

Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas



**"ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LA SOLUCIÓN DE CIMENTACIÓN
PARA EL HOTEL CHAPELÍN-TAINOS, VARADERO"**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil

Autor: Lianely Galbán Socarrás

Tutores: MsC. Ing. Ovidio D. Rodríguez Rodríguez

Ing. Isnoel Lobet Rodríguez

Matanzas, 2019

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que yo Lianely Galbán Socarrás, soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

DEDICATORIA

A mis padres por hacer posible que hoy esté cumpliendo una de mis metas en la vida.

A mi madrina Mery Torriente que hoy no está a mi lado, pero siempre ha estado ahí para mí dándome muchos consejos, sin dejar de mencionar esa gran sabiduría que mientras tuvo vida me ofreció. Donde quieras que estés muchas gracias y sé que estás orgullosa de mí, pues soy todo lo que querías.

A mi tía Miriam que es mi otra mamá y no me ha podido dar cosas materiales, pero si mucho amor, sabiduría y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mis padres por darme lo que ha estado en sus manos para que yo pudiera alcanzar mi título de ingeniera. Como dicen ellos ya está en la tesis, ya se gradúa al fin.

Le doy muchas gracias a mi tía por todo lo que ha hecho por mí y para que haya llegado hasta aquí. Gracias por escucharme siempre.

Le agradezco a José por estar desde el día que lo conocí al pendiente de mí y de mi escuela. Gracias por siempre buscarme una solución cuando mi hoyo es oscuro, gracias por exigirme en muchas ocasiones que me sentara a adelantar la tesis y por sentarte a mi lado cuando no entendía algo.

Agradezco a Yeya por tanta dedicación y comprensión, eres como una madre en buscas de soluciones rápidas para la hija.

Agradezco a mi prima Irismey por ayudarme mientras pudo con todo lo de mi escuela, por brindarme su casa cada vez que la necesité.

Agradezco a mi tatico por cada viernes sacarme la sonrisa y más cuando me decía ya te gradúas quien se lo imaginara, eres un burlón, pero sabes que te amo.

Agradezco al colectivo de mercadotecnia en toda su totalidad (Michael, Richard, Olguita, Yailin, Yorgy, Miguel Ángel, Rodi etc.) por ayudarme con todo lo que me hizo falta en estos cinco años de carrera, incluyendo prestarme la oficina de noche para que terminará los trabajos de la escuela.

Agradezco a mis profesores por enseñarme en el día a día, especialmente a Yanelys, Manuel y Reina, porque siempre estaban al pendiente de mí. Gracias por la dedicación que me brindaron.

Agradezco a mis tutores Ovidio e Isnoel por el tiempo y la dedicación que me brindaron, sin ustedes esta tesis no hubiese sido posible.

Agradezco a Lianet y su familia por tenerme un verano entero en su casa para que yo estudiara para los mundiales, gracias Liane por el tiempo que me has dedicado durante estos 5 años.

Agradezco a mis compañeros de aula por ayudarme con los trabajos. Gracias Maynely, Ariadna y Boris (siempre me has escuchado y has brindado ayuda para lo que he necesi-

tado). Muchas gracias a Yalenys por dedicarme tiempo en explicarme los contenidos que no entendía.

Agradezco a mis amigas Bety, Neiky y Yanet por siempre estar ahí cuando más lo necesité. Espero que siempre estemos unidas.

Agradezco a mis amigos de la beca estudiantil el Gordote, Michel, Yasmany, Colina, Hany, Lorenys y mi trío preferido por hacer que un día oscuro brille para mí, gracias por pasar tiempo juntos y por hacerme reír.

Agradezco a mi familia por siempre estar pendiente y preocupados por mí y la escuela.

Agradezco a todas aquellas personas y amistades (Sualy, Sahai, Damián, Pedro, Lili, Marilú, Yanier, Mesa, Yenier, Xiomara, etc.) que me ayudaron en algún momento de mi carrera.

RESUMEN

El presente trabajo de diploma titulado: "*Análisis geotécnico de la solución de cimentación para el Hotel Chapelín-Tainos, Varadero*" tiene como propósito principal determinar la variante de cimentación más adecuada desde el punto de vista técnico y económico para cada objeto de obra antes mencionada en su condición de edificio alto. Para obtener los resultados se realiza un estudio del estado del arte de las cimentaciones en edificios altos utilizando bibliografía actualizada y el estudio ingeniero-geológico realizado por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas para conocer las características del suelo mediante ensayos de laboratorio y ensayos de campo como la perforación, la presiometría y la geofísica utilizando el equipamiento más moderno con que cuenta el país en la actualidad. Para el cálculo de la solución de cimentación se utilizaron las Normas Cubanas, el Manual Canadiense (*Canadian Foundation Engineering Manual*), el Sistema RMR (*Rock Mass Rating*) y algunos softwares desarrollados por la ENIA como son las hojas activas REM en Excel hasta determinar la cimentación más racional en costo y en tiempo esperando obtener así el mejor de los resultados logrando que la isla caribeña asuma un nuevo rol en la construcción de obras de este tipo tanto en altura como en dimensiones.

Palabras claves: cimentación; estudio; resultados; edificios altos.

ABSTRACT

The present work titled: "Analysis geo-technical of the foundation solution for the Hotel Chapelín-Tainos, Varadero" before as main purpose to of-finish the variant of more appropriate foundation from the technical and economic point of view for each work object mentioned in their higher building condition. To obtain the results it is carried out a study of the state of the art of the foundation in high buildings using up-to-date bibliography and the engineer-geologic study carried out by the National Company of Applied Investigations to know the characteristics of the soil by means of laboratory rehearsals and field rehearsals like the perforation, the pressuremetry and the geophysics using the most modern equipment with which it counts the country at the present time. For the calculation of the foundation solution by the Cuban Norms were used, the Canadian Manual (*Canadian Foundation Engineering Manual*), the System RMR (*Rock Mass Rating*) and some software developed by the ENIA as the active leaves REM in excel until determining the most rational foundation in cost and in time hoping to obtain this way the best in the results achieving that the Caribbean island assumes a new list in the construction of works of this type as much in height as in dimensions.

Key words: foundation, study, results, high buildings.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo I: Revisión bibliográfica	5
Introducción	5
I.1- Características generales de los edificios altos.	5
I.2- Cimentaciones utilizadas para la construcción de edificios altos.	7
I.2.1- Conceptos básicos.	7
Conclusiones del capítulo.	30
Capítulo II: Materiales y Métodos	31
Introducción.	31
II.1- Trabajos realizados.	31
II.2- Condiciones ingeniero-geológicas del área.	34
II.3- Resultados de la Geofísica (Tomografía eléctrica).	37
II.3- Condiciones de cimentación.	39
Conclusiones del Capítulo	44
Capítulo III: Discusión de los resultados	45
Introducción.	45
III.1- Cálculo de la solución de cimentación balsa.	45
III.1.1- Comprobación de la carga actuante.	45
III.1.1.2- Diseño geotécnico de la balsa.	46
III.1.2- Comprobación de la carga actuante con el peso propio de la balsa incluido.	49
III.2- Cálculo del asentamiento.	49
Conclusiones Generales	51
Recomendaciones	52
Referencias Bibliográficas	53

INTRODUCCIÓN

Por cimentación de un edificio se entiende la transición del mismo con el terreno natural sobre el que se apoya. Para una correcta evaluación del terreno se deben analizar los siguientes factores: tipo de suelo, deformabilidad, consistencia, resistencia y nivel freático, entre otros aspectos. Todos ellos junto con el tipo de edificio y sus dimensiones, son decisivos en la elección del tipo de estructura y cimentación.

Por lo general el terreno de apoyo no puede soportar las mismas tensiones, existen cimentaciones que pueden trabajar a tracción que los materiales con los que están contruidos los elementos estructurales. Las cargas que suelen ser puntuales tienen que ser transmitidas a una superficie mayor que, a su vez, las transmite al terreno. En la mayoría de los casos bastaría con aumentar las dimensiones de los elementos que transmiten las cargas a la base. Es muy importante que la superficie de apoyo de la cimentación se encuentre a una distancia suficiente para lograr un apoyo firme por debajo de la capa más meteorizada en superficie. Cuando el terreno apto para la cimentación se encuentra a una gran profundidad, se hace necesaria una cimentación que llegue a ese estrato.

Para poder transmitir las cargas de un edificio a una superficie se pueden utilizar tres tipos de cimentaciones: superficiales, semiprofundas y profundas.

Las cimentaciones superficiales se dividen a su vez en zapatas corridas, losas y balsas estructurales o placas de cimentación.

Las zapatas se utilizan normalmente como cimentaciones bajo apoyos puntuales y pueden considerarse como una ampliación de la superficie de apoyo del edificio. La altura del cimientto se calcula de acuerdo con la carga y el ángulo de reparto de la presión sobre el terreno que varía entre 45 y 60°.

Teniendo en cuenta todos los factores que puedan intervenir (tipo del terreno de apoyo, carga del edificio y dimensiones) pueden evitarse posteriores daños por asentamiento diferencial del edificio.

En el caso de edificios en altura, con cargas muy importantes, suelen utilizarse losas de cimentación (si se utilizan zapatas corridas, sus dimensiones serían tan grandes que el espacio entre ellas sería muy reducido o se solaparían). En estos casos se recurre al tipo de cimentación con losas para aumentar la seguridad ante un eventual colapso del terreno.

Los muros de sótano situados bajo nivel del terreno se ven sometidos a las cargas verticales y también a las cargas horizontales del terreno colindante. Si el nivel freático se encuentra por encima de la de cimentación, reciben a la presión del agua.

En este caso es muy importante garantizar la seguridad en cada fase del proyecto para que el volumen de hormigón sea lo suficientemente estable y no pueda flotar.

En el caso de cimentaciones profundas, las cargas del edificio son transmitidas hasta alcanzar el estrato de terreno resistente, tras atravesar los no resistentes. En este caso, se construyen pilotes, generalmente de hormigón, prefabricados hincados u hormigonados in situ.

A su vez, los pilotes prefabricados de hormigón pretensado pueden ser macizos o huecos. El proceso de hincados de este tipo de pilotes conlleva importantes impactos y vibraciones en el terreno; por ello no es recomendable cuando existan edificios próximos, pues podrían generar grietas u otro tipo de daños.

En los nuevos edificios que se construyan contiguos a edificios preexistentes, y cuya cimentación deba realizarse a una profundidad mayor, se debe colocar directamente debajo del preexistente. (Beinhauer, 2009)

Desde la perspectiva anterior, se concibe como PROBLEMÁTICA: en la provincia de Matanzas, Varadero se ha comenzado a realizar la construcción del Hotel Chapelín-Tainos que se encuentra en la etapa preliminar donde no se ha definido el tipo de cimentación que se va a emplear.

Sobre esta base se declara como PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: el análisis de la variante de cimentación para el Hotel Chapelín-Tainos en su condición de edificio alto.

Por lo tanto, se concibe como HIPÓTESIS: si se hace un análisis de las posibles soluciones de cimentación a utilizar para la construcción del Hotel Chapelín-Tainos será posible determinar cuál es la más factible técnica y económicamente.

En correspondencia con lo antes expresado, el OBJETIVO GENERAL de la presente tesis es determinar la variante de cimentación más adecuada desde el punto de vista técnico y económico para cada objeto de obra del Hotel Chapelín-Tainos, Varadero en su condición de edificio alto.

Para lograr dicho objetivo general es necesario darle cumplimiento a los siguientes

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar el estado del arte sobre las cimentaciones.
- Caracterizar el macizo desde el punto de vista ingeniero-geológico.
- Diseñar geotécnicamente las variantes de cimentación que se vayan a aplicar según cada objeto de obra.

Con el propósito de comprobar la hipótesis y cumplir el objetivo anterior, fue preciso plantear las siguientes **TAREAS DE INVESTIGACIÓN:**

- Revisión de la información geotécnica disponible en el archivo de la ENIA Matanzas y de la bibliografía consultada.
- Selección de la metodología de trabajo.
- Procesamiento de datos ingenieros-geológicos y estructurales del Proyecto.
- Cálculo de la variante de cimentación.

Métodos Científicos:

Analítico-sintético. Establece la relación recíproca entre el análisis y la síntesis.

Inductivo-deductivo. Mediante la inducción se lleva a cabo un proceso donde el pensamiento va de las partes que constituyen un objeto o fenómeno hasta el todo, mientras que la deducción es el camino contrario.

Histórico-lógico. Se refiere a la historicidad y a la lógica implícita en la investigación, sobre todo a la que se corresponde con el problema científico objeto de estudio.

Hipotético-deductivo. La hipótesis es la respuesta anticipada del problema científico que se aborda en la investigación, la cual se logra a través de deducciones.

Modelación. Se refiere a la utilización de un modelo que imita a la realidad a una escala por lo general reducida (modelo icónico), o que entra en analogía con esa realidad (modelo analógico), existiendo además los llamados modelos teóricos.

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden revestir una gran importancia por su aplicación, obteniendo así, un valor práctico tanto como metodológico en cuanto al diseño geotécnico de las cimentaciones de esta obra y la toma de decisiones sobre su ejecución.

La tesis presente está estructurada en introducción, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y tres capítulos; desglosados en Capítulo 1: Revisión bibliográfica, Capítulo 2: Materiales y Métodos y Capítulo 3: Cálculo de cimentación y discusión de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Introducción

La provincia de Matanzas tiene el privilegio de brindarle al pueblo cubano, así como al turismo extranjero, el mayor polo turístico que posee la isla caribeña. Varadero tiene una gran oferta y demanda por lo que hay mucha entrada y salida de personas hacia esta zona. Debido a ello se han estado creando proyectos para la realización de nuevas edificaciones para el disfrute de estos. Uno de ellos es el del Hotel Chapelín-Tainos, actualmente en estudio ingeniero-geológico en fase preliminar.

Los terrenos que ocupará originalmente eran parte de la Reserva Ecológica Chapelín, en los años '90 se construyó allí una planta de tratamiento de residuales que daba servicio a los hoteles Navity (antiguo 1920) al Oeste y Brisas del Caribe al Este. La acción del hombre ha ido modificando estos paisajes y mediante relleno tecnificado y conformación del drenaje actualmente se van preparando condiciones para el comienzo de la construcción.

En correspondencia con la etapa en que se encuentra el proyecto, aun no hay una decisión firme sobre la solución de cimentación más racional técnica y económicamente a ejecutar. En el presente trabajo de diploma se considera la posibilidad de emplear como alternativas para la cimentación del nuevo hotel tres soluciones como las más factibles: pilotes, balsa estructural o su combinación, pero siempre garantizando la estabilidad y la deformación dentro de límites aceptables con una disminución considerable del costo económico y del tiempo de ejecución de la obra.

I.1- Características generales de los edificios altos.

La construcción de edificios de gran altura aparece, como un fenómeno norteamericano, a mediados del siglo XIX, como consecuencia directa del invento del ascensor por Elisa Graves Otis. Un edificio alto independientemente del número de pisos que posea, es aquel donde las fuerzas horizontales condicionan de manera determinante el diseño de su estructura.

La altura de un edificio no condiciona necesariamente su estructura. Aun siendo considerablemente altos, su base y su masa, los hacen estables por sí mismos, sin mayores complejidades estructurales.

El auge de los edificios de gran altura en todas las ciudades del mundo está motivado por el intento de resolver el grave problema de las concentraciones demográficas o de servicios, mediante un aprovechamiento máximo del suelo. (Tesoro, 2018)

En la actualidad, a nivel mundial existe un amplio conocimiento desarrollado a través de los años sobre la construcción de grandes estructuras como son los edificios altos donde lo más importante es una solución de cimentación adecuada. Hoy en día, la construcción de edificios altos en la región del Caribe es una realidad y cada día su altura aumenta, así como su número. Esta clase de edificios son normales en países desarrollados y en los cuales se utiliza la última tecnología como disipadores de energía en su base, masas balanceadas y otros sistemas que aún están en experimentación y que para el país resultan demasiado costosos. Hoy en Cuba uno de los edificios más alto es el FOCSA, edificación emblemática para la arquitectura y la ingeniería civil cubana que cuenta con 39 niveles desde el cimiento hasta la torre que suman 121 m sobre el nivel de la calle. En el momento de su inauguración fue el segundo inmueble de hormigón más alto del mundo, superado solo por el edificio Marinelli, de Sao Paulo, en Brasil, con 144 m de altura. Es considerado una de las siete maravillas de la Ingeniería Civil cubana. En Cuba solo lo superan hoy el edificio del hotel Habana Libre (126 m) y el monumento a José Martí en la Plaza de la Revolución (142 m). (Bianchi, 2018)

La próxima construcción del Hotel Chapelín-Tainos, con una cantidad de 18 niveles, indica que en la isla se están retomando estos proyectos que parten de la solución de cimentación más adecuada para transmitir correctamente las cargas al terreno y que no haya un desplome o inclinación de la edificación, es decir, garantizando su estabilidad y durabilidad.

Como la edificación concebida en altura es un hotel, suele plantearse una disyuntiva en su estructura debido a las exigencias funcionales tan dispares que existen entre las plantas destinadas a habitaciones y las plantas bajas donde se ubican los servicios comunes y los salones sedes de congresos y recepciones. (Tesoro, 2018)

Un edificio, cualquier edificio, está sometido a una serie de acciones provenientes del medio que la estructura debe resistir. Entre ellas están las acciones gravitatorias, el viento, el sismo, las variaciones de temperatura, etc. Unas son acciones directas, otras son las deformaciones impuestas ante las que la estructura debe responder con adecuado coeficiente de seguridad, sin perturbar al usuario o a las demás estructuras vecinas. (Armisen, 1985)

Un edificio alto solicita acciones semejantes a las de los edificios de pequeñas alturas, pero los efectos son diferentes en ambos. Las acciones gravitatorias, tanto de peso propio como de servicio, producen un efecto creciente con la altura por su acumulación según el número de plantas, lo que determina un incremento importante en el tamaño de los cimientos.

Las acciones horizontales, constituidas principalmente por la presión del viento y las fuerzas de inercia producidas por los movimientos sísmicos, son significativas de cara a determinar la estructura resistente en los edificios altos.

Las acciones de viento, consideradas generalmente en su dimensión estática, dependen de su velocidad para un determinado período de retorno, de la altura, de la superficie, de la forma del edificio y del lugar donde está inscrito. La cuantía de la sollicitación debe ser obtenida en modelos sometidos a ensayos en túnel de viento. El valor dado por los distintos códigos nacionales suele ser una aproximación más o menos grosera, válida únicamente cuando la altura del edificio es moderada.

Las acciones sísmicas son más complejas dado que su valor no sólo depende de la aceleración del suelo para un determinado período de retorno, sino también de las características de la estructura resistente, de su masa, rigidez y la capacidad de amortiguamiento que determinan los modos naturales de vibración y sus períodos.

Las variaciones de temperatura en general y las deformaciones impuestas por la fluencia y la retracción en las estructuras de hormigón, en edificios “normales” conducen a determinar la posición de las juntas de dilatación, pero en los edificios altos, pueden producir esfuerzos muy significativos por la acumulación de alargamientos o acortamientos sobre todo en las últimas plantas. (Armisen, 1985)

I.2- Cimentaciones utilizadas para la construcción de edificios altos.

I.2.1- Conceptos básicos.

Según Martín Torres (Matanzas, 2012) se denomina:

Cimentación superficial: Cuando el nivel de cimentación es inferior a cuatro veces la dimensión menor del cimiento.

Cimentación profunda: Cuando el nivel es superior a diez veces la dimensión menor del cimiento.

En general, existe una tendencia a nombrar “superficiales” a las apoyadas hasta 5 m de profundidad y “profundas” a las afirmadas a una profundidad mayor. (Torres, 2012)

Objeto de las cimentaciones:

Todas las obras de Ingeniería Civil, edificios, puentes, presas, caminos, aeropistas, canales, etc., se desplantan sobre o bajo la superficie del terreno y requieren de una cimentación apropiada que proporcione seguridad y buen comportamiento a costos razonables.

Cimentación: Terzaghi Y Peck definen la cimentación como aquella parte de una estructura que sirve exclusivamente para transmitir su peso al terreno natural. (Ketty, 2003)

En un sentido más amplio, una cimentación es la(s) parte(s) de una estructura que le proporciona(n) apoyo a la misma incluyendo el suelo o roca inmediatamente bajo el nivel de solera hasta la profundidad activa donde se disipan las cargas aportadas por la estructura.

Así, en un edificio cimentado sobre zapatas, la cimentación está constituida por el conjunto zapatas-suelo. En una cortina de tierra, el elemento de cimentación es el propio terreno que la subyace.

Dependiendo de la estructura y el suelo encontrados se usan varios tipos de cimentaciones:

1. Una zapata aislada o corrida es, simplemente, una ampliación de un muro de carga o columna que hace posible repartir la carga de la estructura sobre un área grande del suelo (Figura I.1). Generalmente es la solución más económica, se utiliza en terrenos con gran resistencia, no deben utilizarse en terrenos con tensiones admisibles inferiores a los 0.5 MPa porque alcanzarían dimensiones demasiado grandes. (Cordero, 2018)

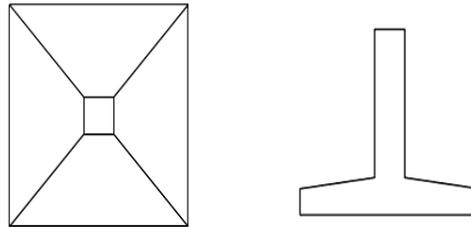


Fig. I.1: Planta y perfil de un cimiento aislado (Tomado de Oscar Roberto Huecas Espinosa).

2. Una balsa o losa de cimentación es más práctica y económica cuando el suelo tiene una capacidad de carga baja y cuando una zapata corrida esta resulta demasiado grande (Figura I.2). Para lograr un buen funcionamiento de las losas y disminuir al máximo posible los asentamientos, se utiliza el principio de cimentación compensada. Éste consiste en que la losa transmita una tensión igual o menor a la que había en el terreno antes de la excavación, evitando el hundimiento del edificio y consiguiendo asentamientos muy reducidos o despreciables.(Cordero, 2018)

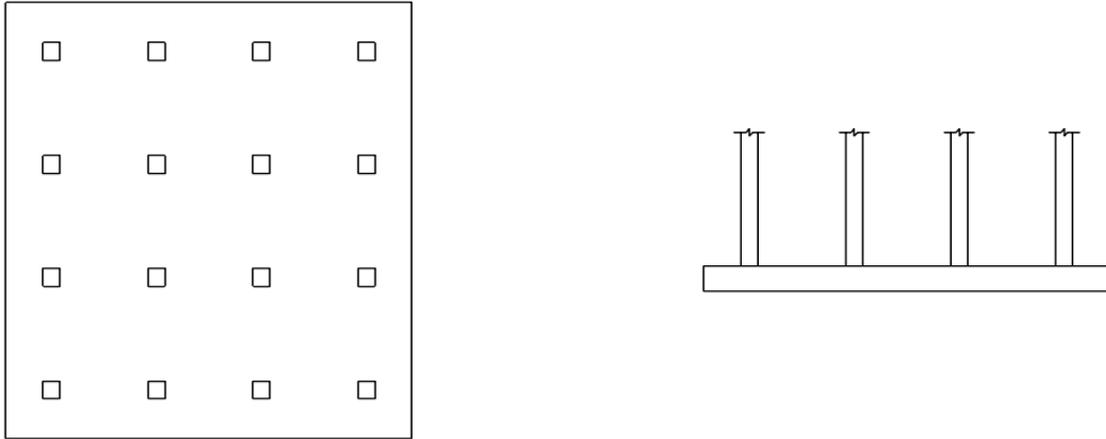


Fig. I.2: Planta y perfil de una balsa estructural (Tomado de Oscar Roberto Huecas Espinosa).

Este tipo de cimentación, en edificios de gran altura, se utiliza cuando:

- La superficie de zapatas superaría el 50% de la superficie del edificio en planta.
- Los terrenos de apoyo tienen una resistencia media-baja.
- Se desea minimizar los asentamientos diferenciales.
- Se quieren construir sótanos bajo nivel freático.

Aspectos a tener en cuenta:

- En edificios con zonas de distinta altura, la cimentación debe ir separada mediante juntas de asiento para que la presión que transmite la losa en cada caso siga siendo igual a la tensión previa a la excavación, lo que lleva a distintos niveles de sótanos.
- Que el centro de gravedad de la losa coincida, lo máximo posible, con el de las cargas verticales del edificio, para evitar el giro de éste debido a la acción de su peso propio.
- Generalmente se producen más asentamientos en la zona central de una losa flexible, por lo que se lleva a cabo una cimentación más profunda en la zona central, para evitar los asentamientos diferenciales.
- En el caso de las losas, la estabilidad al vuelco, debida a las enormes sollicitaciones de viento y sismo, se consigue con la construcción de sótanos bajo rasante, consiguiendo así una cimentación más profunda para estabilizar las cargas y la edificación. (Cordero, 2018)

3. La cimentación con pilotes y pilas perforadas se usan para las estructuras más pesadas cuando se requiere gran profundidad para soportar la carga. Según como transmiten sus cargas al subsuelo, los pilotes se dividen en dos categorías: pilotes a fricción y pilotes en punta. En los primeros la carga de la superestructura es soportada por los esfuerzos cortantes generados a lo largo de la superficie lateral del pilote. En los segundos, la carga soportada es transmitida por su punta empostrada en un estrato firme. En el caso de las pilas perforadas se taladra un agujero en el subsuelo y luego se rellena con hormigón. La distinción entre pilotes y pilas se basa en el diámetro de sus puntas (Figura I.3).

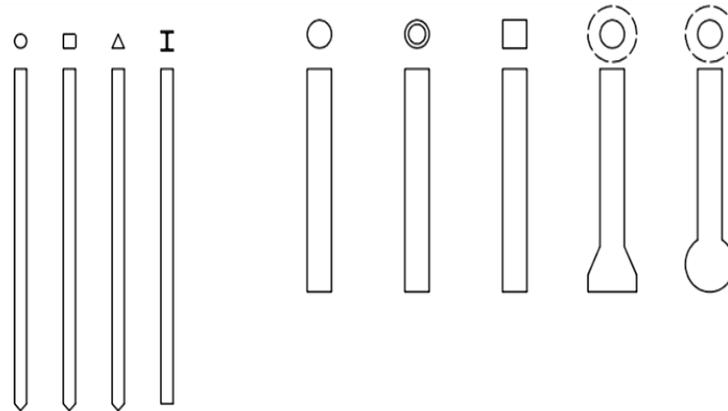


Fig. I.3: Diferentes tipos de pilotes y pilas (Tomado de Oscar Roberto Huecas Espinosa).

Los cajones de cimentación son de hormigón armado, pueden tener muros y losas intermedias, losa de cimentación y losa tapa, incluso puede llevar marcos (Figura I.4).

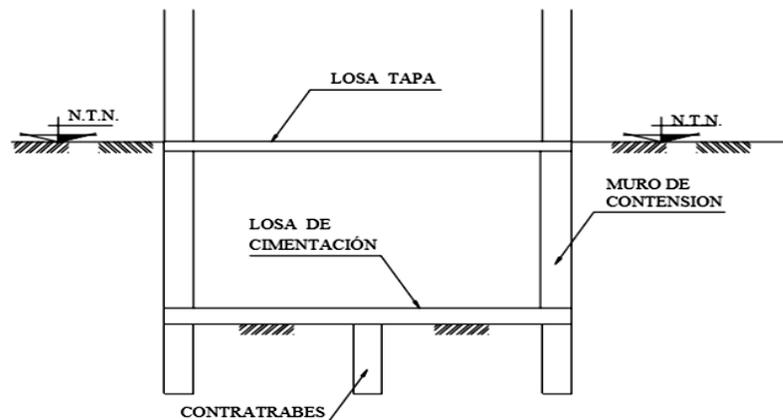


Fig. I.4: Perfil de una cimentación de cajones (Tomado de Oscar Roberto Huecas Espinosa).

Ingeniería de Cimentaciones: Es una rama de la Ingeniería Civil que trata sobre la evaluación de la capacidad de carga del sistema suelo-cimiento, de las deformaciones que experimenta la cimentación y de los procedimientos constructivos necesarios para su realización.

Requisitos esenciales que debe satisfacer una cimentación.

La cimentación debe tener un factor de seguridad razonable contra el fallo por resistencia al corte. Los asentamientos totales y diferenciales bajo las cargas de trabajo no deben exceder los límites permisibles de la estructura que se trate.

En algunos casos es importante la localización de la obra, la cual debe ser tal que evite cualquier influencia negativa que pueda afectar el comportamiento de la cimentación, y, por lo tanto, de la estructura que ella sostiene. Un ejemplo es un puente localizado en la curva de un cauce fluvial donde existe socavación lateral.

La cimentación de estructuras hidráulicas, tales como presas, diques y canales, debe satisfacer un requisito más que es el de permeabilidad.

Como puede deducirse de lo anterior, en general para el estudio de cimentaciones, van a interesar las tres propiedades mecánicas principales de los suelos: resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad.

En el caso de un edificio interesarán las dos primeras, excepto cuando se efectúen excavaciones bajo el nivel de aguas freáticas (NAF) donde podría interesar la tercera para diseñar el sistema para su abatimiento o control de ese nivel. (Ketty, 2003)

Para los edificios altos dadas las condiciones del terreno cubano se toma como solución de cimentación el diseño de cimentaciones profundas cuando se dan las siguientes situaciones:

- Asientos excesivos con las soluciones de zapatas o losas.
- Cuando la capa resistente de apoyo se encuentra a bastante profundidad.
- Por condiciones de estabilidad (giro).
- Cuando aparecen tracciones (levantamientos) debido a las acciones de viento o sismo.
- Por flotabilidad del edificio si la subpresión total por el fondo de la excavación debida al nivel freático, sea mayor que el peso total del edificio.(Cordero, 2018)

Los Pilotes suelen ser:

- Sección circular entre 1000 mm y 2500 mm.
- Profundidad habitual 35 m, excepcionalmente 50 m. La profundidad no debe superar los 30 – 40 diámetros del pilote por cuestiones de esbeltez y sistemas de ejecución.
- Separación habitual entre ejes de pilotes de 2 – 3 diámetros.

- Los pilotes pueden trabajar por fuste o por punta, dependiendo del terreno en el que se encuentren.

Aspectos a tener en cuenta:

- A mayor diámetro de pilote, mayor separación entre sus ejes. A consecuencia, el encepado tendrá una mayor superficie y requerirá un elevado peralte para considerarlo rígido.
- La separación entre ejes de pilotes es muy importante, debido a que el comportamiento de un pilote aislado difiere mucho de un grupo de pilotes. Por lo tanto, la separación entre ejes debe ser mayor a 2 diámetros para que no se produzca el efecto de grupo y se vea reducida la capacidad de carga de los pilotes. Un pilote que trabaja de forma individual tiene una mayor capacidad de soporte.
- Los asentamientos que se producen también se ven afectados por el efecto grupo, en un grupo de pilotes se dan asentamientos bastante mayores que en un pilote aislado.
- Normalmente se utilizan encepados flexibles, dada la dificultad de conseguir encepados rígidos, debido a las grandes dimensiones. Se suele emplear una gran losa que une los pilotes a elementos estructurales cercanos o entre sí. (Cordero, 2018)

Pilotes a fricción.

Cuando las capas del subsuelo cercanas a la superficie son muy compresibles, formadas por arcilla muy blanda, turba, limo o arena en estado suelto, se utilizan cimientos profundos constituidos por elementos alargados que transmiten parte o todo el peso del edificio a estratos profundos resistentes o menos compresibles que los superiores. Algunas veces el costo es elevado y los problemas de construcción, además de un mal comportamiento de los cimientos superficiales, conducen al empleo de los profundos.

Los pilotes a fricción transmiten la carga al subsuelo a través de su superficie lateral, siendo la carga transmitida en la punta sólo una fracción pequeña de la total, generalmente despreciable con relación a la primera. Cuando la resistencia del terreno se debe a la cohesión, como es el caso de pilotes hincados en arcilla, se les denomina “pilotes de adherencia”, su diseño se realiza en términos de esfuerzos totales. Si la fuerza resistente se debe a la fricción pilote-suelo se les llama “pilotes de fricción” y su diseño se realiza en términos de esfuerzos efectivos.

En muchos casos, como ocurre en la Ciudad de México donde el subsuelo es muy compresible y existe hundimiento regional, los pilotes a fricción se utilizan junto con un cajón que compensa una parte o la totalidad del peso del edificio (Figura I.5).

En estos casos, los pilotes a fricción se deben hacer trabajar al límite, esto es con un factor de seguridad unitario, para evitar el fenómeno de la “fricción negativa”, por lo que el cajón de cimentación sólo tomará una fracción pequeña de la carga total del edificio, manteniendo una reserva de resistencia suficiente para tomar los incrementos de esfuerzos que provoquen las cargas accidentales como el sismo o el viento. Esta solución es particularmente eficiente cuando la compresibilidad del suelo se reduce con la profundidad y tiene como ventajas en primer lugar reducir los hundimientos de la estructura y en segundo que el edificio se hunda con la misma velocidad que la superficie del terreno. (Ketty, 2003)

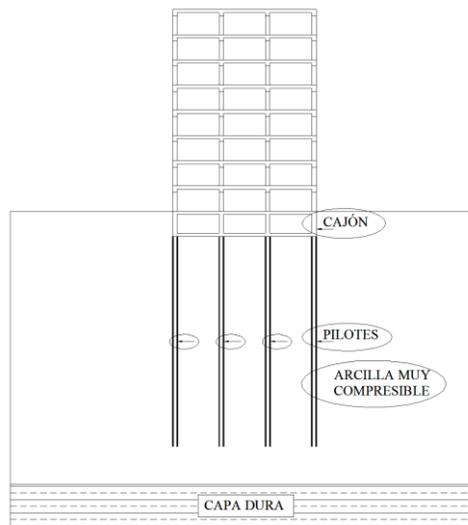


Fig. I.5: Cimentación compensada con pilotes a fricción (Ketty, 2003).

Pilotes en punta.

Los pilotes en punta, como su nombre lo indica, transmiten todo o la mayor parte del peso del edificio por la base o punta a la roca o estrato de suelo resistente y poco o nada compresible. En la zona céntrica de la Ciudad de México se han utilizado en edificios muy pesados donde otro tipo de cimentaciones no ofrecen mayor seguridad. Este tipo de cimentación tiene los siguientes inconvenientes:

- a) el hundimiento regional provoca en los pilotes fricción negativa que hace que con el tiempo el edificio emerja.

b) causan daños a las construcciones vecinas cuando éstas están cimentadas en superficie y aún sobre pilotes de adherencia.

La Figura I.6 ilustra la cimentación de un edificio con pilotes apoyados de punta en la capa dura.

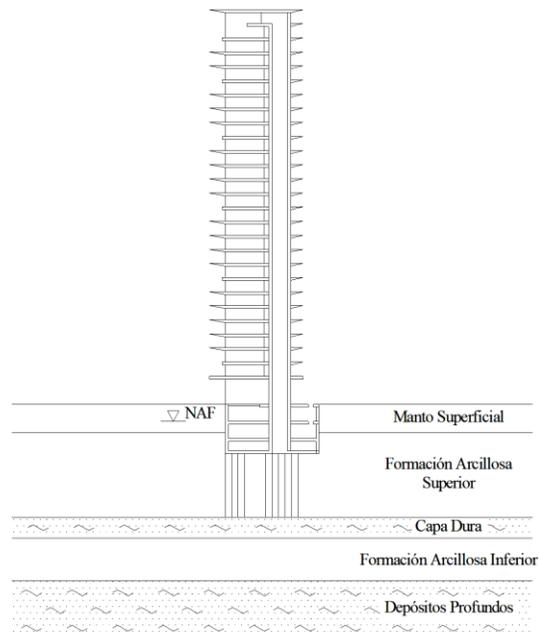


Fig. I.6: Edificio con pilotes de punta localizado en la zona del lago Texcoco (Ketty, 2003).

Los pilotes mixtos son aquellos en los que el trabajo de adherencia o fricción es tan importante como el de punta, sin embargo, hay que tomar en cuenta que los niveles de deformación necesarios para alcanzar la capacidad de carga última en los pilotes de fricción y punta son muy diferentes, por lo que estas dos componentes de la capacidad de carga no son aditivas en muchos de los casos.

Pilotes especiales.

A raíz del hundimiento regional que existe en la Ciudad de México, se han ideado pilotes especiales con dispositivos de control manual o automático.

La Figura I.7 muestra el mecanismo de un tipo de pilote con dispositivos de control manual (Ketty, 2003). El peso del edificio es transmitido de la losa de cimentación a la cabeza de los pilotes a través de las anclas y el cabezal. Entre éste y los pilotes se colocan las celdas de deformación que son cubos de madera.

El funcionamiento de los pilotes con celdas de madera consiste en que éstas se deformen con la misma velocidad con que se hunde la superficie del terreno, sin embargo, esto no ocurre generalmente en la práctica ya que la madera tiene características de tiempo-deformación diferentes a las

del suelo. La cimentación requiere de una conservación continua, en caso contrario a largo plazo los pilotes trabajarían en punta, bajo una condición de carga más crítica que la considerada en el diseño.

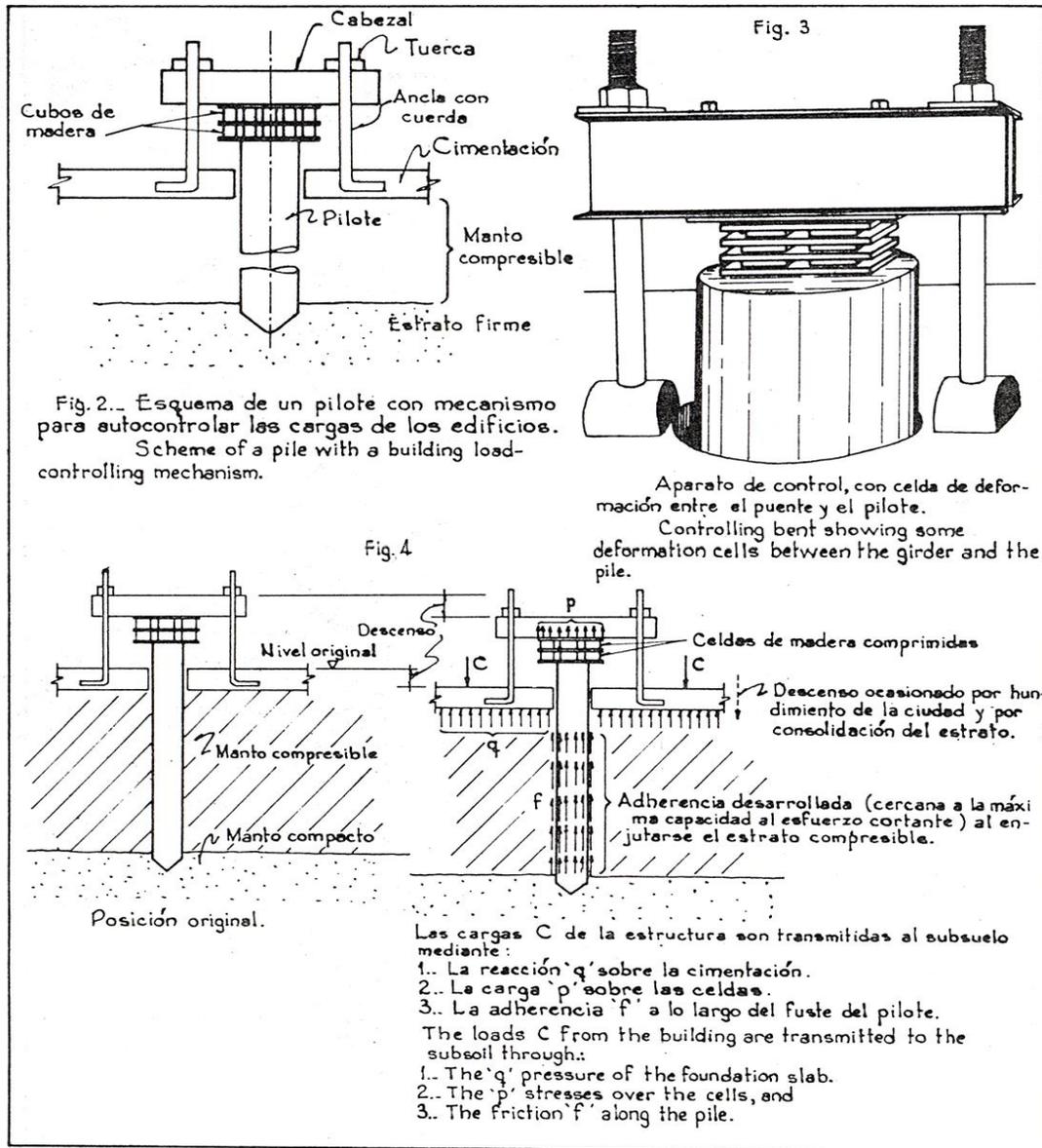


Fig. I.7: Pilotes de control utilizando cubos de madera como celdas de deformación

(Ketty, 2003).

Un segundo tipo de pilotes especiales, que se han utilizado en algunos edificios de la ciudad de México como el Palacio de los Deportes, son los denominados pilotes penetrantes de sección variable. Con estos pilotes se pretende también evitar que los edificios emerjan por efecto de la consolidación regional, haciendo que la punta del tramo inferior, de sección transversal menor que la del resto del pilote, penetre en la capa dura una vez que la fricción negativa haya alcanzado un valor suficiente,

llegando a una condición tal que cualquier tendencia de la fricción negativa a aumentar es automáticamente anulada por la penetración de los pilotes.

Con escasa frecuencia se han utilizado otros tipos de pilotes especiales como los pilotes entrelazados y los pilotes electro-metálicos.

Los pilotes entrelazados constan de un conjunto de pilotes convencionales ligados a la subestructura (pilotes A), más otro conjunto apoyado en la capa dura (pilotes B), como lo ilustra la Figura I.8. Los colchones de suelo compresible entre la punta de los pilotes A y la capa dura y entre la cabeza de los pilotes B y la losa de cimentación absorben los enjuntamientos de la formación arcillosa superior debido a la consolidación regional impidiendo que la estructura emerja.

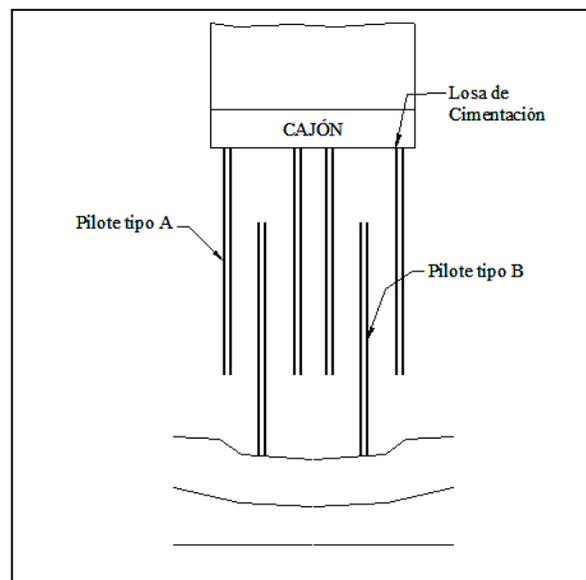


Fig. I.8: Pilotes entrelazados (Ketty, 2003).

Los pilotes electro-metálicos están formados por tubos de acero (ánodos) hincados en la arcilla, los cuales son sometidos a una corriente eléctrica, en tanto que unas varillas de acero (cátodos) hincadas a cierta distancia de los primeros cierran el circuito. El objeto del tratamiento electrosmótico es lograr que en un lapso de tiempo de dos a tres horas la adherencia suelo-pilote sea de magnitud semejante a la resistencia al corte natural del suelo.

Los dos últimos tipos de pilotes especiales antes mencionados se han utilizado en principalmente en recimentaciones.

Además de los usos de pilotes en los casos antes mencionados hay otros, tales como en la compactación de suelos sueltos, en la estabilización de terraplenes en laderas y muelles para soportar fuerzas horizontales, etc. La Figura I.9 ilustra algunas de estas aplicaciones.

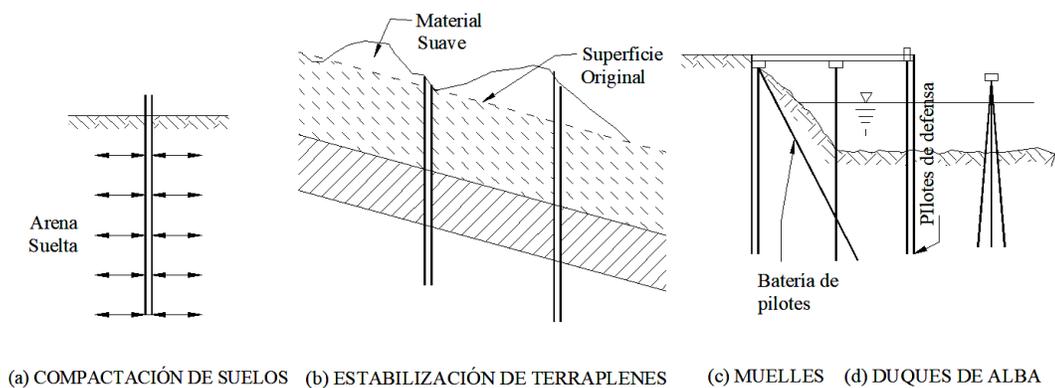


Fig. I.9: Otros usos de los pilotes (Ketty, 2003).

Según Fleming et al. (1992, en Betancourt Quintero, 2016), el comportamiento de pilotes depende fundamentalmente del fallo a que se ven sometidos. Cuando en los pilotes actúan cargas laterales y sufren una rotación alrededor de un punto, se comportan como un cuerpo rígido. Los pilotes flexibles son aquellos en los que ocurre una rotura a una longitud determinada del mismo haciendo que en la parte superior o cabeza del pilote se generen desplazamientos significativos. Para pilotes rígidos, el problema pasa a ser de ruptura del suelo dado la deflexión en la cabeza del pilote; mientras que para pilotes largos puede ocurrir la ruptura estructural del elemento o igualmente la excesiva deflexión horizontal (Cunha, 1996, en Betancourt Quintero, 2016).

La rigidez a flexión de un pilote determina la forma de calcular su capacidad resistente. Para el caso de un pilote rígido la capacidad de carga es determinada por el suelo. Para el caso de un pilote flexible o largo, la capacidad de carga depende tanto de la capacidad estructural del material como de la capacidad del suelo. En este caso, al pasar los esfuerzos resistentes a flexión se forma una rótula plástica en el elemento estructural hasta alcanzar la ruptura (Poulos y Davis, 1980 y Broms, 1964, en Betancourt Quintero, 2016).

Lima (2006, en Betancourt Quintero, 2016) propone una posible solución de cimentación, casi no aplicada en la actualidad cubana, que ante la acción de las cargas horizontales es efectiva en aprovechar la capacidad resistente del suelo pudiendo proporcionar grandes resultados económicos, siendo esta los denominados “pilotes cortos”.

Los pilotes cortos sometidos a cargas horizontales resisten las solicitaciones deformándose y movilizándose la reacción necesaria del suelo que la rodea de modo que:

1. El comportamiento depende de la rigidez relativa del pilote respecto al suelo.

2. La capacidad de carga horizontal puede estar regida por los siguientes tres mecanismos: Se excede la capacidad de carga última del suelo resultando grandes deformaciones horizontales de los pilotes y, por consiguiente, la falla de la fundación (empuje pasivo). Los momentos de flexión pueden generar solicitaciones excesivas en el hormigón o el acero con que están contruidos, resultando una falla estructural de los pilotes. Las deformaciones de las cabezas de los pilotes pueden ser demasiado grandes en relación con el funcionamiento de la superestructura. En este caso el conflicto no es la falla de la fundación, sino que se trata de un problema de deformaciones.

Se hace necesario dejar establecida una definición de lo que son los pilotes cortos con un comportamiento rígido:

Pilote corto-rígido: Es el elemento de cimentación capaz de transmitir al terreno todas las cargas provenientes de la estructura de forma tal que las deformaciones de flexión que se produzcan en él puedan considerarse despreciables y, a su vez que las cargas verticales sean soportadas por la base y las solicitaciones de momento y/o cortante sean resistidas por el aporte de las caras laterales. Su longitud máxima es de 5.0 m debido a que, para el equipamiento existente en el país, es difícil conseguir la rigidez para un elemento mayor (Bispo y López, 2008).(Anelys Betancourt Quintero1, 2016)

Pilas.

Las pilas son elementos de dimensiones mayores que las de los pilotes siendo, por lo tanto, de una capacidad de carga más alta. Son elementos prismáticos insertados en una perforación y que se apoyan en roca o suelos compactos o duros. Generalmente en su extremo inferior tienen una ampliación que se denomina "campana". Las condiciones del subsuelo y los procedimientos constructivos son factores determinantes para decidir su uso.

En (Ketty, 2003) se tratan en detalle los aspectos de diseño y construcción de este tipo de elemento. La Figura I.10 muestra un caso real de cimentación a base de pilas desplantadas a 10.5 m de profundidad, utilizando en un edificio de 18 pisos construido en la zona de baja compresibilidad de la Ciudad de México.

Los cilindros de cimentación son elementos huecos de grandes dimensiones, cuya capacidad de carga es mucho mayor que la de las pilas. Se utilizan generalmente para la cimentación de los apoyos de grandes puentes y de otras estructuras pesadas. En vista de las grandes dimensiones de estos elementos, se aplican procedimientos de construcción especiales que consisten en hincarlos hacien-

do fallar el terreno por resistencia al corte en su base. La Figura I.11 muestra el cilindro utilizado en el apoyo número 11 del puente Coatzacoalcos (Ketty, 2003).

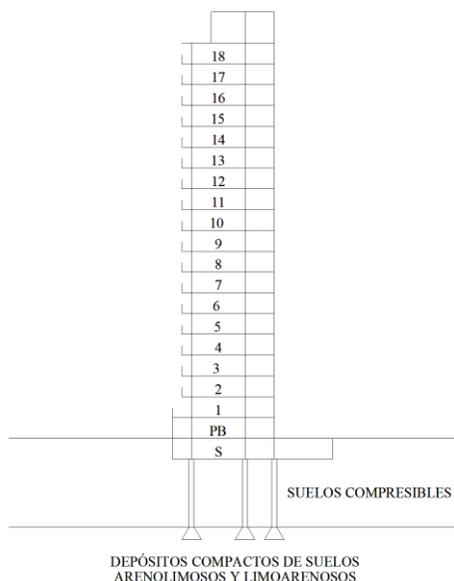


Fig. I.10: Cimentación de un edificio con pilas (Ketty, 2003).

Cuando la cimentación tiene grandes dimensiones en planta y se localiza a gran profundidad bajo el agua, se utilizan cajones de cimentación. Estos se hunden hasta el desplante a medida que se construyen en la superficie. Un cajón puede estar formado por una celda o subdividido en varias separadas entre sí.

Los cajones pueden ser de dos tipos: abiertos o neumáticos con aire comprimido. Los primeros están abiertos tanto en el fondo como en la superficie y el material excavado se extrae con draga de succión o con “cucharón de almeja”.

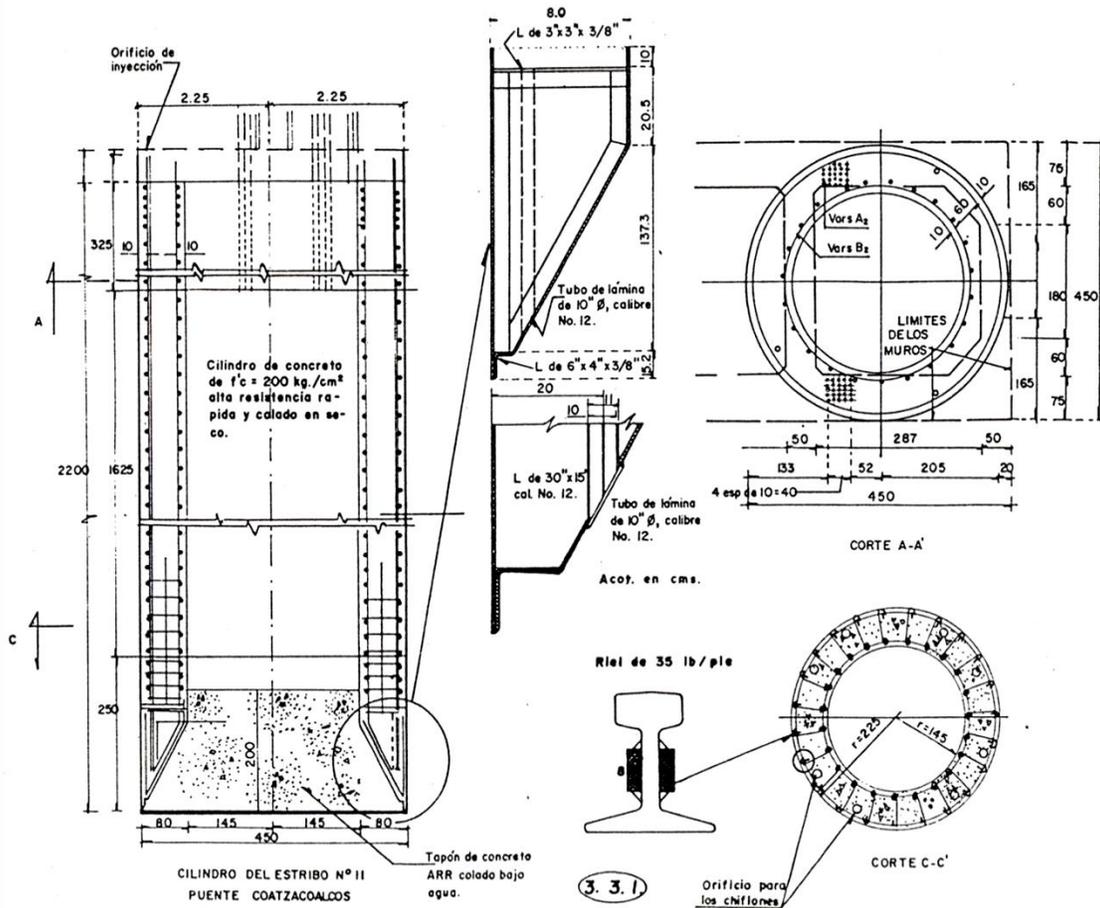


Fig. I.11: Cilindro de cimentación utilizado en apoyo 11 del puente Coatzacoalcos, México (Ketty, 2003).

En los casos en que se requiere inspeccionar el suelo o roca de apoyo, profundizarse en ésta o efectuar una correcta colocación de los pilotes, operaciones que se dificultan en los cajones abiertos debido a la presencia del agua, se utilizan cajones neumáticos que permiten trabajar en su interior. Estos poseen por lo menos dos cámaras de compresión y descompresión, una para el personal y otra para materiales y herramientas. Para presiones hasta de 2.5 atmósferas el hombre puede trabajar prácticamente en condiciones normales, sin embargo, para presiones mayores el cansancio es inmediato y requiere de períodos largos de descanso, corriendo el peligro de ser atacado por el aeroembolismo.

En ocasiones es económico el empleo de materiales de precarga para consolidar terrenos compresibles y mejorar su resistencia al corte antes de construir la estructura definitiva. La Figura I.12 (Ketty, 2003) muestra el caso del mejoramiento de un terreno arcilloso compresible mediante el peso de un relleno temporal colocado en la superficie donde va a construirse un tanque de almacenamiento. El peso del relleno es, por lo menos, igual al peso del tanque lleno, abarcando en planta la superficie del mismo. Cuando el suelo se ha consolidado o ha experimentado un porcentaje de consolidación adecuado, según nivelaciones y mediciones de campo que para este fin se realicen, se retira el relleno para proceder a la construcción del tanque.

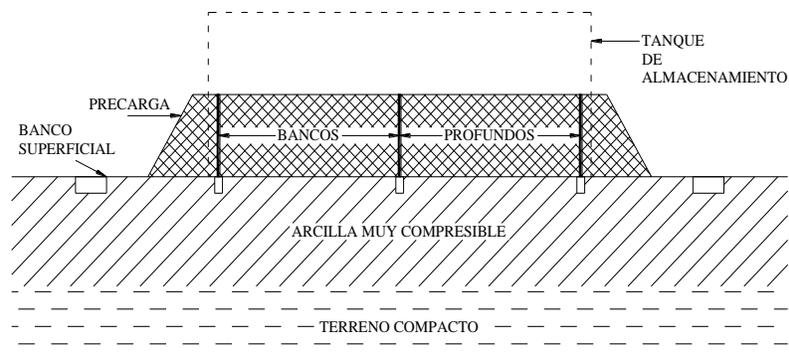


Fig. I.12: Empleo de precargas para la consolidación previa del terreno (Ketty, 2003).

Para decidir el tipo de cimentación se tiene que comprobar lo siguiente:

- Situación del edificio y del entorno.
- Condiciones del terreno:
 - Seguridad frente al hundimiento
 - Seguridad frente a ELU
 - Asientos diferenciales
 - Giros
 - Verificación de ELS (Cordero, 2018)

Requisitos de una cimentación.

Como todas las partes de una estructura, la cimentación debe cumplir con los siguientes requisitos en orden de importancia:

- a) Deberá localizarse apropiadamente para evitar cualquier influencia negativa que pudiera afectar su comportamiento.
- b) Debe ser segura contra fallas por resistencia al corte del subsuelo.
- c) No debe asentarse o deformarse más allá de los valores tolerables (establecidos por normas) para evitar daños y reparaciones de la estructura.

El primero es difícil de determinar ya que involucra factores muy diversos, algunos de los cuales no pueden evaluarse analíticamente y deben de determinarse con buen criterio ingenieril. Para esto se desarrollan estudios ingeniero-geológicos con los que se determinan las características de los suelos y rocas del lugar escogido.

El segundo requisito es específico. Equivale a la condición que debe de cumplir una viga de la superestructura para que sea segura al fallo ante la carga de trabajo a que estará sujeta.

El tercer requisito es, a la vez, específico y difícil de determinar. Equivale a la condición que debe cumplir una viga para que no se deforme más allá de un valor que pudiera ser objetable; la magnitud de la deformación es específica, pero es objetable porque no puede definirse con precisión.

Estos tres requisitos son independientes uno del otro, pero cada uno debe satisfacerse. Lo anterior significa que si solamente dos de ellos se cumplen la cimentación es inadecuada.

Estos requisitos deben aplicarse en forma racional para evitar diseños defectuosos. Si la cimentación es excesivamente segura, no sólo podrá implicar costos elevados, sino también problemas de construcción.

Situaciones como estas ocurren con frecuencia en la aplicación diaria de la ingeniería. Como ejemplo se cita el caso de un edificio, localizado en un sitio donde el subsuelo estaba constituido por depósitos relativamente sueltos y de reducido espesor bajo los cuales existía una formación de lutitas alteradas. Se realizaron sondeos de penetración estándar, obteniendo un número elevado de golpes, superior a 30 por 30 cm de penetración. Como no se obtuvieron muestras inalteradas para determinar en laboratorio la resistencia al corte, el ingeniero a cuyo cargo estaba el estudio, estimó por correlaciones inapropiadas un valor de adherencia entre pilote y suelo de 1.6 T/m^2 pensando en que la cimentación apropiada sería una formada por pilotes trabajando por adherencia. Para pilotes de 60 T de carga de trabajo y 40 cm de diámetro, determinó y recomendó que la longitud requerida sería de aproximadamente 30 m. El ingeniero estructural diseñó con esta base la subestructura. La obra fue construida conforme a este diseño, procediendo el contratista a colocar todos los pilotes. Cuando se intentó hincar el primero, éste no penetró más de 1 m en la lutita alterada y, en vista de

esta situación, el ingeniero consultor en Mecánica de Suelos propuso hacer perforaciones previas al hincado de los pilotes de diámetro ligeramente menor que el de los pilotes.

Bajo esta nueva recomendación los pilotes penetraron hasta unos 10 m de profundidad. Ante este segundo fracaso, se hizo una revisión de la cimentación, encontrando que la solución era inapropiada debido a que se subestimaron las propiedades del subsuelo, optando por otra cimentación constituida por pilotes cortos trabajando en punta y adherencia, con el fin de aprovechar parte de los pilotes colados. Este es un ejemplo que muestra una falla económica y constructiva, que reportó una pérdida de varios cientos de miles de pesos.

Por el contrario, cuando se elige una cimentación inapropiada y se sobreestiman las propiedades mecánicas del subsuelo, se corre el riesgo de proyectar una cimentación de comportamiento inadecuado o llegarse al caso de fallas que inutilicen a la estructura y que impliquen una recimentación o una demolición con la subsecuente pérdida económica. Aún más, la falla puede llegar al colapso total de la estructura.

En lo que se refiere a la localización de la estructura y su cimentación, es frecuente observar fallas. Como ejemplo se cita el caso de una aeropista que se localizó sin tomar en cuenta las características del subsuelo, sobre un terreno irregular tanto en estratigrafía como en propiedades mecánicas, el cual contenía espesores muy variables de arcilla de alta compresibilidad. La pista se construyó sobre este terreno y al poco tiempo presentó deformaciones por hundimientos diferenciales que fueron causa para inutilizarlo y construir otro localizado en un terreno de mejores características tomando en cuenta las propiedades del subsuelo. En puentes también se presentan a menudo fallas por localización defectuosa.

Cimentaciones profundas.

Se construyen empleando pilotes (Figura I.13). Se adopta ésta solución cuando el terreno adecuado para cimentar se encuentra a cotas profundas, caso en el que la excavación necesaria para una cimentación a base de zapatas o losas sería antieconómica y dificultosa.

Ejemplos de cimentaciones profundas

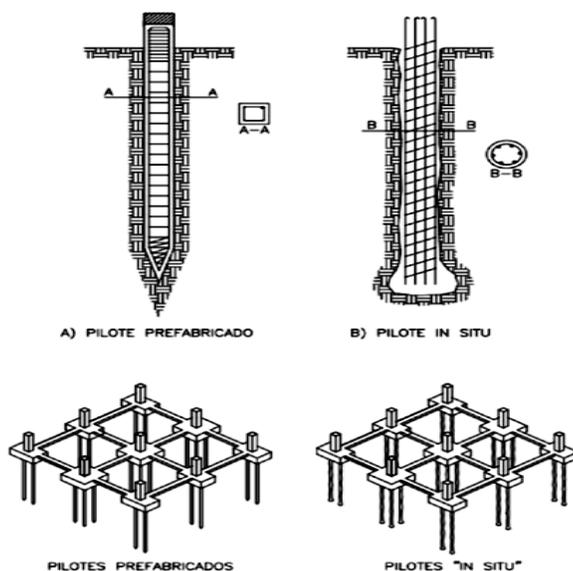


Fig. I.13: Ejemplos de cimentación a base de pilotes (Tomado de A. Couto Yáñez, M. Guaita Fernández, M. J. López Villar).

Tabla I.1. Tipo de cimentación más adecuada según la cota de cimentación (Tomado de A. Couto Yáñez, M. Guaita Fernández, M. J. López Villar).

Tipo de cimentación	Profundidad del plano de cimentación
Superficial	0 - 4 m
Pozos de cimentación	4 - 6 m
Pilotes	> 6 m

Los edificios muy altos se encuentran rodeados por estructuras de baja altura sometidas a cargas mucho más pequeñas. Por ello es necesario controlar los asentamientos diferenciales entre las construcciones altas y las bajas.

Las fuerzas laterales transmitidas por la carga de viento y los momentos generados en el sistema de cimentación puedan resultar de muy alta magnitud lo que aumenta las cargas verticales sobre todo en los cimientos exteriores del sistema. Además, las cargas cíclicas pueden disminuir la capacidad portante de la cimentación y aumentar los asentamientos.

Las cargas inducidas por viento y sismo son de naturaleza dinámica y pueden producir la resonancia de la estructura, en particular la generada por los modos más altos de vibración, pues el periodo fundamental de estructuras tan altas puede ser superior a los 10 s.

Opciones de cimentación.

Las opciones de cimentación más comunes para edificios altos son las losas compensadas, las pilotadas o la combinación de ellas. Muchos rascacielos se construyen con losas peraltadas y también se utiliza la losa de cimentación en combinación con pilotes que, en conjunto, satisfacen los criterios de capacidad de carga y de asentamiento.

Proceso de diseño.

Comúnmente se tienen tres etapas en el diseño de cimentaciones:

- Diseño preliminar: Proporciona la base inicial para el desarrollo conceptual y económico de las cimentaciones.
- Diseño detallado: Se analiza el concepto de cimentación seleccionado y se hacen refinamientos al sistema.
- Diseño final: Se concluye tanto el análisis como la definición de los parámetros empleados.

Los parámetros geotécnicos pueden cambiar en cada etapa de diseño conforme se tiene mayor información acerca de las condiciones del terreno, así como de pruebas in situ, de laboratorio y, en la etapa final, con los resultados de las pruebas de carga.

Existe una tendencia creciente a adoptar los principios del estado límite, aplicando un enfoque de diseño con base de factores de carga y factores de resistencia, donde las capacidades últimas estructurales y geotécnicas se afectan por factores de reducción o ampliación apropiados. En el caso de edificios altos, se sugiere aplicar un criterio de diseño que tome en cuenta los efectos de carga repetida por viento, buscando reducir el riesgo de degradación en la capacidad de carga en el fuste de los pilotes.

Para el análisis de la capacidad de servicio se buscará que el asentamiento máximo y la distorsión angular local máxima calculados sea inferiores a los admisibles. En este proceso se emplea la mejor estimación de las resistencias y rigideces de la cimentación sin factorizar y se aplican las cargas correspondientes al estado límite del servicio. Se destaca que la distorsión angular y el desplome permisibles del edificio disminuyen a medida que aumenta la altura, tanto desde el punto de vista funcional como de la visual.

Ante cargas sísmicas, los sistemas de cimentación son sometidos a dos fuentes adicionales de carga lateral:

- a) Las de inercia, transmitidas a los pilotes debido a aceleraciones generadas en la estructura por sismos.

b) Las cinemáticas, que se traducen en fuerzas y momentos flexionantes que se inducen en los pilotes por los movimientos del terreno generados por sismos. Estas cargas adicionales se incorporan al proceso de diseño.

Cimentaciones mixtas:

Este tipo de cimentaciones se puede llevar a cabo tanto en terrenos blandos como en duros. Con ellas se logran importantes ahorros económicos y de tiempos de ejecución, respecto al sistema de cimentación mediante pilotes, debido a que parte de la carga transmitida al terreno es asumida por la losa o zapatas y otra parte por los pilotes.

Las losas pilotadas se utilizan cuando:

- la relación entre la altura del edificio y el lado menor de su cimentación es superior a cuatro.
 - las cargas verticales son transmitidas con una importante excentricidad respecto al centro de gravedad de la losa.
 - en una cimentación exclusivamente con losa se transmiten tensiones muy elevadas al terreno.
- (Cordero, 2018)

En cimentaciones combinadas, la interacción entre los pilotes y la losa de cimentación puede reducir significativamente la rigidez axial y lateral de los pilotes en grupo en comparación con el trabajo de un pilote aislado. Con ello se realiza un análisis más confiable para calcular no solo las fuerzas estructurales, sino también las cargas de los pilotes, los momentos en la losa y la distribución de asentamientos dentro del sistema de cimentación.

La rigidez de la superestructura se toma en cuenta en el análisis de una losa pilotada y también tiene influencia en el cálculo de la distribución de las cargas axiales en los pilotes.

En el diseño preliminar en ocasiones es conveniente simplificar el sistema de cimentación propuesto como una pila equivalente para luego analizar la estabilidad general y el asentamiento de la misma. Existen algunos softwares de elementos finitos tridimensionales, como el PLAXIS 3D o el ABAQUS, o de diferencias finitas como el FLAC3D, que permiten realizar análisis de estabilidad general y de capacidad de carga de servicio que toman en cuenta los aspectos deseables a considerar en el análisis de la cimentación. (Poulos, 2015)

Balsas combinadas con pilotes.

Autores como Poulos (2001), Maharaj (2003), Liang (2004) y Small (2007) afirman que las balsas de cimentación combinadas con pilotes (BCCP) o *pile draftfoundation*, no son más que el resultado de la combinación de placas o losas de cimentación y pilotes las cuales, al trabajar íntegramente,

permiten la transferencia al suelo de los esfuerzos provenientes de la superestructura, permitiendo reducir los asentamientos diferenciales que se producen por efecto de los mismos. Para el análisis de esta cimentación se asume que la balsa o losa transmite al suelo una parte de la carga en función de su capacidad portante y el resto lo transfieren los pilotes trabajando a fricción.

Se ha considerado que las BCCP representan una opción económica para cimentar en circunstancias donde el desempeño de balsas de cimentación no satisface los requerimientos de diseño. Bajo esta situación, la inclusión de un número limitado de pilotes puede aumentar la capacidad de carga última, mejorar el comportamiento de los asentamientos absolutos diferenciales y del espesor requerido de la balsa.

Según Poulos en un reporte TC 18-2003 titulado "Métodos de análisis de BCCP", hace referencia a dos clases definidas por Sanctis (2001) y Viggiani (2001):

1. BCCP "pequeñas", donde el objetivo fundamental de la inclusión de los pilotes radica en incrementar el factor de seguridad (típicamente involucra balsas con dimensiones entre 5 y 15 m de lado).
2. BCCP "grandes", cuya capacidad soportante es suficiente para tomar la carga aplicada con un razonable margen de seguridad y los pilotes son empleados para reducir los asentamientos absolutos o diferenciales. En tales casos, el ancho de la balsa es mayor en comparación con la longitud de los pilotes (típicamente el ancho de la balsa es mayor que la longitud de los pilotes). (Torres, 2012)

Como un sistema de cimentación, el diseño de las BCCP requiere de un considerable número de aspectos que incluyen:

1. Capacidad de carga última para cargas verticales, horizontales y momentos.
2. Asentamiento máximo.
3. Asentamiento diferencial.
4. Momentos y cortantes en la balsa para su diseño estructural.
5. Cargas y momentos en el pilote para su diseño estructural. (Martín, 2012).

El edificio más alto del mundo actualmente, el Burj Khalifa, en Dubai, Emiratos Árabes Unidos, está construido con este sistema de cimentación. Con 158 plantas (828 m) tiene una losa de hormigón armado de 3.70 m de peralte, 194 pilotes de 1.50 m de diámetro y 43 m de longitud hasta llegar a la capa resistente.



Fig. I.14 Vista del edificio Burj Khalifa (Tomado de Ecurred versión wiki, 2016).

I.3- Necesidad de los estudios ingeniero-geológicos previos a la construcción de edificios altos.

Es necesario conocer las propiedades de los suelos antes de diseñar la cimentación de una obra ya que, al ser un elemento al que se transmitirán esfuerzos, debe considerarse como un elemento estructural más.

¿A qué profundidad está el suelo con suficiente resistencia para soportar las cargas que se le transmitirán a través del cimiento? ¿Existen o no aguas subterráneas? ¿Se puede excavar con facilidad? ¿El material producto de la excavación se puede emplear como relleno en la obra? ¿Es preferible, de acuerdo con el tipo de obra y estructura, desechar determinado terreno? Estas preguntas solo pueden ser contestadas luego de haber realizado un exhaustivo estudio ingeniero-geológico.

Características del Terreno.

Las características del terreno que deben considerarse en la cimentación son:

1. Profundidad a la que se encuentra el estrato resistente.
2. Capacidad de asentamiento del estrato de apoyo.
3. Profundidad del nivel freático y sus variaciones.
4. Cota de socavaciones provocadas por corrientes subterráneas.
5. Variaciones de humedad en las capas superficiales.

(«https://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones_en_Edificios» and Cimentaciones, 2018)

Investigación y caracterización del subsuelo.

Para la construcción del modelo geotécnico y los parámetros asociados al diseño de las cimentaciones, es necesario revisar la geología del sitio e identificar los rasgos que tengan influencia en el proyecto, seguido de visitas al lugar y la ejecución de un programa detallado de investigación del sitio que incluya sondeos y pruebas in situ, además de pruebas de laboratorio, teledetección, presiometría, penetrometría, etc. A estos trabajos se aplican cada vez más los métodos geofísicos que complementan los datos de los sondeos convencionales.

Evaluación de los parámetros para diseño geotécnico.

En los sistemas de cimentación que incluyen tanto pilotes como losas, es necesario evaluar la resistencia última por punta, la fricción lateral en las capas de suelo a lo largo del pilote, la capacidad lateral última, la capacidad de carga última de la losa, la rigidez vertical y horizontal del sistema suelo-pilotes y la rigidez del sistema suelo-losa. Se destaca que los valores de rigidez del suelo no son únicos, sino que varían a corto y largo plazo. Dependen además del esfuerzo aplicado o el nivel de deformación inducido ante la acción de sismo o viento. Para la respuesta dinámica del sistema estructura-cimentación también se debe estimar el amortiguamiento interno del suelo que proporciona la fuente principal de amortiguamiento del sistema.

Existen correlaciones que, para fines de diseño preliminar, se fundamentan en los resultados de pruebas in situ, tales como la Prueba de Penetración Estándar (SPT) y la prueba de Penetración con Cono Estático (CPT). Con ellas se tiene una aproximación a la capacidad por punta y fuste de los pilotes y a la capacidad de carga última en la losa, entre otros.

Las pruebas triaxiales tienen un valor limitado para estimar los parámetros de diseño para cimentaciones con pilotes, pues el método de aplicación de esfuerzos no refleja la forma en que ocurre la transferencia de carga de los pilotes al suelo circundante. Sin embargo, las pruebas triaxiales cíclicas pueden proporcionar una idea de los efectos de degradación en las propiedades de rigidez/resistencia de los materiales con el resultado de la carga sísmica. En años recientes se ha tenido un avance importante en las pruebas de corte directo de interfaces, con el desarrollo de la prueba conocida como Prueba de Rigidez Normal Constante (CNS). Este ensayo permite una mejor simulación de las condiciones en la interface pilote-suelo en comparación con la prueba de corte directo convencional.

Las pruebas in situ que generalmente se ejecutan son las de penetración (SPT y CPT), los ensayos con presiómetro y las de tipo geofísico.

Por su parte, las pruebas de carga en pilotes pueden ser:

- a) De carga vertical estática.
- b) De carga lateral estática.
- c) De carga dinámica.
- d) Bidireccional (celda Osterberg)
- e) La denominada Statnamic que ha mostrado una buena correspondencia en el comportamiento carga-asentamiento en pruebas comparativas con ensayos estáticos convencionales.

Asentamientos típicos en cimentaciones de rascacielos.

El asentamiento histórico de cimentaciones de estructuras altas apoyadas sobre losas de cimentación o sobre losas pilotadas, se ubica entre 25 y 300 mm/MPa. El asentamiento tolerable para estructuras altas puede sobrepasar los valores críticos convencionales de 50-65 mm. El aspecto más crítico es el desplome general, así como el asentamiento diferencial entre las estructuras altas y bajas. (Poulos, 2015)

Conclusiones del capítulo.

- 1) Las balsas combinadas con pilotes son un sistema de cimentación racional y económica para soportar grandes solicitaciones; su utilización se ha evidenciado mayoritariamente en grandes edificios en Europa, Asia, Australia y Medio Oriente fundamentalmente y pudiera ser aplicable en el Hotel Chapelín-Tainos teniendo en cuenta las características de la estructura a construir y del suelo en la parcela seleccionada.
- 2) Probablemente luego que se analice las características del macizo y las cargas impuestas por la estructura se compruebe una balsa simple y esta pueda dar respuesta a las solicitaciones de esta obra.

Capítulo II: Materiales y Métodos.

Introducción.

En este capítulo se realiza el estudio ingeniero-geológico para determinar las características del suelo y con estas la variante de cimentación más adecuada para cada objeto de obra. Se realizaron las calas previstas y se ejecutaron los ensayos pertinentes.

En total se perforaron 49 calas con profundidades entre 3.0 y 40.0 m para un promedio general de 10.0 m. Con ellas se detectaron entre tres y seis capas ingeniero-geológicas (según su emplazamiento) cuyas litologías son:

- Arcilla carmelita (capa vegetal)
- Relleno calizo
- Arena de color gris y grano fino a medio, a veces mezclada
- Turba fibrosa de color carmelita, fétida
- Calcarenita de color crema, ocre, blanco crema o gris y grano fino
- Caliza organógena de color blanco, crema o gris, resistencia media y presencia de oquedades cársicas que se evidencian con la fuga del agua de perforación a partir de 8.0 m de profundidad.

Además, en algunas calas se encontraron pequeños espesores de marga. En general, el nivel freático se encuentra a una profundidad de menos de 1.0 hasta 4.0 m según la cota de la superficie y de la oscilación de la marea en cada momento. De los materiales recuperados se tomaron muestras que se sometieron a ensayos de laboratorio. La capacidad soportante del estrato rocoso oscila entre 1.0 y 8.0 kg/cm² (98.1 a 784.5 kPa).

II.1- Trabajos realizados.

Topografía: Los trabajos para la evaluación de las condiciones ingeniero-geológico de las áreas donde se construirán los objetos de obra se centraron en el replanteo de 49 calas según las coordenadas dadas por la Inversión. Se hizo el replanteo de 78 puntos que conforman la red cuadrada de 10 x 10 m sobre la que trabajó la toda la Geofísica a los cuales también se le determinaron sus coordenadas y cotas a fin de garantizar su ajuste con la perforación a la hora de hacer la interpretación de la información acumulada y generar los planos correspondientes. Todos estos trabajos se hicieron con amarre al Sistema Geodésico Nacional.

Geofísica: Se ejecutó según la tarea planteada sobre una red cuadrada de 10 x 10 m con 16 perfiles, 6 longitudinales en sentido Suroeste-Noreste y 10 transversales en sentido Sureste-Noroeste para un total de 1430 m (Figura II.1). La metodología aplicada fueron las instrucciones técnicas dadas por los fabricantes para cada equipo. El objetivo de este método fue la evaluación geotécnica del corte, detectar posibles cavidades cársticas y determinar las propiedades físico-mecánicas elásticas del subsuelo. En función de lo anterior se aplicaron las variantes de:

- Tomografía Eléctrica: Se dispuso una configuración dipolo-dipolo con distancia interelectrónica de 2 m. Los trabajos de campo se ejecutaron con un equipo Syscall Pro Swith de la compañía francesa Iris Instruments con 10 canales de medición y 48 electrodos.
- Geo-radar: Se utilizó como apoyo a la variante eléctrica. El método permite alcanzar un alto grado de detalle en los primeros 5 m del corte geotécnico (por encima del nivel freático). La tecnología que se utilizó es el sistema MALÅ Ground Explorer (GX) producido por la firma Mala Geoscience, perteneciente al grupo GuideLineGeo (Suecia). La antena seleccionada fue la Gx450 MHz.
- Sísmica: Para la adquisición de los datos se usó un sismógrafo GEODETM de la firma GeometricsUSA. Este equipo cuenta con de 24 canales para 24 geófonos (receptores de la señal sísmica) de 4.5 Hz cada uno en las variantes 2D MASW (métodos activos) con tiempos de registro de 2 s e intervalo de muestreo de 0.125 ms. Para la variante pasiva 1D MAM el tiempo fue de 32 s con intervalo de muestreo de 0.5 ms. En la variante de refracción sísmica los geófonos fueron de 11 Hz. Como fuente de excitación de las ondas en el terreno se utilizó una mandarina de 20 lb. Las metodologías de investigación geofísica sísmica aplicadas fueron: *Two-dimensional multi-channel analysis of surfacewaves* 2D (MASW) de manera activa para la obtención de las velocidades de las ondas transversales o de corte (V_s); *Refracción sísmica* para la obtención de las velocidades de las ondas longitudinales o de compresión (V_p) y Estudios unidimensionales Pasivos de las Ondas Superficiales 1D MAM (REMI, Refraction Microtremor) para conocer el modelo geométrico de la disposición de los elementos geológicos a partir de la velocidad de las ondas longitudinales. El objetivo de los métodos es obtener la distribución de las velocidades de las Ondas de Cizallamiento o Transversales y de las Ondas de Compresión o Longitudinales, esenciales para la determinación de módulos y coeficientes físico-mecánicos de los suelos y rocas, así como la distribución geométrica de los estratos presentes en el área de estudio, además de la de-

terminación o detección de posibles factores geológicos adversos en el área de estudio que respondan al campo físico del método empleado.

Perforación: En conjunto, las calas realizadas suman 954.10 m lineales desglosados en 93.85 m en categoría de perforabilidad A (relleno y arena) y 860.25 m en categoría B (calcarenita y caliza orgánica). Para realizar esta tarea se trabajó a rotación con una máquina Mustang 5-P4 Atlas COPCO sueca y otra ROLATEC española utilizando aditamentos de 108, 76 y 70 mm de diámetro. No fue posible aplicar la cuchara de Terzaghi debido al carácter rocoso de la secuencia.

Presiometría: Se realizó en las 10 calas previstas cada 1.50 m de perforación según la solicitud de la parte Inversionista para un total de 156 pruebas. El equipo proviene de la compañía japonesa OYO denominado ElastLogger-2 del tipo Pre-Perforante o PDP (Predilled Pressuremeter) con módulo de medición EL-5.

Laboratorio: De los materiales recuperados por la perforación se tomaron 66 muestras de roca (testigos). De ellas, 6 corresponden a la calcarenita crema anaranjado claro de la capa de superficie y las otras dos a la calcarenita de color blanco crema que yace debajo. Esta última, aunque tiene carácter rocoso, en su mayoría no es apta para muestreo al recuperarse en fragmentos o testigos muy finos afectados por la disolución cársica. Los ensayos hechos alcanzaron las siguientes cantidades (Tabla II.1):

Tabla II.1

Ensayo	Cantidad de ensayos	Norma aplicada
Peso específico de los sólidos	30	NC 20:1999 Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos.
Humedad natural	40	NC 67:2000 Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio.
Peso específico seco	42	NC62:2000 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de roca.
Peso específico húmedo	42	
Peso específico saturado	42	
Absorción	42	
Resistencia a compresión axial	42	
Porosidad	42	NC 1103:2015 Rocas. Determinación del peso específico unitario. Método de ensayo.

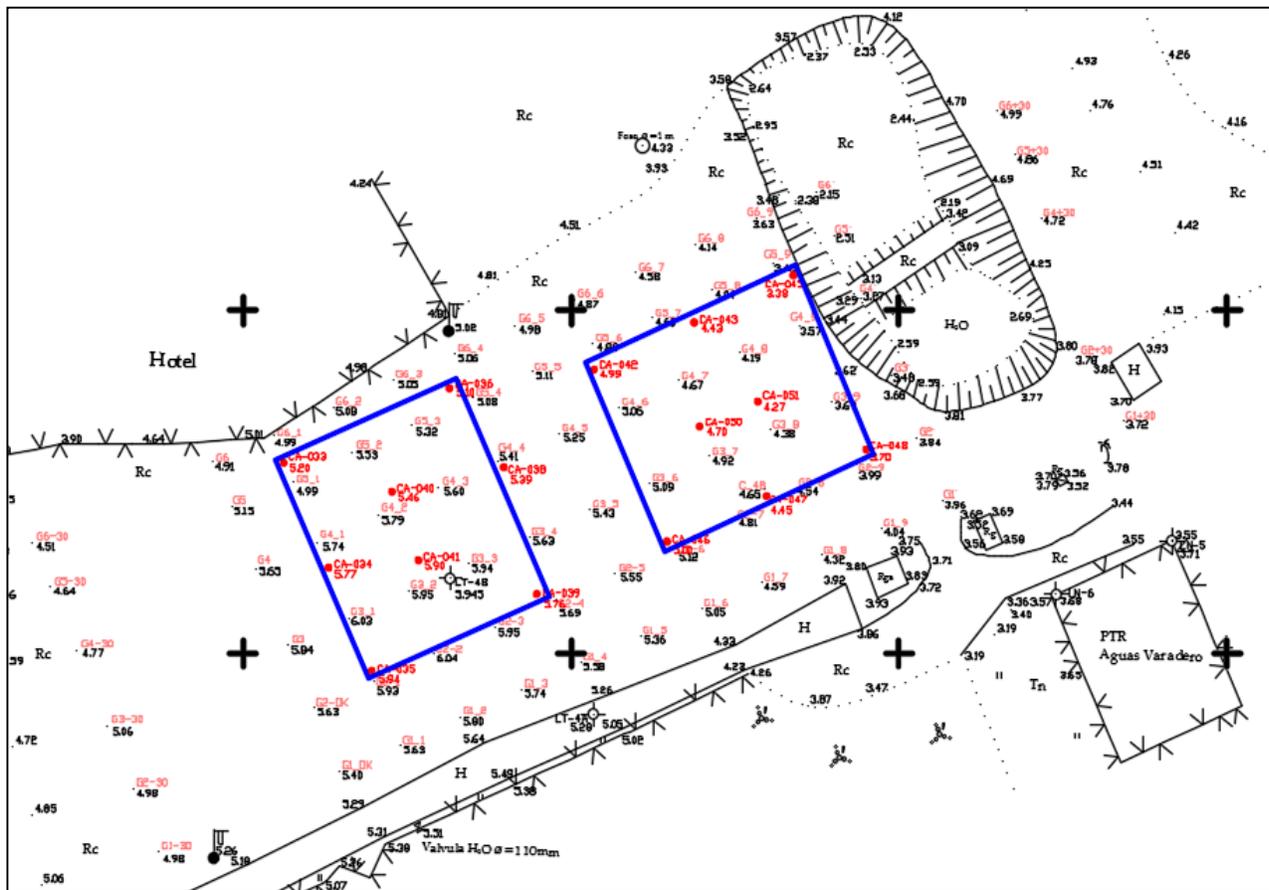


Fig. II.1 Ubicación de las calas y perfiles. (Tomado de ENIA, 2018)

II.2- Condiciones ingeniero-geológicas del área.

En área estudiada en la primera etapa se manifiesta tres capas ingeniero-geológicas con las siguientes características:

Capa A: En superficie aparece un pavimento de hormigón hidráulico de 12 a 17 cm de espesor bajo el cual hay un relleno calizo areno-limoso o arcillo-limoso, de color crema a carmelita parduzco, carmelita claro o beige, de color pardo o rojo pardo, plástico, disgregado mezclado con material asfáltico., con fragmentos de calcarenita y caliza organógena blanca, dura, parcialmente recristalizada con diámetros entre 2.5 y 8 cm hasta el diámetro del pozo. El espesor de esta capa oscila entre 0.10 y 0.90 m lo que le resta importancia ingenieril ya que debe desaparecer durante las labores de limpieza y acondicionamiento del área. Para esta etapa de trabajo, la importancia de esta capa como cuerpo físico dentro del área ha disminuido mucho teniendo en cuenta la reducción de su espesor durante los trabajos de limpieza y acarreo de escombros de demolición.

Capa B: De manera global se trata de calcarenita, arena y caliza organógena con características muy parecidas entre sí. El color puede ser ocre, carmelita rojizo, blanco-crema, crema, crema-anaranjado o gris claro con manchas de oxidación, la resistencia es baja a media, la granulometría gruesa a fina. Se observaron abundantes poros, cavidades cársica y grietas cerradas acompañantes del sistema disyuntivo regional. Tales aspectos no se comportan uniformemente a lo largo del metraje perforado, sino que se presentan una serie de variaciones litológicas que se describen a continuación:

- Calcarenita de color crema anaranjada o rosado naranja, fosilífera, de grano medio a grueso, porosa, se observa una estratificación fina. La resistencia es media a baja. En general, se observan abundantes poros cársicos de unos 20 mm de diámetro intercomunicados entre sí con manchas de oxidación en sus paredes. No obstante, se recuperaron tramos sanos, bien conservados, sin disolución cársica ni agrietamiento que alternan con tramos compuestos por fragmentos de diámetro variado, principalmente grava y gravilla a veces acompañados de otros muy abundantes y pequeños subredondeados de color gris, crema y ocre.
- Calcarenita de color carmelita rojizo, granulometría gruesa y resistencia media a baja. Muestra oquedades cársicas de hasta 20 mm de diámetro rellenas con arcilla roja que a veces se intercomunican formando pequeñas vetas. Su estado es variable, en algunos tramos aparece bien conservada sin oquedades o vetas, en otros se recuperó en fragmentos desde unos milímetros hasta el diámetro del pozo.

Capa C: Calcarenita de color crema, blanco, blanco crema o blanco crema rosácea, algo grisácea como excepción, porosa, con granos gruesos hasta finos. Presenta estratificación fina a laminar con planos de unos 10 a 20° de buzamiento. La resistencia es baja a media. Por tramos se recupera bien conservada, sana, sin carsificación ni agrietamiento, pero en general, contiene poros cársicos de hasta 20 mm de diámetro que a veces se intercomunican llegando a 60 mm por el eje más largo con signos de oxidación y alteración en sus paredes. En otros se recupera en fragmentos angulosos desde grava y gravilla hasta el diámetro del pozo, a veces envueltos en matriz marga-arenosa, muy afectados por la disolución cársica con poros de hasta 40 mm de diámetro intercomunicados entre sí, con manchas y vetas de oxidación de color rosáceo a ocre amarillentos. En ocasiones aparecen fragmentos sueltos, duros, redondeados, los más oscuros (de color gris oscuro hasta ocre) son relativamente más densos que los más claros (de color crema), algunos son de origen coralino. En los

materiales recuperados por la perforación se observaron algunas grietas verticales con manchas ocre de oxidación en su plano.

- Arena de color crema a blanco crema o crema anaranjado claro, en profundidad puede adquirir una tonalidad algo más oscura, la granulometría es media a fina pudiendo llegar a gruesa. Aparece en estado suelto, generalmente sin fragmentos, pero en ocasiones contiene dispersos fragmentos angulosos y relativamente densos de calcarenita de color ocre desde 10 mm hasta el diámetro del pozo. (Tabla II.2).

Tabla II.2

Peso específico (kN/m ³)		Absorción (%)	Resistencia a la compresión simple en estado saturado		
Húmedo	Saturado		(MPa)	(kg/cm ²)	Clasificación
15.02	19.79	35.6	18.4	187.9	Resistencia media

- Caliza organógena fosilífera de color gris claro a crema amarillento, relativamente densa a pesar de tener muchos poros y oquedades de disolución cársticas vacías de hasta 50 mm de diámetro intercomunicadas entre sí, en sus paredes puede aparecer algún material arcilloso de color ocre. La resistencia es media. Se recuperó en fragmentos con manchas de oxidación también de color ocre. En ocasiones apareció como caliza coralina en fragmentos afectados por la disolución y planos de grieta abierta de unos 45° de buzamiento y manchas de oxidación amarillas y ocre en su superficie. (Figura II.2)



Fig. II.2 Registro fotográfico y columna ingeniero-geológica de la cala CA-033.

II.3- Resultados de la Geofísica (Tomografía eléctrica).

Los perfiles siguen una dirección aproximada W-E. El análisis de las imágenes logradas en ellos permite definir su comportamiento. En todos los casos aparece una primera capa con espesores que oscilan entre 2 - 3 m en el perfil P4 y hasta 8 - 9 m en el perfil 6, caracterizada por valores superiores a los 400 ohm.m y que llegan a superar los 6000 ohm.m, en el perfil P10. Por sus valores de resistividad se puede considerar como un estrato formado por calizas duras, característica que aumenta en proporción al incremento de la resistividad.

Debajo de la capa antes mencionada se produce una disminución de los valores de la resistividad asociada a calizas menos compactas, en ocasiones trituradas, caracterizadas por valores entre 100 y 400 ohm que probablemente cartografían rocas muy alteradas o intercalaciones de arena.

En profundidad se aprecia que los valores de la resistividad crecen identificando calizas con una mayor dureza y compactación como se observa en el perfil P2.

La correlación de estos resultados con la información suministradas por las calas realizadas en el área es muy buena, comprobándose la eficiencia del método y la variante utilizada en la cartografía de los perfiles ingeniero-geológicos investigados.

En la Figura II.3 se presentan mapas de distribución de la resistividad a diferentes profundidades que confirman los resultados antes obtenidos facilitando, además, observar como la resistencia de las calizas varía en cada nivel presentado coincidiendo con el incremento de la resistividad que se observa en el perfil P6.

En la Figura II.4 se presentan, mediante un procesamiento 3D, los perfiles antes discutidos, en el interés de observar su interrelación y aportar nuevos detalles a su interpretación. La misma muestra estratos muy deleznable y arenosos, características que persisten hasta aproximadamente 15 m de profundidad en que aparecen nuevamente calizas compactas.

Esta presentación permite observar con mayor detalle las distribuciones de la resistividad en el bloque estudiado y, en consecuencia, cómo varía la resistencia de las rocas en el corte geológico. Como ya se había descrito, se aprecian rocas más resistentes en superficie que disminuyen su resistencia con la profundidad para volver a ser más compactas hacia el fondo de las calas.

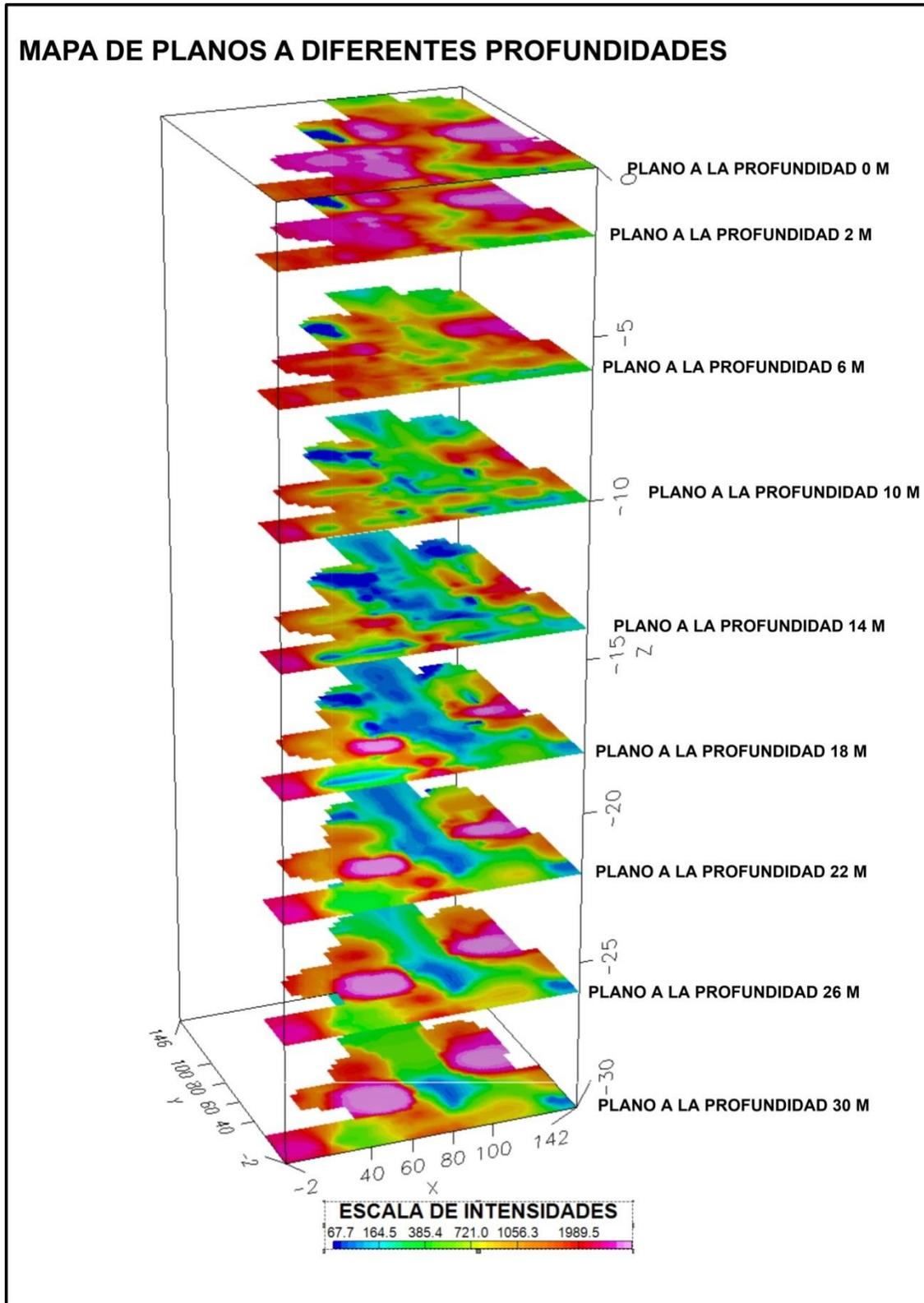


Fig. II.3: Mapas de distribución de la resistividad a diferentes profundidades (Tomado de ENIA, 2018).

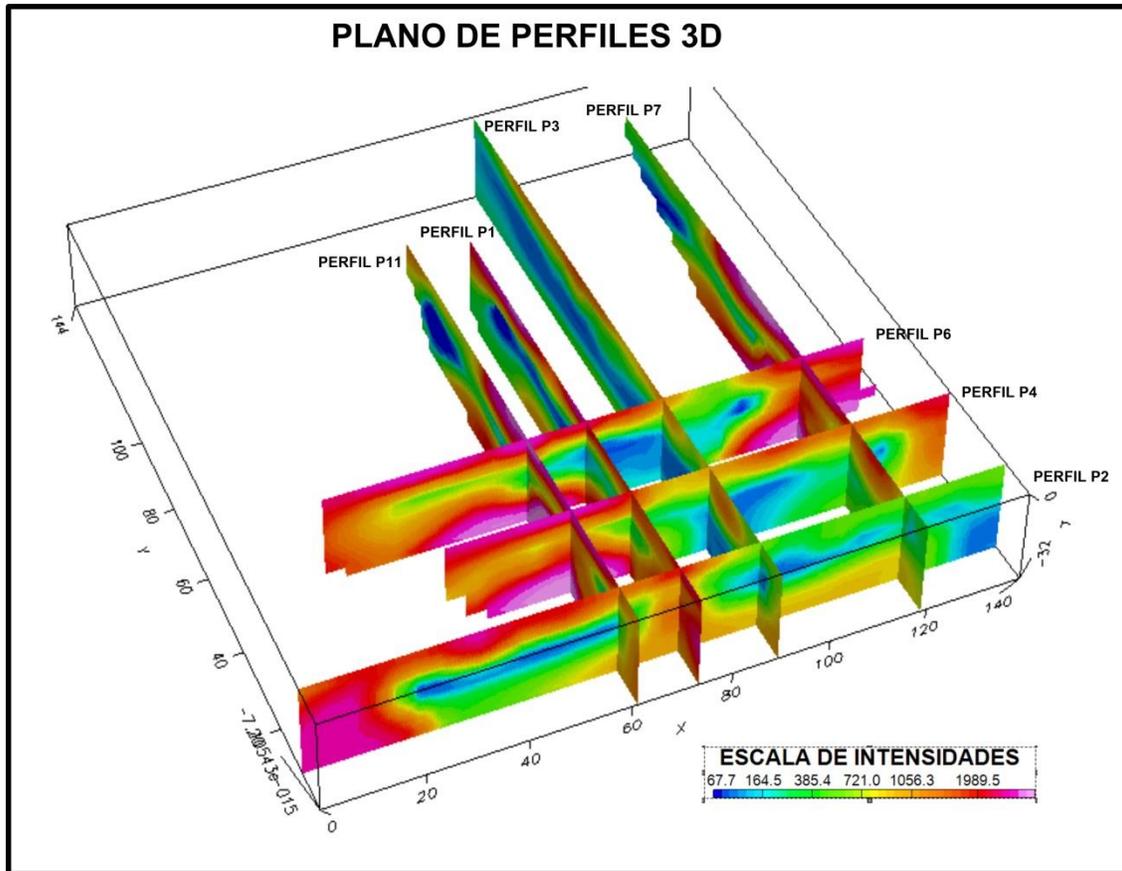


Fig. II.4: Procesamiento de los perfiles en 3D (Tomado de la ENIA, 2018).

II.3- Condiciones de cimentación.

De forma general, las condiciones de cimentación del área se consideran favorables según las características ingeniero-geológicas de las capas presentes, pudiéndose apoyar los objetos de obra directamente sobre relleno o sobre la calcarenita.

Parqueo: En superficie aparece un relleno discontinuo de 0.40 a 0.70 m de espesor que, aunque se identificó como Capa A, no tiene importancia ingeniero-geológica y probablemente desaparezca durante la limpieza y preparación del área. Debajo se encuentra la calcarenita con un RQD promedio de 62 % (calidad regular). En las calas perforadas se reportaron aisladas oquedades vacías de hasta 40 mm de diámetro que no invalidan la roca como base de la cimentación. Los valores promedio de sus propiedades físico-mecánicas son:

(Tabla II.3)

Tabla II.3

Peso específico (kN/m ³)		Absorción (%)	Resistencia a la compresión simple en estado saturado		
Húmedo	Saturado		(MPa)	(kg/cm ²)	Clasificación
13.70	19.52	44.6	23.7	241.7	Resistencia media

Calculando la capacidad soportante de la calcarenita por la fórmula del **Manual Canadiense**:

$$q_a = q_u \cdot K_{sp}$$

donde q_u es la resistencia a compresión media y K_{sp} en un coeficiente empírico en función del RQD que incluye el factor de seguridad 3 se obtiene que

$$q_a = 23.7 \times 0.2 = 4.74 \text{ MPa (48.3 kg/cm}^2\text{)}.$$

El nivel freático no debe de interferir con la construcción de la obra a juzgar por su aparición entre las cotas 1.89 y 0.84 (oscilación de la marea de ± 0.52 m).

Vial de acceso: Al igual que en el objeto anterior, en superficie aparece el mismo relleno, pero en una capa continua de espesor entre 0.50 y 1.40 m. Es probable que durante el acondicionamiento del terreno para la construcción una parte sea retirada quedando el resto bajo el emplazamiento del vial. Si se decide emplearlo como base debe tenerse en cuenta que no se trata de un relleno tecnificado sino de un levante bastante suelto que habría que caracterizar con pruebas de carga las cuales son representativas hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa utilizada. La calcarenita subyacente tiene un RQD promedio de 58 % (calidad regular). En algunos tramos apareció en fragmentos de hasta 100 mm de diámetro. Los promedios de sus propiedades físico-mecánicas son: (Tabla II.4)

Tabla II.4

Peso específico (kN/m ³)		Absorción (%)	Resistencia a la compresión simple en estado saturado		
Húmedo	Saturado		(MPa)	(kg/cm ²)	Clasificación
16.14	18.00	16.5	14.4	147.2	Resistencia baja

La capacidad soportante calculada por la misma fórmula es de

$$q_a = 14.4 \times 0.2 = 2.88 \text{ MPa (29.4 kg/cm}^2\text{)}.$$

El nivel freático fue cortado entre las cotas 1.90 y 1.87 en horas del mediodía (marea alta) durante el proceso de perforación por lo que no debe de obstaculizar los trabajos de construcción.

Piscinas: en esta área también aparece el relleno descrito anteriormente en una capa de 0.70 m de espesor que probablemente se elimine durante el acondicionamiento pero que si se decide dejar hay que caracterizarla con pruebas de carga. La calcarenita que está debajo tiene un RQD promedio de 58 % (calidad regular). En algunos tramos se recuperó en fragmentos sueltos por la perforación. (Tabla II.5)

Tabla II.5

Peso específico (kN/m ³)		Absorción (%)	Resistencia a la compresión simple en estado saturado		
Húmedo	Saturado		(MPa)	(kg/cm ²)	Clasificación
15.65	25.97	65.9	14.6	148.9	Resistencia baja

La capacidad soportante calculada por la fórmula anterior

$$q_a = 14.6 \times 0.2 = 2.92 \text{MPa (29.8 kg/cm}^2\text{)}.$$

El nivel freático fue cortado en la cota 1.90 en horas de la tarde (marea alta). Este valor es importante para fijar el fondo de la excavación donde se apoyarán las piscinas y evitar el efecto de la subpresión generada por las aguas subterráneas.

De tal forma, la calcarenita, independientemente de los diferentes estados en que se encuentra, debe ser la capa que sustentará la obra. El RQD promedio general para toda esta secuencia apenas llega a 47% por lo que clasifica como de calidad mala.

Con el objetivo de ayudar a la toma de decisiones en cuanto a comparar las posibles variantes de cimentación a aplicar (pilotes, balsa estructural o la combinación de ambos) y escoger la más adecuada bajo las condiciones ingeniero-geológicas del sitio de construcción se optó por hacer una distinción entre el macizo en su conjunto y la capa de roca más superficial (Capa B) que sería la que, en definitiva, soporte la balsa.

Los valores promedio de las propiedades físico-mecánicas de la calcarenita determinadas en laboratorio a partir de las muestras ensayadas son (Tabla II.6):

Tabla II.6

Propiedades	Calcarenita crema anaranjado (Capa B)
Peso específico de los sólidos:	2.59
Humedad (%):	8.30
Peso específico seco (kN/m ³):	16.32
Peso específico húmedo (kN/m ³):	17.66
Peso específico saturado (kN/m ³):	18.53
Porosidad (%):	18.70
Absorción (%):	13.93
Resistencia a compresión (MPa):	7.44 (Baja)
Deformación axial máxima en la rotura (%):	0.5
Módulo de deformación (MPa):	2321
Módulo de balasto (kg/m ³):	60

Aplicando el método de estados límites según la **Clasificación del Macizo Rocoso (Rock Mass Rating o RMR)** como chequeo, se consideró la recuperación lograda y el RQD medido en los tramos donde se recuperaron testigos con alturas de 10 cm o más según el concepto de este parámetro lográndose la siguiente caracterización (Tabla II.7):

Tabla II.7

Capa litológica	Espesor (m)	% de recuperación	% RQD	Calidad
Calcarenita anaranjada (superficie)	2.50-9.25	61	47	Mala
Calcarenita de color crema	>27.0	31	22	Muy mala
Calcarenita anaranjada (fondo de la cala)	>7.50	41	36	Mala
Todo el corte (globalmente sin considerar los tramos de recuperación nula)	---	38	34	Mala

Los siguientes datos primarios utilizados fueron:

- Clase de Investigación: B → $\phi_l = 0.45$
- Complejidad geológica: Media → $\phi_s = 1$
- Carso: Poco → $\phi_k = 0.95$
- Coeficiente de reducción: → $\phi = 0.4275$

– Clasificación de la roca según el índice del macizo de roca (RMR): (Tabla II.8)

Tabla II.8

Parámetros	Todo el corte (globalmente)	Calcarenita anaranjada (Capa B)
Resistencia a compresión axial promedio de la roca (q_u , MPa)	4.54	5.50
Índice de calidad de la roca (RQD, %)	50	63
Espaciamiento de las discontinuidades (mm)	2500	2500
Condición de las discontinuidades (C_d)	D (Superficie ligeramente rugosa; Separación < 1.25 mm y paredes de la junta fuertemente unidas)	D (Superficie ligeramente rugosa; Separación < 1.25 mm y paredes de la junta fuertemente unidas)
Condición del manto freático (C_{NF})	B (Agua bajo presión moderada)	B (Agua bajo presión moderada)
Corrección por la orientación de las discontinuidades (K_d)	C (Normal)	C (Normal)
Cálculo del $RMR = q_u + RQD + C_d + S_d + C_{NF} - K_d =$	57	59
Capacidad soportante ($R^*_{ult,}$) =	0.24 MPa 2.4 kg/cm²	0.35 MPa 3.5 kg/cm²

Hasta la profundidad alcanzada por el estudio, el carso no representa un riesgo fuerte para el área. Los poros y oquedades predominantes están en el orden de 0.5 a 3.0 cm de diámetro llegando a 8 cm de manera dispersa solo cuando algunos vacíos se unen debido a su ampliación por disolución. El nivel freático aparece entre las cotas de 0.19 y 0.43 m para una oscilación por la variación de las mareas de ± 0.24 m. Debe tenerse en cuenta que estos niveles fueron medidos entre el verano y la entrada de la primavera cuando en Cuba hay calma meteorológica por lo que pudieran presentarse variaciones significativas durante eventos meteorológicos extremos que provocan sobre-elevaciones del mar.

Por su excavabilidad, la calcarenita clasifica como categoría VI (Rocas blandas) pudiendo cortarse con medios manuales, mecánicos y explosivos.

Conclusiones del Capítulo

- 1) Mediante la realización de este capítulo se tuvo en cuenta la importancia que tiene el estudio ingeniero-geológico para la ejecución de toda edificación. Con el conocimiento que se adquiere durante estos estudios pueden optimizarse los diseños de las cimentaciones aprovechando de forma precisa las condiciones de la capa del suelo y roca como apoyo de las estructuras.
- 2) Para caracterizar el macizo rocoso presente en el área se aplicó un complejo de métodos de investigación ingeniero-geológica (perforación, geofísica, presiometría y laboratorio de mecánica de suelos y rocas) hasta obtener toda la información geotécnica necesaria y precisa para el cálculo de una cimentación racional técnica y económicamente. Esta data geotécnica es indispensable para garantizar la estabilidad y durabilidad de la obra.
- 3) A partir del conocimiento alcanzado se hizo el cálculo de capacidad portante del suelo por dos métodos, el Manual Canadiense (*Canadian Foundation Engineering Manual*) y el Sistema RMR (*Rock Mass Rating*) comprobándose que el primero da resultados más conservadores (4.74 MPa) mientras que el segundo permite aprovechar mejor las características del sustrato rocoso (0.29 y 0.35 MPa respectivamente). Se tomó para el cálculo de la balsa 0.35 MPa ya que es la capacidad portante que se encuentra en el área donde se ubicarán las torres del Hotel.
- 4) La realización de estos trabajos de campo le dio a la diplomante la oportunidad de adquirir conocimientos prácticos para llegar a los datos básicos sobre las características ingenieriles y el comportamiento del suelo totalmente aplicables a la solución de la situación problemática que da lugar a esta Tesis.

Capítulo III: Discusión de los resultados.

Introducción.

Con la realización del estudio ingeniero-geológico brindado por la ENIA se ha tomado como variante de solución de cimentación para el Hotel Chapelín-Tainos, Varadero la balsa estructural ya que bajo estas condiciones es la cimentación más racional que cumple con los requisitos impuestos por las características del suelo y la estructura.

Dado lo anterior en el siguiente capítulo se calculará la variante de cimentación y se darán los resultados alcanzados.

Según los datos de la Tarea técnica recibida, la carga total mayorada de la edificación es de 1850 T (18142.3 kN) distribuida en 16 columnas y la caja de elevador 32000 T. La carga ecológica se tomó como 0 pues no fue tomada en cuenta por los Proyectistas, es decir, que no se consideró el momento y el cortante por viento lo cual constituye un grave error para un edificio alto totalmente expuesto a fenómenos como huracanes de categorías 4 y 5.

Ante esta disyuntiva, para la presente Tesis se asumió la experiencia de diseños de otras edificaciones realizadas en Cuba con el sistema constructivo de Losas Izadas (Lift-Slab) el cual no limita el número de pisos y se concibe para cargas horizontales o laterales por viento de 20 MPa teniendo en cuenta el efecto de los huracanes.

A partir de los materiales recuperados por la perforación se determinó un RQD (Índice de calidad de la Roca) promedio de 47% lo que clasifica las rocas del sitio como de mala calidad; para este caso se considera que el macizo rocoso se comporta como una masa de suelo granular por lo que se trabaja para suelo.

Como la cimentación es en balsa esta se ejecutará en la superficie del macizo rocoso por tanto la profundidad de desplante D_f es 0.

III.1- Cálculo de la solución de cimentación balsa.

III.1.1- Comprobación de la carga actuante.

$$N = 1850 \text{ T} \times 16 \text{ columnas} + 32000 \text{ T} = 61600 \text{ T} = 61600000 \text{ kg}$$

$$A = b \times a = 40 \text{ m} \times 90 \text{ m} = 3600 \text{ m}^2 = 3600 \text{ 0000 cm}^2$$

$$q_{act} = \frac{N}{A} = \frac{61600000 \text{ kg}}{36000000 \text{ cm}^2} = 1.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{act} \leq q_{adm}$$

$$1.71 \text{ kg/cm}^2 \leq 3.5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Cumple!!!}$$

III.1.1.2- Diseño geotécnico de la balsa.

Esta variante de cimentación es una losa de 90 x 40 m construida con hormigón armado con peso específico de 25 kN/m^3 y resistencia a la compresión a los 28 días de 35 MPa ya que la edificación se encuentra en zona de agresividad muy alta por estar situado a 150 m del mar aproximadamente (Tablas 1 y 11 de la NC 120:2014).

Las columnas tendrán lados de 1 x 1 m.

Relación entre el lado mayor y el lado menor del pedestal, columna o vaso: $\beta = \left(\frac{l_c}{b_c}\right) = 1$

Coefficiente en función de la posición de la columna, pedestal o vaso centrado: $\alpha = 40$

$$q_{admisible} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Fuerza horizontal} = 20000 \text{ kN / m}^2$$

- Cálculo del peralte (h).

B: distancia entre pilares.

$$B = 31.100 \div 4 = 7.775 \text{ m}$$

h: peralte de la losa

$$h = 0.25 B = 0.25 \times 7.775 \text{ m} = 1.94 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

- Perímetro de la sección crítica.

$$b_o = 2[(l_c + d) + (b_c + d)] = 2[(1\text{m} + 2\text{m}) + (1\text{m} + 2\text{m})] = 12 \text{ m}$$

- Comprobación por punzonamiento: Aporte del hormigón a punzonamiento R^*p_z es la resistencia de cálculo del hormigón a cortante por punzonamiento, la cual se tomará como el menor valor de las tres ecuaciones siguientes:

- $R_{pz1} = 0.16 (1+2/\beta) (\sqrt{f_c}) = 0.16 (1+2/1) (\sqrt{35 \text{ MPa}}) = 2.839 \text{ MPa}$
- $R_{pz2} = 0.16 [1+(\alpha_s \times h)/2 b_o] (\sqrt{f_c}) = 0.16 [1+(40 \times 2 \text{ m}) / 2 \times 12 \text{ m}] (\sqrt{35 \text{ MPa}}) = 4.10 \text{ MPa}$
- $R_{pz3} = 0.34 (\sqrt{f_c}) = 0.34 (\sqrt{35 \text{ MPa}}) = 2.01 \text{ MPa}$

τ^*_{pz} : son los esfuerzos cortantes de cálculo originados por punzonamiento en la sección crítica

$$\tau^*_{pz} = \frac{V^*_{pz}}{A_{pz}} + \frac{\gamma_L M^*_{S_L}}{J_L} x + \frac{\gamma_B M^*_{S_B}}{J_B} y$$

$$\tau^*_{pz} = \frac{18142.3 \text{ KN}}{24 \text{ m}^2} + \frac{0.3975 \times 1632960000 \text{ KNm}}{36 \text{ m}^4} 1.5 \text{ m} + \frac{0.3975 \times 1446336000 \text{ KNm}}{36 \text{ m}^4} 1.5 \text{ m}$$

$$\tau^*_{pz} = 51001595.93 \text{ KN/m}^2 = 1.71 \times 10^{-3} \text{ MPa} = \mathbf{0.0071 \text{ MPa}}$$

$$x = \frac{(l_c + h)}{2} = \frac{(1 \text{ m} + 2 \text{ m})}{2} = 1.5 \text{ m}$$

$$y = \frac{(b_c + h)}{2} = \frac{(1 \text{ m} + 2 \text{ m})}{2} = 1.5 \text{ m}$$

$$A_{pz} = b_o \cdot h = 12 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 24 \text{ m}^2$$

$$\gamma_L = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_c + h}{b_c + h}}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1 \text{ m} + 2 \text{ m}}{1 \text{ m} + 2 \text{ m}}}} = 0.3975$$

$$\gamma_B = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{b_c + h}{l_c + h}}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1 \text{ m} + 2 \text{ m}}{1 \text{ m} + 2 \text{ m}}}} = 0.3975$$

$$J_L = \frac{h(l_c + h)}{2} \left[\frac{h^2 + (l_c + h^2)}{3} + (l_c + h)(b_c + h) \right]$$

$$J_L = \frac{2m(1m + 2m)}{2} \left[\frac{2^2 m + (1m + 2^2 m)}{3} + (1m + 2m)(1m + 2m) \right] = 36 \text{ m}^4$$

$$J_B = \frac{h(b_c + h)}{2} \left[\frac{h^2 + (b_c + h^2)}{3} + (b_c + h)(l_c + h) \right]$$

$$J_B = \frac{2m(1m + 2m)}{2} \left[\frac{2^2 m + (1m + 2^2 m)}{3} + (1m + 2m)(1m + 2m) \right] = 36 \text{ m}^4$$

Cálculo de la fuerza del viento para la fachada de 35 x 54 m.

$$F = A \times P \times C_f$$

Donde:

A: área proyectada del objeto.

P: presión del viento. (20 MPa)

C_f: coeficiente del arrastre o forma. (0.8)

$$A = h \times l = 54 \text{ m} \times 35 \text{ m} = 1890 \text{ m}^2$$

$$F = 1890 \text{ m}^2 \times 20000 \text{ kN/m}^2 \times 0.8 = 30240000 \text{ kN}$$

$$M = F \times b = 30240000 \text{ kN} \times 54 \text{ m} = 1632960000 \text{ kN.m}$$

$$M_s = M \pm H \cdot D_f$$

$$M_{sl} = M$$

$$M_{sl} = 1632960000 \text{ kN.m}$$

Cálculo de la fuerza del viento para la fachada de 31 m.

$$A = h \times l = 54 \text{ m} \times 31 \text{ m} = 1674 \text{ m}^2$$

$$F = 1624 \text{ m}^2 \times 20000 \text{ kN/m}^2 \times 0.8 = 26784000 \text{ kN}$$

$$M = F \times b = 26784000 \text{ kN} \times 54 \text{ m} = 1446336000 \text{ kN.m}$$

$$M_s = M \pm H \cdot D_f$$

$$M_{sb} = M$$

$$M_{sb} = 1446336000 \text{ kNm}$$

Tomándose ϕ (coeficiente reductor) según establecen las Normativas como $\phi = 0.85$

$$\phi R^*_{pz} = 0.85 \times 2.01 \text{ MPa} = \mathbf{1.70 \text{ MPa}}$$

$$\tau^*_{pz} \leq \phi R^*_{pz}$$

$$0.0071 \text{ MPa} \leq 1.70 \text{ MPa} \quad \text{Cumple!!!}$$

III.1.2- Comprobación de la carga actuante con el peso propio de la balsa incluido.

$$q_{act} = \frac{N}{A}$$

$$q_{act} = \frac{61600000 \text{ Kg}}{3600 \ 0000 \text{ cm}^2} + \frac{\gamma h \times h \times a \times b}{axb}$$

$$q_{act} = 1.71 \text{ kg/cm}^2 + 25 \text{ kN/m}^3 \times 2 \text{ m} = 1.71 \text{ kg/cm}^2 + 0.05 \text{ MPa}$$

$$q_{act} = 1.71 \text{ kg/cm}^2 + 0.509 \text{ kg/cm}^2 = 2.219 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{act} \leq q_{adm}$$

$$2.219 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 3.5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Cumple!!!}$$

III.2- Cálculo del asentamiento.

El cálculo del asentamiento se realizó por el método de las sumatorias de capas (Cálculo de Asentamientos para el punto característico según el *Canadian Foundation Engineering Manual*) mediante las hojas activas REM desarrolladas por la ENIA.

Este proceso se aplicó para los dos estratos presentes:

- Capa B: h = 4.8 m; $E_p = 2356 \text{ kg/cm}^2$
- Capa C: h = 25 m; $E_p = 1595 \text{ kg/cm}^2$

Los módulos de deformación (E_p) tomados para el cálculo del asentamiento fueron los módulos presiométricos porque este método constituye una prueba de carga in situ que dan valores más exactos ya que es la prueba que mejor caracteriza el macizo rocoso. La fórmula utilizada fue

$$S = \sigma_{zi} * h_i/E_i$$

Donde:

S – Asentamiento.

σ_{zi} – Tensión en el punto medio del estrato bajo el punto característico.

h_i –Espesor del estrato.

E_i –Módulo de deformación del estrato.

Tabla III.1

Cimentación rectangular L/b =2								
$\sigma_{aci} = 2.220 \text{ kg/cm}^2$			b = 40 m					
Estrato	h _i	Punto	Z _i	Z _i / b	J _{z_i}	σ_{zi	E	S
	m		m			kg/cm ²	kg/cm ²	cm
A	4.8	1	2.40	0.06	0.9782	2.1716	2356	0.4424
		2	4.80	0.12	0.9072	2.014		
B	25	3	17.30	0.43	0.5588	1.2405	1595	1.9444
		4	29.80	0.75	0.3913	0.8687		
C		5	0.00	0.00	1	2.22	50	0
		6	0.00	0.00	1	2.22		
D		7	0.00	0.00	1	2.22	50	0
		8	0.00	0.00	1	2.22		
E		9	0.00	0.00	1	2.22	50	0
		10	0.00	0.00	1	2.22		
Asiento total =							2.39 cm	

Valores de las deformaciones o desplazamientos límites de las bases de las cimentaciones (Tomado de la Norma Cubana de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales).

Denominación y características de la edificación.	Magnitud de las deformaciones límites de la cimentación (SI)			
	Deformaciones relativas		Asentamientos (cm).	
	Caso	Valor	Caso	Valor
1. Edificios de varias plantas con estructura reticulada de:				
1.1 Pórticos de hormigón armado sin arriostramiento.	Distorsión angular	0,002	Asiento máximo absoluto	8
1.2 Pórticos metálicos sin arriostramiento	Distorsión angular	0,004	Asiento máximo absoluto	12
1.3 Pórticos de hormigón armado arriostrado	Distorsión angular	0,001	Asiento máximo absoluto	8
1.4 Pórticos metálicos arriostrados	Distorsión angular	0,002	Asiento máximo absoluto	12
2. Edificios y estructuras en los que no se producen esfuerzos suplementarios por asiento diferencial	Distorsión angular	0,006	Asiento máximo absoluto	15
3. Edificios de varias plantas con muros de carga de:				
3.1 Grandes paneles.	Distorsión angular	0,0016	Asiento medio	10
3.2 Bloques o fábricas de ladrillos sin amar.	Distorsión angular	0,002	Asiento medio	10
3.3 Bloques o fábricas de ladrillos armado y con vigas de hormigón armado.	Distorsión angular	0,0024	Asiento medio	15
4. Estructuras rígidas elevadas:				
4.1 Estructuras de hormigón armado.	Inclinación longitudinal y transversal	0,003	Asiento medio	40
a) Edificios, industrias y silos de estructura monolítica con cimentación por losa.				
b) Idem. De estructura prefabricada.	Idem.	0,003	Asiento medio	30
c) Edificios industriales aislados.	Inclinación transversal y longitudinal	0,003	Asiento medio	20
d) Silos aislados, con estructura monolítica.	Inclinación transversal y longitudinal	0,004	Asiento medio	40
e) Industria con estructura prefabricada.	Inclinación Transversal y longitudinal	0,004	Asiento medio	30
4.2 Chimeneas de alturas:				
a) H ≤ 100 m	Inclinación	0,005	Asiento medio	40
b) 100 < H ≤ 200	Inclinación	0,5/ H	Asiento medio	30
c) 200 < H ≤ 300	Inclinación	0,5/ H	Asiento medio	20
d) H >= 300	Inclinación	0,5/ H	Asiento medio	10
4.3 Todas las estructuras elevadas hasta 100 m de altura.	Inclinación	0,004	Asiento medio	20

$$S_{adm} = 8 \text{ cm}$$

$$S \leq S_{ad}$$

$$2.39 \text{ cm} \leq 8 \text{ cm} \quad \text{Cumple!!!}$$

Conclusiones Generales

- 1) En el capítulo 3 se realizó el cálculo de la balsa pues es una cimentación superficial que produce poco asiento diferencial, además que cumple con los requerimientos de diseño es económica y ahorra tiempo de ejecución de la obra pues no hay que estar perforando para hincar pilotes o ejecutarlos in situ, etc.
- 2) La profundidad de desplante se toma 0 m ya que la balsa se ubicará directamente sobre la superficie limpia de la Capa B, es decir, sobre la roca.
- 3) La capacidad portante igual a 0.35 MPa calculada por el sistema RMR (*Rock Mass Rating*) garantiza la estabilidad de la edificación.
- 4) El asentamiento que produce la balsa es de 2.39 cm que, comparado con el asentamiento máximo admisible de 8 cm (el más pequeño) dado en la Tabla 2 de la Norma Cubana de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, cumple sin ningún problema.

Recomendaciones

1. Se recomienda a la Universidad de Matanzas en acuerdo con la ENIA que dentro de la asignatura de Geotecnia se brinden más visitas al terreno de obras cuando se estén haciendo perforaciones u otros trabajos para la investigación ingeniero-geológica de parcelas donde se vaya a edificar para que presencien ensayos de campo que son pocos conocidos por el estudiantado como la presiometría y la geofísica.
2. Se recomienda a la Universidad de Matanzas en coordinación con la ENIA que dentro de la asignatura de Cimentaciones se les dé la posibilidad a los estudiantes de ir a una obra donde estén ejecutando cimientos de cualquier tipo para que conozcan y presencien in situ la construcción de los apoyos de la estructura.
3. Se recomienda a la parte inversionista revisar las cargas de viento ya que las tomaron 0, lo que es imposible que eso pase pues Varadero es una zona costera con constante rachas de viento. Para el trabajo de diploma se tuvo que tomar el sistema constructivo de Losas Izadas que soporta 20 MPa de viento provocado por huracanes de categoría 4 y 5.

Referencias Bibliográficas

- Anelys Betancourt Quintero 1, D. I. R. L. R., Ing. Yimay Sánchez Rivero 3, 2016. *Modelación de Pilotes Cortos-Rígidos sometidos a cargas laterales.*
- Armisen, J. M. 1985. *La estructura resistente de los edificios altos.*
- Beinhauer, P. 2009. *Atlas de detalles constructivos.*
- Bianchi, C. 2018. *Nación y Emigración.*
- Canadian Geotechnical Society. *Canadian Foundation Engineering Manual.* Segunda Edición, 1985.
- Chuy, T.; Caballero, L. y Oñate, R. *Evaluación de la peligrosidad sísmica para la zona de emplazamiento del Hotel Chapelín, en Varadero, Matanzas,* Centro Nacional de Investigaciones Sísmológicas, 2018.
- Cordero, N. J. 2018. *Cimentación en edificios de gran altura.*
- Couto Yáñez, M. Guaita Fernández, M. J. López Villar. *Agroindustrial cimentaciones y conten-*
cic3b3n-6-93.
- ENIA, (2018-2019) *Estudio ingeniero-geológico de la zona Chapelín.*
- https://www.construmatica.com/construpedia/cimentaciones_en_edificios& cimentaciones, C. 2018. *Cimentaciones en Edificios.*
- Huecas, E.O.R (2006) *Diseño de edificios en zonas sísmicas.*
- Ketty. 2003. *Ingenierías de cimentaciones.*
- Martin, T.A (2012) *Cimentaciones combinadas losa-pilote en rellenos controlados sobre estratos de suelos compresibles.*
- NC 054-269:1984 *Procedimiento para la ejecución de las Etapas de las Investigaciones ingeniero-geológicas en edificaciones.*
- NC 14:1998 *Geotecnia. Método de conservación y transportación de muestras de suelos y rocas.*
- NC 327:2004 *Geotecnia. Perforación de calas ingeniero geológicas (astm-2113: 1998, neq).*
- NC 46: 2017 *Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción.*
- NC 62:2000 *Geotecnia. Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de rocas.*

- NC 67:2000 *Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio.*
- NC 722:2009 *Edificaciones y obras civiles. Investigaciones ingenieras aplicadas. Requisitos de alcance y contenido de la documentación técnica.*
- NC: 285-2003 *Carga de viento. Método de cálculo.*
- Poulos, H.G. (2015) *Cimentaciones para edificios altos. Métodos de diseño y aplicaciones*; Revista Geotecnia sming, número 235.
- Rodríguez, O. *Estudio ingeniero-geológico Hotel Chapelín-Tainos (Preliminar con los resultados de las calas CA-004, CA-005, CA-006, CA-007 y CA-008 para torres de 15 y 24 niveles)*, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC Matanzas, 2018.
- Rodríguez, O. *Estudio ingeniero-geológico Hotel Chapelín-Tainos (Preliminar para dos torres de 24 niveles cada una según calas CA-010, CA-012, CA-014, CA-015, CA-016, CA-017, CA-022, CA-030, CA-031 y CA-032)*, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC Matanzas, 2019.
- Rodríguez, O. *Estudio ingeniero-geológico Hotel Chapelín-Tainos (Preliminar para las piscinas, el parqueo y el vial de acceso)*, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC Matanzas, 2017.
- Sowers F. y Sowers B. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Instituto Cubano del Libro, 1976.
- Tesoro, F. R. 2018. *Edificios de gran altura.*
- Torres, A. M. 2012. *Cimentaciones combinadas losa–pilote en rellenos controlados sobre estratos de suelos compresibles.*