos se efectuó con el Seis Module Controller instalado en una Laptop Panasonic modelo CF-31. La excitación de las ondas sísmicas se hizo mediante golpes (percusión) sobre el terreno, provocados por una mandarina de 20 libras (ver Figura 2 e Imagen 2).



Dani Cedeño
Texidó

Figura 11: 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 cizallamiento. 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 y la excitación de las Ondas Superficiales se hace en todos los puntos medios entre los geófonos en todos los perfiles medidos.

Geo-electricidad.

Estos trabajos se ejecutaron con el objetivo de determinar la caracterización litológica del subsuelo hasta la profundidad de interés y el posible desarrollo cárstico hasta una profundidad máxima de 16.00 m.

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

Para dar cumplimiento a esta tarea fue utilizado el método de Tomografía Eléctrica Wenner (TEW), en su variante Polo-Dipolo (ver **Figura 3**). 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.

Danaí Cedeño

Texidó

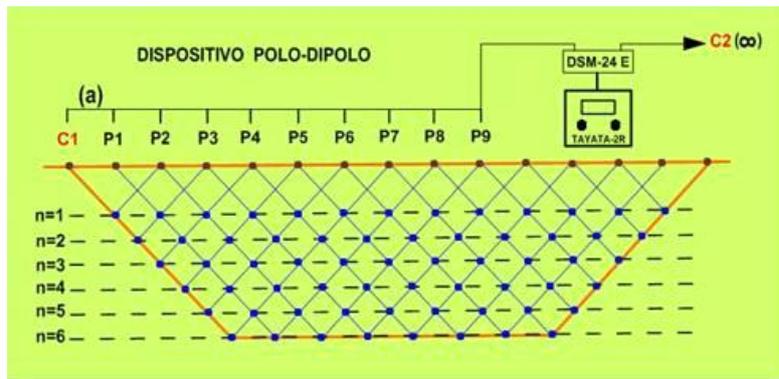


Figura 12: Configuración esquemática de los electrodos para el dispositivo "Polo-Dipolo" y la secuencia de medición para generar la pseudo-sección de resistividad.

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 veinte y cuatro (24) electrodos "DSM-24E" a un Generador de Corriente Continua "VIL-3T" de 180 V de salida (ver Figura 13). 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.
- Electrodos metálicos de latón, tanto de Corriente como de Potencial.
- Sistema multi-electrodos de 24E y Cables.



Figura 13: Estación Geo-Eléctrica “TAYATA-2R”, Dispositivo “DSM-24E” y Generador de CC “VIL-3T”.

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.

Del procesamiento de las mediciones geofísicas se confeccionaron los cortes de resistividad y los cortes de velocidad Vs, así como los mapas con la distribución espacial para diferentes profundidades de las resistividades y velocidades Vs asociadas al terreno bajo. Del procesamiento de las mediciones geofísicas se confeccionaron los cortes de estudio.

Las mediciones sísmicas obtuvieron valores de velocidades Vp y Vs 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 30.00 m, donde además se da la estimación del valor medio y la dispersión del módulo correspondiente para la profundidad que se representa.

Trabajos Hidrogeológicos

Con el objetivo de esclarecer las condiciones hidrogeológicas en el área de emplazamiento, se ejecutaron métodos de investigación que consistieron en:

- Observaciones hidrogeológicas durante la perforación.
- Mediciones del nivel de las aguas subterráneas.

Danaí Cedeño

Texidó

- Pruebas de filtración.
- Muestreo hidroquímico.
- Trabajos de laboratorio.

Observaciones hidrogeológicas durante la perforación.

En todos los pozos realizados se hicieron observaciones anotando las variaciones del nivel de las aguas durante el proceso de perforación, los intervalos donde hubo fuga del líquido de perforación y los intervalos donde se produjeron caídas libres del tren de varillas que pudieran indicar la presencia de cavernas.

Mediciones del nivel de las aguas subterráneas.

Las mediciones del nivel de las aguas subterráneas se realizaron para conocer la posición exacta del nivel en función del tiempo transcurrido, así como para determinar la posible influencia de los cambios de marea.

Las mediciones se efectuaron al principio y al final de cada turno de trabajo, en todos los pozos en una misma fecha, y cada una hora durante un día (24 horas) en los pozos para estudiar la relación con las bajas y pleamar.

Pruebas de filtración.

Las pruebas de filtración se realizaron con el objetivo de determinar las propiedades de filtración de las capas existentes, a diferentes niveles de profundidad. Se empleó el método de inyecciones en rocas saturadas (según instructivo vigente en la ENIA sobre la metodología de realización de las pruebas de filtración), por el método de no equilibrio en intervalos de 5.0 m, por debajo del nivel freático.

Muestreo hidroquímico.

Se tomaron dos (2) muestras de agua para caracterizar sus propiedades físico-químicas en dos profundidades. Las muestras fueron tomadas con batómetro en uno de los pozos con 3.0 y 8.0 m de profundidad respectivamente, luego de concluidas las perforaciones 1 a, lavados con agua, cubeteados y en reposo cinco (5) días, para que las aguas alcancen su estratificación natural.

Danaí Cedeño

Texidó

Tercera Etapa: Interpretación de los resultados.

En esta etapa se interpretan los resultados obtenidos por los métodos Sísmica de ondas superficiales y Geoelectricidad empleados, se analizan las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, se correlacionan los resultados y finalmente se valoran desde el punto de vista ingeniero geológico los suelos según su comportamiento para la construcción del Parque Eólico Herradura I. Las Tunas.

Capítulo III

CAPITULO III: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
ESTUDIO DE LA VIABILIDAD GEOLÓGICA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO HERRADURA I.LAS
TUNAS.

3.1 Introducción

El suelo es el sistema complejo que se forma en la capa más superficial de la Tierra, en la interface o límite entre diversos sistemas que se reúnen en la superficie terrestre: la litosfera, que aporta la matriz mineral del suelo, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera que alteran dicha matriz, para dar lugar al suelo propiamente dicho. (Tomado de <http://wiki.ismm.edu.cu:8080/wikipedia/A/Suelo.html>)

Danaí Cedeño

Texidó

3.2 Interpretación de informaciones geofísicas.

Una interpretación integral de los resultados de los métodos geofísicos, las perforaciones y los ensayos de rocas y suelos, ha permitido confeccionar cortes Ingeniero-Geológicos hasta la profundidad 30.00-35.00 m, compuesto mayoritariamente por materiales calcáreos jóvenes, afectado por los procesos cársticos poco desarrollados desde la superficie hasta los 21.30 m de profundidad.

Capa 1: Calcarenitas, roca sedimentaria de origen marino perteneciente a la Formación Jaimanitas (Q_4 js), 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 1** 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 No. 6**), lo cual está en correspondencia con el índice RQD (Rock Quality Designation) promedio de 26% que es bajo pero está condicionado por la discontinuidad del macizo debido al desarrollo cárstico y el inevitable deterioro que produce el proceso de perforación. Sin embargo como corroboran los resultados de los métodos geofísicos, el valor alto de coeficiente ablandamiento 0.93 obtenido a partir de los promedios de las resistencias secas y saturadas y las

Danaí Cedeño

Texidó

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 2** se muestran los Módulos Dinámicos determinados a partir de los valores mínimos de V_s 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 No: 1: Propiedades físico-mecánicas de la capa 1 (según ensayos de laboratorio).

POZ	Muestra	Intervalo de muestreo (m)	Condiciones naturales				Valores mecánicos			Resistencia según la compresión simple	Ablandamiento frente al agua (kpz)	
			γ_h	γ_d	γ_{sat}	Abs	$\sigma_{c_{nat}}$	$\sigma_{c_{sat}}$	σ_t			
			(kN/m ³)				(MPa)					
P 23-1	M R 23 -1	0.00 - 0.20	21.34	20.3			13.7			Baja	-	
	M R 23 -2	1.05 - 1.20	*	0			0*			Muy Baja	-	
P 23-2	M R 23 -12	0.80 - 1.00		17.3						Baja	-	
	M R 23 -13	4.80 - 5.00		17.42	8			9.9*		Muy Baja	-	
P 23-3	M R 23 -22	1.53 - 1.70		15.5	20.2	10.1			3.10		-	
	M R 23 -23	1.70 - 2.00		16.2							-	
	M R 23 -23			16.3							sufre ablandamiento	
	M R 23 -23			16.50	4			3.50			-	
P 23-4	M R 23 -24	3.40 - 3.52		13.3	18.3	12.6			2.30		Baja	-
	M R 23 -24			16.34	9	9	0		1.60		-	
P 23-4	M R 23 -45	0.40 - 0.57		12.5	16.7	12.4					-	
	M R 23 -45			14.7				4.40			-	
	M R 23 -45	1.34 -		14.93	1						-	
	M R 23 -45			12.55	12.3			2.60		-		

Danaí Cedeño

Texidó

	-46	1.46		7							
	M R 23			10.9	16.4	16.7					
	-47	1.71-	14.09	7	4	0	2.70				no se ablanda
	M R 23	1.84		16.2	19.8						
	-47		18.09	1	5	9.70			3.00		
	M R 23	5.07-		14.5	18.4						
	-48	5.32	16.76	6	1	9.90			6.50		-
P 23- 5	M R 23	0.00-		17.2						Baja	
	-65	0.20	17.29	0					5.10		-
valor mínimo				10.9	16.4						
			12.38	7	4	9.70	1.90	1.60			
valor máximo				20.3	20.2	16.7					
			18.41	0	8	0	5.10	6.50			
valor promedio				15.2	18.3	11.9					No se ablanda
			15.84	1	5	0	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				13.8	17.0						
			14.76	7	7	9.71					

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; *- valores no representativos que no fueron incluidos en los cálculos estadísticos.

Danaí Cedeño
Texidó

Tabla No.2: Propiedades físico-mecánicas de la capa 1 (según métodos geofísicos).

G _s	G	E	K	P _o	ρ _a	V _s	V _p
(M Pa)					(O h m . m)	(m /s)	
19.0	66.27	163.74	103.16	0.24	50-300	600	1020

Donde: G_s- peso específico; G - módulo dinámico de rigidez; E - módulo de Young; K- coeficiente de balasto; P_o- coeficiente de Poisson; ρ_a- resistividad aparente; V_s- velocidad de ondas s (superficiales); V_p- velocidades de ondas p (transversales).

Tabla No. 3. Valores RQD de la capa 1.

Capa 1 (dirección)	RQD (%)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Oeste-Este	0	70	27
Sur - Norte	0	78	24
Promedio	0	57	26

Tabla No. 4: 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	$15 < q_u \leq 50$
BAJA	$5 < q_u \leq 15$
MUY BAJA (semi-roca)	$1 < q_u \leq 5$

Capa 2: Calizas biodetríticas, roca sedimentaria de origen marino (organógenas autóctonas), enmarcada en la Formación Jaimanitas ($Q_4 js$), de colores blanco a blanco-crema claro, con intensidades grisáceas a crema rojizo por intervalos. Compuestas por una material areno-gravoso calcáreo, 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 sub-yace, 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 sub-yaciendo (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 como una roca de resistencia BAJA. El índice RQD promedio es de 48% (Tabla 6) que

Danaí Cedeño

Texidó

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.

En la **Tabla No. 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.

Tabla No.5: Propiedades físico-mecánicas de la capa 2 (según métodos geofísicos).

G s	G	E	K	Po	pa	Vs	Vp
(M Pa)					(O hm .m)	(m /s)	(m /s)
25.05	153.99	452.30	2399.09	0.47	5-200	800	3290

Donde: G s- 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).

Tabla No. 6: Valores RQD de la capa 2.

Capa 2 (dirección)	R Q D (%)		
	M í n i m o	M á x i m o	M e d i o
O este-Este	0	100	52
Sur-Norte	0	100	45
Promedio	0	99	48

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.

Danaí Cedeño

Texidó

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, transiciona 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 **NC 59:2000** 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 No. 7**).

Otras características físico-mecánicas obtenidas por vía dinámica se presentan en la **Tabla No. 8**

Tabla No. 7: Propiedades físicas promedio de los suelos recuperados (rocas o semi-rocas alteradas por el proceso de perforación) en la capa 3 (según ensayos).

NC 59:2000	Intervalo de muestreo (m)	Granulometría (%)	Plasticidad (%)	Condiciones naturales (kN/m ³)	Arc	LL	LP	IP	Gs
		Gra	Are	Lim					
		(%)	(%)	(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: NC 59:2000 - clasificación geotécnica de los 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.

Tabla No. 8: 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)
27.50	54.92	162.53	1329.88	0.48	5-200	500	2553

Donde: G_s - peso específico; G - módulo dinámico de rigidez; E - módulo de Young; K - coeficiente de balasto; P_o - coeficiente de Poisson; ρ_a - resistividad aparente; V_s - velocidad de ondas s (superficiales); V_p - velocidades de ondas p (transversales).

3.3 Interpretación de las pruebas de Hidrogeología.

Resultados de las pruebas de filtración.

En un medio saturado es frecuente la estabilización del consumo rápidamente, pero en nuestro caso no se logró el mismo, razón por la cual escogimos la siguiente fórmula de cálculo:

$$Kf = 0.08 \frac{Q_1}{l \cdot S} p,$$

Dónde:

$$P = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \ln \frac{t_2}{t_1}$$

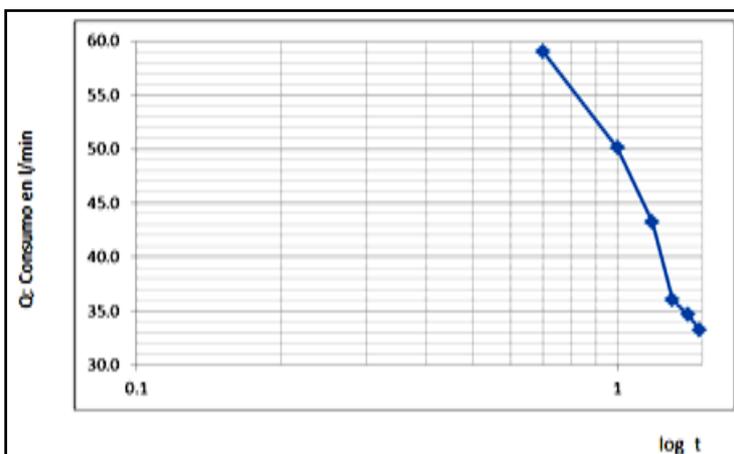
Q_1 y Q_2 : Consumos en l/min en los tiempos t_1 y t_2 en minutos.

l : Intervalo de prueba en metros.

S : Presión aplicada en el intervalo en metros.

A continuación se muestran los resultados en gráficos de las pruebas de filtración realizadas que tuvieron un comportamiento normal en la curva de Q vs $\log t$ (ver Figuras 14, 15, 16).

Figura 14. Prueba de filtración en el PA-1. Intervalo desde NF hasta 5.00 m.



Danaí Cedeño
Texidó

Figura 15. Prueba de filtración en el PA-1. Intervalo desde 10.00 m hasta 15.00 m .

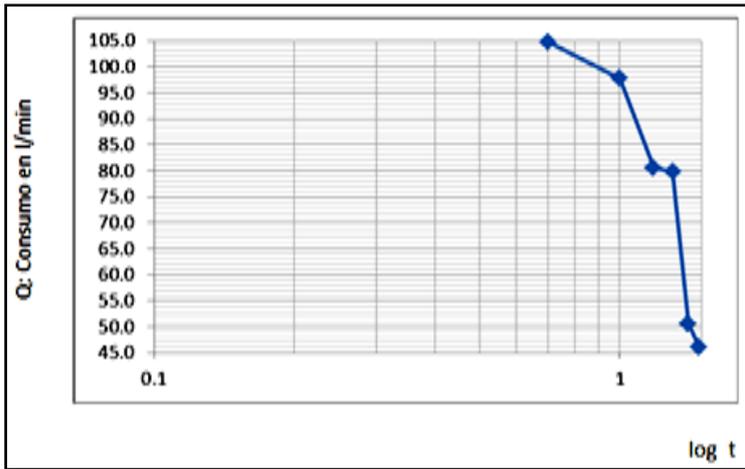
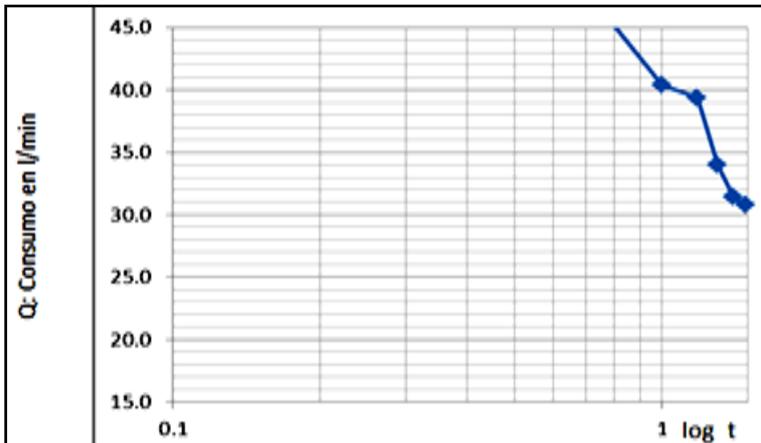


Figura 16: Prueba de filtración en el PHG-1. Intervalo desde 5.00 m hasta 10.00 m .



En la Tabla No.9 se ofrecen los coeficientes de filtración obtenidos de las pruebas realizadas en los pozos y los intervalos ensayados.

Tabla No.9: Coeficientes de filtración por intervalos de ensayos (m/día).

POZO	INTERVALO DE ENSAYO (m)
------	---------------------------

Danaí Cedeño
Texidó

	N F - 5.00	5.00 - 10.00	10.00 - 15.00
PHG -1	11.23	17.54	13.15
PA -1	7.63	16.85	12.39

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

Composición química de las aguas.

La composición química de las aguas de las muestras tomadas en los pozos arrojaron los siguientes resultados (ver **Tabla No. 10** según los análisis de laboratorio expresados en mg/l.:

Tabla No. 10. Resultados de los análisis de agua practicados a las muestras tomadas.

Prof.	pH	Cond.	SST	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K	Dureza
(m)		(m S/m)	(mg/l)								total
3.00	8.07	1270	1031	0	573	111	78	72	47	150	119
8.00	7.99	2178	3457	0	1305	816	240	40	39	1017	79

Como se observa, hacia la profundidad de 3.00 m el agua es relativamente de baja mineralización, sin embargo, a la profundidad de 8.00 m, esta es mucho más alta, por lo que puede deducirse que existe cierta influencia del agua de mar, posiblemente por intrusión marina debido a su cercanía a la costa y la porosidad de las rocas, y a la vez que existe una estratificación en cuanto a la mineralización, la cual aumenta con la profundidad, donde el agua de las precipitaciones que se infiltran, sobrenadan encima del agua salada más densa.

En los siguientes diagramas se observa la distribución de los iones en los dos intervalos muestreados que posibilitan la clasificación de las aguas (ver **Figuras 17 y 18**).

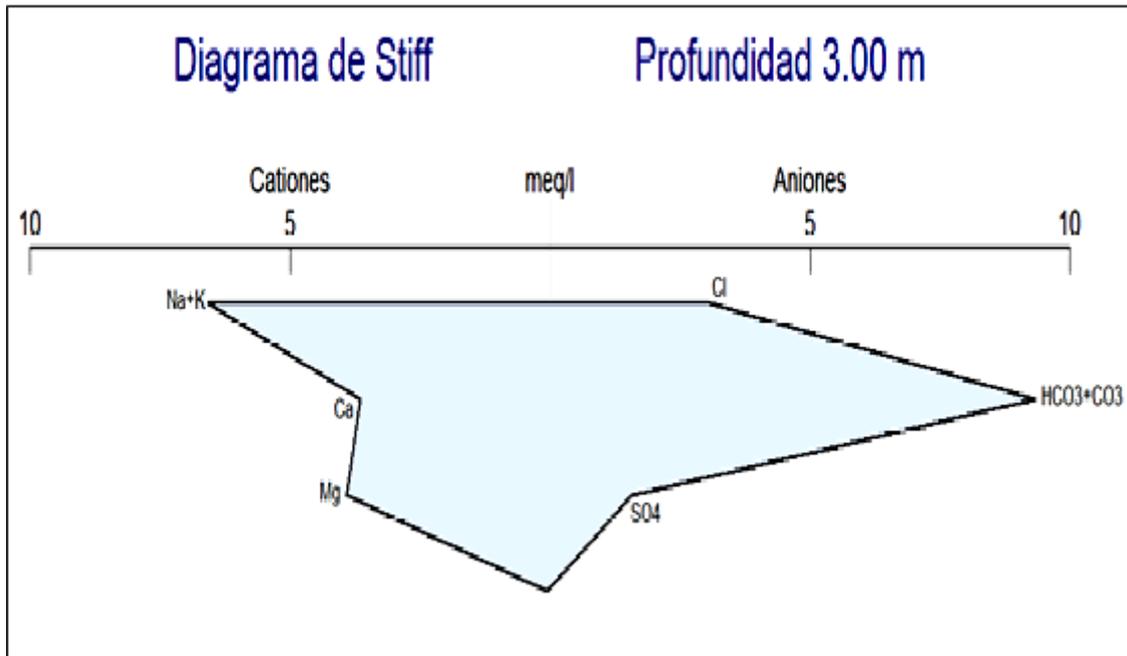


Figura 17. Diagrama de Stiff para la clasificación de las aguas. Prof. = 3.00 m .

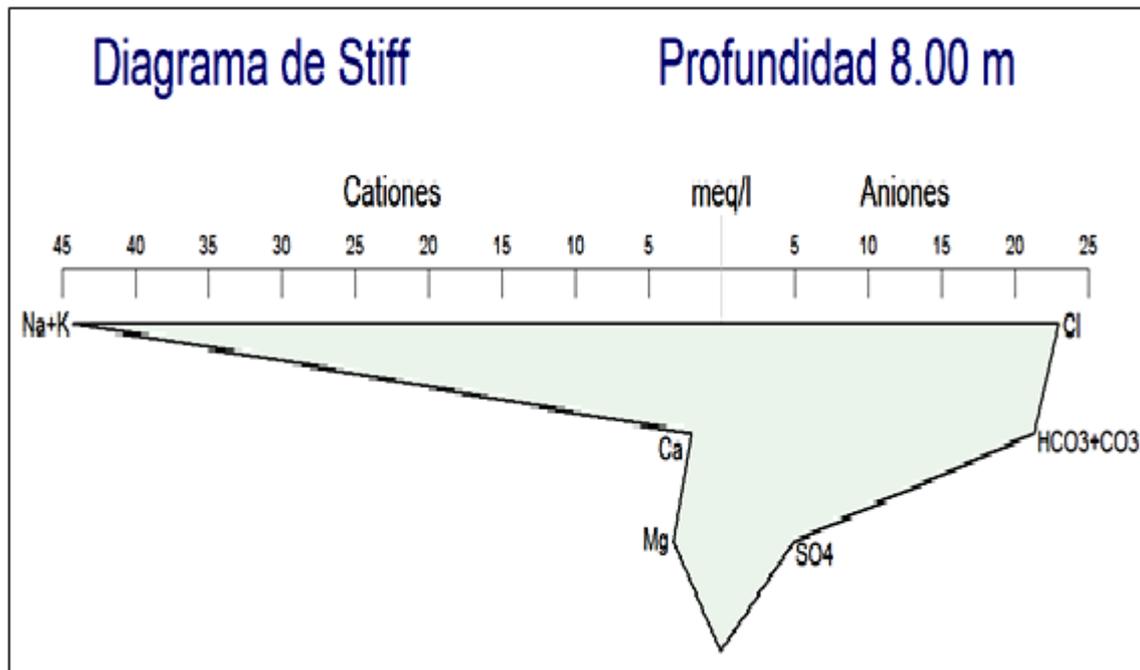


Figura 18: Diagrama de Stiff para la clasificación de las aguas. Prof. = 8.00 m .

De los diagramas se puede observar que a la profundidad de 3.00 m el agua clasifica como **Bicarbonatada Clorurada Sódica Magnésica**, y por los

resultados de laboratorio como **dulce**. A la profundidad de 8.00 m, el agua clasifica como **Clorurada Bicarbonatada Sódica**, de **poca salinidad**.

Con relación a la agresividad, podemos decir que las aguas son **poco agresivas** en los primeros metros, incrementándose la agresividad con la profundidad, dado el incremento de la mineralización.

3.4 Condiciones de cimentación.

Partiendo de los resultados plasmados en los capítulos anteriores, consideramos que los estratos más superficiales del corte geológico existente en el área, presentan condiciones favorables para usarse como base de cimentación.

Para determinar el valor de la carga bruta minorada (Q^*br) resistente a la estabilidad en la base de la cimentación (capacidad soportante de diseño), se utilizó la metodología de Canadian Geotechnical Society y consideramos que:

$$Q^*br = ksp \times Qu^*$$

Dónde:

Qu^* - valor de cálculo de compresión simple saturada.

ksp - factor de reducción empírico de Qu^* , en función de la calidad del macizo rocoso (RQD), que incluye un factor de seguridad $FS = 3$

Tabla No. 11: Valores representativos de capacidad soportante para el macizo rocoso.

Capa	Qu^*	Q^*br
	(MPa)	
1	3.30	0.83
2	7.26	1.82

Debe señalarse que estos valores de cálculo fueron determinados según ensayos de laboratorios a testigos no confinados, que en su medio natural confinado (macizo rocoso) superan estos valores y presentan un comportamiento más estable, haciendo su excavación dificultosa mediante laboreo manual, el cual debe ser apoyado por martillos neumáticos acoplado a compresor (ver **Figura 19**) u otro equipamiento mecánico.

Danaí Cedeño

Texidó



Figura 19. (Fotos) A la izquierda trabajos de excavación. A la derecha excavación (0.80 m de diámetro y 1.40 m de profundidad).

CONCLUSIONES

1-Los procesos geológicos que afectan el área son:

- ✓ Carso: Los estudios realizados mediante los diversos métodos empleados en el área no detectaron la presencia de Carso con envergadura que invalide la construcción de la cimentación y montaje del aerogenerador.
- ✓ Inundaciones: Molesta a la hora de realizar las excavaciones para construir las bases de los aerogeneradores y de sus obras inducidas.
- ✓ Empantanamiento.

2- El corte ingeniero-geológico hasta las profundidades de 30.00-35.00 m, está compuesto por tres capas que son:

Capa 1. Calcarenitas carsificadas.

Capa 2. Calizas biodetríticas carsificadas.

Capa 3. Margas carbonatadas.

También podemos decir que en el área existe un **acuífero** compuesto por rocas porosas y carsificadas (capas 1 y 2), clasificado entre **permeable y muy permeable** cuyo nivel se encuentra a profundidad media de **1.68 m**.

3-Las condiciones geológicas e ingeniero geológicas son viables para la construcción de los aerogeneradores.

Teniendo en cuenta que la profundidad de yacencia del techo de la capa 3 es mayor que 15.00 m, las capas 1 y 2 son la de interés desde el punto de vista geotécnico, ya que las cimentaciones estarán apoyadas en una de las dos y las tensiones por la carga impuesta serán disipadas en la segunda capa.

La **capacidad soportante máxima** por estabilidad recomendada es:

Capa 1 = 0.8 MPa.

Capa 2 = 1.8 MPa

Danaí Cedeño

Texidó

RECOMENDACIONES

- 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.
- La excavación de la cimentación debe proyectarse con un talud subvertical el cual deberá ajustarse en lo posible su geometría para reducir el volumen a excavar sin peligro de fallo de dicho talud. Esta decisión debe tomarse a pie de obra con la participación de los responsables de este estudio.
- 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.
- Contactar de inmediato con los especialistas de la ENIA (INVES-CONS), de ocurrir durante la construcción de la cimentación o montaje del aerogenerador, algún evento inesperado o aparecer alguna variabilidad de lo expuesto en este trabajo.

Danaí Cedeño

Texidó

B I B L I O G R A F Í A

<http://wiki.ismm.edu.cu:8080/wikipedia/A/Parque%20e%20C3%B3lico.html>. (s.f.).

<http://wiki.ismm.edu.cu:8080/wikipedia/A/Parque%20e%20C3%B3lico.html>. (s.f.).

<http://wiki.ismm.edu.cu:8080/wikipedia/A/Suelo.html>. (s.f.).

<http://www.ecured.cu/index.php/Suelo>. (s.f.).

Adamovich, A., & Chejovich, V. (1964). Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. *Revista Tecnológica*, 2:14-20.

Adamovich, Chejovich, Cobiella, Quintas, Blanco, Proenza, y otros. (1964,1978,1989,1993,1996). Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. *Revista Tecnológica*.

Alonso Rodríguez, J. (2000). *Alteración de las Rocas. Causas:Factores y procesos de alteración*. España: Departamento de Geología.Universidad de Oviedo.

Blanco, J., & Proenza, J. (1993). Terrenos tectono-estratigráficos en Cuba Oriental. *Revista Geología y Minería*, Geología 3.

Campos, M. (1983). Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Revista Minería y Geología*., 2:51-76.

Cobiella, J. (1978). *Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico .

De Miguel F, C. (2004). *Informe Hidrogeológico conclusivo sobre:Investigaciones Ingeniero-geológicas e hidrogeológica del yacimiento Punta Gorda*. Moa: ISMM .

De Miguel.F, C. (1999). *Hidrogeología Aplicada*. La Habana: Edit.Félix Varela.

Díaz Viera, Martín, Gonzáles, & Ricardo, C. (2009). *Geoestadística Aplicada.Análisis de exploración de datos*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Gonzales de Vallejo, L. (2002). Investigaciones in situ en Ingeniería Geológica. ISBN:84-205-3104-9. Pearson Educación. Madrid, Págs 715.

González, B., & Pérez, L. (2003). *Utilización de los datos ingeniero-geológicos, hidrogeológicos y tectónicos en la microzonación sísmica de áreas de objetivos económicos importantes*. La Habana, Cuba: V Taller internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente.

Hernández-Sarlabous, M. (1986). *Petrografía de las rocas sedimentarias*. Editorial Pueblo y Educación.

Rodriguez Prieto, P., & Reyes, Z. (2012). *Informe del Mapeo Ingeniero Geológico realizado en el área de emplazamiento del Parque Eólico de 51 MW Playa Herradura*. Centro de Servicios de Investigaciones Aplicadas. Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad. (INEL). Unión Nacional de Empresas Eléctricas. (UNE).

Terrero, A. (1986). Caracterización de las condiciones hidrogeológicas de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 2.19-29.

Danaí Cedeño

Texidó