

M. EN C. HUMBERTO CUEVAS OCHOA.



- DIRECTOR GENERAL GRUPO LAC. MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA.
- PROFESOR DE LA ACADEMIA DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA ESIA, ZACATENCO,

lac_mecanicadesuelos@yahoo.com.mx

Téfonos de oficina: 55 55 67 – 75 28, 55 55 67 – 75 16

WathApp 998 – 122 – 84 24



SOLUCIONES GEOTÉCNICAS EN LA RIVIERA MAYA

M. EN C. HUMBERTO CUEVAS OCHOA. DIRECTOR GENERAL GRUPO LAC. MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA.

M. EN I. NAYELLI ROSALES VILLEGAS. GERENTE DE GEOTECNIA. GRUPO LAC



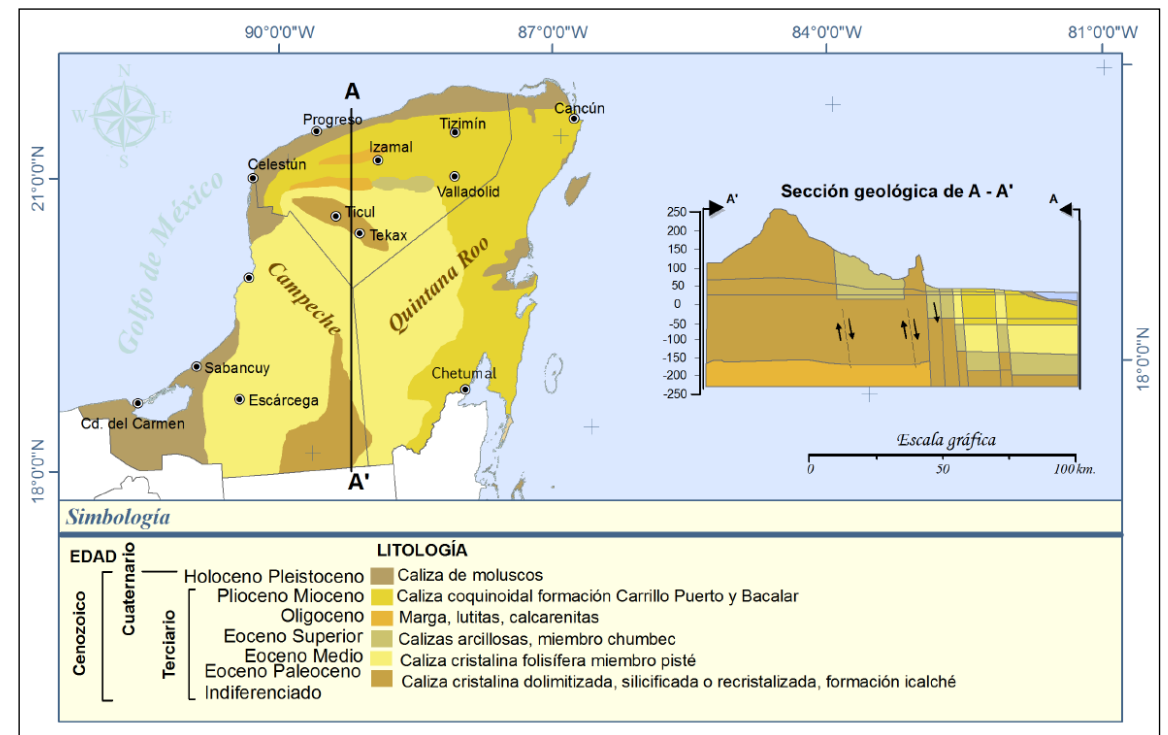
INTRODUCCIÓN.

- Debido a la geología errática y particular que se tiene la Península de Yucatán (Riviera Maya), geotécnicamente, se presentan diferentes problemas y retos que hacen que cada uno de los casos de estudio, tengan una solución única y particular, en lo que respecta a la cimentación y al proceso constructivo de la misma, siendo importante contar con un equipo de ingeniería con experiencia en la zona, con la finalidad de que las recomendaciones dadas, cumplan con los requisitos de seguridad necesarios para las estructuras de proyecto.
- Para entender la complejidad de la zona, es necesario identificar y conocer todos los aspectos relacionados con la geología y sus efectos en las propiedades geotécnicas de los suelos en la zona.



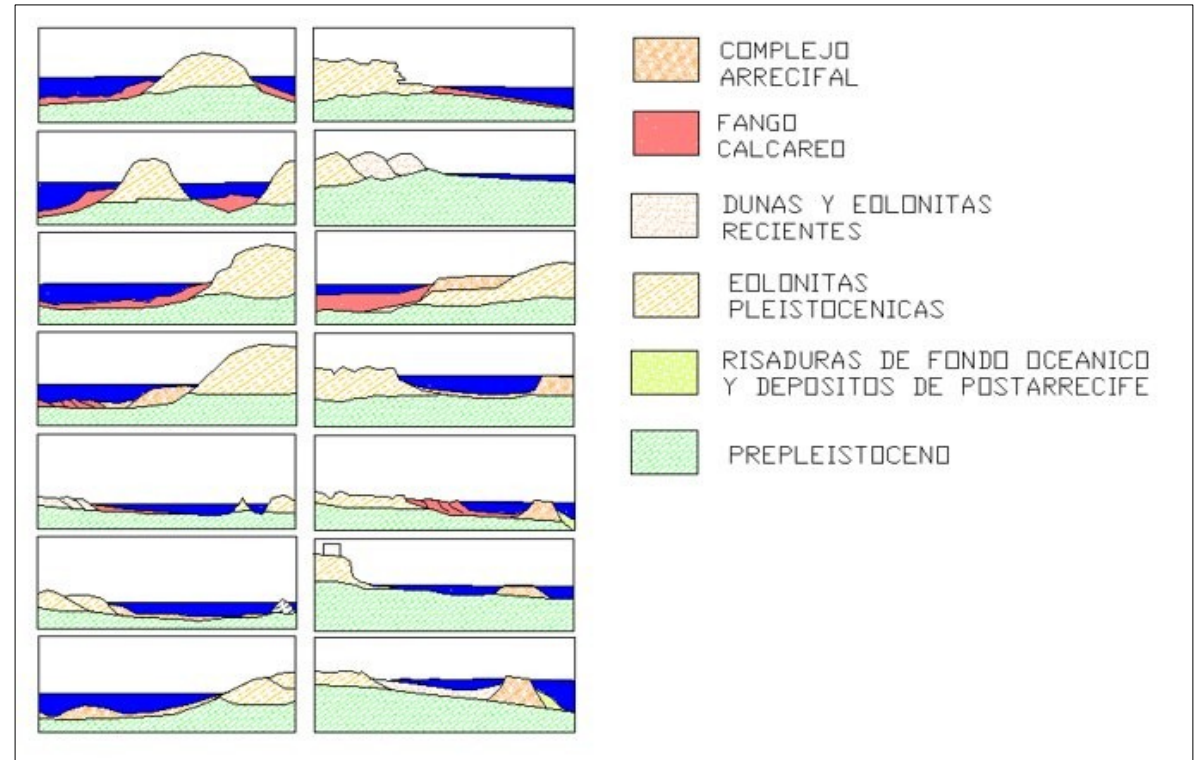
GEOLOGÍA DE LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

Las calizas en la superficie se encuentran formando una coraza calcárea o reblandecida; en ambos casos, resultado del intemperismo químico que las ha modificado en un grosor de varios metros. La coraza calcárea, conocida localmente con los nombres de laja o chaltún, es de extrema dureza y constituye la superficie del relieve en grandes territorios. También existen calizas blandas que llevan el nombre maya de sascab (tierra blanca). Constituyen un rasgo característico de la litología de la península, y representan una transición en la evolución de la roca dura original al reblandecimiento, para posteriormente transformarse en la cabeza calcárea; además, favorecen el desarrollo de las formas cársticas subterráneas. Este material corresponde a rocas sin consolidar.



GEOLOGÍA DE LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

- Las calizas presentan cavidades y conductos de disolución y varían desde pequeños poros hasta grandes cavernas. Los colapsos de los techos de las cavernas han dado lugar a depresiones redondeadas (dolinas) grandes y pequeñas, formando los cenotes.
- Existe una capa de turba y sedimentos finos que sobreyacen la mayor parte de los depósitos de esta zona, los cuales se caracterizan por ser suelos altamente orgánicos, de color negro, olor intenso a materia orgánica en estado de putrefacción, de apariencia esponjosa y textura fibrosa



INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

- Los trabajos de investigación geotécnica en la Riviera Maya, deben estar enfocados a:
 1. Identificar cavernas y oquedades,.
 2. Definir los contactos de suelo – roca
 3. Determinar el grado de alteración de la roca existente en el lugar, para poder cuantificar adecuadamente la resistencia al esfuerzo cortante de la roca caliza.

INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

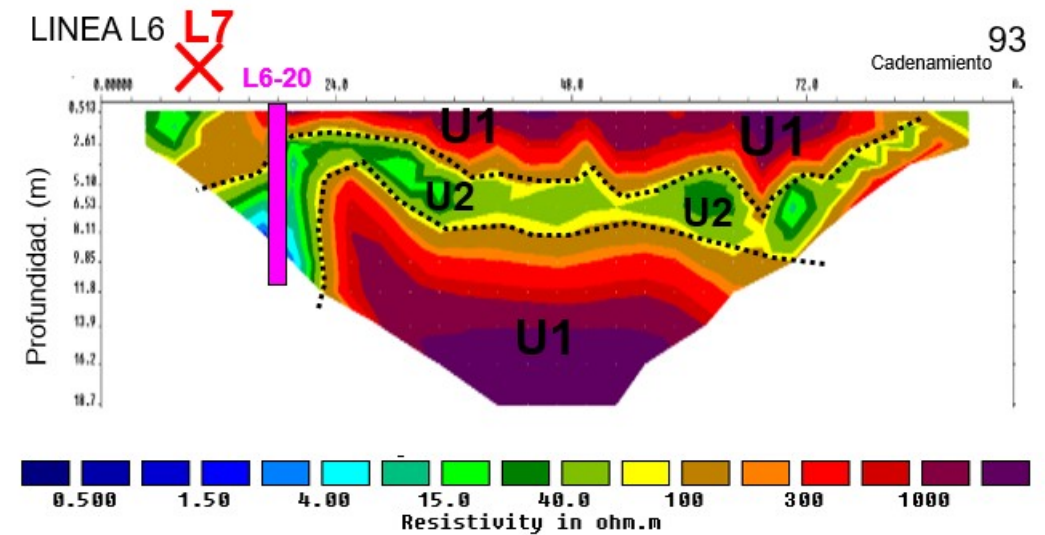
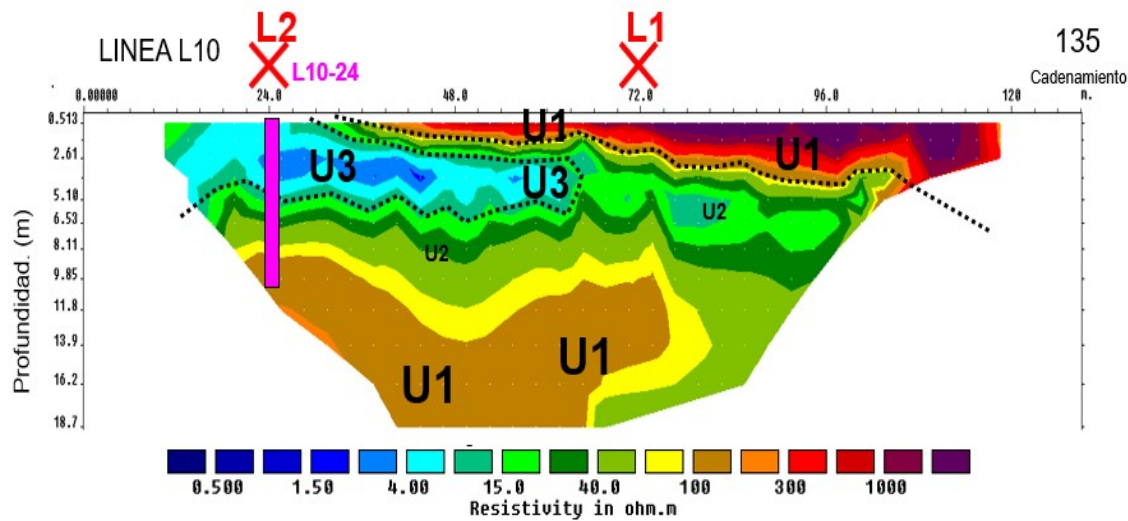
- El principal objetivo es obtener la mayor información general del sitio, con el fin de realizar una interpretación a priori de los problemas que pueden presentarse en el diseño y construcción de la cimentación de una estructura, identificando con información documental existente y con un recorrido al sitio, los afloramientos de roca, presencia de turba, buscando la presencia de dolinas (hundimientos) superficiales o cualquier otro indicio de cavidad.
- En esta etapa, es recomendable realizar estudios geofísicos, cuyo objetivo sea identificar cavidades y corrientes de agua subterránea, éstos estudios sirven de base para definir la ubicación, y el tipo y número de sondeos, para la etapa de exploración a detalle.



INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

INVESTIGACIÓN PRELIMINAR, RESULTADOS GEOFÍSICOS

Perfiles geofísicos con el método polo - dipolo



CLASIFICACION GEOFISICA		
UNIDAD GEOFISICA	INTERVALO RESISTIVO	POSSIBLE CORRELACION
U1	300 a 1000	MATERIAL MUY COMPACTO Y DURO. PRESENTA ZONAS LOCALES Y AISLADAS DE ALTA RESISTIVIDAD QUE PUEDE ATRIBUIRSE A MATERIAL MUY DURO, O TAMBIEN A ZONAS MAS POROSAS O PEQUENAS CAVIDADES POR ARRIBA DEL NIVEL DE SATURACION.
U2	15 a 100	MATERIAL DE RESISTIVIDAD MEDIA A BAJA, SE ATRIBUYE ESTA DISMINUCION A UN CAMBIO A ROCA CALIZA DURA Y COMPACTA, Y EN ZONAS DE RESISTIVIDADES MENORES A LA PRESENCIA DE AGUA.
U3	0.5 a 15	ZONAS DE RESISTIVIDADES BAJAS SE ATRIBUYE A LA PRESENCIA DE AGUA EN CAVIDADES, O NIVEL DE SATURACION, EN ALGUNAS ZONAS CORRESPONDE CON LA ZONA DE MANGLE.

CRUCE DE LINEA

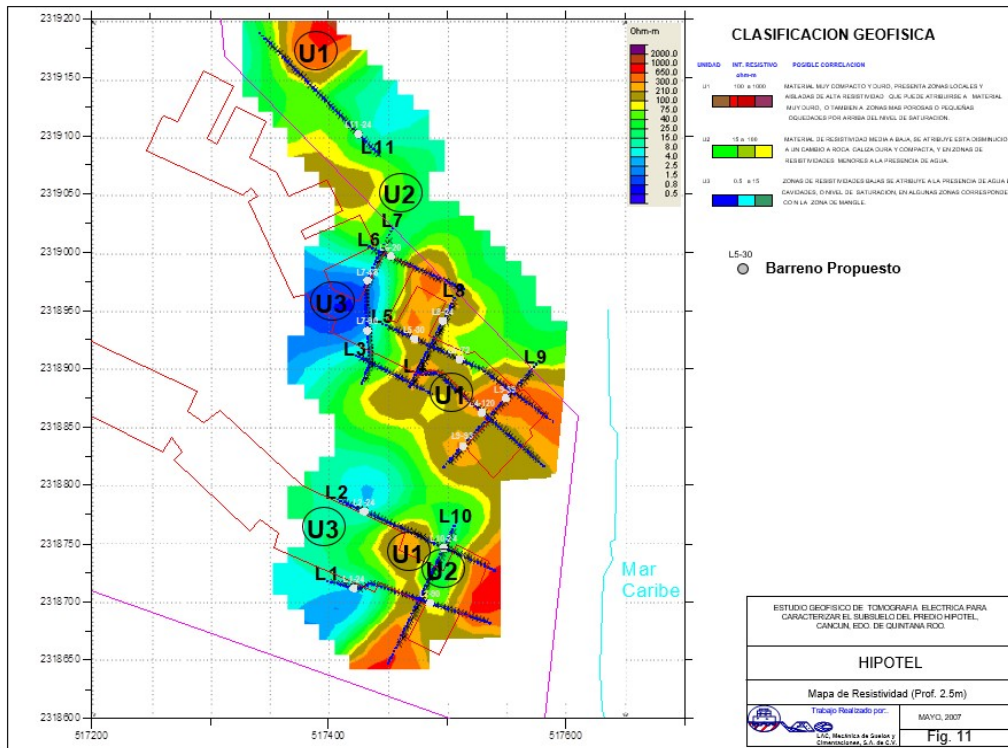
L10 X L1-70

BARRENIO PROPUUESTO

INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

INVESTIGACIÓN PRELIMINAR, RESULTADOS GEOFÍSICOS

Unidades en planta



- Una buena interpretación de la exploración geofísica realizada en el sitio, nos puede generar una microregionalización, identificando áreas en donde la estratigrafía presenta mayor numero de anomalías o en donde se sospecha de cavidades.
- En este caso, se pueden observar la huella de los edificios (en línea roja), en azul, zonas de baja resistencia, posibles cavidades o material suelto saturado, las zonas verde a café, son áreas de resistencia baja a media, posiblemente caliza muy fracturada o sascab suelto, los colores rojo a café zonas de resistencia media a alta, indicando caliza sana o poco fracturada o suelos compactos.
- Los puntos en gris, son sondeos propuestos.

INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

INVESTIGACIÓN DE DETALLE.

- La campaña de exploración debe contemplar la ejecución de sondeos tipo mixto con muestreo alterado e inalterado (penetración estándar y barril de diamante) para identificar la compacidad de los suelos (sascab) y el estado de alteración de la roca (caliza), obtener muestras para determinar propiedades índice y mecánicas en laboratorio.



INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

INVESTIGACIÓN DE DETALLE.

- Y sondeos sin muestreo (de avance controlado), para identificar la compacidad de los suelos y el contacto entre el suelo y la roca; en ambos casos, se identifica la presencia de cavidades, grietas u oquedades.
- Una buena campaña de exploración, contempla ambos tipos de sondeos, de manera general, se considera un sondeo mixto por cada cuatro sondeos de avance controlado.



INVESTIGACIÓN GEOTÉCIA EN LA ZONA DE LA RIVIERA MAYA.

INVESTIGACIÓN DE DETALLE.

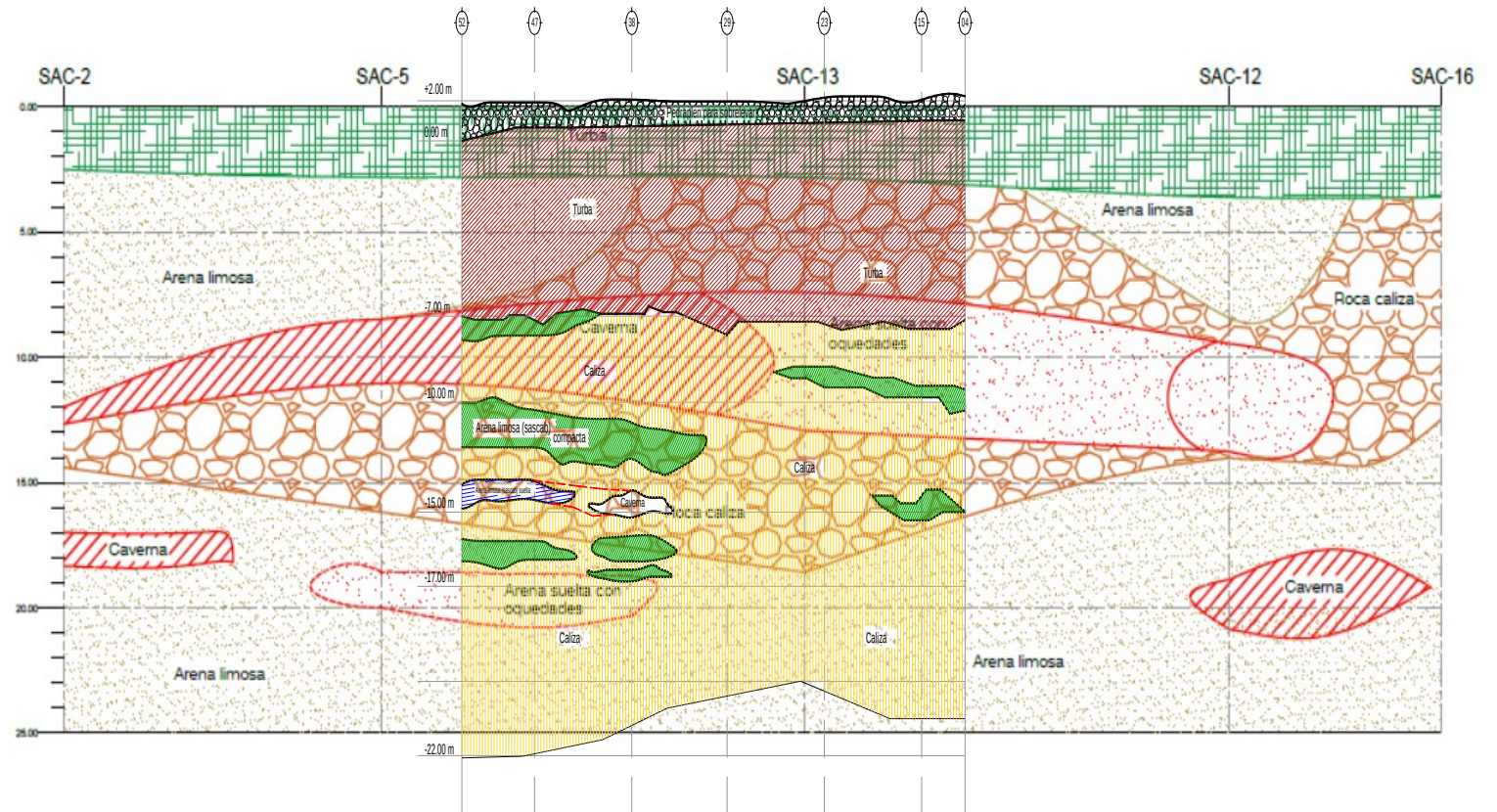
- Las muestras de suelo obtenidas en campo, mediante los sondeos mixtos, se trasladan al **laboratorio de suelos**, para realizar las pruebas para identificar las propiedades índice y mecánicas de los materiales encontrados en el sitio.
- En laboratorio se identifica el grado de alteración de la roca caliza, el estado general de los barrenos obtenidos, la variación de la resistencia a la compresión simple y el RQD de la roca.



Muestras de caliza del mismo sondeo a diferentes profundidades.

TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE.

- Los resultados de campo y laboratorio, generan perfiles y cortes estratigráficos, en los cuales se identifican cavidades, cavernas, zonas de disolución, contacto entre suelo – roca, espesor de la capa superficial de suelo, espesores de suelo orgánico (turba).



TRABAJO DE LABORATORIO Y GABINETE.

- **Presencia de suelo altamente orgánicos (turba).** Se observan principalmente en las zonas cercanas a los manglares; la turba, al tener una gran cantidad de materia vegetal, no sirve como suelo de desplante y dado su origen, no se le pueden asignar propiedades índice y mecánicas, además, es altamente corrosivo, por lo que el concreto y el acero, sufren daños importantes cuando se encuentra en contacto con este tipo de material.

Por lo anterior, se recomienda retirarlo de la zona de desplante de las estructuras y confinarlo para evitar que éste esté en contacto con las estructuras de proyecto.



TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE.

- **Carsticidad de suelos.** Los flujos subterráneos aceleran los procesos de carsticidad en los suelos, generando zonas de disolución que al mediano plazo pueden acelerar la formación de oquedades y cavernas, lo que produce cambios en la estratigrafía y por lo tanto en las condiciones de desplante de la estructura.

Es evidente que este efecto no se puede medir en cuanto a área de afectación, ni determinar en qué tiempo se puede presentar el efecto, sin embargo, una buena interpretación de los sondeos y de la estratigrafía, ayudan a tomar las medidas de seguridad necesarias para mantener la integridad de las estructuras, las cuales pueden ser desde mayor profundidad de desplante, cambios en el sistema de cimentación a usar, modificaciones del proyecto arquitectónico para generar una redistribución de cargas en la estructura y por lo tanto, en los esfuerzos en la masa de suelo.



TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE.

- **Presencia de cavernas y oquedades.** Las cavernas y oquedades son comunes en la zona, muchas de ellas están conectadas y en otras tantas pasan flujos de agua subterráneos que desembocan en el mar o en lagos subterráneos (cenotes).

La presencia de cavernas y oquedades, no solo influye directamente en la propuesta de cimentación, sino también en el procedimiento constructivo de la cimentación, siendo de vital importancia verificar los siguientes aspectos:

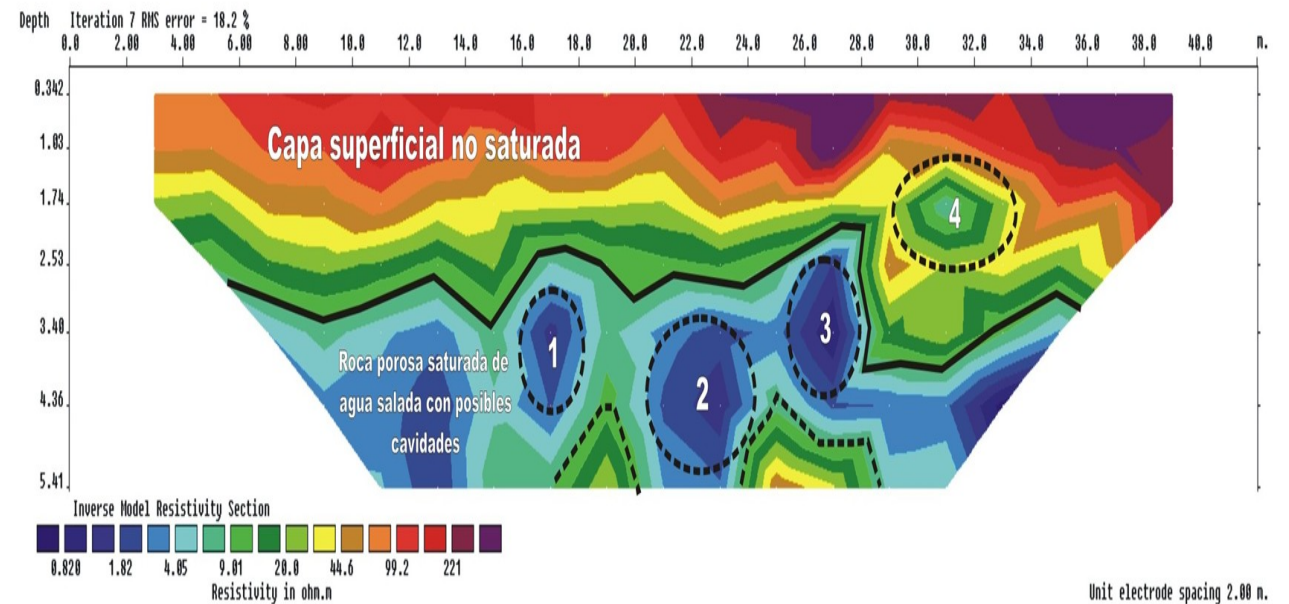
TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE.

- **Presencia de cavernas y oquedades.** Las cavernas y oquedades son comunes en la zona, muchas de ellas están conectadas y en otras tantas pasan flujos de agua subterráneos que desembocan en el mar o en lagos subterráneos (cenotes).

La presencia de cavernas y oquedades, no solo influye directamente en la propuesta de cimentación, sino también en el procedimiento constructivo de la cimentación, siendo de vital importancia verificar los siguientes aspectos:

TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE.

- Las dimensiones de la cavidad (largo, ancho, altura).
- La ubicación de la caverna, con respecto a la cimentación de la estructura.
- El porcentaje del esfuerzo generado por la estructura que llega al techo de la caverna.
- Si existe flujo de agua al interior de las cavidades.



TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE.

- **Temperaturas altas de vaciado y fraguado de concreto.** Esta condición obliga a la colocación de aditivos al concreto para contrarrestar los efectos de las altas temperaturas en la zona sobre el concreto, lo que requiere, una supervisión constante durante los procesos de vaciado de concreto y curado, verificando que se alcance la resistencia de proyecto.

Para lo anterior, se recomienda realizar las pruebas de control de calidad del concreto, necesarias para garantizar la calidad del concreto y por lo tanto de los elementos estructurales en donde éste se coloque.



RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

- Debido a las condiciones geológicas y estratigráficas de la zona, cada una de las soluciones geotécnicas dadas a cada uno de los proyectos, es única; ya que, en cada uno de los casos las condiciones de diseño y las recomendaciones para la construcción de dichas estructuras, se ajustarán a las condiciones que se observan en el sitio, es por eso que es de suma importancia que los estudios geológico - geotécnicos, reflejen las condiciones de la masa de suelos en el sitio.
- En cuanto a diseño geotécnico, lo más importante es seleccionar adecuadamente las propiedades de la masa de suelo, el cual debe reflejar la compacidad de los estratos de suelo y la calidad de la roca caliza, indicando su nivel de fracturamiento y alteración, una mala caracterización del modelo geotécnico, puede derivar en una solución de cimentación muy robusta porque los parámetros fueron muy conservadores o en el otro extremo, es decir, una cimentación poco segura porque los parámetros usados son “altos” para las características reales de la suelos.

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PILAS

- En el diseño de pilas de concreto armado coladas en sitio, se debe tener especial cuidado en las propiedades a usar para la capacidad de carga admisible, sobre todo en la punta, ya que los parámetros de la roca caliza se ven alterados de manera importante conforme se encuentra muy fracturada o sana, lo que genera variaciones importantes en la capacidad de carga y en el comportamiento en conjunto del suelo y la cimentación.
- De manera general, se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para la construcción de elementos profundos:

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

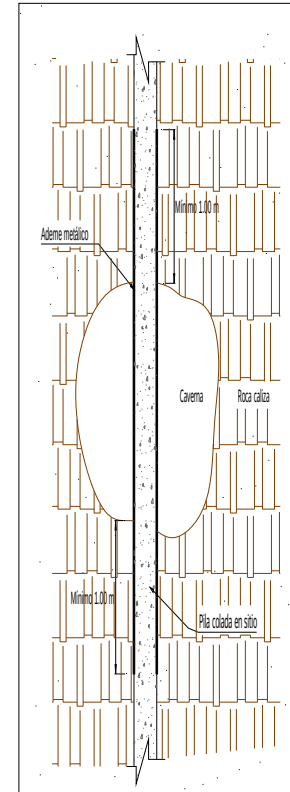
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PILAS

- Para garantizar la capacidad de carga, y asegurar que la punta de la pila, no penetre el estrato de roca y por lo tanto falle la cimentación, será necesario realizar en todos los puntos de apoyo de una pila.
- Se requiere verificar un espesor mínimo de 6.0 m, para garantizar la seguridad e integridad de la pila.
- En caso de que no se identifique dicho espesor, se modificará la profundidad de desplante y el diámetro de la pila, adecuando el elemento a la profundidad necesaria para dar el espesor de roca requerido, verificando la capacidad de carga admisible, y en caso de que este nuevo arreglo no se alcanza la capacidad de carga necesaria en el nodo,, se podrán colocar dos o más pilas para que éstas trabajen en conjunto.
- En caso de que no se cuente con parámetros de diseño para la nueva pila, se realizarán un sondeo de penetración estándar para verificar el análisis de capacidad de carga.
- Se llevará una bitácora por cada una de las pilas construidas, anotando: diámetro, profundidad de desplante, volumen de concreto, y las posibles eventualidades presentadas (si requirió ademe, a que profundidad, si hubo perdida de concreto, si fue necesario modificar su profundidad de desplante o el diámetro, si se realizó sondeo adicional, etc.).
- Al realizar la perforación para la construcción de la pila, se verificará que la estratigrafía coincida con la reportada en los sondeos, en caso de que existan variaciones importante, será necesario hacer un nuevo sondeo en ese punto, así como los análisis geotécnicos correspondientes.

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PILAS

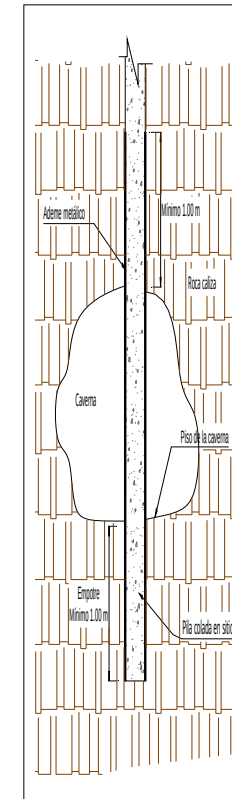
- En caso de identificar una caverna, será necesario colocar ademe metálico. El ademe debe cubrir el ancho de la caverna más un metro hacia cada lado.



RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PILAS

- En caso de que la pila quede desplantada sobre el piso de una caverna, la pila deberá empotrarse al menos 1.0 m por debajo del piso de la caverna, además, se deberá verificar que la roca por debajo del elemento es de al menos 6.00 m, para lo que se deberá realizar un sondeo de avance controlado en la punta del elemento para verificar el espesor del piso de la caverna.



RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

HINCADO DE PILOTES

Es importante destacar que, el uso de pilotes prefabricados de concreto o de acero, está limitado, por las siguientes razones:

- En caso de que exista una caverna, se puede perder o romper el pilote.

En caso de que esto suceda, en ese punto ya no se puede hincar otro pilote, lo que obliga a realizar un nuevo arreglo de pilotes.



Perforación previa para el hincado de pilotes

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

HINCADO DE PILOTES

- No se puede confiar en la técnica “del rechazo” o “rebote” del elemento para garantizar que la punta del pilote queda desplantada sobre roca sana.
- Dadas las condiciones estratigráficas de la zona, es complicado mantener la verticalidad de los elementos durante el hincado, ya que la caliza fracturada puede formar desde estratos “de grava de caliza”, hasta encontrarse con boleos y pequeños bloques de caliza que desvíen el pilote.

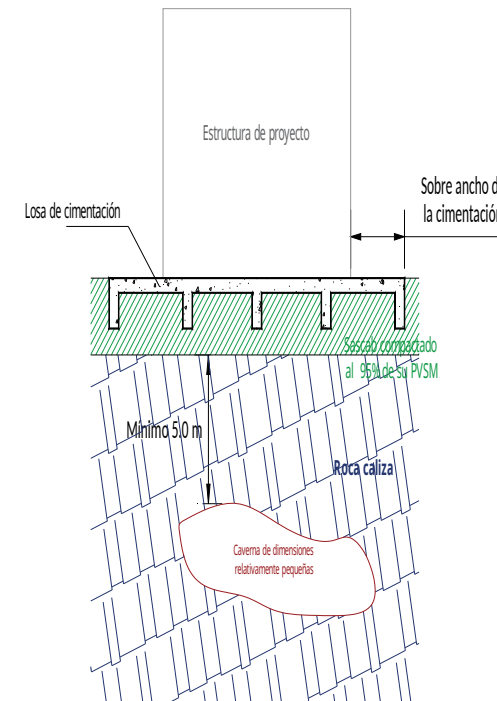


Hincado de pilotes

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

- Cuando las estructuras permiten el uso de una cimentación superficial, sin embargo existen cavidades cercanas al nivel de desplante, se debe:
 - a. Evaluar el porcentaje de esfuerzo que le llega al techo de la caverna.
 - b. Realizar una redistribución de cargas, colocando las áreas de menor peso en las zonas de cavernas
 - c. Buscar ampliar el área de desplante antes de cambiar a una cimentación profunda.



CONCLUSIONES.

- Es necesario entender la geología de la Península de Yucatán, para así poder entender los fenómenos que en ella ocurren, el porqué de las condiciones geológicas que se presentan en la zona, y los efectos que tiene en las obras de proyecto, es decir, la geología en esta zona del país es cambiante, y sigue modificándose con el paso el tiempo.
- Es de vital importancia realizar estudios geofísicos y de mecánica de suelos y rocas en la zona de la Riviera Maya, a detalle, con la finalidad que la propuesta de cimentación sea la más adecuada al proyecto y a las condiciones de desplante.

CONCLUSIONES.

- La seguridad e integridad de una estructura, depende en gran medida de la calidad de la información entregada para el análisis de la cimentación, por lo que es necesario verificar que la propuesta de cimentación se basa en información obtenida con los métodos de exploración adecuados y en cantidad suficiente, que se realizaron las pruebas de laboratorio necesarias y que los perfiles y cortes estratigráficos reflejan las propiedades índice y mecánicas reportadas en el modelo geotécnico.
- La inversión realizada en la ejecución de los estudios geotécnicos necesarios, no es un dinero “mal gastado”, un buen estudio puede ahorrar miles de pesos en la selección de la cimentación y en los procedimientos constructivos propuestos para la obra de proyecto.





GRACIAS POR SU ATENCIÓN.

M. EN C. HUMBERTO CUEVAS OCHOA
DIRECTOR GENERAL GRUPO LAC