



# Optimización de costos en cimentaciones, debido a condiciones heterogéneas de suelos en la Riviera Maya, Cancún Quintana Roo

## Cost optimization in foundations due to heterogeneous soil conditions in the Riviera Maya, Cancun Quintana Roo

**Humberto CUEVAS<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Director General de LAC Mecánica de Suelos y Cimentaciones, S.A. de C.V., y Profesor de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN

**RESUMEN:** Durante más de 20 años de ejercicio profesional en la Mecánica de Suelos en la zona de la Riviera Maya, hemos realizado más de 1000 (un mil) estudios de mecánica de suelos, en los cuales se ha obtenido gran cantidad de información de la problemática que presentan los suelos y rocas, debido principalmente al efecto de la carsticidad generado por el agua salobre actuando en la roca caliza. En el presente artículo se presentan dos casos particulares de solución de la cimentación de importantes estructuras, donde se han ahorrado a los inversionistas extranjeros y nacionales, grandes cantidades de dinero, con estudios apoyados en la exploración, con métodos directos e indirectos.

**ABSTRACT:** For over 20 years of professional experience in soil mechanics in the area of the Riviera Maya, we performed more than 1000 (one thousand) studies of soil mechanics, in which it has obtained a wealth of information on the problems in soils and rocks, mainly due to the effect of carsticity brackish water generated by acting on the limestone. In this paper we present two special cases of solution foundations of important structures, which have saved foreign and domestic investors large amounts of money, with studies supported in the exploration, with direct and indirect methods.

## 1 INTRODUCCIÓN

Durante más de 20 años de ejercicio profesional en la Mecánica de Suelos en la zona de la Riviera Maya, hemos realizado más de 1000 (un mil) estudios de mecánica de suelos, con los cuales se ha podido recopilar gran cantidad de información de la problemática que presentan los suelos y rocas de esta importante zona turística debido principalmente al efecto de la carsticidad generado por el agua salobre actuando en la roca caliza.

Un buen estudio geotécnico determina el comportamiento del subsuelo de apoyo al recibir las solicitaciones de la superestructura, indicando el tipo o tipos de cimentación a emplear, que sea segura y razonablemente económica; así como establecer las recomendaciones y los procedimientos constructivos más adecuados y prácticos. En el presente artículo se presentan la solución de la cimentación de dos importantes obras de infraestructura turística como son los hoteles, en particular de dos de ellos ubicados en el Municipio de Solidaridad, en Playa del Carmen Quintana Roo, zona del sureste de México que es muy visitada por el turismo nacional e internacional, destacando en este último al europeo y norteamericano; por lo que la construcción de este tipo de infraestructura está orientada a satisfacer las necesidades de los visitantes y así mismo favorecer a la población que directa e indirectamente se dedican a esta actividad, en donde se ahorró a los inversionistas varios millones de dólares, con estudios apoyados en la exploración y muestreo empleando métodos directos e indirectos.

Finalmente se describe las conclusiones generadas más importantes de los trabajos realizados.

## 2 GEOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA

### 2.1 *Geología Regional*

La zona de estudio se ubica en Playa del Carmen, Quintana Roo, dentro de la provincia de Yucatán; esta provincia comprende, los estados de Yucatán, Quintana Roo y parte de Campeche y se encuentra dividida en tres sub – provincias:

- Llanuras con dolinas al norte de la Península.
- La plataforma de Yucatán al SSW de la misma.
- La costa baja hacia el SE de la Península.

La unidad geológica, está constituida por sedimentos calcáreos marinos del cenozoico, que van del Paleoceno al Reciente, que se apoyan sobre formaciones plegadas pertenecientes al Cretácico, se forma una extensa planicie en parte de la provincia geográfica de la llanura del Golfo y del Caribe.

Sus características morfológicas y estructurales son bastante uniformes.

Los sedimentos calcáreos han dado lugar a una gran plataforma, con elevaciones bajas sobre el nivel del mar, la máxima corresponde a la sierra yucateca con una altitud máxima de 126 m.

## 2.2 Fisiografía

Los rasgos más notables de la región son de tipo cárstico correspondientes a un estado de erosión intermedio dentro del ciclo geomorfológico.

Las calizas presentan cavidades y conductos de disolución y varían desde pequeños poros hasta grandes cavernas. El colapso de los techos de las cavernas han dado lugar a depresiones redondeadas (dolinás) grandes y pequeñas, formando los cenotes.

En los cortes de caminos y bancos de materiales se aprecia un material blanquecino, localmente llamado (sahcab). El nombre también es recibido por algunas calizas y coquinas de la misma consistencia; el espesor de estos materiales es considerado entre 2 y 4 m sobre la capa superficial de la caliza y se apoya sobre caliza blanda a media.

No podemos dejar de mencionar, que a lo largo de la costa norte de la Península, desde el extremo occidental hasta el cabo Catoche es notable la formación de un cordón litoral angosto separado por tierra firme, por Ciénegas, marismas y lagunas pantanosas de aguas salobres, es semejante a lo que ocurre entre cabo catoche y Cancún o entre Tulum y Chetumal.

Las islas mujeres, Cozumel y Contoy se formaron por arrecifes que deben de haberse desarrollado, durante la última época glacial. La isla de Cancún corresponde a una segunda barra costera más recientemente formada a partir de depósitos post-arrecifales, estratificados y derivados de los arrecifes que integraron esta porción del continente, así como por depósitos de limos y arenas superficiales.

## 2.3 Morfología

Los rasgos morfológicos de la península de Yucatán parecen estar relacionados con las orientaciones NNE–SSW de la costa oriental, misma que se supone está formada por una falla que desciende a una profundidad de centenares de metros.

La bahía de Cozumel tiene la misma orientación de falla. También las ondulaciones de la sierra de Yucatán se presentan perpendiculares a la orientación mencionada que aparenta plegamientos debidos a movimientos tectónicos.

En la Península no existen corrientes superficiales debido a que existe alta permeabilidad de las calizas ya que estas provocan una rápida filtración.

La erosión producida por el agua forma capas de disolución en la superficie, conductos y cavernas subterráneas, el agua fluye con gradiente prácticamente paralelo al relieve casi horizontal del terreno.

El sentido del flujo es radial, del centro de la Península hacia las costas.

## 2.4 Sismicidad

La península de Yucatán queda comprendida en la zona “asísmica” de la República Mexicana, figura 1.

## 2.5 Tipos principales de rocas

Las rocas que constituyen la provincia, son todas de tipo calcáreo, se diferencian por su edad y características locales. Los principales tipos de rocas existentes en esta zona y su edad estimada de formación se resumen a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales tipos de roca y edad geológica.

Roca	Edad
Evaporitas	Cretácico
Calizas estratificadas	Eoceno – Paleoceno
Calizas masivas	Eoceno – Paleoceno
Yesos	Eoceno – Paleoceno
Coquinas (Sahcab)	Cuaternario

## 2.6 Sedimentología

La capa de turba y sedimentos finos que sobreyacen la mayor parte de los depósitos de esta zona, se caracterizan por ser suelos altamente orgánicos fácilmente identificables, por su color negro, olor intenso a materia orgánica en estado de putrefacción, de apariencia esponjosa y textura fibrosa.

La roca caliza que se localiza en el valle se caracteriza por encontrarse de fracturada a muy fracturada con carsticidad provocada por estar en contacto directo con las aguas de mar y su alto contenido de salinidad, en algunos núcleos de roca se encuentran conchas incrustadas en los mismos, lo cual reduce en gran porcentaje su resistencia a la compresión simple características.

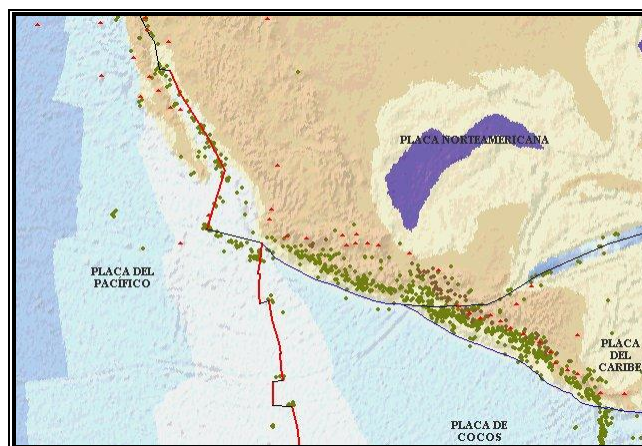


Figura 1. Ubicación de sismos fuertes en la República Mexicana

## 3 EXPLORACIÓN Y MUESTREO

La exploración geotécnica del sitio fue dividida en dos etapas:

- Investigación Preliminar.
- Investigación de Detalle.

### 3.1 Investigación Preliminar

El principal objetivo de esta etapa consiste en obtener la mayor información geotécnica general del sitio, con el fin de realizar una interpretación a priori de los problemas que pueden presentarse en el diseño y construcción de la cimentación de una estructura, entre las que se encuentran a) La recopilación de información disponible del sitio; b) La interpretación de fotografías aéreas y c) Recorridos de reconocimiento del sitio (SMMS, 2001).

### 3.2 Investigación de Detalle

El principal objetivo de esta etapa consiste en obtener la mayor información geotécnica local del sitio, con el fin de realizar una interpretación detallada y confiable, entre las que se encuentran a) Interpretación geológica del sitio; b) Exploración y muestreo indirectos (geofísica eléctrica y sísmica) y directos (en suelos y rocas, con y sin obtención de muestras) y c) Pruebas de resistencia y deformabilidad (en campo y laboratorio), (SMMS, 2001).

Para el diseño de la cimentación de estas obras se realizó 11 sondeos mixtos alternando la prueba de penetración estándar, con muestreo de roca por medio de barril con corona de diamante, en diámetro NXL, con recuperación de muestra de roca y/o arena, las cuales se protegieron e identificaron adecuadamente con el fin de conservar sus propiedades índice y mecánicas naturales y así poder realizar las pruebas respectivas de laboratorio y garantizar la obtención de resultados confiables, los sondeos se profundizaron hasta encontrar un manto resistente

apropiado para apoyar las estructuras en proyecto. Cabe mencionar que fue necesario realizar sondeos puntuales de penetración estándar debido que en varias zonas las pilas no alcanzaban la capacidad de carga requerida de proyecto debido a la heterogeneidad del suelo y roca, por lo que fue necesario construir en algunas ocasiones de 3 a 4 pilas en un mismo sitio para que se alcanzara dicha capacidad de carga. Las características de cada sondeo se resumen en la tabla 2, y la ubicación de los sondeos realizados se muestra en la figura 2.

Los sondeos se realizaron con máquina perforadora rotaria tipo Longyear modelo 38 y una bomba de gusano tipo Moyno modelo 3L6 para la recirculación del fluido bentonítico de perforación, con el fin de garantizar la estabilidad de las paredes de los barrenos.

Tabla 2. Sondeos realizados en el sitio en estudio

No.	Sondeo	Prof., m	Prof. NAF, m
1.	Q-13	12.80	1.15
2.	M-06	14.50	1.10
3.	F-27	15.50	1.15
4.	U-07	18.50	0.80
5.	G-06	18.50	0.95
6.	E-19	15.50	1.10
7.	E-02	15.50	1.25
8.	E-13	15.00	1.00
9.	R-04	14.00	0.80
10.	U-06	14.50	1.90
11.	E-03	15.50	1.20

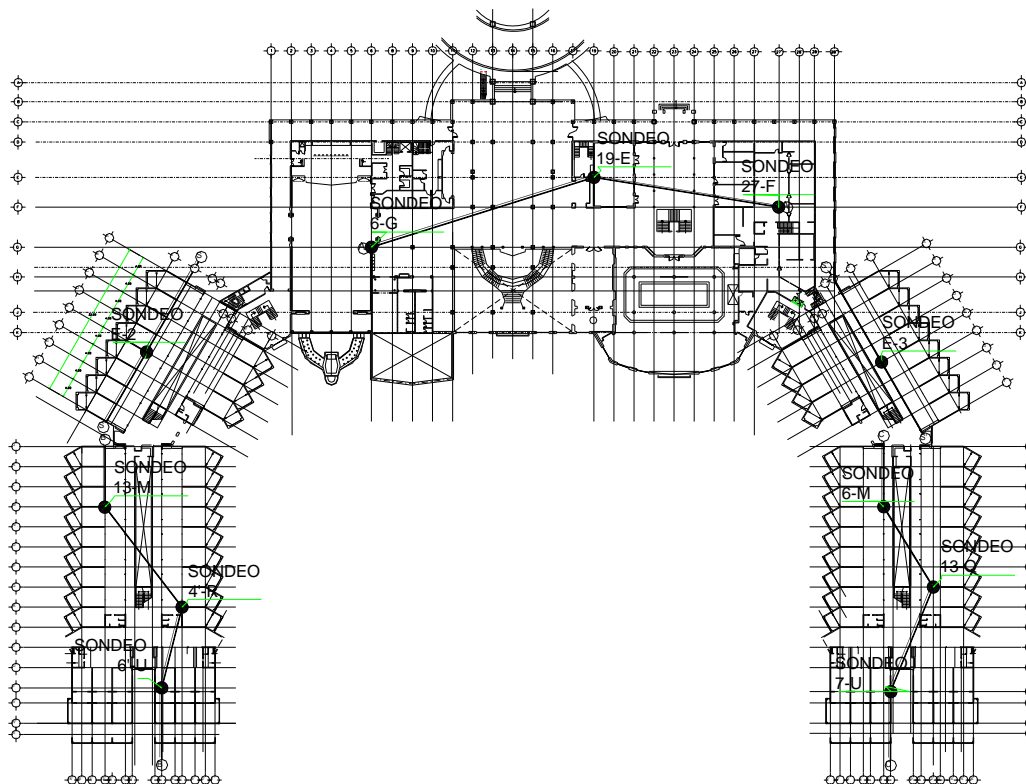


Figura 2, Ubicación de sondeos mecánicos en el Hotel Capri Caribe Secrets, en Playa del Carmen. Q.R.

Tomando en cuenta que de acuerdo con los resultados obtenidos en estudios previos cercanos al sitio en estudio se presenta la misma estratigrafía, de la gran mayoría de los sondeos realizados solo se tomaron como representativos los once sondeos antes citados. Posteriormente, durante la construcción de la estructura se realizó un sondeo en cada columna, de los cuales la mayoría fueron de avance controlado en los que el personal de campo realiza gráficas Tiempo contra Profundidad de Perforación, y el ingeniero de campo, generalmente con amplia experiencia se encarga de clasificar el material producto de la perforación con objeto de correlacionar los tiempos tomados durante los trabajos de perforación y el tipo de material encontrado. En un perfil estratigráfico realizado con el método de avance controlado se puede apreciar solo la columna tiempo contra profundidad y la clasificación del suelo encontrado es burdamente realizada, no se diga de las propiedades índices y mecánicas, ya que no se puede conocer correctamente la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, por lo que se considera que es un Método Inseguro, que sólo ayuda como herramienta para detectar cavidades y su espesor, por lo que en conclusión se puede decir que encarece la cimentación. Aun cuando el ingeniero de campo sea experimentado, estadísticamente se ha encontrado que los sondeos de avance controlado tienen del orden de un 80% de confiabilidad con respecto a los sondeos directos con recuperación de muestras, debido a las altas presiones del equipo de perforación y a posibles errores que se presentan en campo por no llevar un control adecuado de los tiempos y de la profundidad, aunado a esto que cuando se detectan materiales blandos de resistencia baja, el martillo de perforación arroja tiempos de 1 a 2s para perforar hasta 25cm, figura 3. Como ya se mencionó, el objeto final de estos sondeos es detectar la presencia o no de cavidades localizadas directamente bajo el apoyo de las columnas de la estructura y tener en general una idea general de la conformación de la Litología del sitio en estudio.

"Lo barato sale caro "

Desafortunadamente así sucede, cuando se realizan estudios incompletos o semiestudios, sin ingeniería en Mecánica de Suelos y rocas. Solo como ejemplo podemos mencionar más adelante las obras en las que se han ahorrado grandes cantidades de dinero, en dólares, invirtiendo en un buen estudio de Mecánica de suelos y rocas por medio de sondeos mixtos, los cuales consisten en obtener alternadamente muestras de suelo y roca con el método de "penetración estándar y barril de diamante NXL.

Las muestras obtenidas en los sondeos se transporta cuidadosamente al laboratorio donde se realizan pruebas índice y mecánicas, las pruebas Índice nos sirven para clasificar los suelos y las pruebas mecánicas para obtener

los parámetros de diseño de las cimentaciones, ángulo de fricción interna, (  $\phi$  ) cohesión del suelo, (  $c$  ) Resistencia al esfuerzo cortante, con estos valores se calcula la capacidad de carga admisible y podemos definir con suficiente precisión la cimentación más segura, económica y funcional.

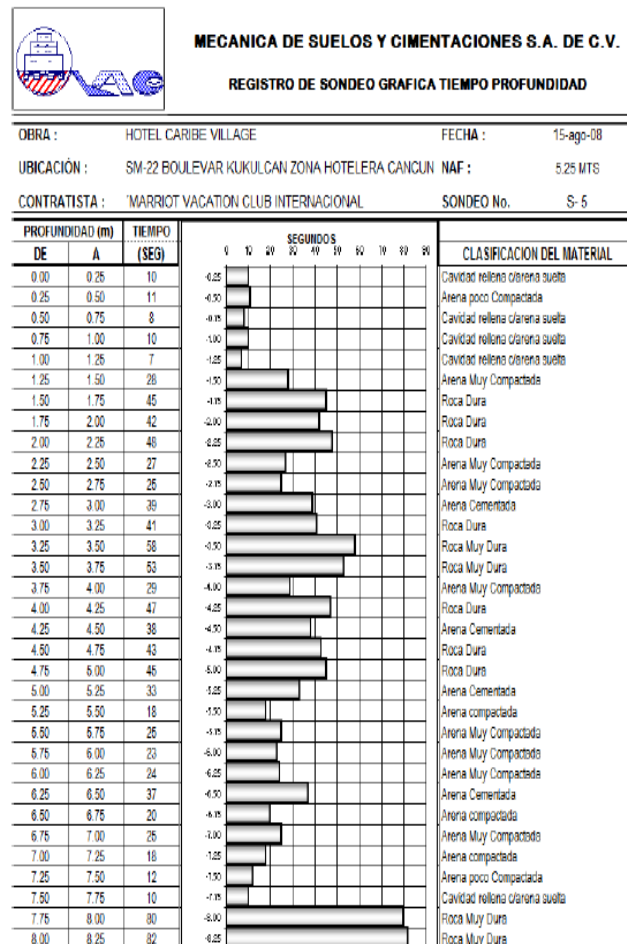


Figura 3. Perfil estratigráfico típico de un sondeo realizado con avance controlado

Las obras en las que hemos ahorrado miles de dólares son, tabla 3:

Tabla 3. Obras en que se ha ahorrado dinero

No.	Nombre del proyecto	Dinero ahorrado, dils.
1.	Hotel Capri Caribe Secrets	7'000.000.00
2.	Hotel Westin Laguna Mar Ocean	6'500,000.00
3.	Hotel Barceló Palace III Etapa	500.000.00
4.	Condominios Porto Fino	500.000.00
5.	Hotel Mayan Palace	1'500.000.00
6.	Bellavista Towers	700.000.00
7.	Villas México	850.000.00
8.	Condominios LAHIA	600.000.00



Algunas de las estructuras estudiadas, antes indicadas, actualmente se encuentran en operación, y se muestran a continuación, Figuras 4, 5 y 6.



Figura 4. Edificio de 20 niveles Isola, Cancún, Q.Roo.



Figura 5. Vista del hotel "Capri Caribe Secrets", Cancún, Quintana Roo, en donde se desarrolló el estudio geotécnico de este artículo técnico.

Pero, ¿En que se basó el ahorro antes indicado?, en que la solución de cimentación recomendada por especialistas en mecánica de suelos fue establecida considerando los resultados obtenidos con sondeos realizados con avance controlado, que establecían apoyar la cimentación profunda a base de pilas de cimentación apoyada en

estratos profundos localizados a más de 20 m de profundidad, mientras que al realizar los sondeos mixtos, fue posible establecer que la capacidad de carga requerida para las estructuras se lograba a mucha menor de profundidad de desplante de las pilas de cimentación, generalmente no mayor de 12 m, por lo que la longitud de la cimentación se reducía en longitud y costo entre un 30% y un 50%.



Figura 6. Vista del hotel "Melia", Cancún, Quintana Roo.

#### 4 ENSAYES DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio fueron realizados para determinar:

- Propiedades Índice.
- Propiedades Mecánicas.

##### 4.1 *Propiedades Índice*

Los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índices nos ayudan a tomar decisiones preliminares en la elección del tipo de cimentación adecuada en la construcción de una obra civil, ya que como su nombre lo indica, dan una valoración índice o estimación cualitativa del probable comportamiento de material detectado en el sitio en estudio. Los ensayos realizados fueron los siguientes: Clasificación de suelos y determinación de contenido de agua, Pérdida de finos por lavado y determinación del Peso volumétrico natural.

##### 4.2 *Propiedades mecánicas*

Los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas son aquellos que proporcionan parámetros mecánicos para poder cuantificar numéricamente el comportamiento del material detectado en el sitio en estudio, es decir, una estimación cuantitativa del comportamiento esperado del material detectado en el sitio en estudio.

Dada la exigencia de la obra y el programa, se llegó a un común acuerdo con el cliente de solo realizar pruebas de compresión simple con la finalidad de entregar resultados de carácter urgente sobre el avance de la obra, como: capacidad de carga, profundidad de desplante, sección de las pilas, índice de calidad de la roca (RQD).

.Un corte estratigráfico y litológico de la zona en estudio se muestra en la figura 7.

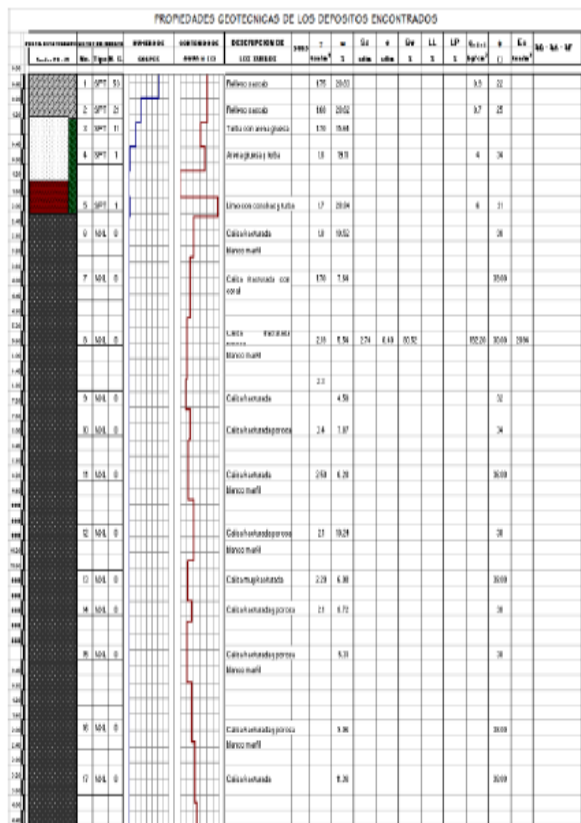


Figura 7. Perfil estratigráfico típico de un sondeo realizado con muestreo mixto a base de penetración estándar y barril con broca de diamante

Cabe mencionar que para definir la profundidad de desplante de cada pila se procuró que al menos quedaran embebidas dos diámetros mínimos en la roca caliza de buena calidad, esto debido a que es el estrato que presenta una mayor capacidad de carga. Por lo general la punta de las pilas quedó apoyada a una profundidad entre 4.30m y 12.50m, respecto al nivel de terreno natural, para garantizar la capacidad de carga requerida.

## 5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

### 5.1 Capacidad de carga para desplante en roca

La capacidad de carga de la roca con base en la resistencia al corte de la muestra de acuerdo a la teoría de Skempton se puede determinar como:

$$q_a = (q_u)_c K_{sp} d$$

en la que:

$$d = 0.8 + 0.2 \frac{H_s}{B} \leq 2$$

donde:

$q_a$  Capacidad de carga permisible, ton/m<sup>2</sup>

$(q_u)_c$  Resistencia a la compresión no confinada promedio del núcleo de roca, ton/m<sup>2</sup>

$K_{sp}$  Coeficiente empírico que depende del espaciamiento de las discontinuidades de la roca, en este caso se utilizó un valor de 0.25

$d$  Factor de profundidad

$H_s$  Profundidad de empotramiento en el estrato resistente, m

$B$  Diámetro de la pila, m.

Los resultados de los análisis realizados de la capacidad de carga admisible de la roca se muestran a manera de ejemplo algunas de las tablas de resultados (Tablas 4 y 5) para algunos de los edificios que forman el hotel y en diferentes puntos; haciendo la aclaración que se tienen los resultados de todos los sondeos realizados.

Tabla 4. Resultados de capacidad de carga admisible del sondeo F-27

Diámetro de la pila, D, m	Profundidad de desplante, Df, m	Capacidad de carga admisible Qadm, t
0.60	11.00	80
0.80	11.00	130
1.00	11.00	210
1.20	11.00	280

Tabla 5. Resultados de capacidad de carga admisible del sondeo E-19

Diámetro de la pila, D, m	Profundidad de desplante, Df, m	Capacidad de carga admisible Qadm, t
0.60	12.50	113
0.80	12.50	201
1.00	12.50	313
1.20	12.50	452

Del orden de las mismas capacidades de carga reportaban los estudios de mecánica de suelos realizados con avance controlado, pero con la profundidad de las pilas de cimentación de más de 20 m.

## 6 INSTRUMENTACIÓN

El empleo de la instrumentación no estriba solamente en la selección de los diversos aparatos, sino que es más bien un proceso ingenieril detallado que inicia con la definición de un objetivo y termina con la implementación de la información adquirida. El especialista en geotecnia tiene la responsabilidad de establecer dichos objetivos, mientras que al experto en instrumentación le corresponde el diseño y ejecución del proyecto de instrumentación en el que se empleen los métodos y sistemas más simples con los cuales se pueda obtener la información deseada en forma confiable y a un costo mínimo.

### *Algunas Razones para Instrumentar*

La mayor parte de los proyectos de instrumentación se establecen por dos razones, ya sea para fines de investigación básica, académicos o de desarrollo, o para obtener información inmediata o mediata sobre aplicaciones prácticas.

Las Variables que se pueden medir en un proyecto de instrumentación son las siguientes:

- Nivel freático (posición)
- Presión de poro
- Presiones totales dentro de la masa de suelo
- Empujes de tierra en el contacto de la estructura
- Bufamiento o asentamiento de la superficie
- Bufamiento a asentamiento del subsuelo
- Deformaciones horizontales superficiales
- Deformaciones horizontales del subsuelo
- Desplomes
- Cargas en elementos estructurales
- Deformaciones en elementos estructurales
- Temperatura
- Vibraciones
- Aceleraciones
- Gastos de filtraciones

Para este caso en especial de este trabajo se tomó como banco de nivel el nivel medio del mar, para lo cual fue necesario tomar puntos de referencia en columnas de la estructura con objeto de realizar nivelaciones mensuales las cuales se revisan con las anteriores con objeto de monitorear la estructura verificar que no se presente asentamientos diferenciales que pongan en riesgo la estabilidad de la estructura.

Cabe mencionar que se realizó un recorrido por los alrededores de la obra con el objeto de verificar si presentaba algún problema de asentamientos provocados por la temporada de huracanes por mencionar uno el huracán "Wilma" que presentó vientos de hasta 280 km/h. Una vez realizado el recorrido se observó que la estructura no presentó ningún daño a tales fenómenos, lo cual se confirmó posteriormente con las memorias de la cuadrilla de topógrafos que realizó revisiones mensuales de la estructura.

## 7 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO GENERAL DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA

Se procederá a la ejecución de plataformas de trabajo y libre tránsito del equipo de construcción.

Posteriormente se realizará la perforación con bote Caldwell, ademado simultáneamente con lodo bentonítico para evitar caídos al fondo del pozo, durante las maniobras constructivas.

A continuación se introducirá el armado de la pila, el cual deberá entrar holgado y rigidizado. Deberá introducirse en forma vertical en la perforación previa, para evitar que se provoque caídos a la perforación.

Posteriormente se procederá con el colado de la pila mediante el procedimiento del tubo Tremie. Los colados deben ser continuos e ininterrumpidos para evitar juntas frías que disminuyan la resistencia de la pila, porque su calidad disminuye.

## 8 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

### 8.1 Recomendaciones

Debido a la gran variación de la estratigrafía de un sondeo a otro es necesario realizar un sondeo bajo el apoyo de cada columna con objeto de determinar la profundidad correcta de apoyo y la longitud real de cada pila para fines de ejecución de la obra.

Con la finalidad de entregar resultados de manera urgente se recomienda instalar una oficina en obra, como en este caso se llevó a cabo de esta manera, para realizar los análisis geotécnico y determinar inmediatamente la longitud de cada pila, el diámetro y la capacidad de carga, en función del análisis de la estratigrafía encontrada, y de los resultados de los ensayos de laboratorio.

Se recomienda desplantar las estructura de tres niveles o mayor mediante pilas, coladas en sitio con el método del tubo Tremie, las cuales deberán empotrarse al menos 2 diámetros en la roca caliza de buena calidad con objeto de garantizar la estabilidad de la estructura.

Para garantizar la integridad de las pilas al momento de realizar el colado se recomienda lo siguiente.

1.- Antes de colocar el armado al pozo se debe eliminar el azolve o recortes sedimentados en el fondo de la perforación empleando un bote limpiador.

2.- Con objeto de garantizar la integridad del colado de cada una de las pilas se deberá colocar ademe perdido al menos hasta 3.00 m de profundidad respecto al nivel de terreno natural, debido a la presencia de mangle y suelos orgánicos y rellenos en la parte superficial del subsuelo del sitio en estudio.

3.- Se deberá garantizar el colado continuo (monolítico) de cada pila para evitar juntas frías, no se recomienda el uso de acelerante de fraguado.

4.- Para el manejo del acero de refuerzo dentro de la pila de cimentación, debe colocarse refuerzo adicional, para formar "armaduras" que permitan su manipulación y traslado una vez armado, sin que presente deformaciones, movimientos o desplazamientos del acero de longitudinal o transversal.

5.- Para garantizar el recubrimiento a los armados en las pilas pueden utilizarse guías, construidas de acero de refuerzo liso, soldadas al armado, o bien espaciadores de concreto de plástico. Dicho recubrimiento tiene por objeto proteger al acero de refuerzo de los agentes adversos, atmosféricos o químicos del ambiente en el que va a estar trabajando el elemento de concreto, ya que algunos producen corrosión, poniendo en peligro la seguridad del elemento y la integridad de la estructura.

6.- Es importante que el agregado pase libremente entre los intersticios del acero de refuerzo, para que logre ocupar todo el volumen perforado para la pila, por lo que se recomienda que el tamaño máximo de no sea mayor a

2/3 partes de la abertura mínima entre el acero de refuerzo o del espesor del recubrimiento, lo que sea más pequeño.

7.- El procedimiento de colado mediante tubo Tremie emplea una válvula separadora que consiste en un tapón deslizante (diablo), esfera de polipropileno, o un atado de bolsas de vacías de concreto que; tiene como función evitar la segregación del concreto al iniciar el colado, ya que después el mismo concreto en el interior de la tubería se encarga de amortiguar las caídas evitando este efecto siempre busca colocar el concreto a partir del fondo de la perforación, dejando permanentemente embebido el extremo inferior de la misma; así, al avanzar el colado tiene lugar un desplazamiento continuo del lodo (o agua) manteniendo una sola superficie de concreto, que es la del primer volumen del concreto colado.

8.- Se recomienda colocar un concreto con un revenimiento mínimo de 17.5 cm, para garantizar la fluidez y trabajabilidad del concreto.

## 8.2 Conclusiones

La solución de cimentación recomendada para una estructura muy importante como lo es un hotel de Gran Turismo, debe ser recomendada por un especialista en mecánica de suelos con amplia experiencia, y considerando los resultados obtenidos de los ensayos de campo y laboratorio a muestras de suelo y roca de buena calidad obtenidas de sondeos mixtos, ya que los sondeos con avance controlado, sólo sirven para determinar la presencia de discontinuidades o cavernas pero en ningún caso para definir la profundidad de apoyo del cimiento, por lo que en este estudio, para determinar la capacidad de carga, dichos sondeos de avance controlado se combinaron con la determinación de la resistencia al corte medida de manera indirecta por medio del número de golpes obtenido en la prueba SPT.

Las recomendación de cimentación profunda de estudios de mecánica de suelos empleando sondeos de avance controlada indicaban pilas muy largas apoyadas en estratos profundos localizados generalmente a poco más de 20 m de profundidad, mientras que al realizar los sondeos mixtos y los ensayos de laboratorio correspondientes, fue posible establecer que la capacidad de carga requerida para las estructuras se lograba a mucha menor profundidad de desplante, generalmente no mayor de 12 m, por lo que la longitud de la cimentación se redujo en longitud y costo entre un 30% y un 50%, ahorrando al cliente una considerable suma de dinero, sin demeritar la calidad y seguridad de la estructura de cimentación empleada.

## 9 REFERENCIAS

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (2001). "Manual de Cimentaciones Profunda", ISBN 968-5350-05-1

Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., (2000), Mecánica de Suelos tomos I, II y III, Editorial: Limusa Willey.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (Julio de 1991). "Semana de la Geotecnia", Instituto Politécnico Nacional.

Ruiz Vázquez y González Huesca: "Geología aplicada a la ingeniería civil. Editorial Limusa.

Comisión Federal de Electricidad; Instituto de Investigaciones Eléctricas "Manual de Diseño de Obras Civiles" libro B.2.4.- Cimentaciones en Suelos.