



Revista de Arquitectura e Ingeniería
ISSN: 1990-8830
Olga-Toledo@empai.co.cu
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
de Matanzas
Cuba

Cimentación de la torre de control y edificio terminal. Aeropuerto Cabo Haitiano.

Lambert Méndez, Alain; Puldón Casas, Anaily; Silva González, Alina B.
Cimentación de la torre de control y edificio terminal. Aeropuerto Cabo Haitiano.
Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 13, núm. 3, 2019
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007005>
Todos los derechos reservados.
Todos los derechos reservados.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Cimentación de la torre de control y edificio terminal. Aeropuerto Cabo Haitiano.

Foundation of the control tower and terminal building. Cape Haitian Airport.

Alain Lambert Méndez alain@ccoa.avianet.cu
CCOA.sa, Cuba

Anaily Puldón Casas anaily@ccoa.avianet.cu
ISPJAE, Cuba

Alina B. Silva González alina@ccoa.avianet.cu
ISPJAE, Cuba

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 13, núm. 3, 2019

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Recepción: 06 Agosto 2019
Aprobación: 21 Octubre 2019

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007005>

Resumen: La Compañía Contratistas de Obras para la aviación (CCOA.sa) realizó el proyecto de ampliación del aeropuerto internacional de Cabo Haitiano. El aeropuerto está emplazado en una zona sísmica importante, cerca de la falla septentrional. Los informes de los estudios ingenieros geológicos realizados por el LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics) reflejan la compleja geología del lugar para poder realizar la cimentación del nuevo edificio terminal y la torre de control. No mover el emplazamiento del aeropuerto es una invariante para el proyecto. Las soluciones de proyecto para las cimentaciones de estos objetos de obra estudiaron dos líneas fundamentales: realizar una cimentación directa sobre el estrato de arena, para lo cual habría que consolidar este estrato y reducir el riesgo de licuefacción a límites admisibles; o realizar una cimentación profunda con pilotes que permitiera atravesar el estrato licuable y los estratos de limos y arcillas en extremo deformables.

Palabras clave: Cimentación, pilotes, licuefacción, SPT, CFA.

Abstract: The Works Contractor Company for Aviation (CCOA.sa) made the expansion project of the international airport of Haitian Cape. The airport is located on a major seismic zone, near the septentrional fails. Reports of geological engineering testing by the LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics) reflect the complex geology of the site to make the foundation of the new terminal building and control tower. The location of the airport cannot move Project solutions for foundations of these building studied two main lines; a direct foundation on the layer of sand, for which this layer should be consolidated to reduce the risk of liquefaction; or make a deep piling that would cross the liquefiable layer and the layers of silts and clays with a low modulus of elasticity.

Keywords: Foundation, piles, liquefaction, SPT, CFA.

1. INTRODUCCIÓN.

El aeropuerto internacional de Cabo Haitiano está emplazado en una zona sísmica importante con una aceleración horizontal máxima del terreno expresada como una fracción de la gravedad $A_0=0.4$, existe presencia del manto freático a 0.90 metros de profundidad, entre los 3 y los 15 metros aparece una capa de arena que presenta un alto potencial de licuefacción, entre los 15 y 37 metros existen limos y arcillas con muy bajo módulo de deformación, con un número de golpes que oscila entre 0 y 4 según el Standard Penetration Test (SPT). Figura 1. [1] [2] [3].



Figura 1:
Ubicación del aeropuerto internacional de Cabo Haitiano. Localización de las perforaciones S1, S2 y S3.

2. características de las estructuras. Modelación.

En el aeropuerto se construirán dos nuevos objetos de obra: edificio terminal y torre de control. La torre de control tendrá una altura total de 22 metros, está formada por pórticos de acero hasta el nivel 17.30 y sobre estos una estructura porticada de forma ortogonal que conforma la cabina. Los cierres exteriores de la torre de control se realizarán con panelería ligera, al igual que las paredes y divisiones interiores. El edificio terminal estará formado por una estructura porticada de hasta 2 niveles con luces de 20 y 30 metros e intercolumnios de 5 metros, las columnas estarán articuladas en la base.

La modelación de ambas estructuras se realizó con el software STAADpro. como estructuras espaciales tridimensionales. Todas las uniones serán atornilladas.

Los elementos estructurales de la torre de control se modelaron en su totalidad con perfiles americanos de ala ancha (wide flange). En el caso del edificio terminal, tanto para las columnas como para las vigas de los pórticos principales se consideraron para la modelación secciones variables construidas con planchas; los elementos estructurales secundarios se modelaron con perfiles americanos de ala ancha (wide flange). El acero utilizado fue laminado en caliente del tipo A-36 con una tensión de fluencia de 25 kN/cm^2 y una tensión de rotura de 40 kN/cm^2 . Todas las propiedades de los materiales fueron consideradas linealmente elásticas y constantes en el tiempo.

En ambos casos las correas o purlins tanto de fachada como de cubierta se modelaron con miembros de sección C conformadas en frío.

Debido a la no existencia de normativas propias del país se utilizaron para la modelación las siguientes:

- Norma cubana, NC 285: 2003. Carga de viento. Método de cálculo.
- Norma cubana, NC 450:2006 Edificaciones, factores de carga o ponderación – combinaciones.
- Norma cubana, NC 284:2003 Edificaciones, cargas de uso.
- Norma cubana, NC 283:2003 Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño.
- American National Standard 2010 Specification for structural Steel building.
- Uniform Building Code (UBC) Earthquake design base shear terms.

Un aspecto importante y hasta cierto punto novedoso lo constituyó la modelación de la interacción suelo estructura mediante la colocación de apoyos elásticos calculados a partir del coeficiente de balasto vertical y horizontal de los distintos estratos de suelo. Tuvo como inconveniente el consumo de tiempo y recursos de cómputo, pero permitió diseñar la superestructura teniendo en cuenta la sobrecarga impuesta por los asentamientos en cada uno de los apoyos.

3. ANÁLISIS PROPUESTA LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics).

En el informe ingeniero geológicos del LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics) [1] [2] [3] se recomienda cimentar la torre de control con pilotes tipo H12x53 a 40 metros de profundidad, con una capacidad de carga de 278 kN y para el edificio terminal realizar una cimentación en balsa previa consolidación del estrato de arena limosa con alto potencial de licuefacción mediante el método de precarga directa y drenes verticales.

Para la torre de control se desestimó la utilización de este tipo de pilotes porque hincar pilotes a 40 metros de profundidad para obtener solo 278 kN de capacidad portante del pilote es desde el punto de vista económico inaceptable. Por esta razón se estudiaron varias variantes de pilotes de mayor diámetro que permitieran aumentar la capacidad portante de los mismos.

La consolidación del estrato de arena limosa con alto potencial de licuefacción mediante el método de precarga directa y drenes verticales propuesta por el LNBTP [3] también fue desestimada por presentar los siguientes inconvenientes: gran volumen de tierra a colocar en la terraza (24 000 m³ aproximadamente) para el cual no existe cantera disponible, el tiempo de ejecución de esta terraza, gran cantidad de drenes verticales y tiempo de ejecución de estos, el tiempo que demore en consolidar el suelo hasta obtener valores que garanticen llevar a límites

admisibles el potencial de licuefacción, compleja solución de drenaje del agua a extraer por la sobrecarga, más los drenes verticales debido a la topografía del terreno y la presencia permanente del manto freático a muy poca profundidad. La realización periódica de estudios de laboratorio para monitorear el comportamiento de la consolidación también es un inconveniente.

4. OTRAS VARIANTES.

Debido a esto se decidió estudiar para el edificio terminal las siguientes variantes de cimentación:

Cimentación en balsa sobre pilotes de hélice continúa CFA (Continuous Flight Auger) propuestos por la compañía Horizon Consultants (Fotos 1, 2) [4].

Cimentación en balsa previa consolidación del suelo por el método de jet grouting propuesta por el Comité de Expertos (CEX) del MICONS.

Cimentación en balsa previa consolidación del suelo por método de compactación dinámica por caída de peso propuesta por la empresa MENARD México (Fotos 3, 4) [5].

Cimentación en balsa previa consolidación del suelo por método de columna de grava propuesta por la empresa MENARD México (Figura 2) [5].

Cimentación en balsa sobre pilotes de camisa metálica a 42 metros de profundidad propuesta y proyectada por CCOA.sa.



Fig.2:
Excavación pilote tipo CFA [6].



Fig 3:
Colocación de refuerzo en pilote tipo CFA [6].

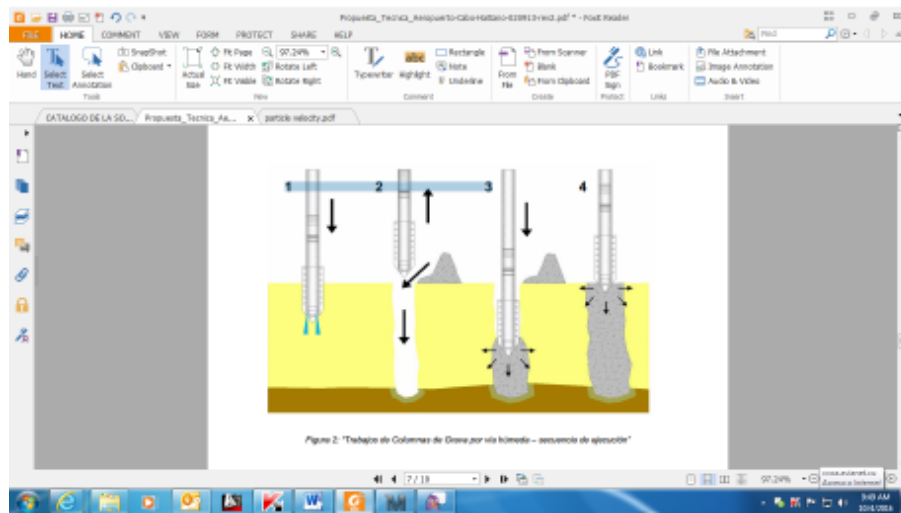


Fig 4:
Trabajos de columnas de grava por vía húmeda- Secuencia de ejecución [5].



Fig.5:
Compactación dinámica por caída de peso [5].



Fig 6:
Compactación dinámica por caída de peso. [5]

Cimentación en balsa sobre pilotes de hélice continúa CFA (Continuous Flight Auger) propuestos por la compañía Horizon Consultants [4].

Con las máquinas que cuenta esta empresa radicada en República Dominicana se pueden perforar pilotes de 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70 y 0.80 metros de diámetro a una profundidad máxima de 28 metros. Variante sumamente interesante por el rendimiento de las máquinas para la excavación de los pilotes y porque representaba los costos de construcción más bajo de todas las variantes.

Después de un estudio de la capacidad portante de los distintos diámetros de pilotes con una longitud de 28 metros, se escogieron los pilotes de 0.50 metros de diámetro con una capacidad de carga de 210 kN teniendo en cuenta la licuefacción del estrato de arena. Se realizó una distribución de estos pilotes espaciados a 2.5 metros en ambos sentidos en toda el área del edificio terminal (60000 m²) para un total de 1317 pilotes.

Esta distribución de pilotes se modeló en el software Staadpro. 2007, haciendo un análisis de la interacción suelo-estructura, resultando como zonas críticas los lugares donde se colocaron arriostres a la superestructura; superando las solicitaciones actuantes la capacidad admisible de los pilotes.

También quedan dudas sobre los posibles asentamientos de estos pilotes cuando el suelo esté licuado, ya que se quedan en los estratos de arcilla y limo de solo 1 MPa de módulo de deformación, véase en el gráfico del ensayo SPT en la figura 3 el escaso número de golpes que tienen estos estratos y que llegan a tener un valor de cero.

Cimentación en balsa previa. Consolidación del suelo por el método de jet grouting propuesta por el comité de expertos del MICONS.

Esta propuesta fue analizada a profundidad y se solicitó a varias empresas que cotizaran la posible solución de la densificación del suelo licuable con la técnica de Jet Grouting, lo que en la práctica es en extremo costoso.

La variante de realizar pilotes con esta técnica a una profundidad de 15 metros deja muchas dudas sobre el comportamiento de estos pilotes cuanto el estrato de arena este licuado y estos queden apoyados en los estratos de arcilla y limo de solo 1 MPa de módulo de deformación, véase en el grafico del ensayo SPT en la figura 6 el escaso número de golpes que tienen estos estratos y que llegan a tener un valor de cero.

En consultas realizadas con ingenieros de la compañía MENARD México, declinaron ofertar una solución con esta técnica por los inconvenientes de traslado de las máquinas y el tiempo de ejecución, prevén además que la gran concentración de finos en los suelos a inyectar haga necesario mayor cantidad de perforaciones que las que regularmente se necesitan. Por estas razones hacen las propuestas de compactación dinámica por caída de peso [5] y consolidación del suelo por método de columna de grava [5].

Consolidación del suelo por método de compactación dinámica por caída de peso propuesta por la empresa MENARD México [5].

La compactación dinámica puede traer afectaciones a las construcciones aledañas al área de emplazamiento de estos objetos de obras, además de que requieren según la propuesta de MENARD extraer el estrato de arcilla de 3 metros y colocar un relleno de material granular con un espesor de 3 metros en toda el área del edificio terminal, todo esto eleva los costos de esta variante.

Consolidación del suelo, método columna de grava propuesta por la empresa MENARD México [5].

Esta propuesta tiene los mismos inconvenientes que la de los drenes verticales del LNBTP.

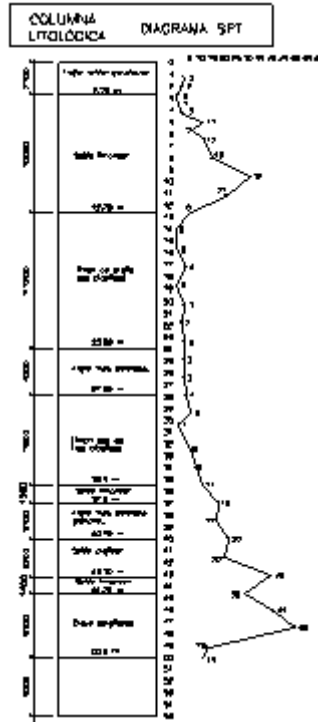


Gráfico 1:
Diagrama del Standard Penetration Test (SPT) [3].

5. PILOTES DE CAMISA METÁLICA DE 0.80 METROS DE DIÁMETRO A 42 METROS DE PROFUNDIDAD CALCULADOS POR CCOA.sa.

Para el cálculo de la capacidad admisible de estos pilotes se confeccionaron hojas de cálculo con el software MATHCAD en el que se automatizaron métodos para el cálculo de la capacidad admisible por fricción y en punta tanto para suelos cohesivos como para las arenas (ver tabla 1).

Tabla 1.
Métodos estimación capacidad de carga de pilotes

Métodos Estimación Capacidad de Carga Pilotes					
Punta	Tipo Suelo	Fricción	Tipo Suelo	Fricción Negativa	Tipo Suelo
Meyerhof	Arenas	λ	Cohesivos	α	Cohesivos
Janbu	Arenas	α	Cohesivos	β	Cohesivos
Coyle Castello	Arenas	β	Cohesivos		
Vesic	Arenas	Meyerhof	Arenas		
Vesic	Cohesivos	Coyle Castello	Arenas		

También se implementaron hojas de cálculo en MATHCAD para obtener los valores de eficiencia de grupo (ver tabla 2), para las resistencias laterales de los pilotes y los cálculos de los asentamientos.

Tabla 2.
Métodos estimación eficiencia de grupos pilotes

Métodos Estimación eficiencia de Grupos de Pilotes
Ecuación Converse - Labarre
Ecuación de los Ángeles
Ecuación Seiler - Keeney
Grupo de pilotes en arcilla Saturada

Para el caso de la torre de control con los valores obtenidos se analizaron 14 variantes con distintos diámetros, profundidad y cantidad de pilotes, se escogió la variante 14 que consiste en 36 pilotes de 80 cm diámetro de 42 metros de longitud con una capacidad de carga por pilote dentro del grupo de 952 kN. Para el edificio terminal se utilizaron los mismos pilotes colocados en una retícula de 5x10 metros.

Se procedió a implementar hojas de cálculo para obtener la capacidad de carga de estos pilotes por el método de los estados límites, según la “Propuesta de Norma Cubana. Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. Método de Cálculo y de Diseño” [7] y compararlos con los métodos descritos anteriormente, variando las condiciones de apoyo de los pilotes. Los resultados de estos análisis se muestran en la tabla 3.

Estos resultados son coherentes con los obtenidos en la modelación de la estructura de ambos objetos de obra en conjunto con la cimentación y la interacción suelo cimiento (figura 4).

Para disminuir los desplazamientos laterales se decidió inclinar 15 grados los pilotes del borde exterior de ambos objetos de obra (figuras 5 y 6).

Tabla 3.
Capacidad admisible de pilotes Edificio terminal y torre de control aeropuerto internacional de Cabo Haitiano.

Capacidad Admisible de Pilotes Edificio Terminal y Torre de Control. Aeropuerto Internacional Cabo Haitiano.

Objeto Obra	Método Cálculo	Características suelo	Q _{límites} (kN)	Q _{grupos} (kN)	Q _{admiso.} (kN)	F. Seguridad	Quiltes - F. H	Eficiencia Grupos	Q _{adl} Final (kN)	C _{total} (kN)		Acomodamiento (mm)	
										PA. Adversada	PA. Favorable	L. pilotes	Grupos pilotes
Edificio Terminal N.1	MÉT.	C.B. 80x27	808.8	738.2	1331	188.3	1528.2	0.7	565.8	50	248.3	51	—
		C.B. 80x27	1002.8	738.2	1331	283.1	1528.2	0.7	1011	50	248.3	56	—
	2. Seguridad	C.B. 80x27	303.3	861.2	1381	-143.3	1338	0.9	1099	119	—	56	—
		C.B. 80x27	473	861.2	1315.6	-188	1377.6	0.9	1121.2	116	—	56	—
Torre de Control N.1	MÉT.	C.B. 80x27	771.2	711.8	1492.3	216.6	1203.8	0.65*	815.5	46	248.3	48	262
		C.B. 80x27	900.4	711.8	1412.2	-205	1371.4	0.65*	831	46	248.3	49	262
	2. Seguridad	C.B. 80x27	473	873	1331	-193.3	1331.3	0.66*	118.7	76	—	58	308
		C.B. 80x27	581.6	873	1296	-203.1	1380.7	0.66	100.8	76	—	56	318

* ... La eficiencia de grupo marcada como asterisco es porque predominó el fallo en bloques. El aporte del costado de arena licuado a la resistencia por fricción es de 217.2 kN (F-S) y 320.7 kN (M.E.L.)

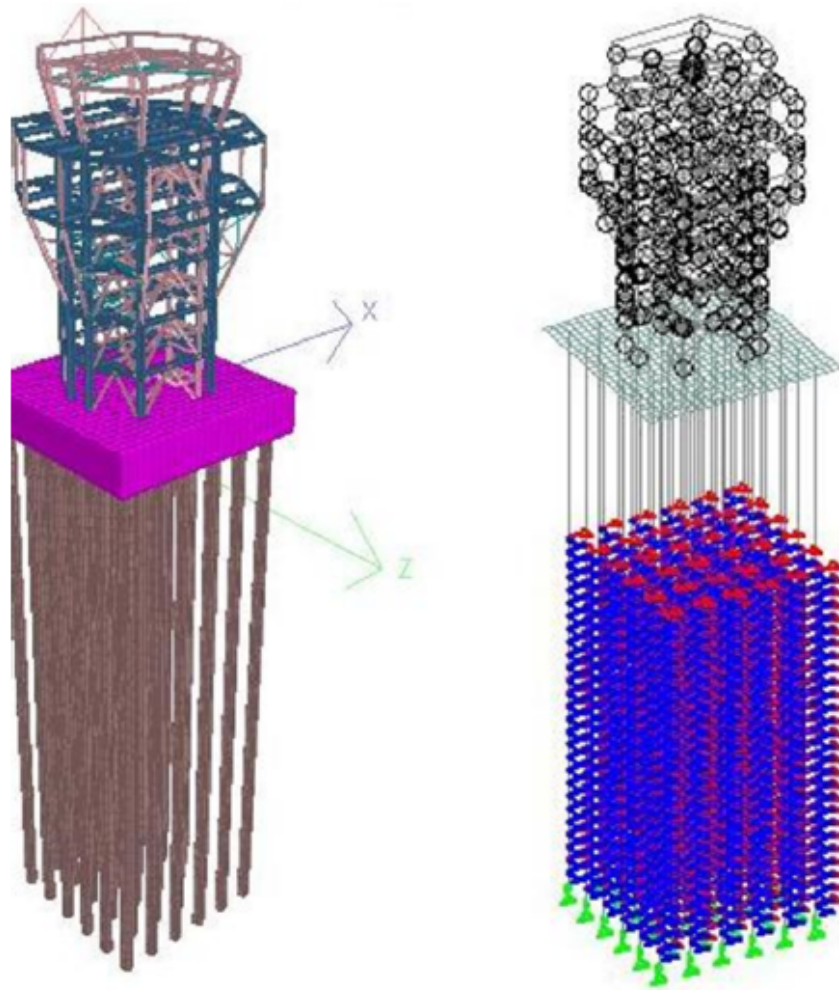


Figura 7.
Modelo estructura torre de control y la interacción suelo
cimiento. Columna litológica y gráfica ensayo SPT.

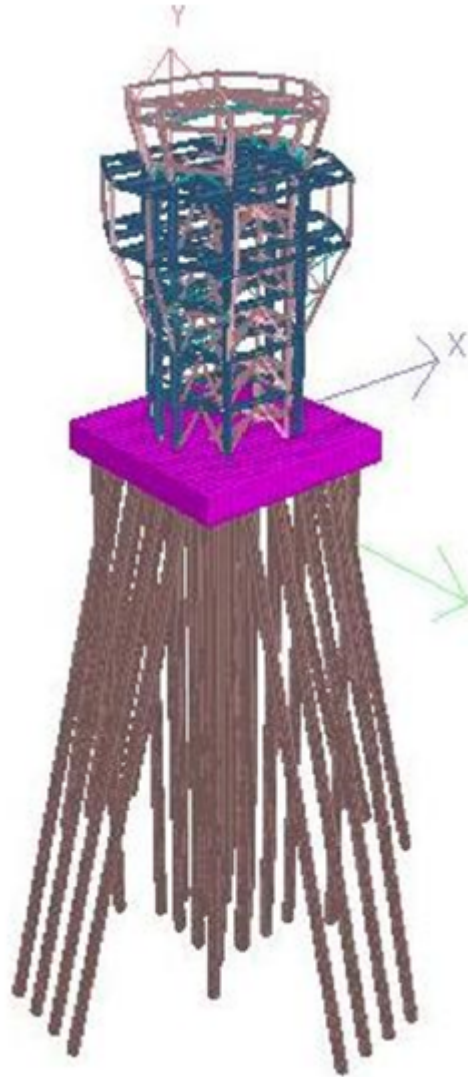


Figura 8.
Modelo de la torre de control con los pilotes exteriores inclinados.

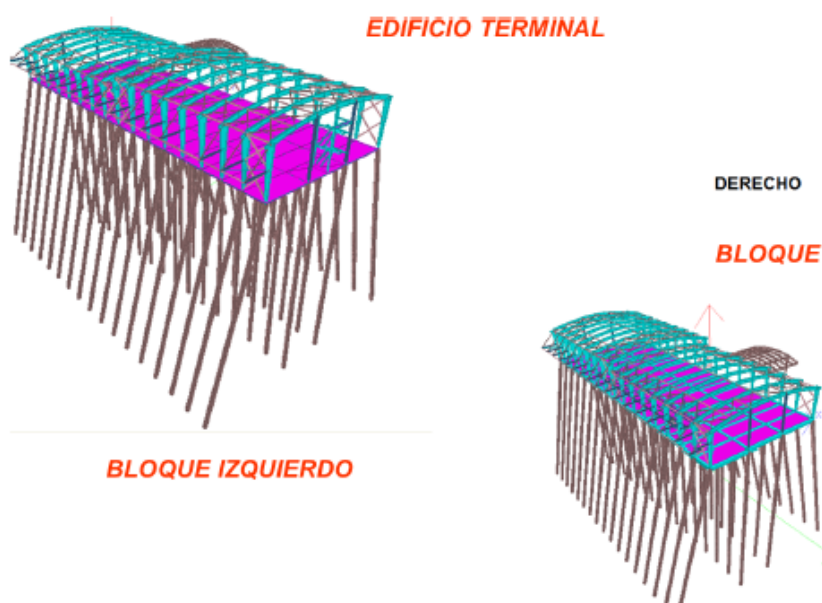


Figura 9.

Modelo de los bloques laterales del edificio terminal con los pilotes exteriores inclinados.

6. CONCLUSIONES.

La mejor variante para la realización de este proyecto hubiese sido cambiar el emplazamiento del aeropuerto debido a las difíciles condiciones ingeniero geológicas de esta zona, pero esta variante no es posible debido a que en el lugar ya existen instalaciones y un campo de vuelo que fue ampliado y mejorado para subir la categoría del aeropuerto desde el punto de vista aeronáutico.

Partiendo de la premisa de que hay que dar solución de proyecto a la cimentación del nuevo edificio terminal y la torre de control del aeropuerto internacional de Cabo Haitiano en este emplazamiento, sobre la base de los estudios realizados, las consultas con prestigiosos profesionales de varias instituciones de Cuba y el intercambio con varios suministradores interesados en participar en la ejecución de las cimentaciones de estos objetos de obra, se concluye que para el caso de la Torre de Control existe un consenso de que la variante de cimentación que debe ejecutarse es la del proyecto ejecutivo de CCOA.sa con pilotes de camisa metálica de 80 cm de diámetro a 42 metros de profundidad.

Para el edificio terminal existen criterios divergentes en cuanto a la variante a aplicar. Las variantes de consolidar el suelo para eliminar el riesgo de licuefacción del estrato de arena de 10 metros de potencia son en la práctica inejecutables por su alto costo y por los impedimentos desde el punto de vista técnico ejecutivo que presentan.

Una vez licuado el estrato de arena tendríamos pilotes con 13 metros de voladizo y las cargas de la edificación en sus extremos, más el empuje lateral que se generaría producto del sismo sometería a estos a grandes esfuerzos de flexión; súmesele a esta dificultad que los próximos 27 metros por

debajo de la arena licuable es un suelo en extremo deformable, sin ninguna o casi nula capacidad portante (ver gráfico ensayo SPT en las figuras 3 y 4) por lo que pilotes que no tengan suficiente rigidez a flexión y estén sustentados en estos estratos no deben ser solución para esta cimentación.

A los proyectistas de CCOA.sa les interesó mucho la propuesta de pilotes tipo hélice continua CFA (Continuous Flight Auger) por lo fácil de su ejecución y bajo costo, pero más allá de que en algunas zonas de la edificación las solicitaciones actuantes superan la capacidad de carga de estos pilotes, queda la duda del comportamiento de estos apoyados en el estrato antes descrito.

Por todo lo anterior, el proyecto ejecutivo de CCOA.sa para la cimentación del edificio terminal con pilotes de camisa metálica de 80 cm de diámetro a 42 metros de profundidad es hasta la fecha, el más seguro y eficiente a pesar de que las toneladas de pilotes superen a las toneladas de estructura metálica del edificio.

Referencias

- Estudio de suelo fase III”, Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP), Haití, noviembre 2010.
- Estudio de suelo preliminar”, Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP), Haití, septiembre 2012.
- Estudio de suelo definitivo”, Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP), Haití, enero 2013.
- Axial and Lateral Capacity of Continuous Flight Auger Piles, Horizon Consultants, República Dominicana, Julio 2013.
- Propuesta técnica, MENARD México, México, agosto 2013.
- Design and Construction of Continuous Flight Auger Piles, Geotechnical Engineering Circular (GEC) No.8, Federal Highway Administration.
- Propuesta de Norma Cubana. Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. Método de Cálculo y de Diseño”.