



AEROPUERTO INTERNACIONAL CABO
ROJO, PEDERNALES
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA



INDICE

Resumen Ejecutivo 4

1. Introducción 5

2. Glosario de términos 5

3. Descripción del proyecto 7

 3.1 Detalles de la estructura y estructuras colindantes 7

 3.2 Ubicación y topografía 8

4. Marco geológico, climatológico e hidrológico 10

5. Investigaciones realizadas y presentación de resultados 12

 5.1 Trabajos de campo 12

 5.2 Ensayos de laboratorio 14

 5.3 Nivel freático 14

 5.4 Estratigrafía del terreno a partir de los sondeos 14

 5.5 Ensayos de laboratorio calicatas 14

 5.6 Clasificación sísmica 16

6. Susceptibilidad a licuefacción 17

7. Potencial de expansión 17

8. Asentamientos por consolidación 18

9. Conclusiones y recomendaciones 18

10. Límite de responsabilidad 20

11. Bibliografía 21

ANEXOS 23

ANEXO I. Ubicación del proyecto en el Mapa Índice de Memorias Geológicas, Mapa Geológico correspondiente y leyenda del mapa 24

ANEXO II: Planta de ubicación de las exploraciones 30

ANEXO III: Planta de cortes 39

ANEXO IV: Cálculo del N ponderado 46

ANEXO V: Descripción estratigráfica 87

ANEXO VI: Fotos de las muestras obtenidas 154

ANEXO VII: Hojas de campo de sondeos 982

ANEXO VIII: Hojas de campo de calicatas 1299

ANEXO IX: Resumen de laboratorio de los sondeos 1618

ANEXO X: Resultados de los ensayos de laboratorio 1777



Índice de Tablas

Tabla 1 CBR para distintos grados de compactación en calicatas seleccionadas..... 16

Índice de Figuras

Figura 1. Vista regional con la ubicación del proyecto. (Fuente: Google Earth Pro)..... 8

Figura 2. Vista local con la ubicación del proyecto. (Fuente: Google Earth Pro) 9

Figura 3. Ubicación del proyecto en el plano topográfico 1:50,000 de la zona (Fuente: Instituto Cartográfico Militar)..... 9

Figura 4. Identificación de zonas del proyecto en mapas geológicos de Arroyo Dulce y Oviedo. (Fuente: Google Earth Pro) 10

Figura 5. Ubicación del proyecto en el mapa de zonificación sísmica del R-001. 16

Figura 6. Ubicación del proyecto en el mapa del campo cercano del R-001. 17



Resumen Ejecutivo

El presente informe presenta los resultados de la exploración geotécnica ejecutada para el proyecto Aeropuerto Internacional de Cabo Rojo, Pedernales.

Para la presente exploración se han realizado trescientos dieciséis (316) sondeos y trescientas dieciocho (318) calicatas las cuales han sido repartidas entre las tres propuestas de diseño suministradas por el cliente en fechas 15-06-2023, 14-07-2023 y 18-09-2023.

El proyecto tiene una topografía accidentada y se ubica en el Paraje Manuel Goya, Sección Tres Charcos, Municipio Oviedo, Provincia Pedernales. El proyecto se ubica en los mapas geológicos de Oviedo (5969 III) y Arroyo Dulce (5969 IV) de la cartografía geológica del Servicio Nacional de República Dominicana.

Para la realización de los sondeos se ha utilizado el ensayo de penetración estándar "SPT" y se han alcanzado profundidades de entre 5.40 y 6.30 metros.

A las muestras obtenidas de los sondeos y calicatas se le realizaron ensayos de clasificación (contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y granulometría) a muestras seleccionadas de las calicatas se le realizaron los ensayos Proctor Modificado y CBR.

El nivel freático no fue detectado dentro de los 6.30 metros explorados.

El proyecto se ubica en la zona de mediana sismicidad, campo lejano y tiene una clase de sitio D.

El terreno no presenta los riesgos geológicos de licuefacción, expansión y asentamientos por consolidación.

Los terraplenes deberán ejecutarse con taludes de 1V:1H, salvo que mediante cálculos se demuestre que el material de relleno utilizado permite utilizar una pendiente mayor.

Deberán removerse el primer estrato de suelo de consistencia media a suelta el cual puede identificarse por su color rojo. El espesor de material a cortar oscila entre 0.30 y 1.00 metros.

El material que se encuentra bajo esta capa podrá ser reutilizado como compensación en el caso de que por topografía sea necesario cortarlo. Este material sólo se utilizará como compensación hasta nivel de subrasante, no podrá usarse como subbase ni base.

Si se requiere material adicional para completar la subrasante se deberá utilizar un material de relleno con clasificación A-4 o superior y que a la vez sea lo suficientemente fino tal que el 65% sea pasante por el tamiz de $\frac{3}{4}$ ".



1. Introducción

En esta memoria se presenta los resultados de la exploración geotécnica ejecutada para el proyecto **Aeropuerto Internacional de Cabo Rojo, Pedernales**. Las características generales de la exploración son:

- Ubicación: Paraje Manuel Gola, Sección Tres Charcos, Municipio Oviedo, Provincia Pedernales.
- Cantidad de sondeos realizados: trescientos dieciséis (316)
- Cantidad de calicatas realizadas: trescientas dieciocho (318)
- Normativa utilizada: R-001 y R-024.

Los trabajos de campo consistieron en la realización de trescientos dieciséis (316) sondeos utilizando el ensayo de penetración estándar (SPT) con toma de muestra cada 45 centímetros de profundidad y trescientas dieciocho (318) calicatas.

Debido a que el cliente ha presentado tres propuestas de diseño hemos repartido las exploraciones para abarcarlas todas.

Las propuestas de diseño utilizadas son de las siguientes:

- Ubicación I
- Ubicación II
- Ubicación III

De las muestras recuperadas en las exploraciones fueron seleccionadas las más representativas y se le practicaron una batería de ensayos de laboratorio para su clasificación geotécnica con miras al diseño de la estructura de pavimento del aeropuerto.

Esta exploración está limitada a la zona de pavimento de aeronaves, las demás facilidades del aeropuerto no están dentro del alcance de este informe.

2. Glosario de términos

Circalitoral: Dícese de la zona del fondo marino (bentos), o piso, inmediatamente por debajo del nivel en el que perviven las fanerógamas marinas y algas fotófilas, es decir, el piso infralitoral y se extiende hasta la máxima profundidad donde perviven las algas esciáfilas, es decir, las adaptadas a condiciones de escasa luminosidad. Por debajo de este piso, se encuentran las zonas del sistema afital o profundo, empezando por el piso batial.

Ensayo de penetración estándar: consiste en la hinca en el terreno de una puntaza metálica mediante golpes por lo que da idea de la resistencia del terreno ya que se contabilizan el número de golpes necesarios para clavar el ensayo, pero debido a su amplio uso, este ensayo puede correlacionarse con numerosos parámetros geotécnicos como veremos en los siguientes apartados.

FM (Formación Geológica): El término «Formación», que suele abreviarse como «Fm», es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Karstificada: con el nombre de karst, relieve kárstico, carst, carsto o carso se conoce a una forma de relieve originada por meteorización química de determinadas rocas, como la caliza, dolomía, yeso, etc.,



compuestas por minerales solubles en agua. Se denominan ciencias del karst al conjunto de las disciplinas que lo investigan.

Licuefacción: se conoce a uno de los cambios de estado de agregación que puede tener la materia, en particular el que pasa de un estado gaseoso a un estado líquido.

Mapas geológicos: es la representación, sobre un mapa topográfico, de los diferentes tipos de rocas que afloran en la superficie terrestre y los tipos de contactos entre ellas. Para distinguir las rocas se utilizan colores. En un mapa geológico también se reflejan las estructuras tectónicas (pliegues y fallas), yacimientos fósiles, fuentes, recursos minerales, etc.

Marga: es un tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de calcita y arcillas, con predominio, por lo general, de la calcita, lo que le confiere un color blanquecino con tonos que pueden variar bastante de acuerdo con las distintas proporciones y composiciones de los minerales principales.

Marismas: se definen como humedales frecuentemente o continuamente inundados con agua, caracterizados por vegetación emergente de tallo suave adaptada a condiciones de suelo saturado. La marisma alta sólo se inunda durante tormentas o mareas inusualmente altas. Una marisma baja con influencia marina es un área que se inunda diariamente con agua de mar y no tiene río o arroyo que la atraviese. La marisma baja con influencia de agua dulce es un área frecuentemente inundada con una mezcla de agua dulce, de ríos, y agua de mar.

MB (Miembro de formación geológica): Las normas de nomenclatura para los miembros siguen los mismos criterios que para las formaciones (miembro suele abreviarse «Mb.»). La formación es dividida en Miembros si es que se reconocen subunidades con características distintivas dentro de ella.

Miembro: es la unidad formal siguiente en la categoría debajo de la formación. Contiene propiedades definidas que lo distinguen de las partes adyacentes de la formación.

Oncolitos: son microbialitos con estructuras sedimentarias esféricas u ovoides de origen orgánico, formadas por capas concéntricas de carbonato cálcico. Los oncolitos pueden producirse en ambientes marinos, donde son indicadores de aguas cálidas en la zona fótica, o en ambientes continentales, en zonas con aguas muy carbonatadas.

Paleoplaya: una playa fósil, también conocida como paleoplaya, línea costera fósil o playa levantada,¹ es una playa oceánica o lacustre antigua que se encuentra preservada debido a un cambio en el nivel del agua o en el nivel del mar, o debido a un cambio en la elevación de terreno.

Paleorelieve: superficie de erosión antigua registrada en una cuenca sedimentaria que corresponde al relieve o topografía generada durante una etapa sin sedimentación y con predominio de la erosión.

Riesgos geológicos: es un evento o proceso natural (erupciones volcánicas, remociones en masa, inundaciones, terremotos, tsunamis), generado por la dinámica interna o superficial del planeta, que pueden ocasionar daño a la sociedad o al ambiente.

Sílex: también llamado tradicionalmente pedernal, es un material heterogéneo, es decir, no es propiamente un mineral, sino una roca. Está formado por una mezcla de minerales silíceos, como cuarzo en forma microcristalina, cuarzo en forma criptocristalina fibrosa (calcedonia), moganita y ópalo, en proporciones que dependen del yacimiento o incluso del punto concreto del que se ha extraído dentro de un mismo yacimiento.



Secuencia de somerización: parte de una sección estratigráfica en la que se superponen depósitos en medios sedimentarios marinos progresivamente menos profundos.

Paleokarst. Nos referimos al Paleokarst de los Pelaos, rasgo antiquísimo del paisaje kárstico que es el reflejo del paso del tiempo, nos cuenta que las calizas que se formaban bajo el mar llegaron a emerger y erosionarse, antes de volver a hundirse y ser enterradas bajo cientos de metros de sedimentos.

Transpresión: La existencia simultánea de un proceso de formación de fallas de desplazamiento de rumbo y la compresión, o convergencia, de la corteza terrestre. En las zonas de transpresión, las rocas pueden ser falladas en forma ascendente para formar una estructura en flor positiva.

3. Descripción del proyecto

3.1 Detalles de la estructura y estructuras colindantes

El proyecto objetivo, **Aeropuerto Internacional de Cabo Rojo, Pedernales**, consiste en un aeropuerto internacional ubicado en el paraje Manuel Goya, sección Los Tres Charcos, municipio Oviedo, provincia Pedernales. El aeropuerto contará con las siguientes facilidades:

1. Pista de aterrizaje/despegue de 3,100 metros de longitud y 60 metros de ancho
2. Calle de rodaje aeronaves de 3,500 metros de longitud y 43 metros de ancho (sólo en los diseños del 15/06/2023 y del 14/07/2023)
3. Dos zonas de seguridad al inicio y final de la pista de 90 metros de ancho y 300 metros de longitud excepto en la propuesta del 15-06-2023 que tiene 240 metros de longitud
4. Plataforma estacionamiento de aeronaves principal de 125 metros de ancho y 425 metros de longitud.
5. Plataforma estacionamiento de aeronaves aviación general de 106 metros de ancho y 176 metros de longitud (excepto en la propuesta del 18-09-2023 que sólo tiene un estacionamiento principal).
6. Plataforma estacionamiento de aeronaves de carga de 104 metros de ancho y 172 metros de longitud (excepto en la propuesta del 18-09-2023 que sólo tiene un estacionamiento principal).
7. Torre de control
8. Terminal de pasajeros
9. Estación de bomberos
10. Zona de combustible aeronaves
11. Zona de gestión de residuos
12. Zona de catering de vuelo
13. Área de Carga
14. Zona de aviación general
15. Vías terrestres internas

De todas estas facilidades la exploración realizada sólo abarca del uno (1) al seis (6).

El proyecto no colinda con ninguna estructura existente.

3.2 Ubicación y topografía

El proyecto “Aeropuerto Internacional de Cabo Rojo, Pedernales” se encuentra ubicado en el paraje Manuel Goya, sección los Tres Charcos, Municipio Oviedo, Pedernales, específicamente en las coordenadas UTM 19Q 244467 Este 1972976 Norte, equivalentes a 17.82956271 de latitud y 71.41092881 de longitud, en las figuras 1, 2 y 3 se muestran imágenes de satélite y topográficas con la ubicación del proyecto. El terreno presenta una topografía accidentada.

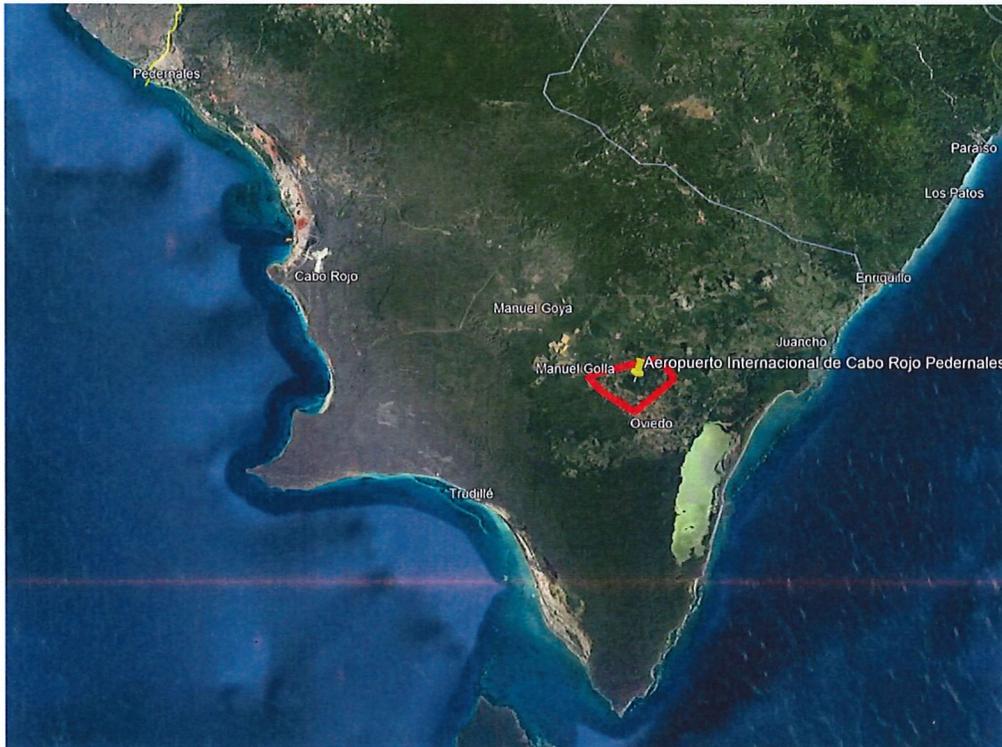


Figura 1. Vista regional con la ubicación del proyecto. (Fuente: Google Earth Pro)

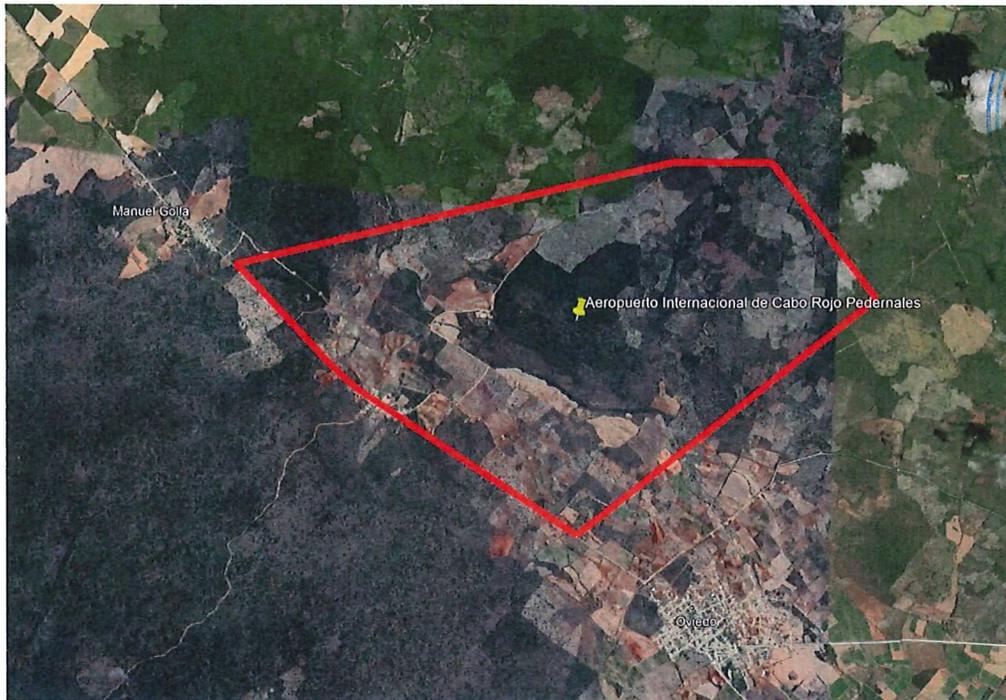


Figura 2. Vista local con la ubicación del proyecto. (Fuente: Google Earth Pro)

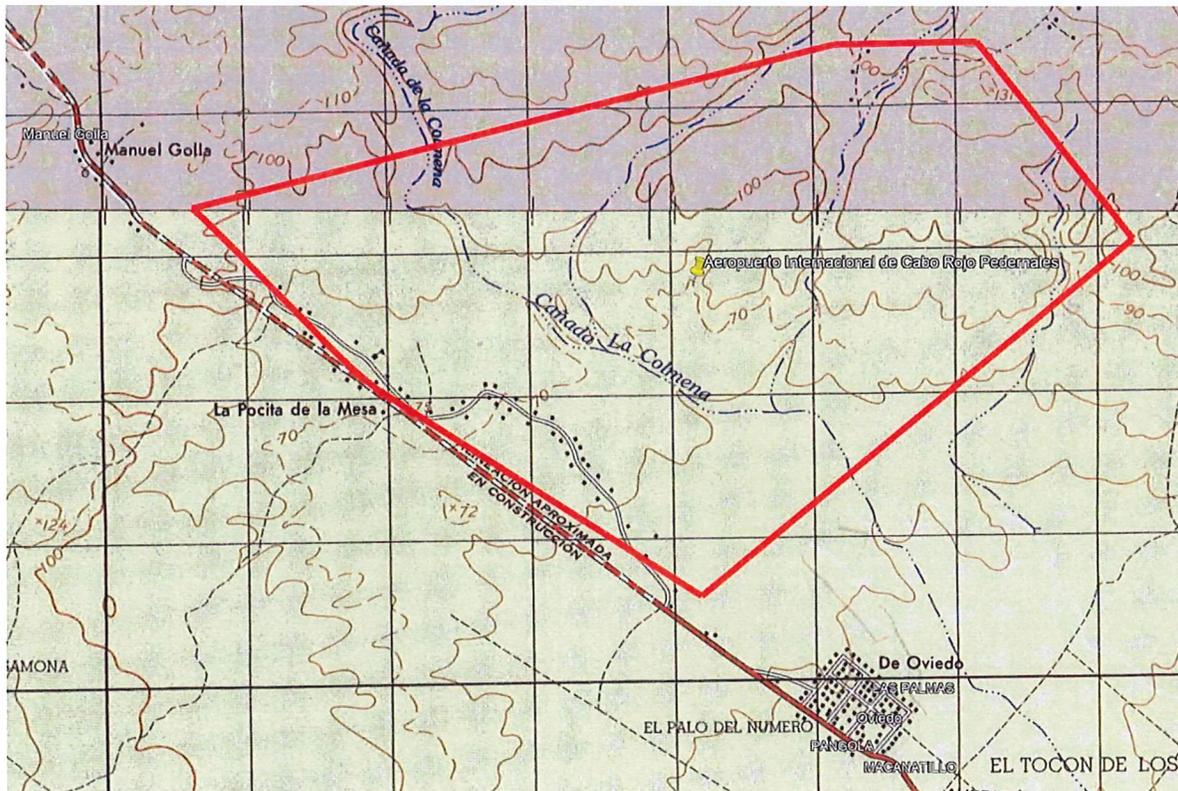


Figura 3. Ubicación del proyecto en el plano topográfico 1:50,000 de la zona (Fuente: Instituto Cartográfico Militar).

4. Marco geológico, climatológico e hidrológico

Para conocer la geología regional y local de la zona del proyecto hemos utilizado la cartografía geológica 1:50,000 del Servicio Geológico Nacional de República Dominicana.

Al ubicar el proyecto en esta cartografía hemos observado que alrededor que el 65% más meridional del proyecto se ubica en el mapa geológico de Oviedo (5969 III) y el 35% más septentrional del proyecto se ubica en el mapa geológico de Arroyo Dulce (5969 IV). En la **referencia**, se muestran las zonas del proyecto que se ubican en cada mapa geológico.

A continuación, se muestra un breve resumen de los mapas geológicos de Oviedo (5969 III) y Arroyo Dulce (5969 IV).



Figura 4. Identificación de zonas del proyecto en mapas geológicos de Arroyo Dulce y Oviedo. (Fuente: Google Earth Pro)

Oviedo (5969-III)

La Hoja a escala 1:50.000 de Oviedo (5969-III) está ubicada al Sur Oeste de la República dominicana; en la extremidad Sur de la Península de Batoruco; el mar caribe cubre 45% de la superficie.

Se trata de una zona con poco relieve (altitud máxima de 234m) karstificada, en gran parte cubierta por un bosque seco. Los tres cuartos sur del territorio y la laguna de Oviedo están protegidos por el parque nacional de Jaragua.



La Hoja abarca las estribaciones meridionales del dominio de la Sierra de Bahoruco, constituidas por calizas oncolíticas con foraminíferos y/o corales, de plataforma somera o rampa más externa, depositadas durante el Paleógeno y el Mioceno: (1) la Unidad Trudillé (Grupo Bahoruco) al Eoceno medio-superior, (2) el Mb Quemados de Basilio (Ud Pedernales) al Oligoceno superior-Mioceno inferior. Afloran también, pero menos representadas, las calizas margosas con silex de la Fm Neiba superior (Oligoceno inferior- Mioceno inferior), de nivel circalitoral a batial y las calizas masivas coralinas del Mb Loma de Peblisque (Ud Pedernales) (Mioceno medio-superior) que orlan la laguna de Oviedo

Los depósitos cuaternarios continentales presentan una extensión importante, en especial los de origen eólico (dunas) y los poligénicos (glacis, coluviones, arcillas de descalcificación, fondos de valle).

Los depósitos cuaternarios relacionados con la dinámica litoral son los que alcanzan mayor diversidad: paleoplayas, marismas altas y bajas, lagunas colmatadas, playas y cordones litorales, arrecifes actuales.

La estructura del extremo meridional de la Sierra de Bahoruco es relativamente simple. La serie monoclinial es subhorizontal, solamente afectada por pliegues muy amplios y una red de fallas SSO-NNE, ONO-ESE a NO-SE, y OSO-ENE.

Diversas terrazas marinas han desarrollado extensas superficies karstificadas, parcialmente cubiertas por un glacis de cobertera. Están ligeramente basculadas, lo que testifica de una tectónica cuaternaria activa.

Arroyo Dulce (5969 IV)

La Hoja de Arroyo Dulce se encuentra situada en la Sierra de Bahoruco, más concretamente en sus estribaciones surorientales, aunque incluye también parte de la Llanura de Oviedo-Pedernales. En ella están representadas las formaciones carbonatadas marinas de edad Eoceno al Mioceno, aunque posee también un amplio registro de formaciones cuaternarias costeras y continentales.

La estructura de la hoja está conformada por grandes pliegues que se extienden a lo con dirección NO-SE constituidos por estructuras de menores dimensiones, trenes pliegues cilíndricos y simétricos de morfologías cónicas, doble inmersión y también doble vergencia hacia el NE y SO. En el sector suroccidental de la hoja la serie toma una disposición homoclinal, con suave inclinación hacia el SO.

Durante el Eoceno, sobre los relieves irregulares del plateau del caribe, se depositan en esta zona las calizas de rampa externa del Mb Inferior de la Fm Neiba. Posteriormente, en el Oligoceno inferior tiene lugar una regresión generalizada en la cuenca que produce su emersión parcial y que acentúa aún más la irregularidad del paleorrelieve volcánico del Cretácico.

En el Oligoceno superior tiene lugar una nueva transgresión y profundización en la cuenca a partir de la que se depositan el Mb Superior de la Fm Neiba y la base de la Unidad de Pedernales, formada por los Mbs Loma del Guano y Quemados de Basilio.

Estas unidades registran la sedimentación en una cuenca de tipo rampa carbonatada en sus zonas media y distal. Las condiciones prevalecen hasta el Mioceno inferior cuando el proceso transgresivo alcanza su máximo.

A partir de este momento la cuenca experimenta una progresiva somerización a lo largo de todo el Neógeno, paralela al levantamiento de la Sierra de Bahoruco, con la formación en este sector de la cuenca de las calizas someras de las Unidades Barahona y, finalmente, de Maniel Viejo, que desarrolla a techo un paleokarst cubierto por facies continentales aluviales. Esta regresión pudo estar originada tanto por la

situación transpresiva generalizada en la isla como por el empuje originado por la cresta de La Beata desde el Sur.

Finalmente, en el cuaternario, a la vez que se produce la elevación continuada de la Sierra tiene lugar el modelado de los escarpes marinos sobre las calizas terciarias y el depósito de sedimentos litorales y continentales cerca de la costa.

En el anexo I se muestra la ubicación de la hoja geológica 5969-III y 5969 IV correspondiente a la región, el mapa geológico correspondiente y la leyenda de dicho mapa.

A nivel climático el proyecto tiene un clima desértico con un régimen de lluvias de verano (BWhw); la temperatura media anual es de 29 °C y tienen una media de 390 mm de lluvia anual. La zona del proyecto es una de las localidades más secas de la República Dominicana.

En la sabana desértica las temperaturas alcanzan durante el día los 34 °C, mientras que en la montaña las temperaturas bajan hasta los 10 °C en la madrugada.

En cuanto a hidrografía el proyecto es atravesado por la cañada La Colmena que a su vez tiene dos cañadas afluentes que también están dentro del proyecto.

Al momento de la realización de este estudio ninguna de estas cañadas tenía un flujo activo de agua, sin embargo, se encuentran identificadas en los mapas topográficos y geológicos de la zona.

A unos 4.5 km del proyecto se encuentra la Laguna de Oviedo. Debido a las bajas precipitaciones de la zona próximo al proyecto no existe ningún río de importancia.

5. Investigaciones realizadas y presentación de resultados

5.1 Trabajos de campo

Para la realización de los sondeos, se ha utilizado el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) para el reconocimiento geotécnico, siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM D1586.

Este ensayo consiste en contar el número de golpes "N" necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una toma muestras tipo partido de 2 pulgadas (5.1 cm) de diámetro exterior, 1 3/8 pulgadas (3.5 cm) de diámetro interior y de 27 pulgadas (68.5 cm) de longitud. Permite tomar una muestra en su interior. Se ha utilizado un martillo de "Anillos" de 140 libras (63.5 kif) con un sistema de cuerda y polea, la altura de caída libre es de 30 pulgadas (76 cm).

Este ensayo se realiza en intervalos de 45 centímetros, primero se contabiliza y se anota el número de golpes necesarios para hincar la toma muestras los primeros 15 centímetros (N_{0-15}). Posteriormente se realiza la prueba en sí, introduciendo otros 30 centímetros, anotando el número de golpes requerido para la hincas en cada intervalo de 15 centímetros de penetración (N_{15-30} y N_{30-45})

El resultado del ensayo es el golpeo SPT o resistencia a la penetración estándar para cada intervalo de 45 centímetros:

$$N = N_{15-30} + N_{30-45}$$

Este valor "N" luego es corregido de acuerdo con las condiciones de campo según la siguiente ecuación:



$$N_{60} = \frac{N\eta_H\eta_S\eta_B\eta_R}{60}$$

donde

N_{60} = número de penetración estándar corregido para condiciones de campo

N = número de penetración medido

η_H = eficiencia del martillo (%) = 45 (Martillo de anillos con cuerda y polea)

η_B = corrección para el diámetro de la perforación = 1 (2 pulgadas)

η_S = corrección del muestrador = 1.0 (estándar)

η_R = corrección por longitud varillaje = 0.75 (0 a 4 m), 0.85 (4 a 6 m), 0.95 (6 a 10 m) y 1 (> 10 m)

Los valores de estos parámetros han sido obtenidos en función del equipo utilizado y la tabla 12.3 (pág. 295) de la referencia "Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das, Cuarta Edición".

En suelos granulares el valor N_{60} se ve afectado por la presión de sobrecarga efectiva, σ'_0 . Por este motivo el valor N_{60} debe ser corregido para un valor estándar de σ'_0 . Es decir,

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

donde

$(N_1)_{60}$ = valor corregido de N para un valor estándar de σ'_0 ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)

C_N = Factor de corrección

N_{60} = número de penetración estándar corregido para condiciones de campo

En este estudio se ha utilizado la relación de Liao y Whitman (1986) para calcular el factor de corrección (C_N), según la cual:

$$C_N = \left[\frac{1}{\left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \right]^{0.5}$$

En la ecuación anterior p_a = presión atmosférica ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$).

En campo se realizaron trescientos dieciséis (316) sondeos, alcanzándose una profundidad de 6.30 metros en los sondeos del 1 al 98, del 141 al 156, del 158 al 163, 165, del 172 al 180, el 267, 269, 275, 281, 286, 296 y del 304 al 316. En los sondeos 99 a 140, 157, 164, 166 a 171, 181 a 266, 268, 270 a 274, 276 a 280, 287 a 295 y 297 a 303; se alcanzó una profundidad de 5.40 metros. Se obtuvieron muestras en intervalos de 45 centímetros en cada sondeo que fueron cuidadosamente selladas y rotuladas siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D-2488 para su posterior análisis en el laboratorio.

También se realizaron trescientas dieciocho (318) calicatas, alcanzándose una profundidad promedio de un (01) metro. Se obtuvieron muestras que fueron analizadas en laboratorio para la caracterización geotécnica del terreno.

En el anexo II se muestra la planta de ubicación de los sondeos con las coordenadas UTM de cada sondeo, en el anexo VI se muestran fotos de las muestras obtenidas y del entorno del terreno, en los anexos VII y VIII se muestran las hojas de campo de los sondeos y las calicatas con las informaciones recabadas.

5.2 Ensayos de laboratorio

En el laboratorio se seleccionaron las muestras más representativas de cada sondeo y calicata y se le realizaron los siguientes ensayos:

1. Contenido de Humedad según la norma ASTM D2216
2. Límite Líquido según la norma ASTM D4318
3. Límite Plástico según la norma ASTM D4318
4. Análisis Granulométrico según la norma ASTM D6913
5. Ensayo Proctor Modificado Método C ASTM D1557
6. Ensayo del California Bearing Ratio "CBR" ASTM D1883

Una vez obtenidos los resultados del SPT y los ensayos de laboratorio se realizó la clasificación del suelo utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) según se describe en el ASTM D2487 y la clasificación geológica según el mapa geológico de la región y las coordenadas del proyecto.

En el anexo IX se muestra un resumen de los resultados de laboratorio, la clasificación según el S.U.C.S. para las muestras seleccionadas y los valores de N , N_{60} y $(N_1)_{60}$ obtenidos de acuerdo con la discutido en la sección anterior. En el anexo X se muestran las planillas originales con los resultados de laboratorio.

5.3 Nivel freático

El nivel freático no fue registrado en ninguno de los sondeos realizados dentro de los 6.30 metros explorados.

5.4 Estratigrafía del terreno a partir de los sondeos

La estratigrafía del terreno fue obtenida a partir de los ensayos de laboratorio realizados y las descripciones de las muestras realizadas de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (ASTM D2488).

En términos generales el terreno está formado por dos estratos, un primer estrato de color rojizo formado por restos de capa vegetal y limo el cual tiene una baja capacidad portante y un espesor de entre 0.30 y 1.00 metro. Este suelo tiene una consistencia entre suelta y media. Debido a su baja capacidad portante este suelo deberá ser removido en su totalidad.

A este estrato le sigue un estrato de color blanco formado por limo, arena, grava y en algunos casos por bolos de gran tamaño. Este estrato se extiende al menos hasta los 6.30 metros explorados. Este suelo tiene una capacidad portante alta y una consistencia entre media y alta. Se caracteriza además por tener una muy baja resistencia a la abrasión lo que hace que las partículas de grava sean friables y fácilmente desmenuzables incluso con los dedos. Este estrato será el que se utilice como subrasante del pavimento. También se podrá utilizar como relleno de compensación. Debido a su baja resistencia a la abrasión y en algunos casos bajo CBR este suelo no podrá ser utilizado como capa de subbase ni base del pavimento.

En el anexo V se muestra la descripción estratigráfica de cada sondeo.

5.5 Ensayos de laboratorio calicatas

A todas las calicatas se le realizaron ensayos de clasificación, adicionalmente a un grupo de calicatas se le realizó el Ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557) y Ensayo del California Bearing Ratio "CBR". En la Tabla 1 se muestra un resumen de los resultados del Ensayo del California Bearing Ratio "CBR" (ASTM D1883)





para las calicatas seleccionadas. Para fines de diseño de pavimento se suele utilizar el CBR de la subrasante para un 95% de compactación, obsérvese que para este grado de compactación el CBR oscila entre 3 y 34. Para fines de diseño de pavimento se recomienda utilizar un CBR de la subrasante de 3

Calicata	CBR para cada Grado de Compactación		
	100%	95%	90%
5	20	14	6
10	29	14	7
15	46	32	18
20	34	26	16
25	20	18	15
30	23	12	8
35	46	24	32
40	63	51	34
45	9	6	5
50	17	14	12
55	36	30	22
60	18	12	6
65	33	17	11
70	19	8	3
75	10	5	3
85	45	21	7
90	36	24	13
95	45	25	4
100	19	17	13
105	46	36	24
110	71	44	17
115	27	24	19
125	41	34	26
160	12	10	4
165	14	12	9
170	29	24	12
175	37	28	21
180	32	10	6
185	41	33	23
195	29	24	19
200	24	23	19
205	43	28	14
210	34	21	7
220	45	38	27
235	17	16	13
245	31	23	15
255	36	24	11
260	24	19	13
270	17	7	3
280	61	46	31
285	52	37	21

300	29	27	23
310	64	37	13

Tabla 1 CBR para distintos grados de compactación en calicatas seleccionadas.



5.6 Clasificación sísmica

De acuerdo con la ubicación geográfica del terreno en las coordenadas UTM 19Q 244467 Este 1972976 Norte, equivalentes a 17.82956271 de latitud y -71.41092881 de longitud y a los mapas de zonificación sísmica (mapa N° 1) y del campo cercano (mapa N° 11) del reglamento R-001, Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras, el terreno tiene la siguiente clasificación sísmica:

Zona sísmica: Zona II (Mediana sismicidad). En la Figura 5 se muestra la ubicación del proyecto en el mapa de zonificación sísmica del R-001.

Mapa N°1. - Zonificación Sísmica

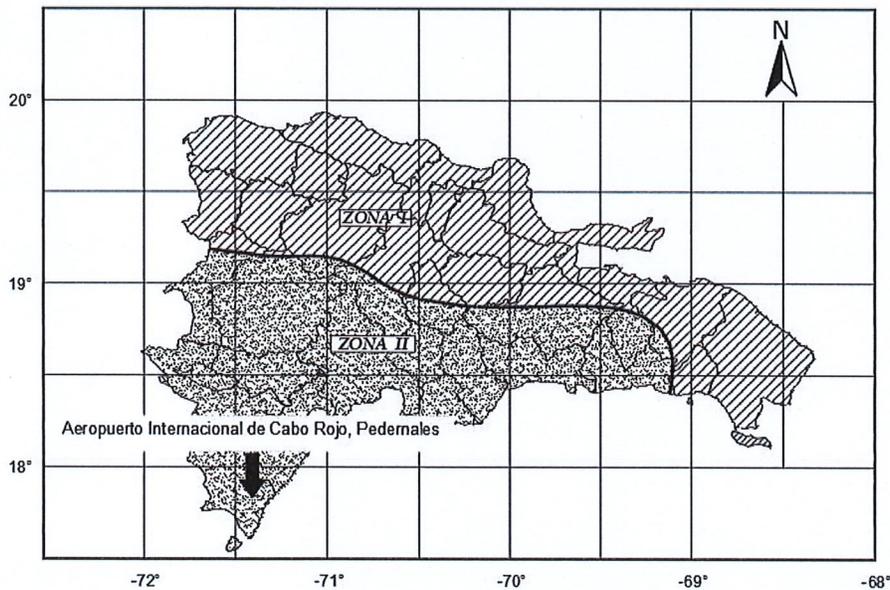


Figura 5. Ubicación del proyecto en el mapa de zonificación sísmica del R-001.

Campo: Lejano. El proyecto se ubica en el campo lejano de las fallas más próximas. En la Figura 6 se muestra la ubicación del proyecto en el mapa del campo cercano del R-001.

Mapa N°11. - Mapa del Campo Cercano

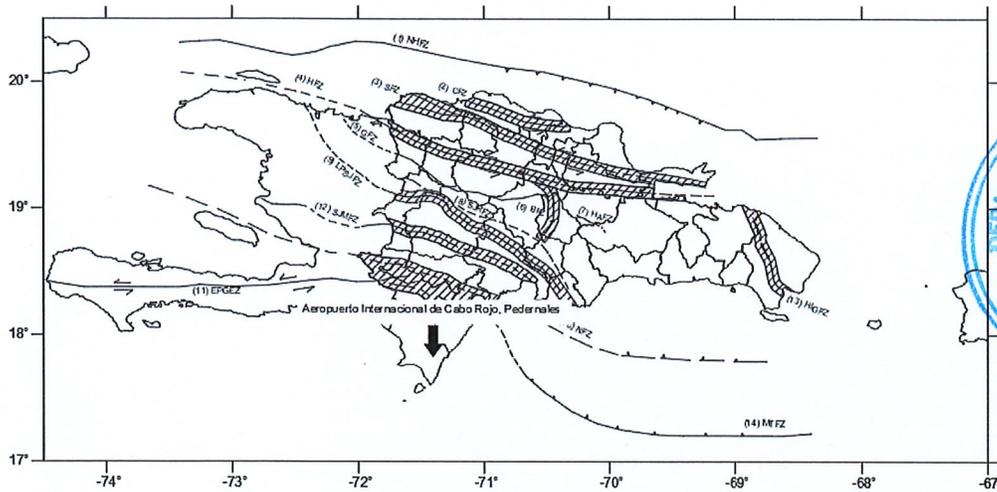


Figura 6. Ubicación del proyecto en el mapa del campo cercano del R-001.

Para la clasificación de sitio se ha utilizado la resistencia a la penetración estándar y lo establecido en la tabla 3 del R-001. Para ello se ha calculado un valor de resistencia a la penetración estándar ponderado según lo establecido en el artículo 14 del R-001 del sondeo más desfavorable, sondeo 4:

$$N_{pond} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = 17$$

Observando que el valor "N" ponderado del SPT es mayor que 15 y menor que 50 y que el terreno no presenta ninguna de las características para ser considerado tipo F, la clase de sitio es suelo Rígido (clase "D").

En el anexo IV se muestra el cálculo detallado del N ponderado de cada sondeo.

6. Susceptibilidad a licuefacción

La licuefacción se puede definir como la transformación de un material granular de sólido a un estado licuado como consecuencia de un incremento en la presión de poros y una reducción en el esfuerzo efectivo.

Para que el fenómeno de licuefacción ocurra el suelo debe someterse a una carga cíclica normalmente producto de un sismo. Este fenómeno es exclusivo de suelos arenosos saturados con resistencia a la penetración estándar "SPT" corregida menor de 30.

El terreno estudiado no requiere una evaluación de susceptibilidad a licuefacción debido a que no hemos encontrado estratos de arena saturada en ninguna de las exploraciones realizadas.

7. Potencial de expansión

Ciertos suelos cohesivos presentan el fenómeno de expansión y contracción. La expansión ocurre cuando el suelo incrementa su contenido de humedad y la contracción cuando se reduce.



Este fenómeno es de principal preocupación en suelos con altos límites líquidos y susceptibles de cambiar su contenido de humedad por cambio en el nivel freático o por escorrentías producto de lluvias u otros flujos de agua.

En suelos que permanezcan siempre saturados o en general sin cambios en su contenido de humedad este fenómeno no se produce.

Debido a la naturaleza no plástica de los suelos explorados estos no tienen ningún potencial de expansión en caso de cambio de su contenido de humedad.

8. Asentamientos por consolidación

El fenómeno de consolidación es el asentamiento diferido en el tiempo que ocurre cuando un suelo arcilloso saturado se ve sometido a un aumento de su esfuerzo efectivo.

En este caso debido a que no hemos registrado el nivel freático ni tampoco suelos arcillosos no existe riesgo de que ocurra este fenómeno.

9. Conclusiones y recomendaciones

En el presente informe se han detallado todos los procedimientos de campo, laboratorio y gabinete realizados en la exploración geotécnica del proyecto "Aeropuerto Internacional de Cabo Rojo, Pedernales".

Esta exploración se ha distribuido dentro de las tres propuestas de diseño suministradas por el cliente en fechas 15-06-2023, 14-07-2023 y 18-09-2023.

De los sondeos y calicatas realizadas se ha observado que el terreno dentro de los 6.30 metros explorados está compuesto por dos estratos.

Un primer estrato de color rojizo formado por restos de capa vegetal y limo el cual tiene una baja capacidad portante y un espesor de entre 0.30 y 1.00 metro. Este suelo tiene una consistencia entre suelta y media. Debido a su baja capacidad portante este suelo deberá ser removido en su totalidad.

A este estrato le sigue un estrato de color blanco formado por limo, arena, grava y en algunos casos por bolos de gran tamaño. Este estrato se extiende al menos hasta los 6.30 metros explorados. Este suelo tiene una capacidad portante alta y una consistencia entre media y alta. Se caracteriza además por tener una muy baja resistencia a la abrasión lo que hace que las partículas de grava sean friables y fácilmente desmenuzables incluso con los dedos. Este estrato será el que se utilice como subrasante del pavimento. También se podrá utilizar como relleno de compensación. Debido a su baja resistencia a la abrasión y en algunos casos bajo CBR este suelo no podrá ser utilizado como capa de subbase ni base del pavimento.

El nivel freático no fue registrado dentro de los 6.30 metros explorados.

A partir de los valores de "N" del SPT el sitio queda clasificado para fines sísmicos como suelo Rígido (clase "D"). Se observó además que el terreno se ubica en campo lejano y en la zona sísmica identificada como Zona II (mediana sismicidad).

El terreno estudios no presenta ni ningún riesgo geológico como licuefacción, expansión o asentamientos por consolidación.

Para fines de diseño de la estructura de pavimento se recomienda utilizar un CBR de 3 (valor más desfavorable según los ensayos realizados).



Para la realización de terraplenes se deberán utilizar taludes con relación 1V:1H, salvo que mediante cálculos realizados por un ingeniero geotécnico calificado por el MOPC se demuestre que se pueden utilizar pendientes mayores luego de analizar las propiedades del material de relleno a utilizar.

Para el movimiento de tierra se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- a) Cortar y botar todo el material de color rojo hasta que visualmente se haya removido en su totalidad, en el anexo III se muestra un plano de cortes con los espesores a remover en cada zona, en caso de discrepancia entre el plano y lo observado en el terreno se impondrá lo observado en campo. Esto se debe a que el plano de cortes se ha generado de forma que sea lo más claro posible, lo cual hace necesario hacer algunas generalizaciones.
- b) Verificar si por topografía es necesario remover parte del material de color blanco, si es así este material de color blanco deberá acopiarse cuidando que no se contamine.
- c) En las zonas que se requiera rellenar para alcanzar el nivel de subrasante se utilizará en primer lugar el material de color blanco, si se agotase todo el material de compensación se deberá utilizar un material con clasificación AASHTO A-4 o superior con un CBR al 95% de compactación de 5 o más, adicionalmente deberá ser lo suficientemente fino, tal que el porcentaje que pasa por la malla $\frac{3}{4}$ de pulgadas sea mayor a 65%, es decir, el porcentaje acumulado retenido en la malla $\frac{3}{4}$ de pulgadas deberá ser menor al 35%.
- d) El movimiento de tierra deberá ser planeado con ayuda de un diagrama de masas de forma que se aproveche al máximo el material procedente de cortes.
- e) El material de relleno o de compensación deberá ser compactado a un 95% de la densidad seca máxima obtenida del ensayo Proctor modificado (ASTM D 1557) en capas no mayores a 30cm. Cada capa de relleno deberá ser evaluada por una empresa certificada por el MOPC para tales fines. Este laboratorio realizará pruebas de densidad y humedad de campo cada 200 metros cuadrados de subrasante. Si en alguna capa no se realizan las pruebas de densidad y humedad correspondientes deberá ser removida y colocada nuevamente con las validaciones de lugar.
- f) Los ensayos de laboratorio del material de relleno deberán realizarse como máximo cada 10,000 m³C colocados o en cada cambio de frente o cantera.
- g) Una vez concluida la subrasante se colocará la estructura de pavimento según lo especificado en el diseño de pavimento.

Para el control de calidad se deberá contratar una empresa debidamente certificada por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones para tales fines. No se aceptarán ensayos realizados por entidades que no estén Certificadas por el MOPC. La empresa contratada deberá emitir un informe donde certifique que se cumplieron con las recomendaciones de mejoramiento de la subrasante.

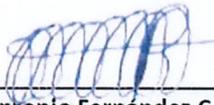
10. Límite de responsabilidad

Los resultados, conclusiones y recomendaciones planteadas en este informe están limitadas al área de estudio, dichas recomendaciones están garantizadas siempre y cuando se cumplan las condiciones que se indican en cada uno de los acápites de este informe. Cualquier cambio en el proyecto que modifique lo anteriormente señalado deja invalidado los resultados y recomendaciones anteriormente planteados y el consultor geotécnico no se hace responsable de los daños que puedan ocurrir.

La no realización de un control de calidad según lo indicado en este informe libera a su autor de cualquier responsabilidad.

Si durante la ejecución del proyecto ocurre algún inconveniente, es deber del ingeniero contratista ponerse en contacto con el consultor geotécnico.

Sin nada más que agregar en lo particular se despide,



Ing. Rafael Antonio Fernández Concepción, M.Sc.
CODIA N° 29226





11. Bibliografía

- J. H. Kleinfelder & Associates. (1982). Fiber-Reinforced Concrete Proves Worth for Airport Pavements. *Civil Engineering—ASCE*, 52(5), 52-55.
- American Concrete Institute. (2015). *ACI 302.1R-15: Guide to Concrete Floor and Slab Construction*. Farmington Hills, MI.
- ASTM International. (2009). *ASTM D-2488, Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)*. West Conshohocken.
- ASTM International. (2011). *ASTM D1586, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.
- ASTM International. (2011). *ASTM D2487, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.
- Bowles, J. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5 ed.). Mc Graw-Hill.
- Braja M. Das. (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4.° ed.). Distrito Federal, México: Cengage Learning.
- Brown, E. R. (1990). Density of Asphalt Concrete--How Much Is Needed. *Transportation Research Record*, 27-32.
- Carlos Crespo Villalaz. (2004). *Mecánica de suelos y Cimentaciones* (5.° ed.). Distrito Federal, México: Limusa.
- Dirección General de Reglamentos y Sistemas, MOPC, Rep. Dom. (2006). *R-024, Reglamento para estudios Geotécnicos en Edificaciones*. Santo Domingo, República Dominicana.
- Dirección General de Reglamentos y Sistemas, MOPC, Rep. Dom. (2011). *R-001, Reglamento para el análisis y diseño sísmico de estructuras*. Santo Domingo.
- Federal Aviation Administration. (2016). *AC 150/5320-6F Airport Pavement Design and Evaluation*.
- Federal Aviation Administration. (2018). *AC 150/5370-10H Standard Specifications for Construction of Airports*.
- Joseph Bowles. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5.° ed.). Singapur: Mc Graw-Hill.
- Obrzud, R., & Truty, A. (2018). *THE HARDENING SOIL MODEL - A PRACTICAL GUIDEBOOK*. Prévèrènges, Switzerland: Zace Services Ltd, Software engineering.
- Rajib B. Mallick, T. E.-K. (2017). *Pavement Engineering: Principles and Practice* (Third ed.). CRC Press.
- Seed et al. (2003). Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified And Consistent Framework. *26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar*. Los Angeles.

Terzaghi, Peck, & Mesri. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: JOHN WILEY & SONS, INC.

