

Investigación ingeniero geológica del área de emplazamiento de la parcela Hotel Baracutey 63 A, polo turístico Ramón de Antilla, Holguín

Geological engineering investigation of the location area of the hotel Baracutey 63 A plot, Ramón de Antilla tourist center, Holguín

Isabel Herrera Delfin ihdelfin@eniahlg.cu ⁽¹⁾

Yoima Ricardo Arias yricardo@eniahlg.cu ⁽¹⁾

Antonio Rodríguez Cáceres arodriguez@eniahlg.cu ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Empresa de Investigaciones para la Construcción, Holguín, Cuba

Resumen: Se exponen los resultados geotécnicos obtenidos durante el estudio de suelo de la parcela Hotel Baracutey 63 A. Se aplicaron un conjunto de métodos de investigación geofísicos, de perforación, hidrogeológicos y ensayos de laboratorio. Se realizó el corte ingeniero geológico y se reconocieron sus propiedades físico-mecánicas, resistividad eléctrica del medio, condiciones hidrogeológicas y la capacidad soportante de los materiales presentes en el área de emplazamiento. La parcela presenta condiciones desfavorables en la base de cimentación pues existe presencia de carso, zonas empantanamientos y el nivel de las aguas cerca de la superficie.

Palabras claves: estudio geotécnico, nivel freático, suelo cársico

Abstract: The geotechnical results obtained during the soil study of the Hotel Baracutey 63 A plot are presented. A set of geophysical, drilling, hydrogeological research methods and laboratory tests were applied. The geological engineer cut was carried out and its physical-mechanical properties, electrical resistivity of the medium, hydrogeological conditions and the supporting capacity of the materials present in the location area were recognized. The plot has unfavorable conditions at the foundation base since there is presence of karst, bogged down areas and the water level near the surface.

Keywords: geotechnical study, water table, karst soil

Introducción

El estudio de suelos o estudio geotécnico, es una investigación que se debe realizar previo a todo proyecto de construcción civil (Criado, Soto & Alonso, 2006; Soler Rincón,

2023). Por medio del estudio de suelos se logra determinar cuál es el tipo de cimentación apropiada para la obra que se va construir y también cuáles son los asentamientos ideales para soportar la estructura (Gutiérrez, 2023).

El destino Holguín, ubicado en la región oriental de Cuba ha sido analizado por la diversidad de oportunidades que ofrece al turismo (Batista, Serrano & Vega, 2021) muestra un abanico de posibilidades dada las riquezas patrimoniales existentes (Díaz & Ochoa, 2021) y representa uno de los destinos más grandes de Cuba por la abundancia de recursos naturales, culturales y patrimonio histórico. Cuenta además con una fauna sorprendente, una flora con altos valores endémicos y elevaciones (Palao, Cardet & Guerrero, 2021). El territorio presenta una situación geoecológica ventajosa para el desarrollo de la actividad turística (La O, Salinas y Licea, 2012).

Un destino turístico emergente en Cuba es la península El Ramón de Antilla, en la provincia de Holguín, donde se desarrollan en la actualidad obras hoteleras y extrahoteleras destinadas al mercado nacional y extranjero. El reconocimiento de la zona y las características del suelo para la construcción ha sido estudiado con vistas al diseño de los cimientos y la ubicación de los objetos de obra (Carralero *et al.*, 2003; Fernández-Cruz, Gómez-Iglesias & Velázquez-Velázquez, 2022) por ser una zona con altas posibilidades para el turismo.

En esta zona se han identificado 17 parcelas con fines turísticos, en la actualidad se encuentran en ejecución los hoteles Baracutey 61 y 61 A. Este trabajo abarca un conjunto de actividades de campo y laboratorio que permiten identificar las propiedades del terreno donde se ejecutará la infraestructura.

En este artículo se muestran los resultados obtenidos en la investigación ingeniero geológica en el área de emplazamiento de la parcela Hotel Baracutey 63 A, Polo turístico Ramón de Antilla, provincia Holguín.

Características físico geográficas y geológicas del área

El área que ocupará la obra se encuentra situada a 3 km al sureste del poblado El Ramón, insertada en un medio ambiente natural costero donde domina una densa vegetación, propia de este entorno (Figura 1).



Figura 1. Imagen satelital del área donde se emplazará la obra.

Se encuentra situada entre las coordenadas Lambert que muestra la Tabla 1, de la hoja cartográfica 5078-II-b, El Ramón, a escala 1:25 000 (Figura 2).

Tabla 1. Coordenadas de los vértices de la parcela

Punto	X	Y
P-094	632921,010	238106,268
P-095	633240,966	238103,036
P-096	633246,033	237931,145
P-097	633199,196	237663,066
P-098	633187,224	237513,032
P-099	632838,669	237810,409
P-100	632909,851	237938,358

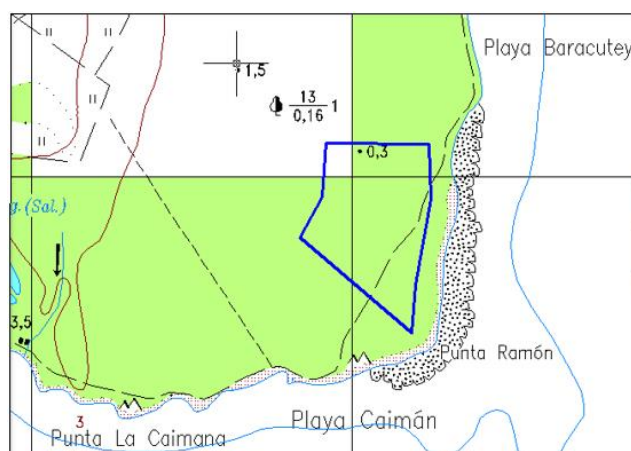


Figura 2. Situación de la parcela Baracutey 63 A.

La estratigrafía del área está representada por rocas de los Sistemas Neógeno y Cuaternario dispuestas en una franja paralela a la costa. El Cuaternario está representado por la Formación Jaimanitas, la cual está compuesta por calcarenitas y

calizas biotriticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, conteniendo principalmente conchas bien preservadas, y ocasionalmente biohémicas, que descansan discordantemente sobre la Fm. Júcaro, la cual está constituida por calizas, por lo general arcillosas, que se desagregan en pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, aleurolitas a veces con gravas polimícticas, arcillas yesíferas y localmente aparecen dolomitas. Desde el punto de vista tectónico esta secuencia rocosa ha sido afectada con poca intensidad por la actividad neotectónica.

Los procesos neotectónicos acaecidos en la región han provocado la existencia de grietas en los afloramientos rocosos aislados que existen en la costa producto de la erosión de la playa, las mismas con diferentes direcciones: 2800/900, 00/900 (las más extendidas), existen otras direcciones secundarias de menor aparición. En general presentan direcciones N-S y casi E-O las que fueron seguidas en longitudes no mayores de 1,0 m.

El relieve es llano, con características típicas del primer nivel de terraza marina, donde se desarrollan sedimentos arenosos, con su duna prelitoral. Las cotas del terreno no sobrepasan los 3,0 m s/NMM. Existen pequeñas depresiones del relieve que están asociadas a relieve cársico.

Materiales y métodos

La investigación se dividió en tres fases: reconocimiento geológico de la parcela, programación y ejecución de los trabajos a realizar y procesamiento de la información obtenida para conocer los resultados de la investigación.

Reconocimiento geológico

Los trabajos de reconocimiento geológico se realizaron siguiendo las trochas abiertas y trillos existentes para los laboreos de perforación, pero además se hicieron recorridos aleatorios por el litoral frente a la parcela. Se aprovecharon estos itinerarios para corroborar la existencia de las litologías predefinidas por los mapas geológicos confeccionados a diferentes escalas.

El fenómeno físico-geológico más relevante en esta parcela, está relacionado con el desarrollo cársico, que se manifiesta muy poco visible en superficie por la cobertura de sedimentos limo arenosos, areno arcillosos y de la densidad boscosa, aunque se observan pequeñas casimbas y hoyos rellenos de suelos orgánicos de color carmelita

oscuro. Es posible observar depresiones del relieve que pueden estar asociadas a depresiones cársticas de diferentes dimensiones.

Programación y ejecución de los trabajos a realizar

A partir del recorrido inicial se programaron los trabajos a ejecutar y que a su vez dieran respuesta a las solicitudes requeridas por el inversionista.

Trabajos topográficos

Consistieron en el replanteo de las calas programadas y de los puntos de observación geofísica, así como el levantamiento topográfico de la parcela a escala 1:500, los que fueron realizados por la comisión de Topografía de la ENIA Holguín.

Estos trabajos fueron ejecutados con la Estación Total Leica TS 09, calibrada en el órgano metrológico N°57 de la Empresa Geocuba Oriente Norte emitiendo el respectivo Certificado de Calibración No. 0-1391/18 y datos procesados mediante software AutoCAD Civil 3D 2010.

La base utilizada para el levantamiento está formada por dos monumentos construidos en el área de trabajo: P-101 y P-107.

Trabajos geofísicos

Los trabajos geofísicos se realizaron mediante las metodologías de Tomografía Eléctrica multielectródica con dispositivos Werner Slumberger y Polo Dipolo, en dependencia de las condiciones de emplazamiento de los electrodos a paso de medición 1,5 y 3,0 m con el objetivo del desmembramiento del corte geológico a partir de la determinación de la resistividad de los tipos litológicos hasta la profundidad de 6,0 m; delimitación de potencias de arenas y rocas más favorables con la ejecución de varios perfiles geoelectricos que se ubicaron en las trochas preparadas para la perforación y en cada punto del área de estudio solicitados por la inversión.

Trabajos de perforación

Se perforaron 43 calas con profundidad de 10,00 m con máquina perforadora ROLATEC empleando el método de percusión para caracterizar los espesores de suelos limos

arenosos y conjuntamente rotación para las rocas. Se perforaron un total de 430 m lineales. El diámetro máximo utilizado fue de 108 mm.

Trabajos de muestreo

Se tomaron muestras alteradas de suelo y muestras semialteradas de chuchara, testigos de roca para la caracterización de sus propiedades físicas y mecánicas y sacos para el muestreo y caracterización de los materiales de construcción.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos practicados a las muestras de roca se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la UIC Holguín.

Las muestras extraídas del terreno permitieron conocer posibles estratos que conforman el área y se les realizaron ensayos físicos y mecánicos de laboratorio.

Los ensayos químicos de agua se realizaron en el Laboratorio Químico del Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQU) en Moa.

Procesamiento de la información

Se recopilaron y organizaron los datos para su análisis e interpretación. Con la descripción de los materiales y sus profundidades se realizaron perfiles ingeniero geológicos que brindaron información de la geología del área en profundidad.

Con los programas Excel y la aplicación de las normas NC 59 (2000) y la NC 1321 (2019) se clasificó el suelo presente y se calculó la capacidad soportante de los materiales presentes mediante la expresión de Brinch-Hansen (1961).

La estimación de la capacidad soportante de los materiales existentes en el área se realizó por el Método de los Estados Límites. El método emplea coeficientes parciales para la reducción de los parámetros resistentes, así como un coeficiente adicional para tomar en cuenta el tipo de fallo, importancia de la obra y las condiciones de trabajo de la cimentación. En el caso de las rocas este método tiene en cuenta el estado de la misma, la existencia de fisuras con aberturas de sus discontinuidades menor de 0,5 cm (o menor de 2,5 cm si están rellenas con suelo o roca triturada) y el ancho de la base de la cimentación mayor de 0,30 m

Análisis de los resultados

El corte ingeniero geológico en el área hasta la máxima profundidad de investigación (10 m) está constituido por suelos limo arenosos o areno arcillosos de cobertura y calizas biotriticas, microcristalinas, en partes biohémicas afectadas en diferentes grados por el carso. El corte comienza en calas con un espesor entre 0,15 y 0,25 m de capa vegetal de color carmelita oscuro, con raíces y fragmentos de caliza.

Capa 1: Está constituida por limo arenoso o arena arcillosa, de color crema amarillento, de compacidad media a firme. Cerca de la superficie este material se presenta suelto. Presenta un espesor promedio de 0,80 m, máximo de 3,40 m en la cala CA-011 y mínimo de 0,25 m en la cala CA-043. Según la NC 59 (2000), clasifica por datos promedios como ML o SC, limo arenoso o arena arcillosa. Las propiedades físicas y mecánicas de esta capa se ofrecen en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de la capa 1

Fino (< tamiz 200)	46 %
Arena	54 %
Grava	0 %
Límite líquido (LL)	30,71 %
Límite plástico (LP)	17,05 %
Índice plástico (IP)	13,66 %
Peso específico de los sólidos (Gs)	26,9 kN/m ³
Humedad natural (W)	12,6%
Peso específico húmedo (γ_f)	18,0 kN/m ³
Peso específico seco (γ_d)	16,0 kN/m ³
Índice de poros (e)	0,68
Saturación (S)	50 %
Angulo de fricción interna (ϕ)	20°
Cohesión (C)	15 kPa
Módulo de deformación (E)	15000 kPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,30

Capa 2: Caliza biotritica, textura masiva, en partes algo arenosa (detritos), con abundantes restos de conchas y corales, en intervalos biohémica, color crema claro a blanco, grado de cementación medio, se recupera generalmente en forma de cilindros y fragmentos, en algunos intervalos muy destruida hasta arena gruesa poco densa. En los testigos recuperados se observaron oquedades cársicas vacías de diámetro promedio entre 2-3 cm, pero pueden llegar hasta 6 cm. El grado de carsificación en toda el área es moderado, en algunas calas alto. Presentan fisuras generalmente rugosas con espesor de 1-3 mm, sin relleno, con espaciamiento menores de 1,0 m. En algunas zonas presenta

cavidades rellenas de suelo areno arcilloso de color crema amarillento con gravas de caliza. Clasifica como de muy baja resistencia (Tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios de las propiedades físicas y mecánicas de la capa 2

CAPA 2	Condiciones naturales						Propiedades mecánicas				
	Wnat %	Yf	Yd kN/m³	Ysat	Ysum	N	S %	Abs	qunat	qusat kPa	Ca
Valor Promedio	1,42	20,5	20,2	22,2	12,2	20	15	14,2	5136	3867	0,70
Valor de cálculo	1,57	20.4	20,1						4510	3066	-

En la figura 3 se presentan los gráficos de % RQD y % de recuperación de los testigos tomados en algunas calas de investigación.

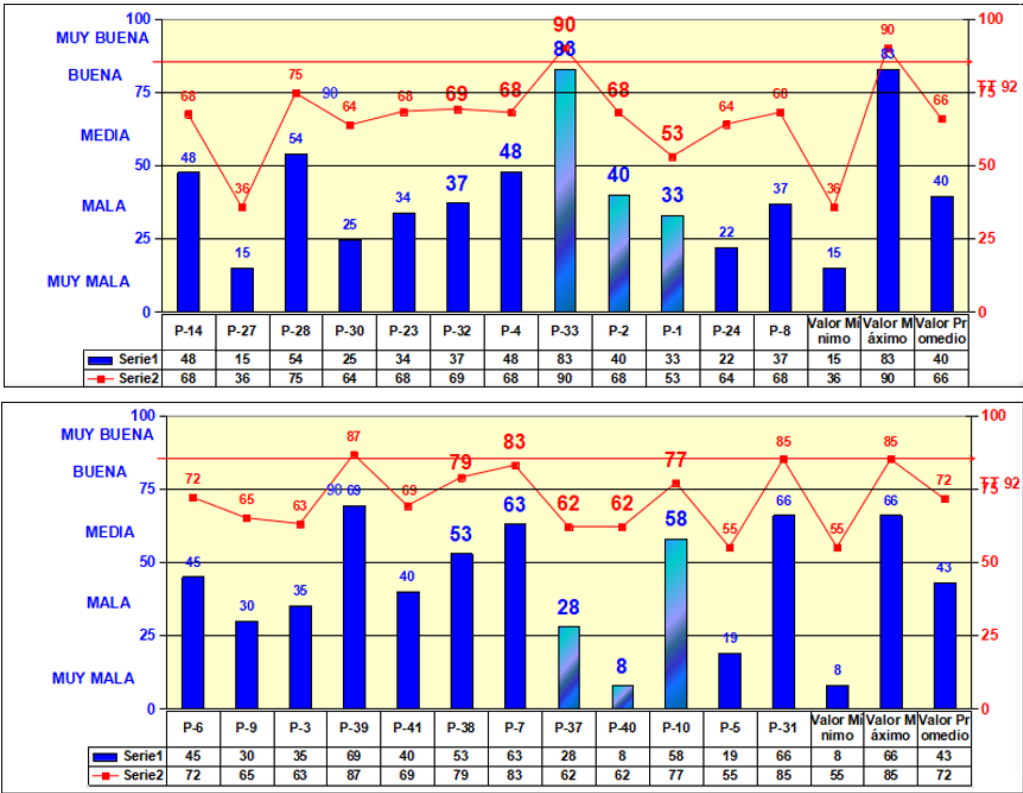


Figura 3. Gráficos del % RQD y % de recuperación de la capa 2.

Se concluye que el 71 % de los RQD incluidos en el análisis clasifican al macizo rocoso como de mala a muy mala calidad (tabla 4).

Tabla 4. Análisis de la calidad del macizo rocoso por el RQD

Cantidad de calas	% que representa del total (24)	Clasificación de la calidad del macizo rocoso por el RQD
5	12	Muy Mala (0-25 %)
12	29	Mala (26-50 %)
7	17	Media (51-75 %)

Resultados de los trabajos geofísicos (Resistividad)

Del procesamiento de las mediciones se confeccionaron los cortes de Resistividad por perfiles, la distribución de resistividades para diferentes profundidades, las vistas bidimensionales de la distribución de resistividades y asociación geológica para los perfiles teniendo en cuenta la correlación entre los rangos muy bajos de resistividades obtenidos en el área.

De acuerdo a los criterios expresados se infiere que los bajos valores de resistividad obtenidos en la parte más profunda del corte (2-6 m), del orden de 1,2-8,5 $\Omega.m$, se correlacionan con las calizas cavernosas calcareníticas saturadas en agua salada de mar con alto contenido de cloruro de sodio y muy mineralizada (figura 4).

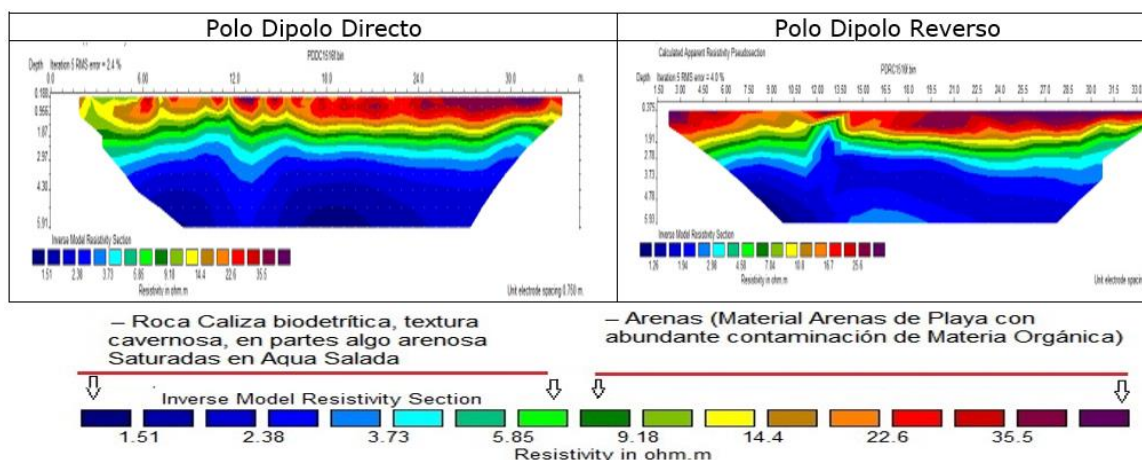


Figura 4. Perfiles geoelectricos de la Parcela. Imágenes de tomografías medidas sobre la duna de arenas ubicadas en las calas 15 y 16.

Conforme a los resultados de las mediciones realizadas se definen las siguientes capas:

Capa Geoelectrica 1. Arenas arcillosas con resistividades de 45-50 ohm.m, los valores más elevado de resistividad (colores rojos y marrón) y de un espesor variable que puede alcanzar de los 0,5 a 2,0 m. La capa de arena arcillosa se pudo describir en los perfiles de la mitad este del área presentando espesor variable y en todos los casos su

resistividad no es alta, pues es de considerar que los valores se tomaron en cotas cercanas al nivel freático influenciadas por la alta marea.

Capa Geoeléctrica 2. Roca caliza biotritica, textura algo masiva, en partes arenosa (detritos), con restos de conchas y corales, asociados con valores de resistividad entre 0,2 a 72,0 ohm.m. Los bajos valores de resistividad se asocian a rocas húmedas o arenas saturadas de agua saladas. Para los casos donde la capa de rocas calizas aflora o aparece cubierta por la formación de eluvios de suelos calcáreos y arcillas terrarrosas, el corte geoelectrico aparece con valores altos de resistividad 50–70 hom.m en la capa que esta sobre el nivel freático y es donde pudiera encontrarse algún desarrollo superficial del carso y pudiera aparecer en la mitad oeste del área. El límite de los materiales limo-arenosos fue determinado tomando como base el levantamiento geólogo geofísico de las litologías y su asociación con los valores de resistividad. Este material se extiende desde la playa hasta la mitad este de la parcela con un espesor variable 0,5–3,0 m.

Por el valor de las resistividades, la proximidad al mar y la proximidad del nivel freático o intrusión salina a la superficie, el medio clasifica como de agresividad elevada al Fe, Al y a los hormigones.

Condiciones hidrogeológicas

Los niveles freáticos fueron cortados a profundidades entre 1,00 m (cala CA-028) y 4,10 m en la cala CA-012.

Existen variaciones del nivel de las aguas subterráneas en varias calas donde las diferencias de los niveles medidos en los diferentes horarios son de 0,20 m y 0,10 m respectivamente. Se concluye que existe una relación entre los niveles de las aguas subterráneas en el área de investigación y las oscilaciones de la marea, que puede variar en los rangos de valores que se expusieron anteriormente.

Las aguas subterráneas al ser saladas contienen altos contenidos de cloruros y sulfatos, por lo que son agresivas a los elementos de acero del hormigón, siendo necesario tomar medidas como la protección de los cimientos con pinturas asfálticas, baja relación agua-cemento para obtener hormigones de alta densidad con muy poca porosidad.

Cálculo de la capacidad soportante

Capacidad soportante capa 1. Limo arenoso o arena arcillosa (ML-SC)

Los parámetros mecánicos de los suelos se estiman mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), mediante correlaciones basadas en el N_{spt} . En este caso se determinan los parámetros necesarios para la aplicación del Método de los Estados Límites.

Determinación de capacidad soportante

Para la determinación de la capacidad de carga del suelo se utilizó el mismo procedimiento y ecuaciones empleados en los rellenos tecnificados. Se propone un lado $B = 1,75$ m (Tabla 5).

Tabla 5. Capacidad soportante capa 1

Df (m)	B (m)	QBR (kg/cm ²)	QBT (kg/cm ²)
1,0 m	1,75	3,30	2,50

Capacidad soportante de la roca (Caliza biotetrítica. Capa 2)

Para determinar el valor de la carga bruta minorada (QBR) resistente a la estabilidad en la base de la cimentación (capacidad soportante de diseño), se utilizó la metodología propuesta en NC 1321(2019).

$$QBR = K_{sp} \cdot R_c$$

Donde:

R_c : valor de cálculo de compresión simple saturada

K_{sp} : factor de reducción empírico de R_c , en función de la calidad del macizo rocoso (RQD), que incluye un factor de seguridad $FS = 3$. En este caso se adoptó 0,17.

Para determinar la capacidad soportante de servicio o trabajo se usó la QBR dividido entre un coeficiente de seguridad adicional que tiene en cuenta el tipo de obra, fallo y condiciones de trabajo (Tabla 6).

Tabla 6. Valores representativos de capacidad soportante para el macizo rocoso

Capa	R_c	QBR	QBT
2	3066	512,22	236,91

De acuerdo a los resultados obtenidos se plantea que todos los elementos ingeniero-geológicos (capa 1, capa 2 y rellenos tecnificados) son competentes para ser usados como base de las cimentaciones en esta obra, debiéndose colocar las estructuras más ligeras en la zona donde se encuentra la capa de suelo limo arenoso (capa 1). Estos cálculos se realizaron asumiendo una cimentación cuadrada.

Conclusiones

El área presenta condiciones desfavorables en la base de cimentación por la existencia de carso, zonas empantanamientos y nivel de las aguas cerca de la superficie.

En correspondencia con los resultados geo eléctricos el material limo arenoso se extiende aproximadamente desde la playa hasta la mitad este de la parcela con un espesor variable 0,5–3,0 m.

Por los ensayos químicos las aguas subterráneas contienen altos contenidos de cloruros y sulfatos, por lo que son agresivas a los elementos de acero del hormigón, siendo necesario tomar medidas como pueden ser la protección de los cimientos con pinturas asfálticas, baja relación agua-cemento para obtener hormigones de alta densidad con muy poca porosidad, empleo de aditivos químicos reductores de agua.

Usando el Método de los Estados Límites, se realizó el cálculo de capacidad soportante para los rellenos tecnificados (capa 1) y de la caliza biodetrítica (capa 2).

De acuerdo a los resultados obtenidos se plantea que todos los elementos ingeniero-geológicos (capa 1, capa 2 y rellenos tecnificados) son competentes para ser usados como base de las cimentaciones en esta obra, debiéndose colocar las estructuras más ligeras en la zona donde se encuentra la capa de suelo limo arenoso (capa 1). Estos cálculos se realizaron asumiendo una cimentación cuadrada.

Durante la etapa ejecutiva es necesario controlar los parámetros de compactación del material procedente de la cantera Júcaro con un terraplén de pruebas que verifique los parámetros de compactación del material que en ese momento se utiliza. Además, ajustar los patrones de voladura, en el caso de utilizar explosivos para garantizar la fragmentación de las rocas presentes.

Referencias bibliográficas

- Batista, E. Serrano, B. & Vega, L.O. (2021). Imagen cognitiva de destinos turísticos. Una aproximación desde el destino turístico Holguín, Cuba. *Tendencias*, 22(2), 288-308. <https://doi.org/10.22267/rtend.212202.177>
- Brinch Hansen, J. (1961). A general formula for bearing capacity. *Bulletin 11*, Geoteknisk Institut, Copenhagen. <http://materias.fiuba.ar/640BrinchHansen.pdf>
- Carralero, N., Conde, M., Pérez, L. & Cordovés, J. (2003). Particularidades de la tectónica disyuntiva de la península del Ramón, de Antilla, y su influencia sobre la conveniencia constructiva. *Minería y Geología*, 19(3-4), 29-34. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/download/243/238/469>
- Criado, M.T., Soto, A. R. & Alonso, L.M. (2006). Estudios geotécnicos para edificaciones. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, (145), 26-31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1446192>
- Díaz, V.Z. & Ochoa, M.B. (2021). Turismo industrial: su potencialidad en el destino Holguín, Cuba. *Estudios Turísticos*, 221, 113-138. <https://doi.org/10.61520/et.3312021.45>
- Fernández-Cruz, S. Gómez-Iglesias, R.R. & Velázquez-Velázquez, A. (2022). Evaluación de la favorabilidad constructiva de la formación Jaimanitas en la zona norte oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 38(1), 39-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223574495007>.
- Gutiérrez, W. Á. (2023). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método de tamizado. *Ciencia Latina*, 7(2), 6908-6927. https://doi.org/10.37811/cl_rcmv7i2.5834
- La O, J., Salinas E. y Licea J. E. (2012). Aplicación del diagnóstico geoecológico del paisaje en la gestión del turismo litoral. Caso Destino Turístico Litoral Norte de Holguín, Cuba. *Investigaciones Turísticas*, 3, 1-18. <https://doi.org/10.14198/INTURI2012.3.01>
- Oficina Nacional de Normalización. (2000). NC 59. *Geotecnia. Clasificación Geotécnica de los suelos*. <https://ftp.isdi.co.cu>

Oficina Nacional de Normalización. (2019). NC 1321. *Diseño geotécnico de Cimentaciones Superficiales*. <https://www.libreria/normas-cubanas-2019>

Palao, R.I., Cardet, E. & Guerrero, Y. (2021). Holguín, la más hermosa: Proyección de desarrollo del destino turístico al 2030. *Explorador Digital*, 5(1), 152–172. <https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v5i1.1495>

Soler Rincón, A. (2023). *Importancia de los estudios de suelos previos a la construcción de una obra civil: aplicaciones geotécnicas*. Repositorio Institucional RI-UTS. <http://repositorio,uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/13396>