



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO EN LA
PENÍNSULA DE YUCATÁN Y CIMENTACIONES
SOBRE ROCA CALIZA”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

FRANCISCO AUGUSTO SANTIAGO SIERRA

DIRECTOR DE TESIS

M. I. AGUSTÍN DEMÉNEGHI Y COLINA



México D.F. Ciudad Universitaria 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“CARACTERÍSTICAS DEL
SUBSUELO DE LA
PENÍNSULA DE YUCATÁN
Y CIMENTACIONES
SOBRE ROCA CALIZA”*

TEMA “CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN Y CIMENTACIONES SOBRE ROCA CALIZA”

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I. GEOLOGÍA HISTÓRICA Y CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO

I.a Origen de las Geoformas

I.b La Evolución Kárstica

I.c Cenotes y ríos subterráneos

II. EL SUBSUELO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

II.a El Subsuelo en la Geografía actual

II.b Sistema Carso – Tectónico

II.c Mapa Geomorfológico

II.d Sistema Fluvio Palustre

II.e Sistema Litoral

III. EL SUBSUELO EN EL LITORAL CANCÚN-RIVIERA MAYA

III.a Zonificación

III.b La roca caliza

III.c La Zona Alta

III.d La Zona Baja (Cancún – Riviera Maya)

IV. PRUEBAS DE LABORATORIO AL SUBSUELO CALIZO

IV.a Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán

IV.b Prueba de laboratorio a la roca caliza no consolidada (Sascab)

IV.c Prueba de laboratorio a rocas calizas (coquina suave, laja crema, laja roja)

IV.d Estudio de mecánica de suelos para conjunto de edificios departamentales

V. CIMENTACIONES EN SUBSUELO CALIZO EN EL LITORAL RIVIERA MAYA

V.a Casas de interés social

V.b Casa Habitación 2 niveles nivel medio

V.c Casa Habitación Nivel residencial de lujo

V.d Nave Industrial

V.e Edificio de departamentos frente a la costa

V.f Cimentaciones profundas

V.g Problemas con cavernas y suelos fangosos

V.h Observaciones y comentarios a la reglamentación de construcción local

VI. CONCLUSIONES

APÉNDICES

A.1 Artículo del periódico La Jornada “Se descubre el río subterráneo mas largo del mundo en la Riviera Maya”

A.2 Visita Planta de agregados Calica

A.3 Estudio de mecánica de suelos para conjunto de edificios departamentales

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCIÓN

La Península de Yucatán, es una porción septentrional de Mesoamérica, que divide el Golfo de México del Mar Caribe en el extremo sur de América del Norte y la parte norte de América Central, con un territorio de aproximadamente 160,000 km². La integran los estados mexicanos de Yucatán, Quintana Roo y Campeche. Sus demarcaciones limítrofes son: al suroeste la desembocadura del río Champotón en el estado de Campeche; al noroeste el río Celestún y el puerto de Sisal en el estado de Yucatán; al noreste Cabo Catoche y al sureste la Bahía de Chetumal en el estado de Quintana Roo. En la mayoría de este territorio, con excepción de la parte sur y los litorales, el subsuelo esta compuesto por roca caliza muy dura, carente de ríos y de montañas importantes, convirtiéndose prácticamente en una planicie en la que el agua, para volver al mar, rompe brecha en el subsuelo una vez alcanzado el manto freático, formando cavidades interiores conocidas como cenotes, ríos subterráneos, y gran actividad kárstica; siendo estas formaciones características de la disolución de roca caliza mas adelante analizados, los antiguos pobladores, los mayas, usaron estos como reserva vital de agua.

Un dato relevante es que en la porción norte del litoral, a unos 7 km al oriente del Puerto de Progreso, se encuentra una pequeña población veraniega y de pescadores llamada Chicxulub en donde se estima que cayó un meteorito gigantesco denominado Baptistina, hace 65 millones de años, que formó un cráter gigantesco de aproximadamente 180 km de diámetro y que tuvo entre otras consecuencias desastrosas, la desaparición de los dinosaurios de la faz de la tierra.



Cráter Chicxulub y Anillo de Cenotes

En su mayoría las muestras de suelo y cimentaciones presentadas en esta tesis estarán ubicadas en las ciudades de mayor auge económico y demográfico de la península de Yucatán siendo estas Mérida, Cancún y Playa del Carmen.

El enfoque primordial de este trabajo será guiado hacia la zona turística conocida como corredor Cancún-Riviera Maya, situado a lo largo del Mar Caribe en el Estado de Quintana Roo, México. Geográficamente se extiende a lo largo del litoral con una longitud mayor a los 200 km, desde la localidad de la isla de Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Tulúm hasta la localidad de Punta Allen al sur. Actualmente se han convertido en el destino turístico más importante de México y uno de los más visitados a escala internacional, por este motivo y por el impacto económico que tiene esta zona se ha incrementado en gran manera el desarrollo urbano, convirtiéndose en el lugar de mayor crecimiento poblacional en los últimos años, crecimiento que conlleva la creación de nueva infraestructura como caminos, vivienda y servicios para satisfacer las necesidades de la población que comienza a desarrollarse en la región, principalmente en la ciudad de Playa del Carmen considerada la capital de la Riviera Maya.

El siguiente mapa muestra la ubicación de la zona de principal estudio:



En esta tesis el objetivo principal es conocer el tipo de subsuelo existente en esta región enfocado a la ingeniería civil, dando un panorama del tipo de retos que habrá que enfrentar al diseñar una estructura en esta zona, primeramente como se marca en el índice será necesario indagar sobre la geología del lugar, a través de un marco histórico de la Península y su proceso formativo, analizando los tipos de subsuelos predominantes en este territorio, su formación, propiedades físicas, químicas, sistemas tectónicos, así como un aspecto importante a considerar será el tipo de mantos acuíferos existentes.

Con esta información Geológica el lector se familiarizara con las rocas, minerales y procesos que han transformado al subsuelo desde etapas ancestrales hasta la fecha. Los aspectos geológicos, evolutivos y de formación así como las características físicas y químicas del subsuelo abarcará la mayor extensión teórica en este trabajo ya que es el preámbulo a efecto de conocer los subsuelos actuales, los de mayor predominio, zonificación actual, comportamiento ante agentes naturales como lluvia, viento, tectonismo, pruebas de laboratorio, etc. y principalmente saber si son factibles o no para la construcción.

Cabe mencionar que en este trabajo se empleará con frecuencia los nombres regionales dados a los diferentes tipos de subsuelo, y será pertinente presentar información de las zonas protegidas dando una breve descripción de los subsuelos que no son factibles para la construcción, ya que en esta zona se puede encontrar gran diversidad de subsuelos, características y formaciones que solo la naturaleza le pudo brindar a la península de Yucatán, única en el mundo.

Ya con la perspectiva general del tipo de subsuelos, procesos formativos y pruebas de laboratorio realizadas al subsuelo, el trabajo se encaminará al tipo de edificación e infraestructura que se puede encontrar en la zona, por consiguiente se hará la descripción de las cimentaciones comúnmente empleadas, detectando a que agentes naturales se enfrentarán, analizando su comportamiento en la zona, y con estos datos conocer la justificación de su diseño.

Conociendo las cimentaciones comunes en la región y su comportamiento, se realizará una revisión a la legislación y normatividad de construcción regional dando un punto de vista crítico si se considera necesario a dicho reglamento.

Toda la información e investigación realizada para este trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Civil proviene de bibliografía especializada en el tema, se realizaron las visitas necesarias en campo, oficinas gubernamentales, Constructoras, Universidades, Empresas dedicadas a estudios de mecánica de suelos, artículos de Internet, etc. agradeciendo a todos ellos el préstamo de información para poder realizar este trabajo, esperando que pueda ser útil a aquellos que tengan interés en conocer el subsuelo de la Península de Yucatán y en especial va enfocada a los compañeros Ingenieros interesados en construir en el litoral Cancún - Riviera Maya.

Con estos prolegómenos a manera de introducción se considera pertinente comenzar con el primer tema de esta tesis que abarcará la Geología histórica y características del subsuelo de la Península de Yucatán.

CAPÍTULO I “GEOLOGÍA HISTÓRICA Y CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO”

I.a ORIGEN DE LAS GEOFORMAS

Durante el Cretácico (último periodo de la era Mesozoica) la Península de Yucatán estuvo cubierta por mares someros, es decir mares de poca profundidad sobre los que se acumularon importantes espesores de carbonatos y evaporitas, que a su vez dieron origen a las calizas, dolomitas y yesos. Posteriormente a partir del periodo Eoceno, se originaron una serie de eventos geológicos que determinaron la geomorfología actual y por lo tanto el ambiente físico-geográfico de la Península.

Con esta estructura geomorfológica da inicio la era Cenozoica en su periodo Terciario, siendo este el periodo donde se estudian los cambios geológicos para la zona en estudio de esta tesis, ya que es la última era geológica y la que sigue transcurriendo en la actualidad, también es la era en la que la tierra sufrió el mayor cambio en su estructura geológica como el movimiento de continentes, formación de estructuras montañosas, las grandes cordilleras, etc.

ERA	PERIODO	LÍMITES TEMPORALES APROXIMADOS (años)		FORMAS DE VIDA ORIGINADAS
		EPOCA		
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente u holoceno	10.000	Seres humanos 
		Pleistoceno	2.500.000	
	TERCIARIO	Plioceno	12.000.000	Mamíferos rumiantes y carnívoros 
		Mioceno	26.000.000	
		Oligoceno	38.000.000	
MESOZOICO	Cretácico	Eoceno	54.000.000	Primates - Plantas con flor  Aves  Dinosaurios - Mamíferos 
		Jurásico	195.000.000	
		Triásico	225.000.000	
PALEOZOICO	Pérmico	CARBONÍFERO	280.000.000	Reptiles - Bosques de helechos  Anfibios - Insectos  Plantas terrestres vasculares 
			320.000.000	
	Devónico	Ordovícico	345.000.000	Peces - Cordados  Crustáceos - Trilobites 
			390.000.000	
			430.000.000	
	Silúrico	Cámbrico	500.000.000	Crustáceos - Trilobites 
			570.000.000	
PRECÁMBRICO			700.000.000	Algas  Células eucarióticas Células procarióticas
			1.500.000.000	
			3.500.000.000	
			4.650.000.000 + Formación de la Tierra	

En el periodo Eoceno (54 a 38 millones de años) un proceso orogénico (proceso que da origen a las cadenas montañosas) en el sur de la Península, plegó los recién formados estratos de calizas y produjo un relieve ondulado. A finales del periodo Oligoceno, éste relieve fue sometido a una fuerte erosión en los materiales dolomíticos del cretácico.

Durante los periodos Mioceno y Plioceno se originan sistemas de fracturas: uno con orientación NE-SO, cuyas expresiones se observan a lo largo del cauce del Río Hondo; y otro con orientación NO-SE, a lo largo de la “Sierra Ticul”. En el Mioceno Medio, la Península experimentó un hundimiento que favoreció la posterior precipitación de carbonato de calcio durante el Plioceno, conformando su porción septentrional.

La zona costera de la Península presentó los mayores cambios durante el Pleistoceno, debido a la inestabilidad climática ocasionada por las glaciaciones y los periodos interglaciares. Se han encontrado tres eventos geológicos que determinaron la configuración actual:

La estabilización de la línea de costa del Pleistoceno durante el periodo interglaciar Sangamon en 5 y 8 m sobre el nivel del mar, hace aproximadamente 80 000 años. El norte de la ciudad de Mérida estuvo inundada por un mar somero; se formaron las ondulaciones de playa a lo largo de la línea de costa que se asocian con los actuales humedales costeros.

El descenso de 130 m del nivel del mar durante la glaciación del Wisconsin, cuando la plataforma marina fue expuesta a procesos terrestres y atmosféricos y sujeta a la erosión de valles y cuencas, así como la sedimentación en planicies y deltas; estableciendo el estado geológico para el desarrollo de modernas lagunas costeras.

Durante la trasgresión del Holoceno, alrededor de 10000 años atrás, el nivel del mar disminuye llegando a un nivel de 3 a 4 m por debajo del nivel actual; comenzando el depósito de sedimentos carbonatados del cuaternario en las áreas costeras actuales.

Tales eventos generaron procesos endógenos y exógenos sobre la superficie terrestre. Explicando los procesos anteriores la actividad endógena es la creadora de las deformaciones internas de la superficie terrestre, y su estudio es fundamental para conocer la disposición estructural del relieve y distribución litológica; los procesos exógenos nivelan el relieve mediante la erosión de las elevaciones y acumulación o rellenos de sedimentos en las depresiones. Los procesos y sus modalidades de degradación, denudación, remoción, corrosión y sedimentación de la superficie terrestre se llevan a cabo bajo condiciones ambientales determinadas primordialmente por el clima.

El relieve y el clima conducen a determinados sistemas de denudación-erosión-acumulación-corrosión, como el dominio de algunos de ellos, quedando como procesos secundarios los restantes.

I.b LA EVOLUCIÓN KÁRSTICA

El modelo de evolución Kárstica o evolución del relieve propuesto por Ground (1914) Y Cvijic (1918) plantea cuatro etapas de evolución lineal para ambientes húmedos (templados y tropicales), con espesores importantes de rocas carbonatadas y bajo un solo periodo continuo de levantamiento tectónica. Aunque en sentido estricto las etapas son lineales y no tienen un nombre, para este trabajo se les ha denominado: reciente, juventud, madurez y tardía de relictos (Fig. 1).

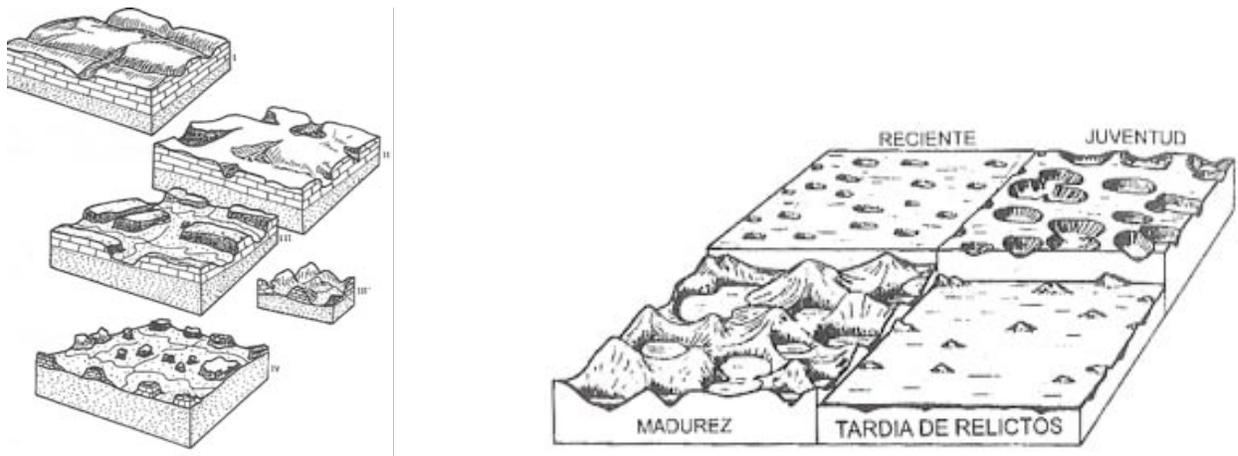


Fig. 1 evolución del Karst tropical

Antes de continuar se puede hacer la pregunta ¿qué es el karst?, para continuar y entender lo que se menciona en el párrafo anterior y en los subsecuentes se definirá el termino karst:

Karst ((del alemán *Karst*): *meseta de piedra caliza*), carst o carso se conoce a una forma de relieve originado por meteorización química de determinadas rocas (como la caliza, dolomía, aljez, etc.) compuestas por minerales solubles en agua.

Su nombre se debe a la región del *Karst* o -en italiano- "Carso", ubicada en el extremo noreste de Italia, y el oeste de Eslovenia y Croacia; siendo esta una región caliza donde se avanzó notablemente en el estudio del fenómeno.

Un Karst se produce por disolución indirecta del carbonato calcio de las rocas calizas, debido a la acción de aguas ligeramente ácidas. El agua se acidifica cuando se enriquece en dióxido de carbono, por ejemplo, cuando atraviesa un suelo y reacciona con el carbonato, formando bicarbonato, que es soluble, hoy en día un factor importante para la acidificación del agua es la contaminación atmosférica y en los suelos donde hay presencia humana, provocando que al infiltrarse el agua en el subsuelo, esta contiene gran cantidad de contaminantes que a su vez la acidifican y promueven la disolución de los subsuelos o actividad Kárstica. No toda la actividad de disolución es provocada por aguas ácidas, hay otro tipo de rocas, las evaporitas, por ejemplo el aljez, que se disuelven sin necesidad de aguas ácidas. Las aguas superficiales y subterráneas van disolviendo la roca y creando galerías o cuevas que, por hundimiento parcial forman dolinas (en la Península de Yucatán conocidos como cenotes) y por hundimiento total, forman cañones.

Las sales disueltas en el agua puede volver a cristalizar en determinadas circunstancias, por ejemplo, al gotear desde el techo de una cueva hasta el suelo se forman estalactitas y estalagmitas si el crecimiento de la cristalización es desde el suelo, la unión de estas dos formaciones anteriores se les conoce como columnas, si se estanca en una cavidad, se pueden formar geodas.

Existen otras muchas formas Kársticas según si estas formas se producen en superficie o por el contrario son geomorfologías que aparecen en cavidades subterráneas (Fig. 2). En el primer caso se denominan exocársticas (lapiaces, poljés, dolinas, uvalas, surgencias, cañones, etc.) y en el segundo endocársticas (simas, sumideros, sifones, etc.)



Aljez



Roca Caliza

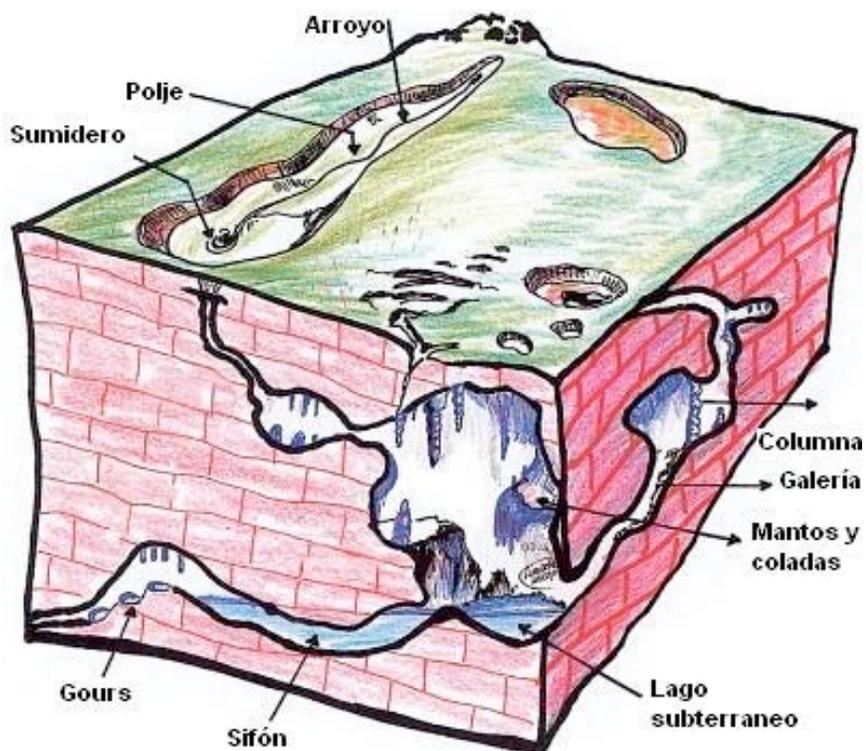


Fig. 2 Geomorfologías Endocársticas y Exocársticas

Con la definición de la actividad Kárstica de los párrafos anteriores se podrá entender con mayor claridad el estudio del relieve kárstico de la península de Yucatán, que es uno de los lugares más importantes en el mundo donde este fenómeno tiene actuación.

Debido a que la mayor parte de la Península de Yucatán se encuentra cubierta por selvas tropicales primarias y secundarias, y no se dispone de evidencias visibles de karst desnudo, el indicador mas significativo para diferenciar los estados del karst, es el patrón morfológico de geofomas exocársticas (estudio de las formas superficiales), que sintetiza las condiciones que favorecen o inhiben el desarrollo del karst.

El karst de la Península se desarrolla sobre estructuras tectónicas tabulares o mesiformes, de estratos monoclinales (rocas que presentan una disposición inclinada en una sola dirección) dispuestos en forma horizontal o subhorizontal. Se caracteriza por formas de absorción circulares, cavidades de desarrollo vertical, circulación vertical y horizontal.

La circulación es esencialmente vertical, descendente y de alimentación autóctona. La morfoestructura tabular de la península ha sido modificada por basculamientos (movimientos inestables) diferenciales en dos grandes bloques estrechamente ligados a la estructura geológica profunda, uno de ellos al sur que inició su levantamiento en el Mioceno y otro al norte iniciando su levantamiento en el Plioceno y continuando hasta el Cuaternario. La influencia de la actividad geotectónica que ha provocado el levantamiento en forma basculada de mayor intensidad en el sur, origina sistemas de fracturas orientados al norte y noreste. De esta manera en el bloque sur se origina el karst paleógeno, donde se encuentran las etapas mas avanzadas de la evolución kárstica y en el norte el mas reciente o neogénico de planicies denudativas (expuestas a erosión) con densidades variables de depresiones y dolinas (cenotes) correspondiendo a la etapa reciente y de juventud.

A partir de las diferencias en bloques se originan expresiones morfológicas exocársticas tipificadas según las secuencias evolutivas predeterminadas e interfases de transición derivadas, se identificaron siete grados o niveles de evolución kárstica: reciente, reciente-juventud, juventud, juventud-madurez, madurez, madurez-tardía de reclitos y tardía de reclitos (Fig. 3).

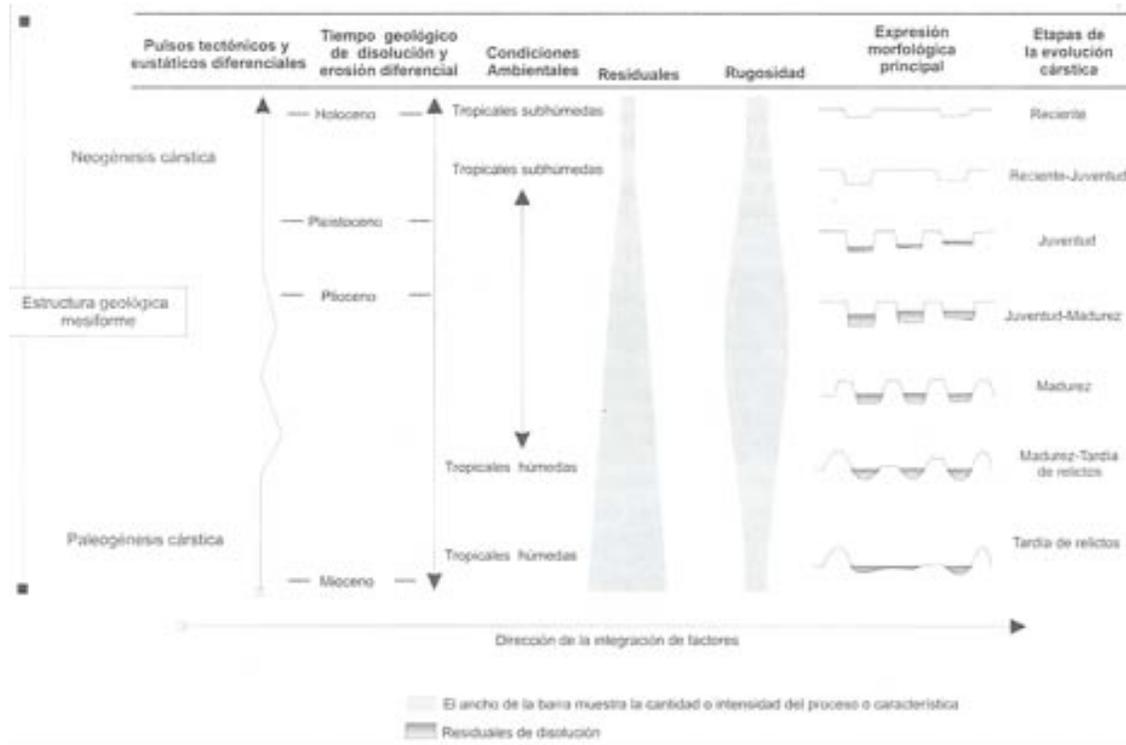


Fig. 3 Diagrama representativo de la evolución kárstica

A medida que el proceso kárstico avanza, se incrementa la cantidad de geoformas y depósitos residuales producto de la disolución de las calizas. Las planicies denudativas (planicies despojadas) se transforman gradualmente en planicies acumulativas confinadas hasta convertirse en planicies residuales extendidas (Fig. 3). Al mismo tiempo las geoformas positivas con respecto a los niveles de base locales, aparecen entre la juventud y la madurez como altillos y lomeríos bajos con cimas de pendiente plana y horizontal, resultado de la erosión diferencial sobre planicies estructurales de exposición reciente a la karstificación. Al aumentar los tiempos de disolución, los bordes de las cimas planas tienden a redondearse hasta formar colinas cónicas en altas densidades (etapa de madurez) que posteriormente en la etapa tardía de relictos tienden a reducir su altura, convirtiéndose en colinas residuales y montículos. Las dolinas o cenotes con acumulación incipiente de residuales que inician su formación durante la etapa reciente en el Cuaternario, se unen gradualmente en algunas zonas durante la madurez, hasta formar úvalas (depressiones Kársticas de forma ovalada y contornos sinuosos) y posteriormente poljés (depressiones alargadas, formados por uvalas contiguas) en la etapa tardía de relictos.

Los controles estructurales asociados a la margen activa del centro de Quintana Roo son especialmente favorables para la formación de úvalas.

La rugosidad del terreno es un auxiliar tanto cualitativo como morfométrico que permite discriminar estilos de paisaje kárstico. Day (1977) propone un índice para diferenciar entre paisaje rugoso o suave. Si el terreno es suave el índice tiende a infinito, y entre mas rugoso es, el índice tiende a uno. En este sentido el paisaje en su etapa inicial incrementa la rugosidad alcanzando su máximo o clímax en la madurez y disminuyendo posteriormente hacia la etapa tardía de relictos. La rugosidad se explica a través de la fuerza o energía vectorial y su dispersión. Los vectores se obtienen de la perpendicular sobre las superficies o facetas planares delimitadas a partir de líneas divisorias

epicársticas (desarrolladas sobre el karst) y rupturas de pendiente (Fig. 4). La dispersión se establece en función del número de vectores y su orientación preferente sobre un rango de 180° . Entre mayor sea la cobertura angular mayor será la dispersión. La energía estará determinada por su distancia angular a la perpendicular o la dispersión dominante.

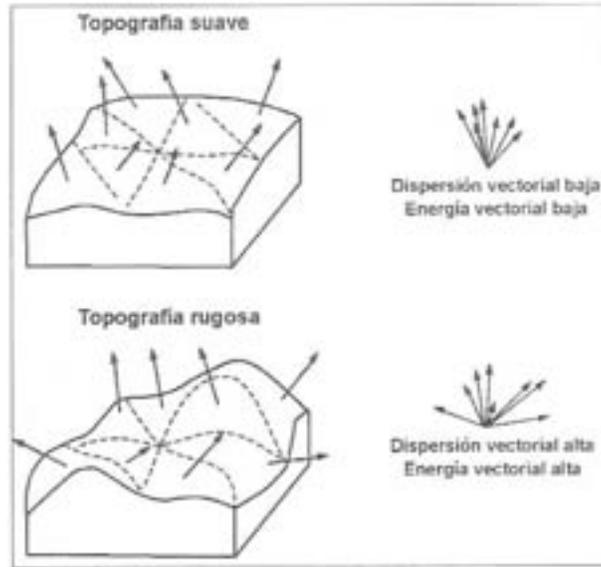


Fig. 4 Rugosidad de los terrenos kársticos

El origen de muchos suelos de la Península de Yucatán está en discusión: Wright (1970) y Duch (1988) sugieren que el verdadero material que dio origen a muchos suelos no es la coraza calcárea, sino un depósito superficial presente sobre la roca en el momento del levantamiento. Consideran la probabilidad de que los suelos profundos que reposan sobre roca calcárea corresponden a un antiguo ciclo de formación de suelos, mientras que los formados a partir de la coraza resquebrajada y erosionada corresponden a uno nuevo. Mencionan que la naturaleza del depósito podría ser un sedimento impuro, rico en carbonatos (fango calcáreo submarino), polvo meteórico, o cenizas volcánicas depositadas sobre la superficie ya emergida; también plantea una mezcla de sedimentos abisales y otros materiales finos derivados de erupciones volcánicas submarinas, depositados súbitamente sobre el bloque peninsular ya emergido, a consecuencia de enormes marejadas por algún movimiento tectónico de primer orden en la región Caribe-Antillana.

Otros autores sugieren que los suelos rojos y profundos se derivan de un fango marino con impurezas de cenizas volcánicas y que su textura predominantemente arcillosa sugiere un origen palustre o pantanoso, posiblemente de áreas someras costeras, en las cuales los sedimentos marinos saturados con cenizas volcánicas o polvo meteórico, fueron atrapados cuando la plataforma marina de la Península quedó descubierta, debido al descenso de 130 m, en relación al nivel del mar producto de las glaciaciones mencionadas anteriormente, hace 18 000 años.

Estudios recientes realizados en el centro y sur del estado de Yucatán, donde se ha cavado una gran cantidad de calicatas, han revelado evidencias de un desarrollo de los suelos a partir de la disolución de la roca caliza y consecuentemente, la formación de un horizonte petrocálcico en la parte baja del perfil estratigráfico. La morfología de los perfiles sugiere la existencia de un proceso de disolución, donde la intensidad de disolución y el transporte de los carbonatos dependen del tipo de roca y su pureza.

I.c CENOTES Y RIOS SUBTERRANEOS

Conociendo los efectos de la evolución kárstica estudiada en el subtema anterior, se pueden estudiar y conocer dos fenómenos muy comunes en el subsuelo de la Península de Yucatán, siendo estos la formación de Cenotes y Ríos Subterráneos, fenómenos que interfieren directamente al cimentar una obra, ya que los estudios de mecánica de suelos en esta región van más enfocados a localizar cenotes, ríos subterráneos y cavernas, siendo más importante lo anterior que la misma capacidad de carga del subsuelo.

Como se ha relatado sabemos que la Península se caracteriza por su paisaje engañosamente llano, carente de montañas, pero quien la atraviese a pie encontrará a cada momento pequeños accidentes dondequiera que la losa calcárea se haya quebrado. En esta región, sobre todo en su parte norte, es notoria la ausencia de ríos debido a que la mayor parte de la lluvia se infiltra al subsuelo por la alta permeabilidad de la roca caliza. El florecimiento de la civilización maya en este paisaje sólo pudo sostenerse gracias a sus ventanas al manto acuífero: los cenotes y ríos subterráneos, siendo de gran valor quienes los consideraban sagrados y el camino al llamado inframundo (Xibalbá).

Las Dolinas, comúnmente llamados Cenotes son cavidades subterráneas producto de la actividad Kárstica, en el párrafo anterior se describió a la Península como un paisaje engañosamente llano, debido a que en sus profundidades posee la característica de la formación de Cenotes y cavidades que en muchas ocasiones son explotados por su belleza natural (funcionando como hermosas piscinas naturales), y otras mas suelen ser un problema al cimentar una obra, recurriendo a soluciones que muchas ocasiones son demasiado costosas (Fig. 5)



Fig. 5 Cenotes de la Península de Yucatán

Aunque los cenotes (del maya *ts'onot*) parecen simplemente una variedad peculiar de lago pequeño, usualmente cilíndricos y más profundos que amplios, en realidad son muy distintos; inclusive, los cenotes más jóvenes son en cuanto a la circulación de sus aguas, más similares a ríos que a lagos, pues tienen conexión a corrientes subterráneas. Si bien su flora y fauna pueden ser relativamente pobres, su aislamiento ha originado el desarrollo de especies endémicas, es decir, exclusivas de ellos.

La península de Yucatán, en sentido geológico, no comprende solamente los estados Mexicanos de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, sino también el Petén Guatemalteco y el norte de Belice; compuesta por una placa de rocas calcáreas y formada por el depósito de carbonatos en los mares

someros que la han cubierto en varias ocasiones durante las últimas decenas de millones de años (era Cenozoica). Dichas rocas son solubles en agua, lo cual explica la abundancia de cenotes, ríos subterráneos y grutas.

Quintana Roo y el norte de Yucatán son geológicamente más jóvenes que el interior de la península y la costa campechana, ya que su emersión fue posterior al sur de la península. La forma actual de la península se alcanzó a fines del periodo Plioceno, hace unos cuatro millones de años; no obstante, los farallones (roca alta y picuda que sobresale en el mar o en la costa) común en Tulúm e isla Mujeres se formaron durante el periodo Holoceno, apenas unos 10 mil años atrás, prologando la formación de arrecifes coralinos al norte y oriente. La emersión de la península es un proceso que continúa hasta hoy, en el extremo noroccidental: la costa del golfo se ha alejado del puerto de Progreso más de 200 metros en el último siglo. El nivel actual del mar se alcanzó hace sólo unos 5 mil 500 años; al principio del Holoceno el nivel era unos 100 metros menor que hoy.

Aunque la península recibe cerca de 200 mil millones de metros cúbicos de lluvia al año, su balance hidrológico es negativo. No hay presas importantes, y existen sólo doce lagos de volumen mayor a medio millón de metros cúbicos, ninguno de ellos en la parte norte. El flujo del agua dulce en el subsuelo no tiene lugar solamente en ríos subterráneos, sino también a través de fracturas en la roca, desembocando en el mar a través de ojos de agua.

Hay en la península de Yucatán tres cuencas hidrológicas principales: la cuenca criptorreica (de ríos ocultos), sobre el estado de Yucatán y norte de Quintana Roo; la del río Hondo, al sur de este último; y la de Champotón, en Campeche. Es en la cuenca criptorreica donde se encuentra la mayor parte de los varios cientos de cenotes de la península. Muchos de ellos se hallan alineados delatando corrientes subterráneas. La alineación más notoria es el llamado *anillo de cenotes*, se relaciona con el borde del cráter de Chicxulub, estructura enterrada bajo la losa calcárea yucateca; fue dejado por el impacto de un asteroide, coincidente con la extinción de los dinosaurios, hace unos 70 millones de años, siendo la teoría más aceptada por los historiadores, antropólogos y geólogos.



Fig. 6 Principales Cenotes de la Riviera Maya (marcados con la letra C)

Los tipos clásicos de cenotes son:

- A. Cenotes cántaro (también llamados en maya *ch'e'n*), en los que la abertura al exterior es pequeña en relación con el diámetro del embalse (Fig. 7).
- B. Cenotes cilíndricos (propiamente *ts'onot*), de paredes verticales, donde la abertura equivale al diámetro del cuerpo de agua (Fig. 8).
- C. Cenotes aguada (*ak'al che'*), azolvados, con perfil en forma de plato (Fig.9).
- D. Grutas o cenotes cántaro (*aktun*), en los que la entrada es lateral (Fig. 10).



Fig. 7 cenote tipo cántaro



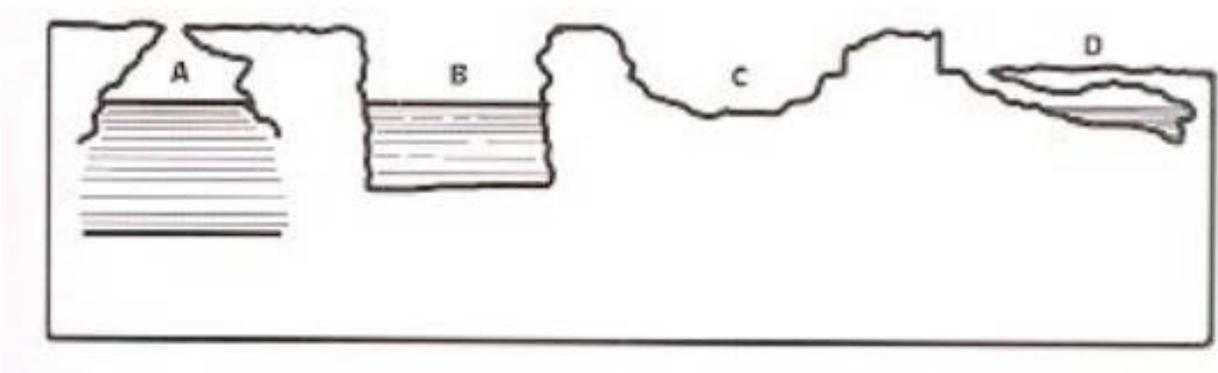
Fig. 8 cenote tipo cilíndrico



Fig. 9 cenote tipo aguada (azolvado)



Fig. 10 cenote tipo cántaro (gruta)



Tipos de Cenotes

La hipótesis más aceptada sobre el origen de los cenotes plantea una secuencia desde una gruta o cenote cántaro, como el de Dzitnup (Valladolid), a un cenote cilíndrico por derrumbe del techo; a manera de ejemplo, el cenote cilíndrico, como el de Chichén Itzá, se convertirá en una *aguada*, por azolve y por hundimiento lento de toda la zona adyacente (Fig. 11).



Fig. 11 Cenote Dzitnup (Valladolid, Yucatán)

Otras aguadas (perfil en forma de plato) son simplemente depresiones del terreno en las cuales se ha acumulado arcilla, lo que permite la acumulación de agua de lluvia. En el primer paso, el desplome de la bóveda suele quedar atestiguado por una pila de rocas y sedimentos en el centro del cenote. Este colapso es ocasionado por la disolución lenta de la roca caliza por el agua, sobre todo con ayuda de ácido sulfhídrico, la reactividad ocasionada por la mezcla entre agua dulce y marina sobre la caliza, y la actividad microbiológica asociada.

El grado de conexión al manto acuífero permite distinguir: *a)* cenotes de flujo abierto, con aguas claras, fondo limpio, arenoso o rocoso y una masa de agua homogénea y bien oxigenada, y *b)* los estancados o de flujo restringido, turbios y estratificados térmicamente. En éstos, la capa acuática superficial es básica y sobresaturada con oxígeno disuelto, mientras que la profunda es ácida, desprovista de oxígeno y con ácido sulfhídrico cerca del fondo.

Existen dos procesos que pueden bloquear el intercambio de agua del cenote con el flujo subterráneo. El primero y más eficiente es el ya mencionado desplome de la bóveda, seguido por el aporte de sedimento que se deposita en el fondo del cenote y que va sellando cada vez más la comunicación con el manto acuífero. El segundo tipo de bloqueo consiste en el ingreso de agua marina a través del fondo del cenote.

Entre ambas capas de agua (la dulce superficial, menos densa, y la marina profunda, más densa), se establece una zona de transición abrupta denominada *haloclina*. La haloclina estratifica el cenote: funciona como una barrera física que aísla la capa de agua dulce. En los cenotes costeros, la capa marina profunda no siempre se encuentra realmente estancada, sino que puede circular impulsada por las mareas y tormentas a través de túneles conectados con el mar. Si pensamos en la variedad de grados de conexión del cenote con el manto acuífero, añadiendo a ello la conjunción de agua dulce y marina que definen diversos patrones de circulación y estratificación en los cenotes (desde los totalmente homogéneos hasta los que presentan estratificación), y si además tomamos en cuenta la diversidad de formas de la cuenca, área superficial, profundidad, volúmen, exposición a la luz solar (apertura de la boca del cenote) y otros factores más, se puede visualizar qué tan enorme es la diversidad de embalses conocidos en forma genérica de los cenotes.

Por lo que concierne a la flora, los cenotes más lejanos del mar suelen asociarse con higueras. Los cenotes más costeros suelen estar entre manglares, juncos, helechos, palmas y algas. En cuanto a la microflora, la fracción mejor conocida son las bacterias, algunas de interés como indicadores de contaminación, otras de relevancia en la formación misma del cenote por erosión de sus paredes. Adicionalmente, ciertas bacterias representan la fuente alternativa de abastecimiento de energía para los organismos que viven en los túneles de oscuridad permanente, alejados del cuerpo abierto del cenote.

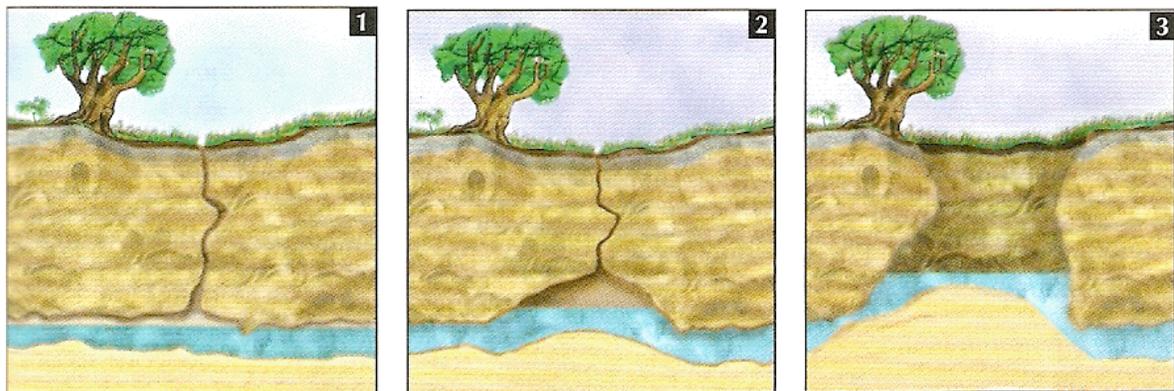
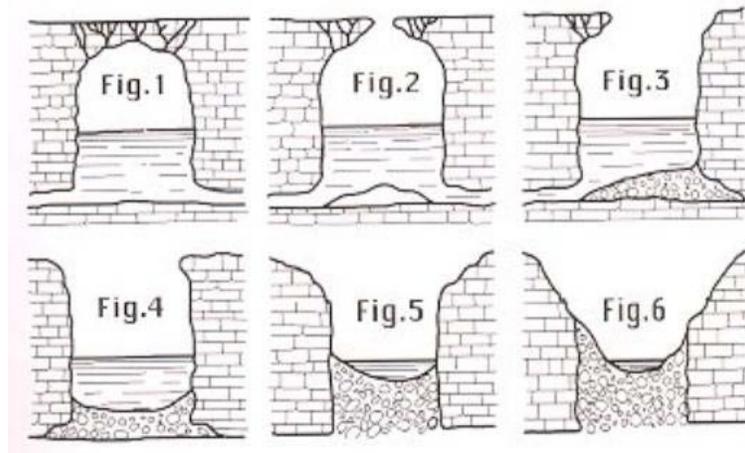


DIAGRAMA: FORMACIÓN DE CENOTES

Cenote Azul



En la imagen superior se muestra el Cenote Azul ubicado al sur de Playa del Carmen, es interesante además de observar su belleza natural, analizar su geomorfología, se puede ver que corresponde a un cenote cilíndrico, donde las paredes son verticales (es decir el diámetro del espejo de agua es similar a la abertura del cenote), formado por la evolución kárstica corresponde al periodo Juventud – Madurez (ver mapa geomorfológico del capítulo siguiente), pudo haberse formado por estancamiento de agua al estar inundada la Península de Yucatán en la era Mesozoica, el agua es salina pero a menor concentración que el agua de mar, ya que es relativamente cercano a la costa, su afluente se enriquece por las lluvias y la filtración.

Cenote Dos Ojos

Este cenote se encuentra en la población de Xel-ha, es muy concurrido por turistas debido a que posee formas caprichosas kársticas correspondientes a la etapa Juventud-Madurez, sin embargo este cenote a diferencia del cenote azul, pertenece al grupo de cenotes tipo cántaro, donde su abertura superior es menor que el área de espejo de agua del fondo, por ello se puede suponer que su formación se debe a la filtración de agua a través de la roca caliza, creando elementos kársticos como estalactitas, estalagmitas, y columnas que le proporcionan una belleza natural extra al ambiente kárstico.

Se conoce poco sobre la mayoría de los invertebrados de los cenotes; casi todos los estudios se han concentrado en los macrocrustáceos y el zooplanctón. Por ejemplo, en la península de Yucatán se encuentra del 30 al 50 por ciento de las especies conocidas en México de rotíferos, cladóceros y copépodos. La biogeografía de algunos copépodos sugiere una fuerte afinidad de la península con el Caribe insular.



Fig. 12 Cenote Dos Ojos

Debido al proceso de formación de un cenote abierto, las especies originalmente cavernícolas pudieran haber sido reemplazadas evolutivamente por otras adaptadas a cenotes abiertos. En cuanto a los anfípodos, los de la península se derivan en su mayoría de formas marinas, probablemente atrapadas durante el retroceso del mar en las últimas decenas de miles de años.

Los acociles del género *Typhlatya* son comunes en las cuevas de toda la península; tienen también un antepasado marino caribeño. El descubrimiento en cuevas cerca de Tulum del termosbenáceo *Tulumella unidens* es relevante porque complementa otros registros de este pequeño grupo en las islas caribeñas, el sureste de los Estados Unidos, las Islas Canarias, el Mediterráneo, Somalia y Camboya. Ésta distribución ha sido considerada evidencia de su origen en el mar de Tethys, que separaba los continentes de Laurasia y Gondwana en el Jurásico. También es interesante el registro del remipedio *Speleonectes tulumensis*, perteneciente al grupo de crustáceos más antiguo.

En cuanto a los vertebrados, en los cenotes pueden habitar cocodrilos, iguanas, tortugas, culebras, ranas y sapos, en sus paredes anidan golondrinas y otras aves. La fauna de peces es especialmente diversa en los cenotes más costeros. Los sitios más aislados en los terrenos más antiguos no inundados durante las últimas elevaciones del nivel del mar, sólo han sido colonizados por dos especies: un bagre y un gupi. Se considera que el bagre pudo alcanzar estas localidades por vía subterránea, mientras que el gupi, pez pequeño y vivíparo de gran tolerancia a extremos de salinidad, temperatura y concentración de oxígeno disuelto, pudo llegar allí gracias a una hembra grávida transportada por un huracán.

En los cenotes costeros, la ictiofauna es similar a la de las lagunas de la misma región. Predominan las mojarra y la familia de los gupis y molis, aunque las especies más abundantes son sardinitas (*Astyanax*) y el bagre ya mencionado. En los sistemas asociados con caletas se presentan invasores marinos, sobre todo en estadios juveniles, como pargos, gobios, agujas e incluso sábalos. Las mojarra y el bagre tienen poblaciones relativamente diferenciadas, algunas de ellas propuestas como subespecies; aunque el *status* taxonómico de la mayoría es discutible, el principio de precaución ha llevado a enlistarlas como taxones vulnerables a la extinción, en vista de lo reducido y aislado de sus hábitats. Algunas probablemente han desaparecido ya, como la mojarra *Cichlasomaurophthalmus conchitae*, cuya única localidad conocida es un cenote dentro de la ciudad de Mérida, no existiendo más.

Las tramas alimentarias de los cenotes son relativamente simples; están caracterizadas por pocos niveles tróficos que transfieren de manera eficiente la energía. Las bacterias, hongos, algas y protozoos son los primeros niveles, consumidos por micro y macroinvertebrados.

La mayoría de las especies muestra resistencia a la hambruna, en respuesta a la escasez de recursos alimentarios. Las algas y otras plantas sostienen la trama alimentaria herbívora, en complemento con la materia particulada procedente de la selva circundante, enriquecida por bacterias y asimilada por copépodos, que son el alimento de peces como *Astyanax*, que a su vez es la presa principal de depredadores como la anguila. El bagre, omnívoro en otros tipos de hábitat, en los cenotes es también un depredador de importancia; a través suyo y de otros peces, el cenote exporta energía al medio exterior, vía la alimentación de cigüeñas y otras aves.

Los cenotes se usan principalmente como fuente de agua potable en zonas rurales, sin embargo, cada vez más cenotes tienen también uso turístico; éste puede ser escénico como el Cenote Sagrado de Chichén Itzá, suelen también aprovecharse para la natación y el buceo como muchos en el corredor Cancún-Tulum, o tener ambos objetivos, como el cenote Azul de Bacalár. El uso pesquero de los cenotes es irrelevante si se mide en términos de divisas generadas; sin embargo, puede jugar un papel decisivo en el aporte de proteínas animales, virtualmente gratuitas para la población rural. Las especies más apreciadas son las mojarras, en especial la rayada, la pinta y la bocona o tenguayaca. Hay sitios donde se consumen inclusive los gupis y *Astyanax*, secos y salados.

El crecimiento poblacional en Mérida, Cancún, y La Riviera Maya agravado por la explosión turística, ha traído consigo una extracción más intensa de agua, con la consecuente intrusión salina, así como una mayor contaminación por materia orgánica y metales pesados de tales acuíferos. El agua dulce subterránea es una capa muy delgada que flota sobre una capa de agua marina, la cual alcanza hasta 100 kilómetros tierra adentro.

La permeabilidad de las rocas yucatecas contribuye a la escasez del agua porque se filtra hasta grandes profundidades; la ausencia de corrientes superficiales aumenta la dependencia sobre el manto acuífero, siendo lo más grave: la disposición de desechos en el terreno, llevando consigo una altísima probabilidad de infiltración de contaminantes hasta el agua subterránea. En el caso del área de Mérida, el flujo principal va de sureste a noroeste, pero en ocasiones el sentido se revierte, lo que devuelve los desechos al manto acuífero de la ciudad.

Por otro lado, los cenotes son aun más vulnerables que el acuífero, pues los contaminantes no llegan a ellos sólo a través del subsuelo, sufriendo transformaciones, sino también directamente, ya que tienen contacto con la superficie y en su mayoría conexiones con mas afluentes subterráneos. La incorporación de materia orgánica no sólo alteraría el equilibrio del ecosistema cenotícola, sino que también inutilizaría el agua para consumo humano, sin contar la pérdida estética al sustituir aguas cristalinas por aguas turbias y malolientes.

La geología y el clima favorecen la sobrevivencia y desarrollo de organismos patógenos en el agua subterránea; no es extraño que las enfermedades gastrointestinales sean una causa importante de muerte en la región. Las granjas porcícolas, el fecalismo al aire libre y la mezcla del drenaje doméstico con el pluvial han deteriorado la calidad bacteriológica del agua subterránea de la península. Asimismo, se encuentran residuos de plaguicidas organofosforados, carbámicos y

organoclorados, procedentes de las zonas hortícolas de Yucatán en pozos de agua potable. Es muy probable que lo mismo ocurra en las zonas cañeras de la zona sur de Quintana Roo y que ello repercuta en los cenotes.

Estos problemas difícilmente serán remediables debido a lo inaccesible del manto acuífero y a la poca inversión para investigarlo; sin embargo es indispensable disminuir el deterioro de la calidad del agua subterránea. Para ello se sugiere: espaciar los pozos y no sobreexplotarlos para evitar la intrusión salina; tratar los residuos sólidos; supervisar el uso de plaguicidas; tratar el agua para consumo humano con procesos adicionales a la cloración, y restringir el uso del agua extraída de zonas de alta contaminación al riego u otros fines similares como la ciudad de Mérida.

Por otra parte, aunque la problemática mencionada debe atacarse integralmente, el manejo adecuado de cada cenote en particular tendrá consecuencias positivas locales. Es preciso evitar el retiro de la vegetación que lo circunda pues proporciona refugio y alimento para los peces, tortugas y otros organismos, además de ser una fuente principal de energía del sistema. También debe prohibirse el baño con aceites bronceadores que se acumulan en la superficie del cenote y pueden causar problemas de oxigenación, dada la proporción entre superficie y volumen de estos cuerpos de agua, amén de otros efectos contaminantes.

Finalmente, debería limitarse el número de bañistas durante la época en que ciertas mojarras cuidan en pareja a su progenie pues, ante la perturbación, los padres pueden abandonar a los alevines, que son inmediatamente devorados por otros peces, incluso por la misma especie. Esta restricción tendría la ventaja de mantener en niveles aceptables la contaminación por bacterias, la cual es directamente proporcional al número de visitantes.

Por otro lado, los cenotes no constituyen embalses adecuados para fines acuiculturales. La introducción de especies exóticas, generalmente perniciosas en cualquier ecosistema natural, es más grave en cuerpos de agua de área pequeña, donde la tilapia, por ejemplo, puede volverse el pez dominante del sistema en un lapso menor que en lagunas más extensas.

A lo largo de la costa del sector norte del Caribe, los exploradores mexicanos y extranjeros han cartografiado más de 600 km de galerías y túneles inundados, usando técnicas de espeleobuceo y reconociendo diferentes niveles y pasajes verticales, que incluyen las cinco cuevas sumergidas más grandes del mundo, resultado de la disolución de volúmenes grandes de roca disuelta por la mezcla y haloclina. Esta disolución se asocia a las variaciones del nivel del mar a lo largo de miles de años. Los ríos subterráneos de dimensiones inmensas drenan la lluvia que cae al interior de la península. El agua transportada drena en la costa a través de caletas como Xel-Há, Xcaret y manantiales submarinos en los ríos.

En contraste, la zona de Mérida y la costa norte no presentan un desarrollo tan extenso de flujos subterráneos, aunque tiene el mayor número de cenotes de la península, en lo que se ha denominado el anillo de cenotes, el cual coincide con el diámetro externo del cráter Chicxulúb. Los descensos en el nivel del mar durante el Holoceno obligaron tanto a humanos como a parte de la fauna a ingresar a las cuevas para acceder al acuífero, lo cual explica los registros paleontológicos y antropológicos que hoy encontramos en el subsuelo de la península.

En los últimos años ha surgido una investigación extranjera y nacional ardua sobre localización de estas formaciones, especialmente en hallazgos de ríos subterráneos, resaltando numerosos

descubrimientos de estos. Debido a la alta permeabilidad del subsuelo, existe la formación de ríos subterráneos, con actividad propia y estos son representativos de la península de Yucatán a nivel mundial, muchos de estos son aprovechados con fines turísticos y para la práctica de deportes extremos; recientemente el periódico La Jornada publicó un artículo que expone el descubrimiento del río subterráneo mas largo del mundo ubicado en el estado de Quintana Roo, con una longitud aproximada de 154 km y una profundidad máxima de 72 m. Dicho artículo se encuentra disponible en el apéndice de esta tesis.



Fig. 13 “Río Secreto”(Playa del Carmen, Quintana Roo)



Fig. 14 Río subterráneo (Parque ecológico Xcaret, Quintana Roo)

Ya conocidos los procesos geomorfológicos, teorías e investigaciones mencionadas en los párrafos anteriores que dan respuesta a la geomorfología actual de la Península de Yucatán, las características de su relieve kárstico y sus formaciones a lo largo de la historia, principalmente abarcando la era Cenozoica en sus periodos terciario y cuaternario, será importante mencionar lo correspondiente al siguiente capítulo de este trabajo, ¿que tipo de material presenta el subsuelo de la Península de Yucatán?, y la ubicación geográfica actual de estos materiales.

CAPÍTULO II. “EL SUBSUELO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN”

II.a EL SUBSUELO EN LA GEOGRAFÍA ACTUAL

En el capítulo anterior se estudiaron las actividades kársticas que dieron la geomorfología actual al subsuelo de la península, los párrafos siguientes enfatizan el tipo de materiales formados a lo largo de la era Cenozoica, ubicándolos en la geografía actual de la Península de Yucatán, es decir se estudiara el subsuelo tal como se encuentra en nuestros días.

Recordando del capítulo anterior, el denominado periodo Paleoceno incluye provisionalmente aquellas unidades litológicas que por falta de fósiles característicos es imposible datar con seguridad dentro del periodo Eoceno, aunque parecen de edad Eocénica, sin excluir la posibilidad de que correspondan al Paleoceno. Aflora en tres regiones, una abarca la región de la sierra de Yucatán, otra ocupa la porción limitada al norte por la formación Chichén Itzá, al oeste por la formación Estero Franco, al este por la formación Icaiché en el territorio de Quintana Roo, y la tercera que se extiende desde el poblado de Hopelchén en el estado de Campeche hasta penetrar en Petén, Guatemala; esta última la litología es muy semejante a la de la formación Icaiché, distinguida por la ausencia de yeso; no se ha precisado su espesor.

En el Eoceno (52 a 36 millones de años) un proceso orogénico (formación de las montañas) en el sur de la Península plegó los recién formados estratos de calizas y produjo un relieve ondulado, esta representado actualmente por una secuencia de dos formaciones: Chichén Itzá e Icaiché.

La formación de Chichén Itzá comprende casi todas las rocas eocénicas de la Península, su conjunto se ha dividido en los miembros Chumbéc, Pisté y Xbacal.

El miembro Chumbéc abarca una zona muy limitada al norte del poblado Libre Unión en el estado de Yucatán; los microfósiles que en ellos se han encontrado lo sitúan en la parte superior del Eoceno Medio y el Eoceno Superior, sus estratos están constituidos por calizas blancas, cristalinas, macizas con aspecto de mármol, de textura sacaroide (similar a los granos de azúcar) (Fig. 1), su espesor probable es inferior a los 100 m.



Fig.1 Calcita (caliza blanca, cristalina)

El miembro Pisté se extiende en la parte central y centro occidental de la Península; aflorando también al sur de Champotón y al norte de Belice. Su microfauna es típica del Eoceno Medio, los estratos superiores de este miembro son los mas fosilíferos y están representados por calizas blancas en capas de 10 a 40 cm, generalmente compactas y a veces cretosas (roca con cal que cristaliza amorfa)(Fig. 2). Por debajo se encuentran capas gruesas de calizas de color blanco amarillento, los niveles inferiores contienen pocos fósiles y son calizas criptocristalinas o microcristalinas (rocas cuyas partículas o cristales son observables solamente a grandes aumentos o rayos X), amarillas y compactas en capas gruesas; el espesor de este miembro puede alcanzar varios centenares de metros.



Fig.2 Caliza fosilífera

El miembro Xbacal se extiende al norte de Escárcega, encontrándose principalmente con los cortes de la carretera Champotón-Escárcega. Esta formado por calizas blancas, grises y amarillas, de espesor bajo a medio; a veces se encuentran capas delgadas de calizas blandas y de verdaderas margas (compuestas principalmente de caliza y arcilla) amarillas, lutitas verdosas (la lutita es una roca detrítica, es decir, formada por detritos, y está integrada por partículas del tamaño de la arcilla y del limo.) (Fig. 3). Sus estratos están mas intensamente plegados que los de los miembros más recientes de esa formación Chichén Itzá, alcanzando echados de 20° (Fig.4); la microfauna de este miembro es característica del Eoceno Inferior y su espesor puede alcanzar varios cientos de metros.



Fig.3 Lutita Marga



Fig. 4 Lutita Arcillosa



Fig. 4 Echado de roca caliza

La formación Icaiché aflora al sur de la Península en una franja orientada de Norte a Sur, extendiéndose desde el poblado de Chumul en el estado de Campeche, hasta la región del Petén en Guatemala. Está compuesta por calizas, predominando el amarillo-crema y el blanco, de textura microcristalina a megacristalina en las que es frecuente existe dolomitización (presencia de magnesio, Fig.5) y silicificación secundaria (reemplazamiento de carbonatos por sílice, Fig. 6). Los procesos diagenéticos (diagénesis: Transformación de materiales sedimentarios en rocas, al consolidarse por efectos de los procesos de cimentación, compactación y recristalización) probablemente son la causa de la pérdida de los vestigios de la fauna de esta formación, ya que en pocos casos se encuentran restos de foraminíferos (protozoos rizópodos acuáticos, casi todos marinos, Fig.2), de moluscos y de algas. Es característica de esta formación la presencia de yeso que forma bancos de varios metros de espesor. Algunos autores sitúan esta unidad estratigráfica en el Mioceno Inferior, y otros en una porción indeterminada entre el Eoceno y el Paleoceno.



Fig. 5 Dolomitización de la caliza



Fig. 6 Silicificación de roca caliza

En el Oligoceno no existen afloramientos de formaciones porque no se depositaron o porque siendo muy delgadas se erosionaron (Fig. 7), sin embargo existen referencias que señalan la existencia de dos zonas al sur de la Ciudad de Mérida donde el Oligoceno aflora entre las formaciones de Chichén Itzá y Carrillo Puerto, además es importante considerar que en los cortes estratigráficos de perforaciones profundas efectuadas al norte de estas zonas, la columna del Terciario aparece completa.



Fig. 7 Erosión de roca caliza



Fig. 8 Caliza Carbonatada

En el primer capítulo se mencionó que durante el Mioceno y Plioceno se originaron dos sistemas de fracturas: uno con orientación NE-SO cuyas expresiones se observan a lo largo del cauce del río Hondo; y otro con orientación NO-SE a lo largo de la “Sierrita de Ticul”. Durante el Mioceno Medio, la Península de Yucatán experimentó un hundimiento que favoreció la posterior precipitación de carbonato de calcio (Fig. 8) durante el Plioceno, conformando su porción septentrional.

El Plioceno-Mioceno superior comprende las formaciones Carrillo Puerto, Estero Franco y Bacalár.

La formación Carrillo Puerto (formación donde se ubican los ejemplos de cimentaciones de los capítulos consiguientes) ocupa la mayor parte del territorio de Quintana Roo y aflora también en Yucatán y Campeche. Los estratos superiores que afloran en el tramo de carretera comprendido entre Peto y Carrillo Puerto son de calizas duras, de color blanco y amarillo claro, con niveles arenosos debajo de los cuales se encuentran calizas arenosas menos duras, que van de un tono amarillento a amarillo-rojizo, alternadas algunas veces por margas amarillas, arenas y areniscas (Fig. 8). Los estratos inferiores están representados por coquinas (Fig. 9) (compuestos principalmente por caparazones calcáreos de organismos marinos) de menos de 1m de espesor, recubiertas por una capa dura de roca caliza amarillenta, con moluscos y otros tipos de fósiles marinos.



Fig. 8 Arenisca



Fig. 9 Coquina

La formación Estero Franco aflora en la mayor parte del curso del río Hondo y en algunos cortes aislados entre los kilómetros 21 y 40 de la carretera Chetumal- Escárcega. Ésta formación está compuesta por calizas y dolomitas macizas de color blanco-rosa en niveles superiores y en estratos inferiores son amarillas muy cristalinas, a veces con nódulos de calicita de texturas sacaroide y en capas regulares de 5 a 10 cm de espesor. A la altura del kilómetro 21 de la carretera Chetumal-Escárcega, las calizas de esta formación presentan plegamientos muy pronunciados con eje en dirección NO-SE; el espesor de esta formación puede llegar a 100 m, no presenta fósiles, excepto algunos foraminíferos no identificables; su edad exacta es incierta por la misma ausencia de fósiles pero su posición estratigráfica sobre la Formación Bacalar indica que por lo menos es contemporánea a la formación Carrillo Puerto.

La formación Bacalar se extiende desde Belice hasta la parte sureste del Territorio de Quintana Roo, comprendiendo la región donde están situados Chetumal y Bacalar. Esta constituida por calizas cretosas de consistencia semejante a la del sascab (roca caliza no consolidada Fig. 10) de color blanco o amarillento, en las que se encuentran a veces intercalaciones de yeso y nódulos de calizas duras; la alteración de estas calizas da lugar en la superficie a un material duro de color gris-negro a veces laminar, los fósiles de esta formación la sitúan en el Mioceno Superior. Como el sub-basamento de esta formación se desconoce no se ha podido precisar su espesor exacto; en niveles inferiores estas calizas son ligeramente margosas (Roca marga: Roca más o menos dura, de color gris, compuesta principalmente de carbonato de cal y arcilla en proporciones casi iguales).



Fig. 10 Extracción de sascab en Playa del Carmen

En el Holoceno-Pleistoceno los materiales correspondientes a esta edad están constituidos por coquinas con escasa matriz calcárea criptocristalina de color crema, con abundantes fragmentos de fósiles de moluscos (Fig.9). Se extienden desde Campeche en la costa occidental, hasta el poblado de Chacmunchuch, cubriendo la costa norte en su totalidad, además desde Champotón hasta las inmediaciones de la laguna de Términos, extendiéndose una faja costera de coquinas semejantes; los cordones litorales incluidos en esta unidad están cubiertos por arena cuyo espesor es variable, alcanzando hasta 3 ó 4 m.

II.b SISTEMA CARSO-TECTÓNICO

Este subtítulo conlleva a investigar las etapas evolutivas del paisaje Carso-tectónico en la península de Yucatán, es decir la afectación por tectonismo y karst del paisaje actual de la Península de Yucatán (Fig. 11).

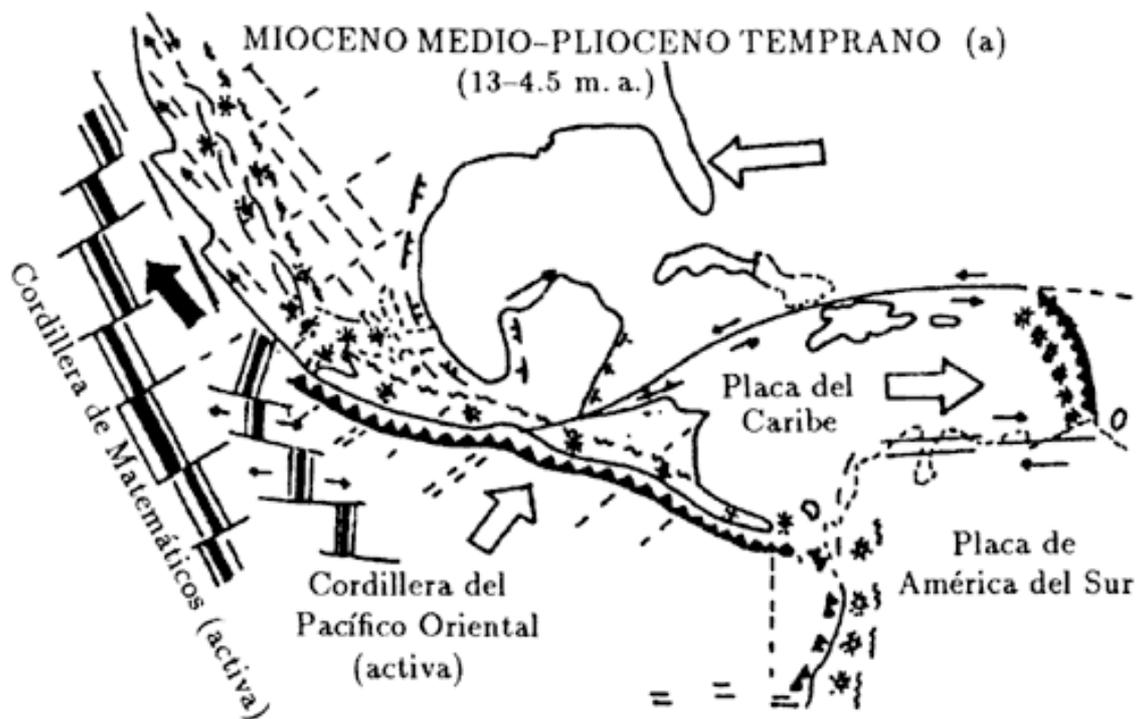


Fig. 11 Tectónica Actual de la Península de Yucatán

El relieve cárstico ya estudiado en el capítulo anterior se debe a la actividad de la disolución por aguas subsuperficiales y subterráneas de rocas solubles tales como caliza, dolomita, yeso, evaporitas y sal comunes de la región. El karst previamente estudiado, se desarrolla en zonas húmedas sobre superficies de estructura tubular y/o subhorizontal, como el caso de pliegues braquianticlinales (de forma ondulada o poco alargada.), mesetas y terrazas estructurales.

Este es el sistema más representativo de la Península y se le ha denominado Carso-tectónico por la estrecha correspondencia entre la actividad geotectónica y los patrones de disolución que dan origen al modelado cáustico. El relieve en su conjunto es considerado del tipo karst de mesa por el predominio de estructuras tabulares monoclinales y se organiza en una serie de planicies estructurales a diferentes niveles altitudinales a 50, 100 ,200 y más de 200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Se puede observar en la Fig. 11 que la Península es afectada tectónicamente por la Cordillera del Pacífico oriental (Placa de Cocos) y la placa del Caribe, sin embargo se ve que estas no afectan de manera significativa el norte y centro de la Península, haciendo presencia la actividad tectónica en el sur, específicamente en las colindancias con Guatemala y Belice y en la zona del Istmo de Tehuantepec en las colindancias con el estado de Chiapas, correlacionando la Fig. 12 se puede confirmar que la Península de Yucatán prácticamente se mueve dentro de la Placa del Caribe, teniendo como consecuencia poca actividad tectónica dentro de la misma Península, salvo las regiones limítrofes de la placa del caribe ya mencionadas.

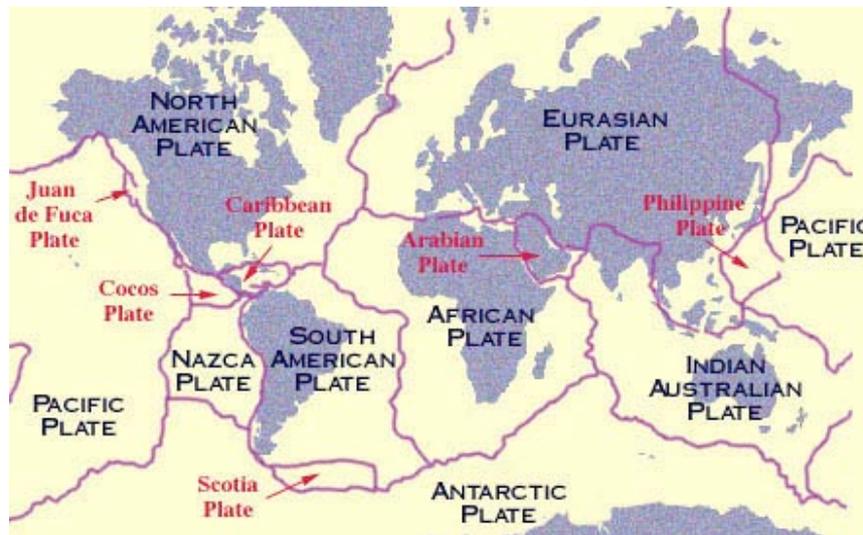


Fig. 12 Placas Tectónicas

En la Península de Yucatán se pueden diferenciar dos grandes subregiones, una al norte y otra al sur: En el norte predominan superficies niveladas durante el Cuaternario resultado de transgresiones y regresiones del Pleistoceno, por lo cual el relieve cárstico es reciente, predominando planicies estructurales denudativas y de disolución. En la subregión sur existen levantamientos tectónicos desde el Mioceno (hace 24 millones de años) por lo que se presenta un relieve de lomeríos en cúpulas y planicies residuales resultado de un mayor grado de karsticidad.

Para hacer más clara esta relación de grado de karsticidad-expresión morfológica, se utilizan interpretaciones de los modelos empleados por los autores Grund (1914) y Cvijic (1918) que denotan cuatro etapas generales de evolución (Fig.13) que muestran una evolución lineal que puede ser modificada por diferentes grados y estilos de actividad tectónica así como sus correspondientes condicionantes exógenas, reguladas por los factores ambientales.

El manto freático en la Península de Yucatán en promedio se encuentra a 35 m de profundidad; debido a esto la principal forma de aprovechamiento del agua es mediante pozos con bombas de extracción tipos turbina y sumergibles. La alta permeabilidad de los carbonatos se refleja en los bajos gradientes de la tabla de agua; en algunos lugares de la Península el nivel freático se encuentra a 100 m por debajo de la superficie, haciendo la explotación del agua aún mas difícil y por ende demasiado costosa. El agua predominante es del tipo cálcica-magnésica-bicarbonatada, procediendo los dos primeros elementos de la disolución de los carbonatos que constituyen las rocas calcáreas.

En la porción de lomeríos se manifiestan alturas de 250 msnm en su parte sur, la permeabilidad del medio es muy alta y ha sido detectada a través de los pozos existentes, registrándose abatimientos pequeños (CNA, 1995). La región sureste está representada por lomeríos continuos de pendiente suave, tendiendo a formar amplias planicies que carece de red hidrográfica. El nivel estático presenta variaciones importantes, desde 10 hasta 165 m que es el valor más alto hasta ahora registrado en el ejido Chencoh de la parte norte del municipio de Hopelchén; en su parte centro existen valores desde 3.0 m hasta 90.0 m siguiendo la línea de costa de Oeste-Este hasta la población de Escárcega; estos valores disminuyen de centro hacia el sur con rangos de 10 m a 20 m. En la parte centro-sur se observa una plataforma en donde se ubica el río Candelaria el cual define su cuenca en dirección SE-NO. El agua es de mala calidad ya que se reportan altas concentraciones de sulfatos debido a la presencia de yeso y anhídridos.

Las características hidrogeodinámicas de la llanura litoral, por debajo de la curva de nivel de 2 msnm, denotan la mayor elevación del nivel freático registrada en pozos y cenotes a 30 km de distancia de la costa, con un nivel promedio de 1.11 y 1.03 msnm respectivamente. La elevación disminuye gradualmente hacia la costa; temporalmente las máximas elevaciones del nivel de agua ocurren durante septiembre y octubre, con aguas mas salobres (inodora, insípida e incolora) y de baja temperatura. En contraparte las mínimas elevaciones se registraron desde el final de la época de nortes, durante la época de secas principalmente, con aguas más dulces y las máximas temperaturas al inicio de la época de lluvias. Cabe mencionar que la concentración de sal aumenta conforme disminuye la distancia al mar.

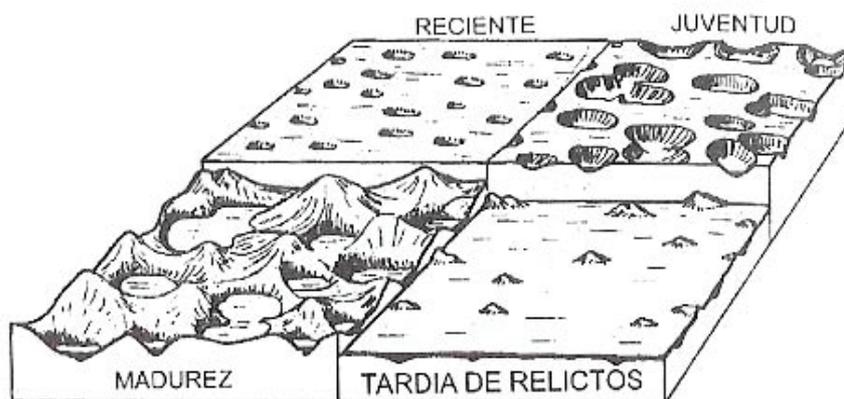


Fig. 13 Etapas evolutivas lineales del paisaje Carso-tectónico.

II.c MAPA GEOMORFOLÓGICO

El mapa geomorfológico de la Península de Yucatán se encuentra delimitado por unidades territoriales de escalas medias con cierto grado de homogeneidad morfogenéticas y ambiental. Bajo este criterio se estructura al sistema de clasificación de paisajes geomorfológicos. A cada paisaje le corresponde una particular combinación de procesos endógenos y exógenos así como las respectivas evidencias en geformas, materiales (residuales, acumulativos, erosivos y denudativos) e indicadores bióticos (Fig. 14).

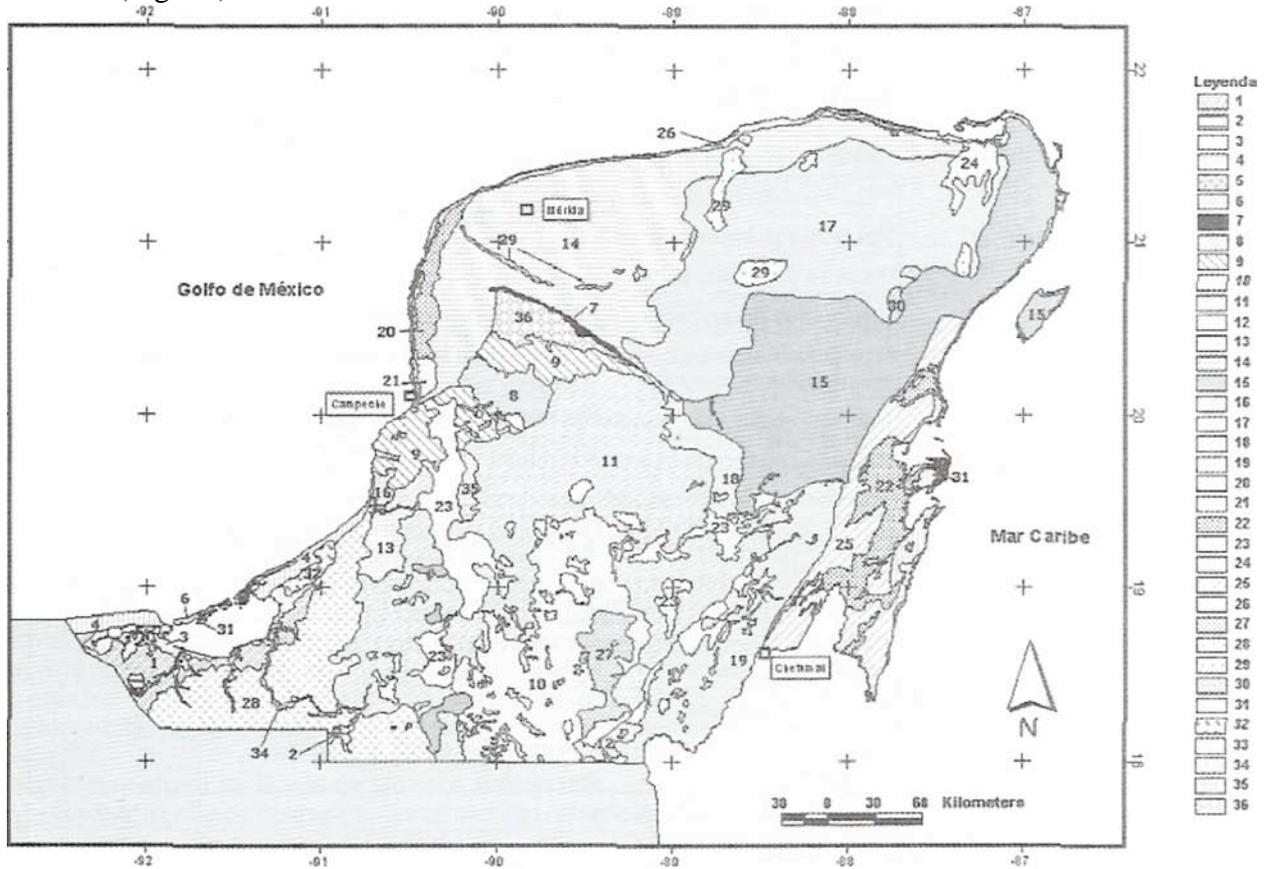


Figura 14. Mapa de paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán.

Sistema Terrestre (Morfogénesis)	Expresión Morfológica principal	Paisaje Geomorfológico	Grado de evolución Cárstica	Clave
Fluvio-palustre	Planicies	Palustre		1
		Fluvio-palustre		2
		Palustre pluvial-conchífera bajo influencia marina		3
Litoral	Planicies	Cordones litorales líticos y arenosos		4
		Flechas litorales		5
		Isla Barrera		6
Carso-Tectónica	Lomeríos	Pliegue bloque con cúpulas alineadas (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad	7
		Pliegue bloque poco disectado con planicies amplias (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad-Tar	8

		Pliegue con cimas en cúpulas y planicies confinadas (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad	9
		Altos > 200 msnm disectado por torrentes	Mad- Tar	10
		De elevaciones bajas < 200 msnm (dispersos y con planicies interiores amplias)	Tar	11
		Disectados por torrentes y disolución sobre morfoalineamientos tectónicos	Juv- Mad	12
		En cúpulas con erosión diferencial alternando con planicies confinadas	Mad	13
	Planicies	Estructural baja denudativa (< densidad de fracturas)	Rec	14
		Estructural baja fitoestable	Rec-Mad	15
		Estructural baja acumulativa	Tar	16
		Estructural ondulada con disolución y denudación (> densidad de fracturas, alta concentración de formas cársticas)	Juv	17
		Estructural ondulada denudativa de transición entre lomeríos y planicies	Mad	18
		Estructural escalonada	Juv-Mad	19
		Palustre costera con blanquizales	Rec	20
		Palustre con retenes grandes	Rec	21
		Palustre con retenes chicos	Rec	22
		Residuales acumulativas susceptibles de inundación	Tar	23
		Residuales acumulativas susceptibles de inundación controladas estructuralmente	Mad-Tar	24
		Palustre costera de inundación marina con hundimiento	Rec-Juv	25
		Palustre costera de inundación marina	Rec	26
		Altas denudativas > de 200 msnm con lomeríos aislados	Tar	27
		Estructural baja con acumulación fluvio-deluvial (materiales del cuaternario)	Rec	28

	Dolinas agrupadas (inundadas –cenotes-) y en proceso de formación de úvalas	Juv	30
	Bajos intermareales		31
	Planicie estructural baja de resurgencias sobre ambientes palustres		32
	Lecho cárstico pseudofluvial	Juv	33
	Lecho fluvial		34
	Rampa cárstica deudatorio-erosiva	Mad	35
	Planicie estructural ondulada de transición entre pliegues bloque (50 msnm promedio)	Mad-Tar	36

Tabla 1. Geoformas de la Península de Yucatán y su grado de evolución.

II.d SISTEMA FLUVIO-PALUSTRE

El sistema fluvio-palustre se ubica sobre planicies bajas acumulativas que se alojan en cuencas de acumulación marginal. Están expuestas a regímenes de inundación semipermanente y extraordinaria por lo que existe hidromorfismo en los suelos y vegetación hidrófila como vegetación riparia, manglares, popales, pastizales inundados, selvas bajas y medianas inundables (Fig. 15).



Fig. 15 Manglar y Popales respectivamente

Conociendo que en la Península de Yucatán no existen corrientes superficiales porque la alta permeabilidad de las calizas provoca una rápida penetración del agua hacia el nivel freático, la erosión producida por el agua forma conos de disolución en la superficie, conductos y cavernas subterráneas a través de las cuales el agua fluye con un gradiente prácticamente paralelo al relieve casi horizontal del terreno. El sentido del flujo es radial del centro de la Península hacia las costas; la existencia de manantiales de agua dulce cerca de la costa y aún en el mar corroboran esta afirmación.

El suelo vegetal es escaso, sobre todo en las zonas de mayor permeabilidad donde se desplaza con mayor facilidad a estratos profundos.

La plataforma caliza puede considerarse como un medio homogéneo en relación al acuífero costero kárstico que fluye en su interior.

II.e SISTEMA LITORAL

Se sitúa en el borde extremo continental, sobre una cuenca marginal o de transición entre el continente y el océano, es el lugar en donde comienzan a formarse las nuevas ciudades de la Península, y en donde se encuentran las construcciones mas significativas.

El Sistema Litoral recibe los sedimentos de la porción continental y los generados en ambiente marino. Exhibe una estructura tubular con echados ligeramente inclinados hacia el mar con relieve esencialmente llano; en estos sistemas la hidrodinámica costera del oleaje, las mareas y la deriva litoral son factores morfogenéticas relevantes.

Cuando los sedimentos confluyen en el mar las corrientes litorales se encargan de distribuirlos en una alternancia de camellones alargados y pequeñas hondonadas o depresiones ordenadas sucesivamente a diferentes ritmos de avance hacia el mar. También puede haber planicies intermareales confinadas, cubiertas con manglar y/o pastizales halófilos así como blanquizales en el flanco interno de la isla Barrera. Los líticos presentan fragmentos de roca mas o menos estabilizados y los arenosos están en proceso de formación, estos se encuentran bien desarrollados en el sureste de Campeche y costa centro de Quintana Roo.

La respuesta natural de la isla Barrera ante la alta energía de las fluctuaciones de marea, las tormentas, olas y viento es la disminución de arena, flexibilización y retracción hacia tierra adentro debido al incremento del nivel medio del mar. Este retroceso es originado por tres mecanismos: 1) Dinámica de bocas que conectan el mar con la ciénaga o ría; 2) Bajos inundables, y 3) Migración de la duna costera. El autor Meyer-Arendt menciona que las barras arenosa de la costa de Yucatán se retrae tierra adentro a una tasa que varia de 0.3 a 0.9 m anuales, este fenómeno es el principal problema para la conservación y restauración de playas ante el paso de Huracanes, ya que existe un alto grado de erosión que disminuye el área de playa, tendiendo el mar a regresar a su estado natural modificado por el hombre, representando un alto costo el relleno de playas, ejemplo claro en los últimos años las playas de Cancún que han sido fuertemente erosionadas a causa del paso de huracanes y tormentas tropicales (Fig. 16 y 17).



Fig. 16 Erosión de playas en Cancún



Fig. 17 Relleno de playas en Cancún

En general la mayoría de los perfiles de la región noroccidental de la Península, muestran cambios evidentes en función de la temporada del año, de verano-otoño (acreción) y de invierno-primavera (erosión) y se observan cambios en la playa debido a fenómenos meteorológicos como los nortes, fuertes y huracanes; siendo estos últimos los de mayor peligrosidad por lo tanto la base de diseño de las cimentaciones y estructuras en la zona.

La llanura litoral esta expuesta a diferentes procesos físicos y geológicos muy vinculados de importancia poco difundida, en cuanto a lo que ocurre con la evolución geomorfológica de la zona en estudio. Las áreas inundables de la barra arenosa (playas) que se establecen en el litoral presentan mayores inundaciones, de octubre a enero, cuando el nivel medio del mar es alto y se producen las pleamares máximas que inundan el manglar de franja y se vierten sobre la ciénaga baja. En la

temporada de lluvias y nortes se forman “islas” de agua salada bordeadas de agua dulce. En estas temporadas se presentan olas con una altura que varía de 0.3 a 0.7 m, principalmente durante los “nortes” y con amplitudes de 3 a 20 m. Los vientos provenientes del norte y del noroeste presentan velocidades promedio de 25 km/hr a una altura de 2.5 m sobre el piso y velocidades de 14 a 20 km/hr a 10 cm del piso, lo cual ejerce una fuerza extraordinaria para levantar los sedimentos de la playa y transportarlos a distancia.

Durante los dos primeros capítulos de este trabajo se ha estudiado el subsuelo de la Península desde épocas ancestrales hasta nuestros días, abarcando todos los temas necesarios para conocer las características de los subsuelos predominantes que hoy prevalecen en la región.

El trabajo va encaminado de lo general a lo particular, es decir se expuso las características generales del subsuelo en la Península, sin embargo a partir del próximo capítulo (Capítulo III) se abarcará las regiones donde existe el mayor desarrollo poblacional, económico y sobre todo de infraestructura concerniente a nuevas edificaciones como lo es el litoral Cancún-Riviera Maya en el estado de Quintana Roo, y la ciudad de Mérida en el estado de Yucatán, por lo que se estudiará con detalle las características geomorfológicas del subsuelo, abarcando posteriormente en el Capítulo IV ya estudios de mecánica de suelos elaborados al subsuelo, así como pruebas de laboratorio a diferentes subsuelos calizos, se podrá analizar en el Capítulo V una gama de edificaciones cimentadas en dichas ciudades, su comportamiento estructural, criterios de diseño, metodología constructiva, fallas estructurales, presentación de proyectos, planos etc.

CAPÍTULO III. “EL SUBSUELO EN EL LITORAL CANCÚN – RIVIERA MAYA”

III. a Zonificación

La información presentada en los capítulos anteriores proporcionó un panorama amplio de la evolución geológica de la Península de Yucatán, se describió la formación y origen del subsuelo predominante en la región, el sistema carso-tectónico que determina el relieve de la Península, la hidrología del entorno, el sistema litoral etc. Los temas anteriores fueron enfocados a conocer en términos generales la Geología de la Península; sin embargo en este trabajo se dará prioridad a las ciudades de mayor importancia como Mérida, Cancún, y Playa del Carmen (Riviera Maya).

A continuación se presentará nuevamente el mapa de paisajes geomorfológicos de la Península presentado en el capítulo anterior

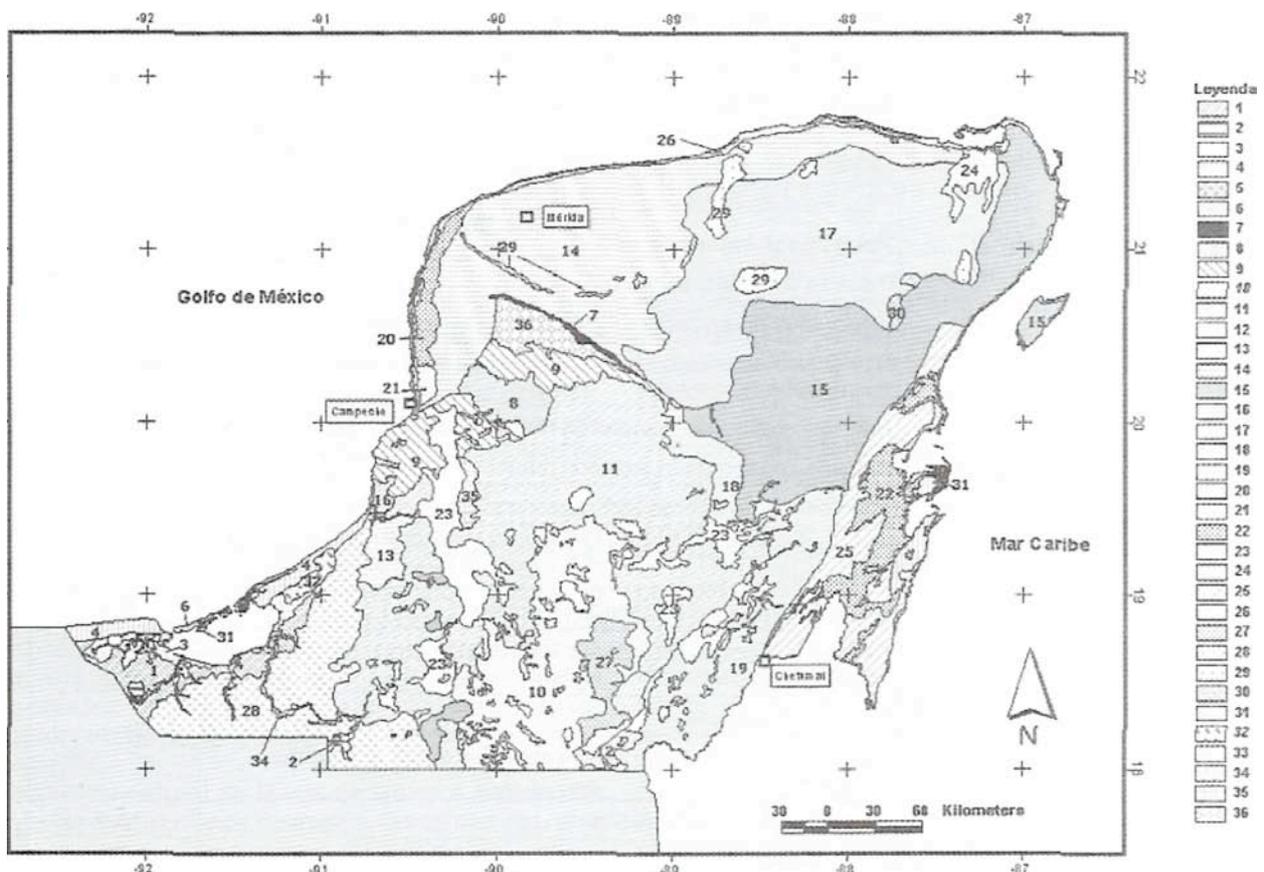


Figura 14. Mapa de paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán.

Sistema Terrestre (Morfogénesis)	Expresión Morfológica principal	Paisaje Geomorfológico	Grado de evolución Cárstica	Clave
Fluvio-palustre	Planicies	Palustre		1
		Fluvio-palustre		2
		Palustre proluvial-conchífera bajo influencia marina		3
Litoral	Planicies	Cordones litorales lúticos y arenosos		4
		Flechas litorales		5
		Isla Barrera		6
Carso-Tectónica	Lomeríos	Pliegue bloque con cúpulas alineadas (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad	7
		Pliegue bloque poco disectado con planicies amplias (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad-Tar	8
		Pliegue con cimas en cúpulas y planicies confinadas (presenta al menos un escarpe tectónico identificable)	Mad	9
		Altos > 200 msnm disectado por torrentes	Mad- Tar	10
		De elevaciones bajas < 200 msnm (dispersos y con planicies interiores amplias)	Tar	11
		Disectados por torrentes y disolución sobre morfoalineamientos tectónicos	Juv- Mad	12
		En cúpulas con erosión diferencial alternando con planicies confinadas	Mad	13
	Planicies	Estructural baja denudativa (< densidad de fracturas)	Rec	14
		Estructural baja fitoestable	Rec-Mad	15
		Estructural baja acumulativa	Tar	16
		Estructural ondulada con disolución y denudación (> densidad de fracturas, alta concentración de formas cársticas)	Juv	17
		Estructural ondulada denudativa de transición entre lomeríos y planicies	Mad	18
		Estructural escalonada	Juv-Mad	19
		Palustre contera con blanquizales	Rec	20
		Palustre con retenes grandes	Rec	21
		Palustre con retenes chicos	Rec	22
		Residuales acumulativas susceptibles de inundación	Tar	23
		Residuales acumulativas susceptibles de inundación controladas estructuralmente	Mad-Tar	24
		Palustre contera de inundación marina con hundimiento	Rec-Juv	25

		Palustre costera de inundación marina	Rec	26
		Altas denudativas > de 200 msnm con lomeríos aislados	Tar	27
		Estructural baja con acumulación fluvio-deluvial (materiales del cuaternario)	Rec	28

Distribución de las formas de la Península de Yucatán y su grado de evolución.	Dolinas agrupadas (inundadas -cenotes-)	Juv	29
	Dolinas agrupadas (inundadas -cenotes-) y en proceso de formación de uvalas	Juv	30
	Bajos intermareales		31
	Planicie estructural baja de resurgencias sobre ambientes palustres		32
	Lecho cárstico pseudofluvial	Juv	33
	Lecho fluvial		34
	Rampa cárstica denudatorio-erosiva	Mad	35
	Planicie estructural ondulada de transición entre pliegues bloque (50 msnm promedio)	Mad-Tar	36

Al ver el mapa de paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán representado en la Fig. 14; se estudiarán principalmente las regiones denotadas como 15 que es la que representa las ciudades de Cancún, Playa del Carmen y la isla de Cozumel, la región 14 representa la ciudad de Mérida, y como complemento la región 19 que abarca la ciudad de Chetumal.

A continuación se describirá cada una de las regiones previamente señaladas:

Ciudad de Mérida

Pertenece a la región 14 del mapa geomorfológico correspondiente a la Planicie estructural baja denudativa. Es el Carso de expresión superficial con puntos de absorción de formas exocársticas que incluye al microrelieve de lapiáz Fig.1 (lapiáz: En geología, superficie rocosa de relieve irregular, característica del paisaje kárstico, que se produce por la erosión del agua arroyada o de lluvia), depresiones someras (de poca profundidad), grietas Fig.2, dolinas corrosivas, domina la erosión superficial y la disolución. Se observa una ausencia casi total de lineamientos, salvo los asociados a la margen externa del cráter sepultado de Chicxulub.



Fig. 1 Lapiáz formado por corrientes de agua



Fig. 2 Grieta kárstica en roca caliza

En estudios realizados en la porción noroccidental de este paisaje, se conoció que las oscilaciones promedio del nivel hidrostático entre épocas de estiaje y lluvias son del orden de los 0.5m, mientras que el espesor de la lámina de agua dulce oscila de 15 – 18m en la costa, hasta 45 – 48m en los alrededores de Mérida.

Los niveles de aguas subterráneas y las líneas de flujo registradas durante el periodo Julio/1987 (verano) – Abril/1989 fueron de 1.25m en el extremo suroriental (Mérida) hasta 0.55 m en las cercanías de Progreso, extremo nororiental, existiendo una diferencia de nivel de 0.70 m y una pendiente hidráulica de 0.0233 m/km, evidenciándose las líneas de flujo en dirección prácticamente norte. Hacia el noroeste, los niveles de las aguas subterráneas oscilan desde 1.66 m en Kinchil hasta los 0.5 m en las cercanías de la costa por Celestún, siendo la pendiente hidráulica de 0.0258 m/km aproximadamente; el comportamiento de las líneas de flujo es en el sentido sureste-noroeste. Al siguiente año, Julio de 1988, mantienen una situación similar al año anterior, la pendiente hidráulica de Mérida a Progreso fue de 0.0227 m/km, y la de Kinchil a las cercanías de Celestún fue de 0.0222 m /km.

Los niveles de aguas subterráneas al final del período seco o de estiaje, no representan grandes diferencias respecto al período Húmedo. En abril de 1988 el valor de las líneas de flujo fue de 1.02 m para la localidad de Mérida y las cercanas a Progreso < 0.50 m, resultando una pendiente hidráulica de 0.0173 m/km. En el trayecto Kinchil a la cercanía de Celestún fue de 0.018 m/km, con valores de 1.22 para Kinchil y de 0.50 m cercano a Celestún. Al año siguiente, abril de 1989 y posterior al Huracán Gilberto, en Mérida el nivel de las aguas subterráneas fue de 0.96 m (6 cm menor que el año anterior), pero los niveles en el trayecto Mérida – Progreso (que disminuyen hacia la costa) eran superiores a los del año anterior, haciendo que la pendiente hidráulica aumentara, específicamente 10 km al norte de Mérida hacia la costa y desde Kinchil en dirección a Celestún, (con una pendiente hidráulica de 0.0252 m/km y 0.0247 m/km respectivamente). Se produce un flujo semiradial desde el sur y sureste hacia Mérida y una pequeña zona de reflujos a partir de unos 10 a 12 km. al norte de Mérida donde se localiza una divisoria de las aguas subterráneas, que continuando hacia el norte siguen los flujos normales hacia la costa.

A partir de estos mapas de equipotenciales se puede concluir que las oscilaciones del nivel hidrostático en el transcurso de un año son de 20 a 60 cm. Las pendientes hidráulicas tienen también poca variación, que permite cierta estabilidad en los cambios de niveles de agua en toda la región.

Las características hidrogeodinámicas de las llanuras biogénica y litoral, por debajo de la curva de nivel 2 msnm (metros sobre nivel del mar), denotan la mayor elevación del nivel freático registrada en pozos y cenotes a 30 km de distancia de la costa, con un nivel promedio de 1.11 y 1.03 msnm respectivamente. La elevación disminuye gradualmente hacia la costa, de tal manera que las menores elevaciones promedio registradas fueron de 0.41 y 0.45 msnm en pozos y manantiales a una distancia promedio de 2300 m, con una pendiente general temporalmente de 0.028 m/km, las máximas elevaciones del nivel de agua ocurren durante septiembre y octubre, con aguas más salobres y de baja temperatura. En contraparte, las mínimas elevaciones se registraron desde el final de la época de nortes y durante la época de secas principalmente, con aguas más dulces y las máximas temperaturas al inicio de la época de lluvias. La concentración de sal aumenta conforme disminuye la distancia al mar.

El acuífero de la ciudad de Mérida contiene una lente de agua dulce de 40 m de espesor en promedio, que flota sobre agua salada. La zona de mezcla o interfase salina tiene 37 m de espesor (entre 28 a 65 m de profundidad) está degradada por las grandes cantidades de aguas residuales y pluviales descargadas. Lo anterior es importante si se considera la existencia de tres conductos cársticos de flujo preferencial de agua subterránea a las profundidades 8-12 m, 20-22 m y 28 m, asociados con antiguas posiciones del nivel freático, directamente relacionados con variaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno. Es un acuífero que presenta una gran porosidad secundaria, almacenando grandes cantidades de volúmenes de agua y donde el gradiente hidráulico es muy pequeño, lo que significa que el agua se mueve en promedio algunos metros por día. Los valores de transmisividad del acuífero varían de 0.1 m/s hasta 0.0003 m/s, según cálculos de diversos autores (Villasuso y Méndez, 2000).

En la Región metropolitana de la ciudad de Mérida la profundidad del manto freático es de 13 m y se considera somero. Las concentraciones de nitratos, nitritos, conductividad eléctrica, coliformes fecales y totales de calidad de las aguas subterráneas exceden las cantidades máximas permitidas por la Norma Oficial Mexicana.

En la planicie estructural baja (dentro del anillo de cenotes) se tiene una profundidad del manto freático similar al anterior. Las concentraciones de cloruros y conductividad eléctrica exceden de igual forma las cantidades máximas permitidas por la Norma Oficial Mexicana.

Cancún - Riviera Maya - Isla de Cozumel

Comprende la región 15 que representa la Planicie estructural baja fitoestable. A diferencia de la planicie estructural baja denudativa con la cual guarda muchas semejanzas morfoestructurales, esta se encuentra en términos evolutivos, en etapa de pedogénesis y fitoestabilidad. Esto debido a las condiciones climáticas (clima cálido subhúmedo) sin variaciones extremas en la temperatura (por arriba de los 18° promedio) y con una humedad relativa alta permanente (> 80%), lo que ha permitido el desarrollo de selva mediana subperenifolia y el rápido restablecimiento de las áreas perturbadas hacia selvas secundarias. Se presentan como unidades aisladas con mayores tiempos de evolución cárstica (madurez).

En la parte central de la región 19 se encuentra la ciudad de Chetumal como principal exponente. Es un relieve complejo donde se conjuga la expresión topográfica de morfoestructuras en terrazas estructurales afectadas por disolución. Se presentan hasta 4 escarpes bajos (escarpe: declive abrupto y empinado del terreno, de altura variable), menores de 50 m sucesivos del continente hacia el mar, modelados por disolución. En la base de los escarpes tectónico - erosivos donde se facilita la disolución por fracturas se forman localmente dolinas y úvalas inundadas.

La zona de fallas y fracturas que conforma el bloque oriente de la Península, limita al sur con Belice, presentando una serie de fallas en bloques subparalelos, con una pendiente hacia el este, se distingue por poseer 2 rasgos únicos: suelo negro de montmorinolita en las cuencas que se alojan en las fallas de bloques y lagunas salinas.

Las lagunas salinas, el segundo rasgo distintivo de esta localidad, ocupan porciones de extensas cuencas de la planicie estructural escalonada incluyendo planicies residuales acumulativas susceptibles de inundación, especialmente al este y norte de la ciudad de Chetumal. La mayor de estas lagunas es Bacalár, con una longitud de 30 km aproximadamente. Otras lagunas como Chanyoxché, Nohbec, Ocom, La virtud, San Felipe y Paytoro son un poco mas pequeñas. De ninguna de las lagunas existen estudios a detalle, a excepción de la laguna Chichankanáb que se localiza aproximadamente a 5 km al sureste del pueblo llamado Santa Rosa. Tiene una longitud de casi 11 km con un ancho máximo de 600 m. Los análisis químicos muestran que es rica en sulfatos de calcio y magnesio, con bajas concentraciones de cloruro de sodio y sulfato de sodio, esta laguna fue probablemente parte de un ambiente marino durante el Plioceno y que, mientras el margen oriental de la Península se elevaba durante el Plioceno tardío y Pleistoceno temprano, las aguas marinas fueron atrapadas localmente en depresiones durante su lento desagüe al sureste. Tanto los análisis geoquímicos de las aguas del lago de Chichankanab como los estudios de flora y fauna presentes en los sedimentos dan soporte al origen marino. Isphording (1975), menciona que aparentemente, debido a una nula interconexión entre las aguas de estos lagos y el drenaje general de agua dulce subterránea en toda la Península, el lago se hizo mas salino con el tiempo, la evidencia también apoya la conclusión de que existieron cambios climáticos a condiciones más áridas en tiempos históricos, causando una gradual caída en el nivel del lago y un rápido incremento en su salinidad. Análisis mineralógicos de los sedimentos del lago muestran un espesor de 2 a 4 m de montmorinolita, cuarzo y yeso. Este pudo ser el origen de los otros lagos salinos de la localidad de fallas en bloque del oriente. Se postula que la salinidad en estos lagos se debe a que en los últimos movimientos del Plioceno, las cuencas en fallas se intercomunicaron a profundidad con la capa de evaporitas desarrollada durante el Cretácico y Terciario y cuyo resultado es la disolución de los sulfatos, principalmente de calcio y magnesio.

Existen informes de que en la laguna de Paytoro, se ha observado un sumidero donde las aguas superficiales se introducen al interior del macizo Cárstico y que después de fuertes lluvias, en las partes bajas cercanas a Carrillo Puerto se presentan desbordamientos de agua sobre la carretera que conduce a Chetumal. Lo anterior es importante considerarlo si el desarrollo económico en las partes altas demanda sustancias tóxicas o fertilizantes, ya que en la última instancia es el receptor final de los contaminantes, poniendo en riesgo la salud ambiental del área.

A continuación se presentará la estructura del subsuelo principalmente en el litoral Cancún – Riviera Maya, aunque también se abordarán ciudades importantes de la Península como Mérida y la capital del estado de Quintana Roo, Chetumal. Para facilitar el estudio del subsuelo éste se dividirá en zona alta y zona baja siendo la primera aquella que se extiende tierra adentro con una altura de 6 a 9 msnm y la segunda siendo aquella que esta inmediata a la bahía teniendo una elevación media de 2 msnm.

En los capítulos anteriores se estudió la historia geológica y características del subsuelo en la Península, pudimos darnos cuenta que el tipo de subsuelo de la región esta conformado casi en su totalidad por roca caliza y sus derivaciones, por ende será importante mostrar a continuación información sobre este tipo de roca, sus características físicas, químicas, y pruebas de laboratorio ejercidas sobre ella.

III.b LA ROCA CALIZA

La caliza es una roca sedimentaria porosa formada por carbonatos, principalmente carbonato de calcio. Cuando tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomita. La roca caliza tiene una gran resistencia a la meteorización, eso ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en dichas rocas hayan llegado hasta nosotros. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y ríos provoca la disolución de la caliza, creando un tipo de erosión característica denominada kárstica (fenómeno estudiado previamente en este trabajo). La roca caliza es un componente importante del cemento usado en las construcciones modernas.

Contiene alto porcentaje de calcita, de materiales tríticos, como cuarzo o arcilla, lo que puede aportar un color más oscuro que el de la caliza más pura.

A continuación se presentará una descripción y clasificación de la roca caliza:

GRUPO

Carbonatos

SISTEMA CRISTALINO / ESTRUCTURA

Trigonal o Romboédrico

COMPOSICIÓN QUIMICA

Carbonato de calcio, magnesio y potasio, tiene muchas sustancias nutritivas, cristales romboédricos, escalenoédricos y prismáticos, a veces combinaciones de estas; normalmente concrecionada estalactita, psolífica, fibrosas y laminares; frecuentes maclas y variadas.

FORMACION U ORIGEN

El material de la península de Yucatán se ha constituido con los restos de muchísimos esqueletos de animales marinos ricos en carbonato de calcio que se acumularon y posteriormente dieron lugar a la formación de rocas calizas. La acción del agua sobre este tipo de roca origina el relieve denominado Kárstico. El agua se infiltra y escurre a través de las fisuras del terreno modelando la capa caliza y dando lugar ríos subterráneos, cenotes, aguadas y cavernas con estalactitas y estalagmitas.

Es una roca Sedimentaria, es decir que se forma por la acumulación de material producto de efectos de erosión y transporte. Son de origen secundario, es resultado de la precipitación de restos orgánicos. Muchos de los organismos que habitan en el mar utilizan el carbonato cálcico del agua para producir caparazones protectores duros, cuando estos organismos mueren las partes calcáreas se acumulan en el fondo del mar, consolidándose formando capas de rocas calizas. El sascab que es una variación de roca caliza de forma granular o triturada que no alcanzó a consolidarse se encuentra en algunas oquedades llamadas sascabereras de donde se extrae.

TEXTURA

Granular fina a gruesa, es un poco rasposa. Tienen una textura consistente en granos minerales que se entrelazan, desarrollados durante la cristalización de sustancias que se desprenden de la solución.

DENSIDAD

Depende de su altura, puede variar de acuerdo a la cantidad de restos fósiles y silicatos que ésta contenga, pero generalmente son ligeras.

COLOR

Blanco y tintes diversos debido a impurezas. Pardo, incoloro, blanco, rosa, amarillo y gris. El color de un mineral no es una forma segura para su identificación, puesto que algunos minerales poseen una escala de colores. El color de raya (color de polvo fino que deja un mineral cuando rayamos en el sobre una placa de porcelana blanca porosa) es un indicador más seguro.

BRILLO

Vítreo, de opaco a cristalina, Translúcido a terroso, en algunas rocas como la dolomita o dolomía tiene brillo cristalino.

PROPIEDADES

La caliza es una roca sedimentaria que permite el paso del agua, es decir, es una roca permeable. Cuando el agua penetra en la caliza se lleva a cabo el proceso de disolución, mediante el cual se disuelve el carbonato de calcio.

Fractura, exfoliación sistema cristalino, dureza, color, color de raya, densidad y brillo. Contiene silicatos y sílice en diversas proporciones; solubles en agua.

USOS

El uso de las rocas calizas es muy extenso, su mayor utilización es en la construcción. El sascab sirve como cemento natural, se emplea en el revestimiento de carreteras y mezclado con cal y arcilla es un buen cemento que fue usado en la construcción de antiguas ciudades mayas como Chichén Itzá, Uxmal, Kabah, Labná, etcétera, también es muy utilizado como relleno en esta región.

Generalmente lo que se utiliza del conglomerado son los clastos (roca caliza); los de menor tamaño son empleados como grava para la construcción en losas y pisos; los conglomerados más grandes son empleados para mamposterías y construcción de muros; además que en algunos casos se emplea como ornato en fachadas de casas. El uso de las rocas calizas es muy extenso, si se calcina se puede producir cal viva, también son utilizadas en la fabricación de cemento, así como agregados pétreos (grava y arena fragmentada) para la elaboración del concreto; también es usada como materia prima en la industria del cemento Pórtland, cal hidratada, calcita, construcción, mármol, agricultura etc.

OBSERVACIONES PARTICULARES

En el sascab con frecuencia se encuentran restos de fósiles marinos, por ende las rocas calizas nos muestran la edad de la Tierra gracias a su gran contenido de fósiles. Otra característica de las rocas calizas es que se forman en capas (formación típica de las rocas sedimentarias), lo cual nos permite determinar la edad de las rocas; como se estudió en los cursos de geología las capas superiores son mas jóvenes que las inferiores.

La información de los párrafos anteriores brindaron información general y básica de la roca caliza, es importante tener muy claro las características de esta roca sedimentaria, ya que es una roca poco familiarizada respecto a las rocas conocidas en el centro y norte de la República y también una de las rocas menos exploradas ya que el desarrollo en la Península de Yucatán donde en su mayoría estas yacen, apenas ha comenzado su incremento en forma importante en las ultimas 2 décadas.

III.c ZONA ALTA

Esta constituida por materiales estratificados, de colores claros (blanco, amarillo y café) del tipo de calizas cretosas, denominadas localmente sascab Fig.3. Este material aflora en la superficie y solo en ocasiones se observa sobre el roca caliza dura, en pequeñas proporciones o fragmentos aislados. Su textura es la de un suelo arcillo-arenoso de consistencia variable. Del análisis de muestras extraídas a 2m de profundidad se observó que está formado por 1% de grava, 15% de arena y 84% de finos; con limites líquido y plástico de 31 y 20% respectivamente, clasificada como del grupo CL del SUCS.

En sitios donde se construyen edificios, se excavaron pozos a cielo abierto de profundidad máxima de 3m en los cuales no se encontró el nivel freático; lo que confirma la gran profundidad que tiene el nivel freático en la Península mencionado en los párrafos anteriores.

En cuanto a la estratigrafía del subsuelo, el área de cimentación se divide en dos partes: área uno, constituida superficialmente por una capa de 0.5 m de espesor de fragmentos de roca caliza mezclados con suelo vegetal, por debajo del cual existe un estrato potente de roca caliza poco alterada y poco fracturada; y el área dos, superficialmente igual que la anterior, de 0.5 m a 1.0 m, habiendo una capa de arcilla de mediana plasticidad, de consistencia poco firme de color rojizo, y de 1.0 a 3.0 m existe una arena arcillosa poco compacta (sascab).



Fig. 3 Subsuelo de roca no consolidada (Sascab)

III.d ZONA BAJA

En esta zona (la zona apegada a la costa) las condiciones del terreno de cimentación son diferentes a las de la zona alta, debido a la presencia superficial de depósitos marinos recientes que yacen sobre una formación similar a la de la primera. Los depósitos marinos están poco consolidados y son de consistencia o compacidad variables, saturados por encontrarse en el nivel freático a poca profundidad de la superficie (0.5 a 1.5 m). Las condiciones son mas desfavorables a medida que la distancia hacia el mar es menor. En esta zona existen evidencias de carsticidad en las rocas calcáreas y de posibles problemas de ubicación de los suelos, provocados por el flujo de agua subterránea hacia el mar.

En esta zona baja se localiza el área céntrica de la ciudad de Chetumal, y en ella, las construcciones urbanas de mayor importancia. Casi todas estas son de baja altura, uno y dos niveles, siendo las mas altas las de cuatro niveles, equivalentes a 12 metros de altura.

Al norte de la región 15 del mapa geomorfológico se encuentra el Área de Cancún y Puerto Morelos Fig.4, en ella se alternan ciénagas pantanosas, lagunas y playas, constituye para algunos especialistas un laboratorio a escala natural donde se puede observar el proceso de formación de las calizas que constituyen la plataforma de toda la Península.



Fig.4 Estructura en Puerto Morelos



Fig. 5 Socavación de playas en Cancún

La configuración típica de la región esta representada por sucesivas dunas de arena endurecida que descansan sobre la roca caliza de la plataforma continental, existiendo entre ellas lagunas y pantanos en los que tiene lugar un proceso de precipitación de sedimentos de origen animal y vegetal. Sobre estas dunas de arena cementada el viento ha acumulado una faja de arena de 11 km de longitud, 400 m de anchura y unos 12 m de espesor, que se le conoce como Isla Cancún, pero en realidad constituye un cordón litoral.

Frente a la playa la plataforma caliza se prolonga hasta 1.5 km con una profundidad de 10 m, descendiendo después bruscamente al profundo mar Caribe.

La laguna emplazada entre Isla Cancún y tierra firme no es un solo cuerpo de agua, sino que esta subdividida en varios. Los sondeos realizados en ellos muestran que la lamina de agua es de 1 a 3 m de espesor y que en los bajos divisorios los depósitos de laguna costera alcanzan un espesor hasta de 10 m. La laguna denominada Nichupté, tiene dos bocas que la comunican con el mar en el norte de la misma, dicho cuerpo de agua en parte se alimenta de agua subterránea que proviene del macizo continental que fluye en forma de manantiales.



Fig.6 Isla de Cancún

La estratigrafía general de esta laguna puede resumirse en la siguiente forma:

De la superficie hasta una profundidad de 0.5 a 3.0 m el material de depósito es areno-limoso (SM) muy suelto, con fragmentos de conchas y material orgánico. Subyace a este estrato una capa de arcilla arenosa de mediana plasticidad (CL – CH) de consistencia blanda, con material orgánico; el contenido natural de agua es del orden del límite líquido o algo mayor variando ambos entre 50% y 80%; la resistencia a la penetración es muy pequeña siendo de 2 a 3 golpes como máximo. El espesor medio de este estrato es de 2.0 m, aunque en ciertos casos llega a ser mayor de 4 m. A la capa arcillosa le sigue un estrato de arena fina, uniforme, de bajo contenido de finos no plásticos (SP – SM); el contenido de agua natural es de 25% en promedio y se mantiene constante con la profundidad; la resistencia a la penetración es en general superior a 50 golpes. La profundidad en la que aparece este estrato es muy variable, siendo al este de la laguna de 5 a 6.5 m y en el lado oeste varía entre 3 y 4 m, aunque en ciertos casos es de 1 m, así pues existe una disminución del espesor de los estratos de Este a Oeste.

En la zona hotelera de Cancún la estratigrafía que muestran los sondeos es bastante uniforme y se puede resumir en un solo estrato de arena fina limosa (SM, SP-SM) , con diferentes grados de compactación y de cementación, encontrándose a 12 m de profundidad la roca caliza. A 3 m de profundidad se encuentra un estrato de arena cementada de considerable dureza de la que se tomaron dos muestras que previamente saturadas dieron resistencias en compresión simple de 15 y 25 kg/cm². Entre este estrato de arena limosa cementada y el fondo rocoso se encuentra una capa de sascab que da un número de golpes menor que 5 y cuyo espesor varía entre 3 y 8 m, siendo posible la existencia de cavernas en este estrato. Por otra parte en la zona comercial de Cancún el perfil estratigráfico es muy semejante; desde la superficie hasta 7.4 m de profundidad existe un estrato de depósitos sedimentarios recientes que descansa sobre un horizonte de roca caliza de 1 m de espesor; bajo este se encuentra un estrato de sascab, y por último a una profundidad que varía entre 15.7 y 17 m aparece un fondo rocoso que se detecta hasta la profundidad máxima explorada de 22 m.

Los depósitos superficiales están formados por arenas finas limosas, cuya compactación varía entre suelta a muy suelta, y por arcillas de consistencia suave y turba. Estos sedimentos exhiben una cohesión de 0 a 2 ton/m², con un promedio aritmético de 1 ton/m², el ángulo de

fricción varía entre 1 y 30 grados correspondiendo el máximo a arena fina prácticamente limpia.

El contenido de agua natural en las arcillas varía entre 70 y 75%, en las arenas es del 30% y en la material orgánica (turba) alcanza valores de 500%.

En el fondo de roca caliza, a 17 m de profundidad, la resistencia varía entre 700 y 2600 ton/m² con un valor promedio de 1800 ton/m².

Al sur de la ciudad de Cancún se encuentra la zona conocida como la Riviera Maya en ella predominan dos poblaciones principalmente Puerto Morelos y Playa del Carmen, siendo esta última la ciudad de mayor crecimiento en dicha franja turística; del lado del mar, el fondo rocoso esta cubierto por arenas calcáreas de reducido espesor, según se deduce de la geología superficial y de algunas cimentaciones de estructuras marinas. La superficie de roca esta formada por una capa muy compacta cuyo espesor varia de 0 a 4 m, alcanzando en ocasiones espesores mayores. Probablemente las condiciones de sedimentación en un ambiente epinerítico y de evaporación total contribuyeron al endurecimiento de esta capa respecto a las mas profundas.

En un gran número de cortes de caminos, banco de materiales, y otras excavaciones, se observa el material conocido y ya antes estudiado sascab que es una roca calcárea no consolidada, cuya característica y consistencia parece indicar que el lodo calcáreo del cual procede se depositó como calcite, y por tanto no ocurrió la recristalización de aragonita a calcite, proceso necesario para la consolidación de esta roca. También se les denomina sascab a algunas calizas y coquinas cretosas de consistencia análoga a la mencionada.

El espesor de sascab usualmente observado es de 2 a 4 metros siendo en ocasiones mayor o menor. Cuando se le localiza generalmente subyace a la capa superficial de la caliza compacta, descansando sobre caliza suave. En algunos sitios aparece interestratificado con capas delgadas de calizas como se observa en las paredes del cenote sagrado de Chichén Itzá y en otras localidades aflora en la superficie, como ocurre en una vasta región del sureste de la Península.

Frente a la costa oriental de la Península de Yucatán a 17 km se encuentra la isla de Cozumel mide 15 km de anchura por 45 km de longitud, siendo esta isla la mas grande del territorio nacional y el punto de partida del crecimiento de lo que hoy se denomina de la Riviera Maya.

Por tratarse de uno de los centros turísticos mas importantes de la región y del país, en los últimos años se ha presentado un incremento en la construcción de hoteles, infraestructura necesaria para el funcionamiento de estos, y obras marítimas para el transporte de pasajeros; el desarrollo urbano ocurre principalmente en la costa occidental, donde se ubica la población de la isla de Cozumel ubicada frente a Playa del Carmen debido a la tranquilidad de las aguas y baja profundidad del fondo marino, cubierto por una capa de arena de poco espesor.



Roca Caliza Sana en Playa del Carmen



Zapata Aislada sobre roca Sana (sobre estrato de Sascab) en Playa del Carmen



Sascab Extraído de la excavación de la zapata superior

Estratigrafía y propiedades

En la superficie de la isla existe una capa de roca caliza resistente, de espesor variable, a la que subyacen sascab, calizas suaves y dolomitas, excepto en ciertos tramos de la franja costera occidental, donde la caliza está cubierta por sedimentos marinos y suelos pantanosos, propios de ciénagas y esteros, siendo blandos y de baja resistencia al corte, donde se desarrollan manglares que hacen posible la existencia de suelos orgánicos. En gran parte del camino perimetral se desarrolla este tipo de suelos, de los cuales no se cuenta con información, sin embargo han mostrado buen comportamiento ante factores de viento principalmente. Otros tramos de la franja costera, están cubiertos por una capa delgada e irregular de suelos arenosos como se observa en algunos lugares de la isla aunque generalmente el ancho de esta franja es reducido, por lo que la existencia de playas es prácticamente nula. En los tramos restantes aflora la roca como ocurre en la costa oriental.



Estratificación común en la Riviera Maya (Obsérvese los 60 cm aproximados de sascab sobre la roca sana y la prácticamente nula capa vegetal)

En los párrafos anteriores se ha presentado el entorno de la principal región en estudio, explicando con detalle el proceso Geológico que formó la configuración del relieve actual en la Península, también se presentaron las principales características del subsuelo, formaciones y características de la roca caliza (confortantes del subsuelo de la Península) como son: ríos subterráneos, cenotes, formaciones kársticas como estalactitas, estalagmitas, columnas la roca no consolidada sascab etc.

Ahora con la información anterior claramente comprendida este trabajo será encaminado al estudio en laboratorio de los subsuelos en la Península de Yucatán, dichos estudios estarán enfocados a la región Cancún-Riviera Maya que comprende el litoral del caribe, ya que en esta zona es donde se obtuvo información importante e interesante que complementará este capítulo; además de ser la zona de mas relevancia en la Península para la construcción debido al auge económico y crecimiento de estas ciudades que ha incitado a las compañías constructoras nacionales y extranjeras para realizar inversiones importantes en cuestión habitacional y turística que comprende desde casas de interés social, edificios habitacionales, hasta grandes complejos residenciales, condominios de lujo, centros comerciales, centros recreativos, naves industriales y los llamados resorts que son complejos hoteleros cuya

finalidad es que el huésped tenga todo el confort dentro del mismo, sin tener la necesidad de salir de él por ende la magnitud de estas construcciones son de gran relevancia.

En los ejemplos de las siguientes paginas será donde se mostrarán las pruebas de laboratorio efectuadas a las muestras de suelo, pruebas que pudimos conocer en nuestras clases de mecánica de suelos, comprenden la distribución granulométrica de un suelo, sistemas de clasificación de suelos, relaciones peso - volumen, compacidad relativa, límites de Atterberg, pruebas de permeabilidad, esfuerzos en suelos, consolidación, asentamientos, resistencia al corte (pruebas de corte directo, prueba triaxial, prueba de compresión no confinada, ángulo Phi); pruebas conocidas por todos los estudiantes de Ingeniería Civil analizadas en clases durante la carrera, sin embargo será muy importante ver estas pruebas aplicadas en el campo laboral, como funcionan realmente para considerar algún tipo de cimentación y ver que tan factible es usarla para el suelo estudiado.

CAPÍTULO IV. "PRUEBAS DE LABORATORIO AL SUBSUELO CALIZO"

Después de conocer las propiedades del subsuelo de la Península de Yucatán, Historia Geológica, Zonificación, Propiedades Físicas y Químicas etc. En el presente capítulo se mostrarán pruebas de laboratorio realizadas al subsuelo, cuyos resultados tendrán fines prácticos para la Ingeniería en Cimentaciones; cada prueba representa diferentes condiciones del subsuelo, para conocer las variaciones mas comunes de resistencia ante esfuerzos mecánicos de las rocas calizas de la región.

IV. a ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LA ROCA CALIZA DE YUCATÁN

I.C. Lauro A. Alonzo Salomón; I.C. Leopoldo Espinoza Graham

El siguiente artículo muestra las propiedades de la roca caliza así como la correlación entre los valores de la resistencia de una roca y sus respectivas pruebas índice de clasificación, valores de esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad que a través de diversos trabajos como los proyectos de investigación denominados "*Determinación de valores de resistencia de una roca a partir del conocimiento de valores de sus características índice*" (Alonzo L.), los trabajos "*Correlaciones entre las propiedades de la roca caliza de Yucatán y la velocidad de pulso ultrasónico*" (Sulub A.), "*Modulo de elasticidad de rocas calizas superficiales del estado de Yucatán*" (Carrillo D.) y "*Análisis de resultados en pruebas de rocas calizas*" (Dzul F.), que se han desarrollado en el Laboratorio de Geotecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán y vías terrestres "*Ing. Luis R. Roche Ontiveros*" en los últimos años sirven de base para la elaboración del presente artículo.

Palabras Claves: Propiedades en roca caliza, Resistencia en roca caliza, Correlaciones en roca caliza, Esfuerzo-Deformación en roca caliza, pruebas índice en roca caliza.

Introducción

Como se ha estudiado a lo largo de esta tesis no hay duda de que en el estado de Yucatán uno de los materiales mas usados en la industria de la construcción es la roca caliza. Dada la gran cantidad de este tipo de rocas que se encuentran en la región y la importancia que tienen para las obras de infraestructura así como para la elaboración de materiales empleados en la construcción y una amplia gama de aplicaciones que tiene en la ingeniería e incluso en el arte (creación de esculturas, lambrines tallados de piedra, etc.), se ha considerado de gran importancia el conocimiento de las propiedades mecánicas e índices de estas. Dichas propiedades se obtienen en laboratorios de mecánica de suelos, pero en muchas ocasiones resultan costosas, lentas, y si tomamos en cuenta que las obras demandan resultados rápidos, surge la necesidad de contar con información de resultados, relaciones de las características de resistencia y deformabilidad respecto a sus propiedades índices y mecánicas, que nos ayuden a tomar una decisión.

"Las características distintivas de las rocas, dependen mas bien de las relaciones entre los agregados sedimentarios, que las relaciones de grano a grano que determinan y regulan las peculiaridades de la textura; estos caracteres se estudian mejor en campo que en los ejemplares de mano" (Alonzo L. 1987).

La formación de las rocas sedimentarias en capas o bandas mas o menos paralelas con ciertas dimensiones de espesor, no es un hecho casual, sino que corresponde al propio concepto de formación de roca sedimentaria.

“No debe creerse sin embargo, que los estratos son o deben ser capas o bandas rigurosamente paralelas, con espesores constantes a lo largo de su extensión; en la mayoría de las veces, los límites inferior y superior de los mismos son superficies irregulares, sin llegar a ser superficies planas, sino alabeadas, lo que se traduce en variaciones notables de espesor” (Alonzo L. 1987).

La mayor limitante que se ha encontrado durante los trabajos de los diferentes proyectos de investigación a la roca caliza, es la de no poder realizar un estudio detallado de la península de Yucatán, puesto que las limitaciones económicas y del recurso humano no lo ha permitido, por lo que las pruebas se desarrollan en muestras obtenidas de bancos de las cercanías de la ciudad de Mérida.

Dado que las pruebas mecánicas para la determinación del comportamiento de las rocas calizas son lentas y costosas, es conveniente utilizar pruebas índice vistas en la materia de comportamiento de suelos, que permiten la clasificación de las rocas involucradas en un problema dado, así podrán ser agrupadas posteriormente mediante la asignación de los parámetros de comportamiento mecánico obtenido del ensayo de especímenes representativos de cada muestra.

Considerando que existe una alta correspondencia entre los distintos resultados de las pruebas de clasificación o índice y su respuesta a sollicitaciones esfuerzo deformación (resistencia a la compresión simple y valores de deformabilidad), es posible determinar de manera aproximada con un alto índice de correlación las respuestas de una roca cuando se le sollicita en pruebas mecánicas.

Metodología

1. Determinar el campo para la obtención de las muestras de roca fue siempre la primera etapa, se trabajó únicamente con muestras de lugares cercanos a la ciudad de Mérida, como los bancos de materiales denominados *Teya* (carretera Mérida-Valladolid), *Sacchich* (carretera Ticopó-Acanceh), *Canicab* (carreteras Ticopó-Acanceh), se tomaron también muestras de roca en la orilla de la carretera Mérida-Motul (libramiento de Cholul). En una segunda etapa del proyecto se obtuvieron muestras de roca caliza de diversos lugares de la Península tanto de Campeche como del estado de Quintana Roo, sin embargo en el presente artículo solo se reportarán los resultados de la primera etapa.

Para definir el tamaño de la muestra se consideró que ésta no debería ser menor de treinta y que con base a las ecuaciones de la distribución normal se tendría una idea del tamaño de la misma.

$$P \left[\left| \frac{k}{n} - p \right| \leq \varepsilon \right] = 2 \phi \left(\varepsilon \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{pq}} \right)$$

- p = Probabilidad de éxito
- q = Probabilidad de fracaso
- n = numero de intentos
- k = numero de éxitos
- ε = error

La ecuación anterior nos da una idea del tamaño de la muestra que el proyecto utilizó, considerando que el personal de laboratorio realiza los muestreos en roca en un 90% de las veces adecuadamente y esperando con un 95% de confianza un error no mayor del 10% la cantidad esperada de estas muestras para esta etapa fue $n \geq 60$, en el proyecto se trabajó con 122 muestras de roca caliza, buscando en todo momento con todas clases y tipos de rocas.

2.- Identificar las muestras obtenidas del campo con el objeto de sistematizar y llevar un control más riguroso y dar orden a los especímenes obtenidos por medio del labrado de los mismos utilizando un extractor de muestras con una broca de 2.50 pulgadas de diámetro, fue la segunda acción importante que se realizó. La identificación de los especímenes se realizó utilizando un sistema de notación de tres números en los cuales, el primer número identifica el número de la muestra obtenida en el banco de materiales, en este proyecto se trajeron nueve muestras de diferentes lugares; el segundo número identifica a la cantidad de extracciones o corazones obtenidos por muestra, y el tercer número identifica la cantidad de especímenes obtenidos por extracción.

En todo momento se buscó durante el proceso extraer los corazones de las rocas que la relación peralte diámetro de todos los especímenes se encuentre en el rango siguiente:

$$1 \leq \frac{L}{D} \leq 2.5 ,$$

Así también se cuidó mucho emparejar las caras o bases de los mismos utilizando una cortadora con disco de diamante.

Finalmente en esta etapa del proyecto la obtención de los especímenes se realizó en el sentido normal a los estratos existentes en las muestras.

Realizar las pruebas índice y mecánicas a las rocas fue una de las tareas más importantes del presente proyecto, después de analizar la conveniencia de las diferentes pruebas se decidió realizar las siguientes pruebas:

PRUEBAS INDICE

Porcentaje de absorción (%) ASTM-C97-83

Peso volumétrico seco (g/cm^3) ASTM-C97-83

Densidad relativa aparente (S_s) ASTM-C97-83

PRUEBAS MECÁNICAS

-Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (kg/cm^2)

-Pruebas de esfuerzo-deformación (para algunas muestras)

Las siguientes fotografías muestran algunos de los equipos que se utilizaron para realizar las muestras, así como algunos especímenes obtenidos en el laboratorio de Geotecnia y Vías Terrestres de la Universidad Autónoma de Yucatán (Fig.1)



Figura 1. Cortadora



Figura 2. Extractora



Figura 3. Especímenes de roca caliza



Figura 4. Máquina Universal



Figura 5. Especímenes de roca caliza



Figura 6. Broca extractora

Figura 1. Equipos de laboratorio empleados para las pruebas

Adicionalmente a las pruebas de laboratorio efectuadas, se realizaron correlaciones a los resultados obtenidos por el método de mínimos cuadrados, así como también ensayos de esfuerzo deformación a tres muestras de roca caliza.

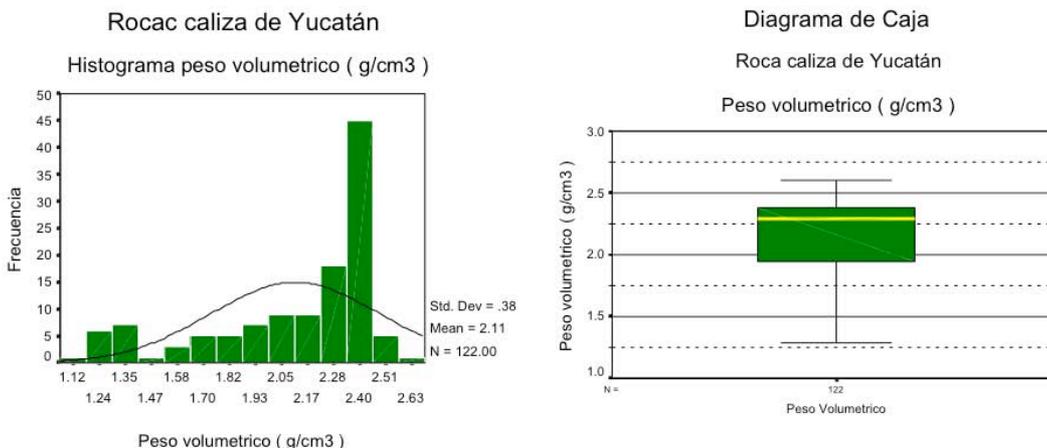
RESULTADOS

En la tabla 1. se muestran los resultados de las pruebas realizadas a la roca caliza, en ella se pueden apreciar los resultados estadísticos que arrojaron tanto el peso volumétrico, la resistencia, la densidad y la absorción.

Tabla 1. Estadísticas de la roca caliza de Yucatán

	Peso Volumétrico (g/cm ³)	Resistencia (Kg/cm ²)	Densidad (Ss)	Absorción (%)
n	122	122	122	122
Media	2.1102	282.6708	2.1707	7.1125
Error Standard. de la media	3.413E-02	14.5903	3.191E-02	.6361
Mediana	2.2900	296.2450	2.3400	3.5800
Moda	2.44	295.47	2.46	2.40
Desviación Standard	.3769	161.1550	.3525	7.0257
Varianza	.1421	25970.9318	.1242	49.3609
Rango	1.45	641.91	1.32	27.95
Mínimo	1.15	18.10	1.24	.98
Máximo	2.60	660.01	2.56	28.93

Para complementar los resultados de las pruebas realizadas y poder dar conclusiones en cuanto a los valores obtenidos, se realizaron los histogramas de una de las pruebas realizadas, así como sus diagramas de caja (Figura 7).



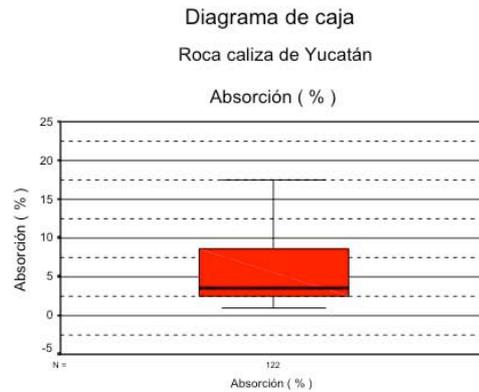
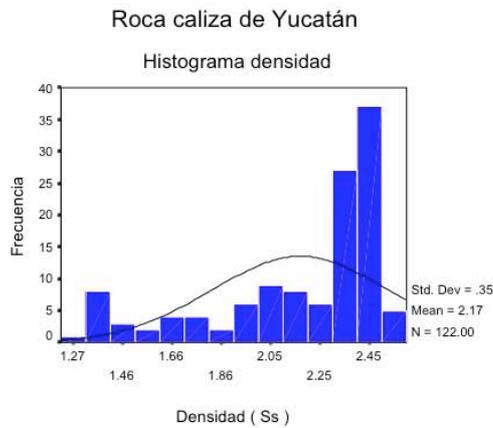
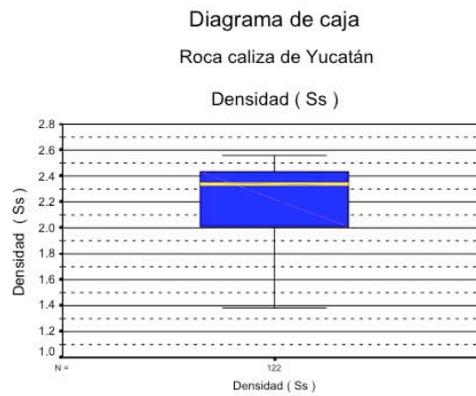
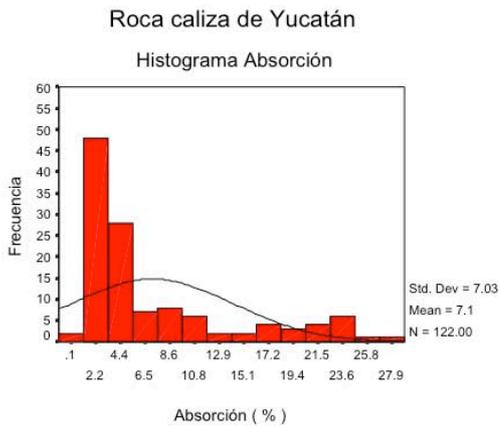
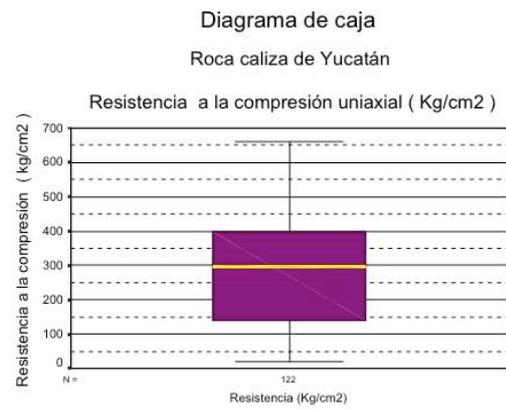
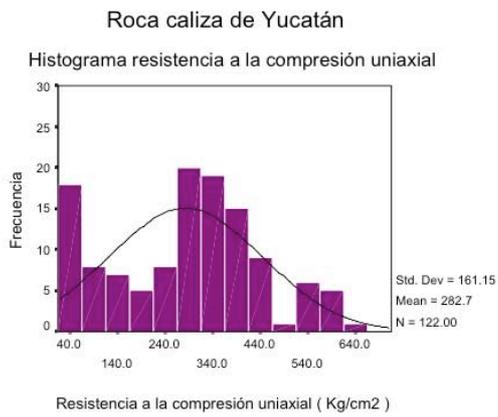


Figura 7. Histogramas y diagramas de caja de las pruebas realizadas

CONCLUSIONES

1.- Con base en los resultados obtenidos en el punto anterior se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- Para el caso de la prueba peso volumétrico se puede apreciar que el 50% de los valores se encuentran entre 1.90 y 2.40 (g/cm³).
- Para el caso del valor de la resistencia a la compresión uniaxial se puede apreciar que el 50% de los valores se encuentran entre 140 y 400 (kg/cm²).
- Para el caso de los valores de la prueba de densidad se puede apreciar que el 50% de los valores se encuentran entre 2.05 y 2.45
- Para el caso de la prueba de absorción se puede apreciar que el 50% de los valores se encuentran entre 2.20 y 8.60 (%).

2.- De los resultados obtenidos de la roca caliza, se puede obtener los diferentes coeficientes de variación para las siguientes pruebas realizadas; esto nos da una idea de la dispersión de resultados en la roca caliza, la tabla 2 muestra los valores del coeficiente de variación.

Tabla 2. Valores del coeficiente de variación

	Peso Volumétrico (g/cm³)	Resistencia (Kg/cm²)	Densidad (Ss)	Absorción (%)
Desviación Estandar.	.3769	161.1550	.3525	7.0257
Media	2.1102	282.6708	2.1707	7.1125
Coefficiente de variación	17.86 %	57.01 %	16.24 %	323.66 %

En la tabla superior se puede apreciar que los valores de la prueba de absorción muestran una considerable dispersión, en contraste con los valores de las pruebas peso volumétrico y densidad. La prueba resistencia a la compresión uniaxial nos muestra una dispersión del 57.01% indicándonos que sus valores tienden a no ser muy dispersos tomando como referencia el valor medio de 282.67 (kg/cm²)

3.- Para el caso de la prueba de resistencia a la compresión uniaxial ésta mostró un rango de valores de 641.91 kg/cm² esto debido a la diferencia entre el valor máximo obtenido de 660.01 kg/cm² y el valor mínimo de 18.10 kg/cm², lo anterior nos muestra la gran relación de valores de resistencia a la compresión uniaxial, sin embargo el diagrama de caja nos mostró que la mayoría de los valores se encuentran entre 150 kg/cm² y 400 kg/cm² con una mediana de 296.24 kg/cm².

4.- Si realizamos una correlación entre los distintos valores obtenidos para la roca caliza en las pruebas realizadas obtenemos las siguientes curvas de correlación:

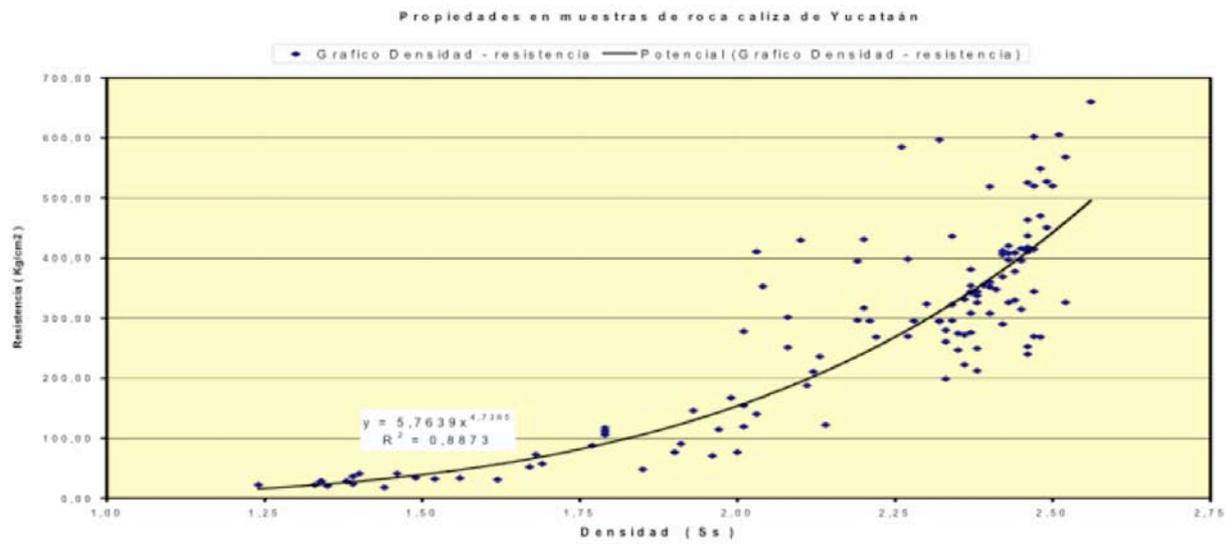


Figura 8. Correlación Densidad - Resistencia

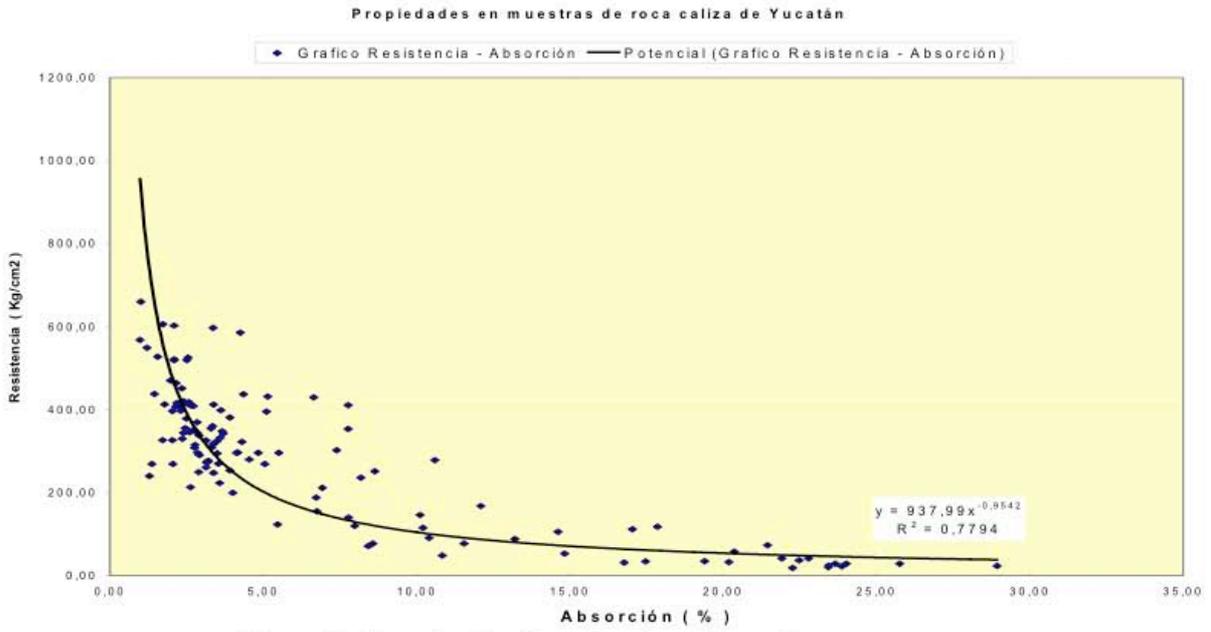


Figura 9. Correlación Resistencia - Absorción

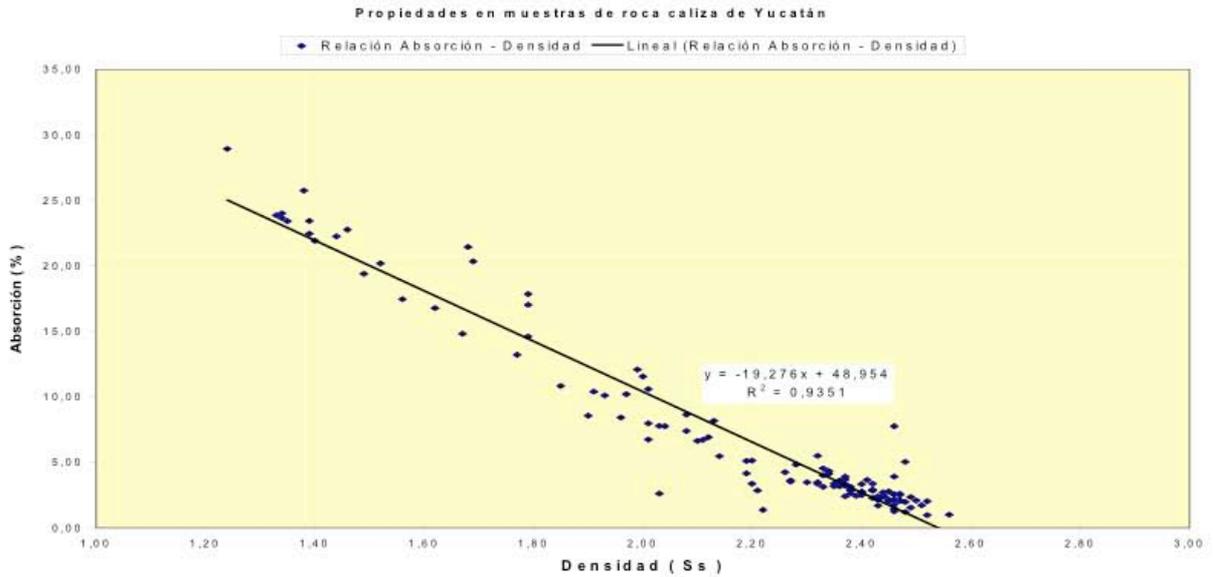


Figura 10. Correlación Absorción - Densidad

Propiedades en muestras de roca caliza de Yucatán

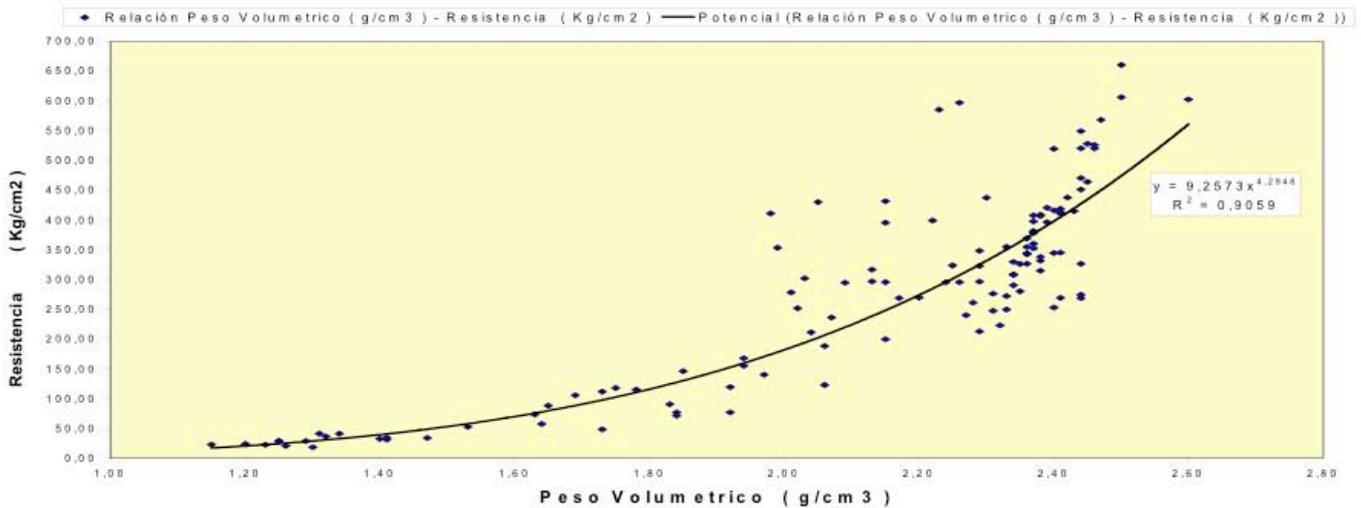


Figura 11. Correlación Peso Volumétrico - Resistencia

De las gráficas mostradas en las figuras 8 a la 11, se pueden obtener aproximaciones a los valores que una roca caliza puede tener con el solo hecho de tener un dato, sobre todo cuando se trata de pruebas con algún costo como la resistencia a la compresión uniaxial, o también se puede utilizar la ecuación señalada, por ejemplo en el gráfico de resistencia-peso volumétrico, la cual es: $y = 9.2573 \cdot x^{4.2573}$ Donde: y es igual a la resistencia a la compresión uniaxial en kg/cm² y x es igual al peso volumétrico en g/cm³.

5.- Otro aspecto importante a considerar de la roca caliza son sus relaciones esfuerzo-deformación, las cuales nos dan una idea sobre su deformabilidad, aunque este es un aspecto poco estudiado de las rocas, conocer la forma y sus comportamientos gráficos; cuando se realizan este tipo de pruebas es información que se debe conocer. A continuación se presentan el gráfico 12 y el gráfico 13 los cuales son el resultado de una serie de pruebas de este tipo en roca caliza. En el gráfico 12 se da la correlación de una muestra de roca caliza y en el gráfico 13 se da la correlación de tres muestras de roca caliza de diferente resistencia a la compresión uniaxial.

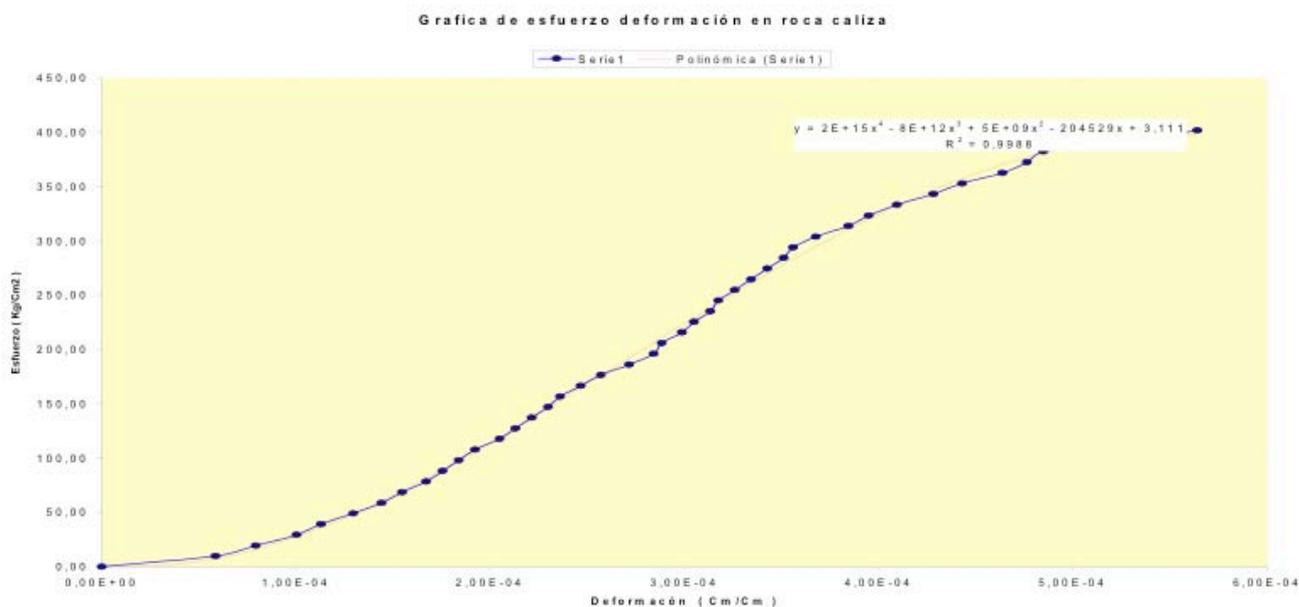
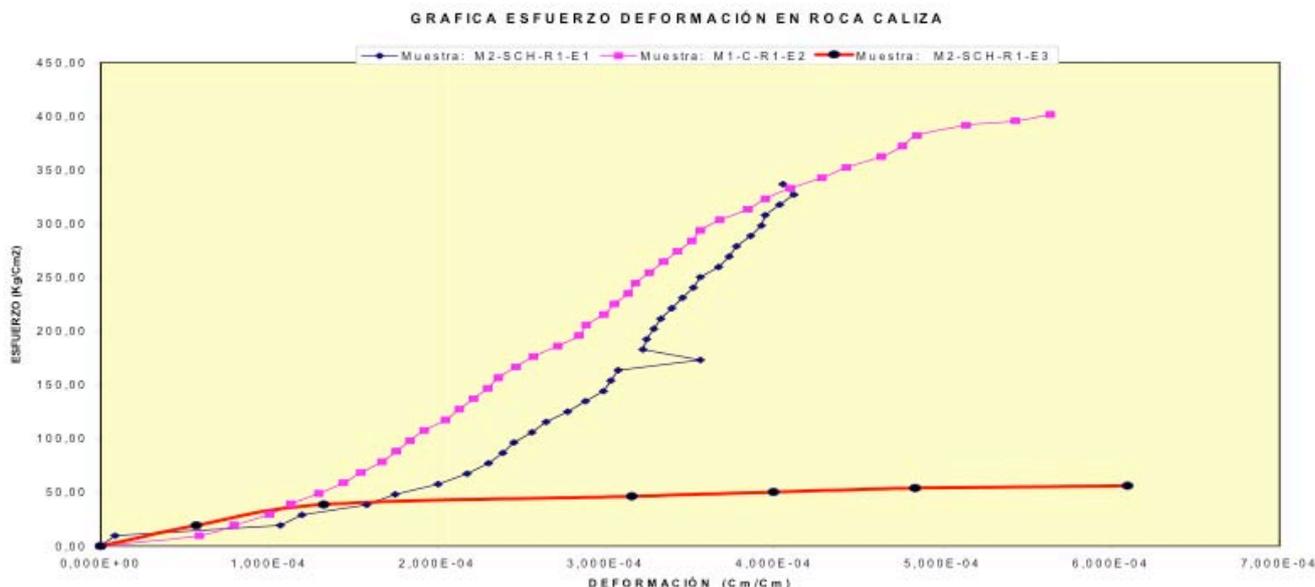


Figura 12. Correlación Esfuerzo – Deformación unitaria.



En la figura 12 se puede observar la tendencia de las rocas estudiadas en una prueba de esfuerzo, el gráfico de la prueba nos da un comportamiento para la roca estudiada del tipo elastoplástico, el cual es una de las curvas típicas del comportamiento de los materiales en pruebas esfuerzo-deformación. En la figura 13 se puede apreciar los comportamientos de tres rocas calizas de diferente resistencia a la compresión las cuales presentan el mismo comportamiento antes mencionado para la figura 12.

Para el caso de los módulos de elasticidad los valores obtenidos por el método del módulo tangente en los tramos rectos máximos de cada curva esfuerzo-deformación fueron los siguientes:

Tabla 3. Módulo de elasticidad de rocas calizas del Estado de Yucatán (D. Carrillo q991)

<i>Número</i>	<i>Espécimen</i>	<i>Módulo de Elasticidad* (Kg/cm²)</i>
1	M2-SCH-R1-E1	1 365 879.100
2	M1-C-R1-E2	1 041 666.670
3	M2-SCH-R1-E3	44 021.646

En relación a los módulos se puede observar que el espécimen marcado con el numero 3 da el módulo mas bajo y es también la muestra que dio el valor mas bajo de resistencia a la compresión simple uniaxial.

La investigación en rocas calizas de Yucatán es por su naturaleza muy interesante y consideramos que debe estar siempre en constante estudio.

IV. b Prueba de laboratorio a la roca caliza no consolidada (Sascab)

El siguiente proyecto de investigación fue elaborado en la Universidad Autónoma de Yucatán, agradeciendo la información prestada para esta tesis.

Dicho proyecto se desarrolló adoptando la metodología que impone la descripción de las características físicas, mecánicas del material calizo que predomina en el estado de Yucatán, con miras a proponer una identificación del mismo, en el contexto de la construcción de caminos.

El procedimiento que se aplicó para obtener la información deseada fue el siguiente:

- Localización y muestreo
- Pruebas de laboratorio
- Resultados

Localización y muestreo

En lo referente a estas primeras actividades se tomó como base la distribución superficial de las unidades geológicas descritas con anterioridad, la formación Carrillo Puerto correspondiente al Plioceno – Mioceno, es la que predomina en la Península de Yucatán estando la ciudad de Mérida localizada sobre esta formación, así como el tramo Valladolid-Xcan del camino de cuota Mérida-Cancún. Se consideró que estudiando los bancos de materiales que se encuentran en la periferia de esta ciudad y algunos ubicados a lo largo del camino mencionado, se tendría una visión inicial del probable comportamiento del material calizo de Yucatán, en lo que se refiere a la formación Carrillo Puerto.

Una vez definido el alcance del campo de trabajo se procedió a ubicar las áreas específicas donde se realizarían los muestreos, las cuales fueron:

- Bancos ubicados a lo largo del periférico de la ciudad de Mérida
- Bancos de préstamo ubicados alrededor del Km. 158+160 al Km. 217+520 del camino de cuota Mérida-Cancún.

Así las muestras de material que se analizaron en este proyecto de investigación fueron obtenidas de los bancos señalados, siguiendo la presente metodología:

1. Ubicación de los bancos (Figuras 1 y 2)
2. Número de muestras por banco (Tabla 3)
3. Cantidad de material obtenido (100 Kg por muestra)
4. Profundidad del sondeo (variable entre 1 y 3 metros)
5. Método de excavación (excavación pozo a cielo abierto, muestreo en la pared y superficiales)

Pruebas de laboratorio

Las pruebas que se realizaron al material calizo sascab para su identificación fueron las siguientes:

- Granulometría (tabla No. 3)
- Límites de consistencia (tabla No. 4)
- Equivalente de arena (tabla No. 4)
- Análisis químico (tabla No. 5)
- Valor cementante (tabla No. 4)
- Contracción lineal (tabla No. 4)
- V.R.S. Estándar (tabla No. 4)
- Peso Vol. Seco Suelto (tabla No. 4)
- Peso Vol. Porter (tabla No. 4)
- Humedad óptima (tabla No. 4)
- Densidad de arenas (tabla No. 4)
- Absorción de arenas (tabla No. 4)

Normas de calidad

Se tomó como referencia las normas de calidad de los materiales que se fijan en la parte novena del libro 1 de la S.C.T (Edición ,1986).

Ubicación de los sondeos

En las figuras 1 y 2 se muestran los lugares donde se realizaron los muestreos de material que sirvió para la presente investigación.



Figura 1. Ubicación de los bancos de materiales alrededor del periférico de la ciudad de Mérida

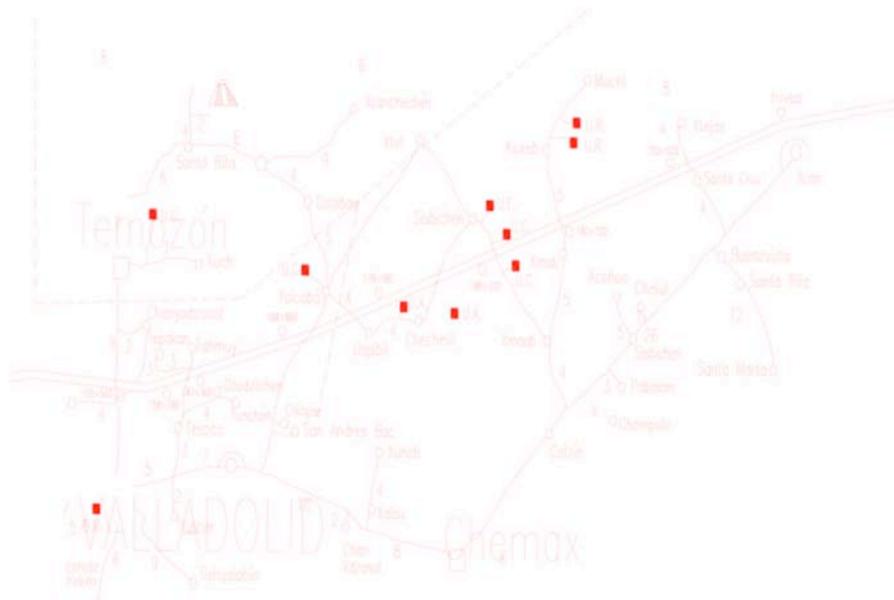


Figura 2. Bancos ubicados del km 158+160 al km 217+520 del camino de cuota Mérida - Cancún

La tabla 3 muestra el resultado del análisis granulométrico efectuado al material que se presento en este estudio, en ella se indica el banco de procedencia así como los diferentes porcentajes que pasan en la malla especificada.

Tabla 3. Resultados del análisis granulométrico efectuado al material calizo

Datos del muestreo			% que pasa la malla especificada							
Número	Banco	Muestra	3"	1 ½"	¾"	No. 4	No. 10	No.20	No.40	No.200
1	Teya	1	100	96	92	74	55	39	30	17
2		2	100	99	97	71	50	34	24	13
3		3	100	99	97	66	47	31	22	11
4	Cd. Blanca	1	100	98	96	82	66	50	49	20
5		2	100	96	93	78	68	56	45	21
6		3	100	94	90	65	54	43	34	18
7		4	100	95	91	63	45	32	24	10
8		5	100	92	87	58	40	30	24	14
9		6	100	100	99	95	86	72	60	33
10	Alexma	1	100	95	91	65	49	40	33	14
11		2	100	96	93	67	49	35	25	13
12	I.Benitez	1	100	98	96	88	78	65	51	26
13		2	100	97	93	68	56	42	31	15
14		3	100	99	97	68	48	33	23	10
15		4	100	95	91	68	53	39	31	16
16	km 158+160	1	100	98	88	69	61	54	47	36
17	km 161+780	1	100	93	90	63	54	45	36	23
18	km 162+300	1	100	88	75	54	48	43	38	32
19	km 162+880	1	100	89	80	39	31	25	20	13
20	km 168+860	1	100	92	72	42	32	26	21	16
Número	Banco	Muestra	3"	1 ½"	¾"	No. 4	No. 10	No.20	No.40	No.200
21	km 174+500	1	100	89	78	59	48	43	38	29
22	km 176+420	1	100	91	71	37	31	27	23	18
23	km 176+460	1	100	85	72	48	35	29	24	18
24		2	100	84	73	50	41	38	29	22
25	km 176+460	3	100	92	80	54	44	37	31	23
26		4	100	85	68	47	41	37	33	27
27	km 178+560	1	100	83	67	42	36	32	28	23
28	km 186+100	1	100	82	70	50	38	31	25	18
29		2	100	85	74	55	41	33	26	19
30	km 203+520	1	100	85	71	43	30	25	20	13
31	km 217+520	1	100	92	81	65	53	45	37	24
32		2	100	93	81	58	46	38	31	23

La tabla 4 ilustra los resultados de las diferentes pruebas de control de calidad realizadas al material calizo sascab, así como su clasificación por el método de la S.C.T.

Tabla 4. Resultados de las diferentes pruebas realizadas

Número	Banco	Muestra	V.R.S.	P.V.S.S.	P.V.P	W %	Ss	A %	L.L.	L.P.	IP	S.C.T.	C.L.	E.A.	V.C.
1	Teya	1	65.30	1290	1985	10.80	2.34	5.20	16.30	13.50	2.80	SM	1.00	59.50	9.40
2		2	70.20	1305	1997	9.20	2.20	4.95	15.40	11.20	4.20	SM	1.40	60.30	10.30
3	Cd. Blanca	1	78.60	1328	2047	11.30	2.13	7.50	18.20	15.60	2.60	SM	2.70	42.00	8.80
4		2	65.40	1401	2005	10.90	2.16	8.05	19.70	16.10	3.60	SM	2.10	39.30	7.90
5	Alexma	1	58.20	1420	2120	8.70	2.24	6.25	19.10	16.40	2.70	SM	2.90	68.00	7.20
6		2	65.30	1401	2048	8.40	2.15	5.80	20.70	17.10	3.60	SM	2.10	59.00	8.10
7	I.Benitez	1	67.80	1310	2065	12.20	2.19	7.05	21.90	17.2	4.70	SM	1.80	50.00	9.50
8		2	76.90	1452	1928	11.90	2.16	6.90	20.80	16.90	3.90	SM	2.20	56.00	10.10
9	km 158+160	1	58.80	1478	1956	12.60	2.16	4.0	29.30	21.70	7.60	SM	3.80	13.60	10.90
10	km 161+780	1	62.50	1364	1980	11.60	2.17	7.20	31.80	22.80	9.00	GC	4.40	19.10	18.60
11	km 162+300	1	58.80	1360	1877	11.70	1.82	11.07	18.30	15.30	3.00	GM	1.40	22.80	5.20
12	km 162+880	1	80.90	1389	1960	8.30	2.29	3.80	28.90	21.60	7.30	GC	3.70	17.80	17.90
13	km 168+860	1	176.50	1391	2041	8.90	2.26	5.66	17.50	15.90	1.60	GM	0.80	47.20	6.60
14	km 174+500	1	95.60	1454	1941	10.60	2.02	5.41	23.40	18.90	4.50	GM	2.10	28.30	4.30
15	km 176+420	1	55.10	1413	2029	8.8	2.20	4.20	19.0	16.90	2.10	GM	1.00	25.00	5.10
16	km 176+460	1	69.90	1402	2030	10.3	2.30	5.10	27.10	21.0	6.10	GM	3.00	20.70	12.90

Número	Banco	Muestra	V.R.S.	P.V.S.S.	P.V.P	W %	Ss	A %	L.L.	L.P.	IP	S.C.T.	C.L.	E.A.	V.C.
17		2	102.90	1427	2018	8.50	2.31	3.70	19.50	17.0	2.50	GM	1.00	24.30	5.90
18		3	128.7	1402	2126	8.40	2.32	3.12	26.40	20.50	5.90	GM	3.00	19.00	10.30
19		4	62.50	1255	1902	11.40	1.82	12.70	20.20	17.50	2.70	GM	1.30	26.40	17.50
20	km 178+560	1	73.50	1432	1989	9.70	2.02	9.20	21.80	17.40	4.40	GM	2.00	19.90	9.10
21	km 186+100	1	169.10	1734	2162	8.70	2.39	3.14	27.50	21.20	6.30	GC	3.00	27.70	17.50
22		2	172.80	1683	2145	8.10	2.44	3.75	27.0	21.0	6.00	GM	2.90	28.30	15.80
23	km 203+520	1	180.10	1489	2012	9.50	2.15	5.61	29.90	22.0	7.90	GC	3.90	21.90	27.50
24	km 217+520	1	138.70	1265	1811	14.30	2.04	7.35	20.10	17.30	2.80	SM	1.00	22.50	3.80
25		2	178.70	1571	2100	8.20	2.29	3.12	23.80	18.60	5.20	GM	2.50	50.80	21.70

Con el fin de determinar los componentes químicos del material, se efectuaron análisis de este tipo a muestras tomadas de los bancos de materiales. La tabla 5 nos muestra los resultados obtenidos.

Tabla 5. Componentes químicos del Sahcab en %

MATERIAL SAHCAB Color marfil	MUESTRA 1 Banco Cd. Blanca	MUESTRA 2 Banco Alexma	MUESTRA 3 Banco Ing. Benitez
HUMEDAD A 150° C (g)	2,000	1,100	1,250
CARBONATOS DE CALCIO	76,680	84,100	79,200
CARBONATOS DE MAGNESIO	12,820	9,900	10,800
CARBONATOS TOTALES	90,000	89,500	94,000
SULFATOS	0,004	0,005	0,004
ARCILLA	2,250	1,780	1,710
SILICE	1,110	1,250	0,300
NITRATOS	0,004	0,004	0,003
CLORUROS	0,002	0,008	0,002
OXIDO DE FIERRO	0,080	0,010	0,004

Con la finalidad de interpretar de la mejor manera los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio efectuadas al material calizo sascab se realizó un análisis de los valores con base en términos estadísticos; así, para la prueba granulométrica se puede observar en la figura 3 los resultados obtenidos en cuanto a la distribución de las partículas del material sascab para todas las pruebas efectuadas.

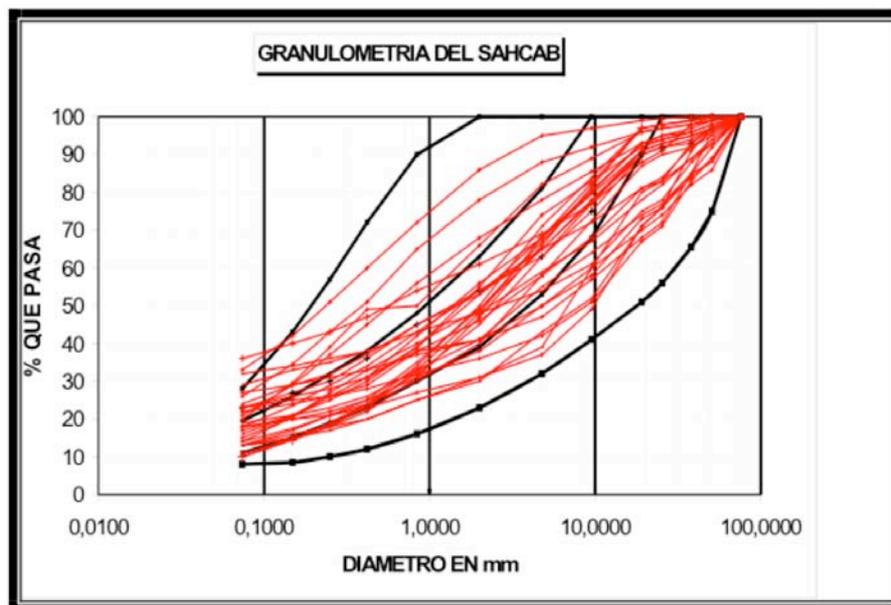


Figura 3. Resultados de las pruebas granulométricas

En la figura 3 se observa que la distribución de los diferentes tamaños que conforman la muestra sigue una tendencia relativamente suave sin cambios bruscos de pendientes, alojándose la mayor parte de las curvas en las zonas 1 y 2 de las normas de calidad que especifica la S.C.T.

A continuación se analiza estadísticamente el conjunto de todas las distribuciones granulométricas realizadas en los bancos de materiales descritos con anterioridad.

La tabla 6 muestra los resultados del análisis estadístico del material calizo sascab para las diferentes mallas que componen su distribución granulométrica.

Tabla 6. Análisis estadístico de la granulometría del material sahcab investigado

	MALLA 3"	MALLA 2"	MALLA 1 1/2"	MALLA 1"	MALLA 3/4"	MALLA 3/8"	MALLA No.4	MALLA No.10	MALLA No.20	MALLA No.40	MALLA No.60	MALLA No.100	MALLA No.200
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Media	100.0000	95.8750	92.3438	86.9219	84.1875	71.3906	60.9688	48.5625	39.0313	31.6563	27.3750	23.6563	19.6250
Error de la media	.0000	.7068	.9510	1.6030	1.8308	2.2902	2.4759	2.3070	1.9482	1.7498	1.5045	1.3182	1.1962
Mediana	100.0000	97.0000	93.0000	90.5000	87.5000	73.7500	63.0000	48.0000	37.5000	30.5000	26.0000	21.0000	18.0000
Moda	100.00	97.00	85.00	76.00	91.00	57.00	65.00	41.00	43.00	24.00	26.00	14.50	13.00
Desviación estandar	.0000	3.9980	5.3798	9.0679	10.3564	12.9551	14.0057	13.0506	11.0205	9.8982	8.5109	7.4568	6.7669
Varianza	.0000	15.9839	28.9425	82.2276	107.2540	167.8344	196.1603	170.3185	121.4506	97.9748	72.4355	55.6038	45.7903
Rango	.00	14.00	18.00	28.50	32.00	48.00	58.00	56.00	47.00	40.00	34.00	27.50	26.00
Valor mínimo	100.00	86.00	82.00	71.00	67.00	49.00	37.00	30.00	25.00	20.00	17.00	14.50	10.00
Valor máximo	100.00	100.00	100.00	99.50	99.00	97.00	95.00	86.00	72.00	60.00	51.00	42.00	36.00

Tratando de buscar que los resultados de la tabla No. 6 sean lo mas significativos posibles se procedió aplicar la metodología de control estadístico de la distribución t de student (para muestras pequeñas) con la finalidad de buscar un intervalo de confianza de la forma:

$$m - t_0 \frac{S}{\sqrt{n-1}} \leq \mu \leq m + t_0 \frac{S}{\sqrt{n-1}},$$

Tal que:

$$P[|t| > t_0] = P$$

Para la distribución antes señalada, con un 95% de confiabilidad. La tabla 7 y la figura 4 ilustran los resultados obtenidos al aplicar la fórmula estadística antes mencionada, a los resultados de la tabla No. 6.

Tabla 7. Intervalos de confianza para la distribución t de Student con un 95% de confiabilidad calculados con los datos de la Tabla 6

	MALLA 3"	MALLA 2"	MALLA 1 1/2"	MALLA 1"	MALLA 3/4"	MALLA 3/8"	MALLA No.4	MALLA No.10	MALLA No.20	MALLA No.40	MALLA No.60	MALLA No.100	MALLA No.200
Valor de la distr. t al 95%	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
Valor mínimo	100	94	90	84	80	67	56	44	35	28	24	21	17
Valor máximo	100	97	94	90	88	76	66	53	43	35	31	26	22

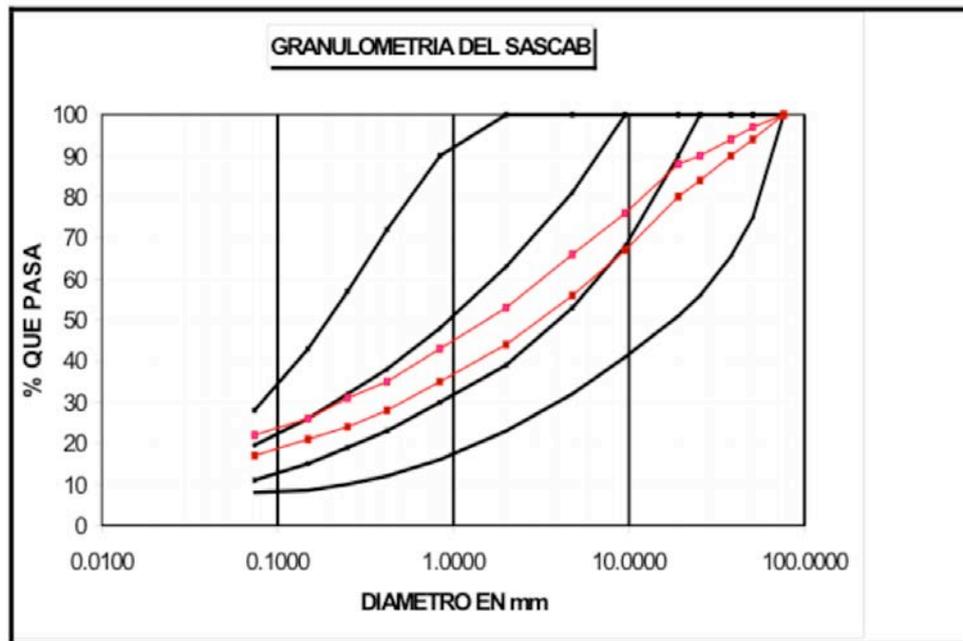


Figura 4. Gráfica de los intervalos de confianza indicados en la Tabla 7

La tabla 8 muestra del análisis estadístico efectuado al material calizo sascab para las diferentes pruebas índice.

Tabla 8. Análisis estadístico de las pruebas índice realizadas al material calizo sahcab

	V.R.S.	Peso V. Seco S	Peso V. Proctor	W %	Ss	A %	L. Liquido	L. Plástico	C. Lineal	Equivalente de arena	Valor cementante
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Media	96.5120	1416.6400	2010.9600	10.1200	2.1828	5.9932	22.5440	18.0240	2.2800	34.7760	11.2760
Error de la media	9.0413	22.8283	16.8624	.3378	3.052E-02	.4881	.9320	.5736	.2068	3.3265	1.1968
Mediana	73.5000	1402.0000	2012.0000	9.7000	2.1900	5.6100	20.8000	17.3000	2.1000	27.7000	9.5000
Moda	58.80	1401.00	1811.00	8.40	2.16	3.12	15.40	16.90	1.00	28.30	10.30
Desviación estandar	45.2065	114.1413	84.3122	1.6889	.1526	2.4404	4.6600	2.8681	1.0340	16.6325	5.9841
Varianza	2043.6286	13028.2400	7108.5400	2.8525	2.328E-02	5.9555	21.7159	8.2261	1.0692	276.6411	35.8094
Rango	125.00	479.00	351.00	6.20	.62	9.58	16.40	11.60	3.60	54.40	23.70
Valor mínimo	55.10	1255.00	1811.00	8.10	1.82	3.12	15.40	11.20	.80	13.60	3.80
Valor máximo	180.10	1734.00	2162.00	14.30	2.44	12.70	31.80	22.80	4.40	68.00	27.50

Si analizamos ahora los componentes que integran el suelo sascab de acuerdo a la tabla No. 5, obtenemos la Figura No. 5 la cual nos da una idea de los diferentes contenidos mineralógicos de las muestras de suelo calizo investigado.

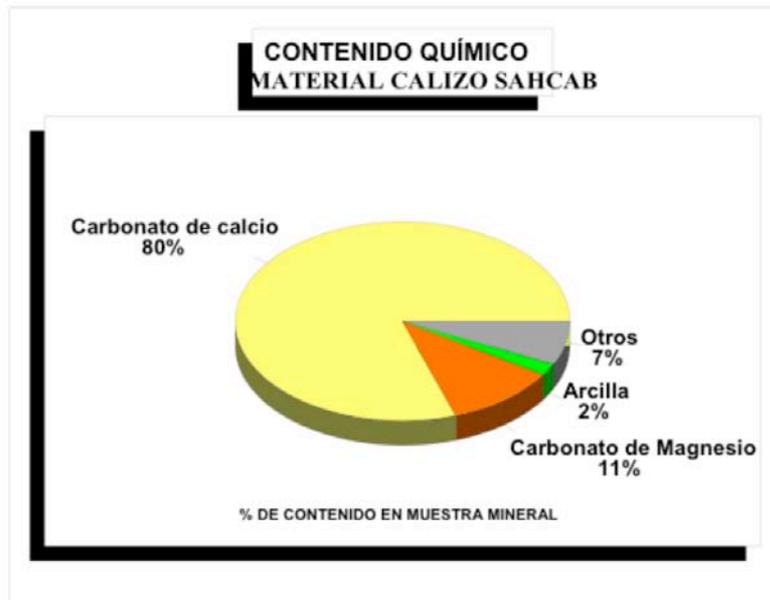


Figura 5. Contenidos químicos del material sahcab estudiado

De la Figura 5 podemos observar que el sahcab está compuesto básicamente por carbonatos de calcio en un 80% y de carbonato de magnesio en un 11% resultando esto en un 91% de carbonatos, representando solamente un 2% el contenido de arcilla. De las pruebas químicas se pudo determinar que la humedad promedio del material calizo sahcab a 150° es de 1.45 g así mismo materiales como: sulfatos, sílice, nitratos, cloruros, óxido de hierro, representan tan solo en promedio un 7% del contenido mineralógico del sahcab.

Con base en los datos de la tabla 8 presentada anteriormente, y aplicando la fórmula estadística ya citada se obtuvieron los intervalos de confianza para las diferentes pruebas que se realizaron al material calizo utilizando la distribución t de Student con un 95% de confiabilidad, esto con la finalidad de conocer mejor el comportamiento probable del sahcab.

Las figuras 6 a 10 y 12 a 15 muestran las cartas de control estadístico de las pruebas efectuadas al material estudiado, incluyendo el intervalo de confianza correspondiente.

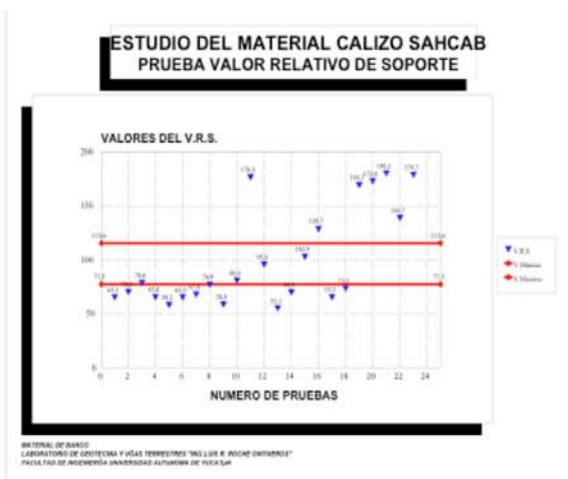


Figura 6. Carta de control estadístico De la prueba V. R. S.



Figura 7. Carta de control estadístico de la Prueba V. C.



Figura 8. Carta de control estadístico De la prueba E. de A.



Figura 9. Carta de control estadístico de la prueba Ss



Figura 10. Carta de control estadístico De la prueba C. L.



Figura 11. Clasificación del suelo

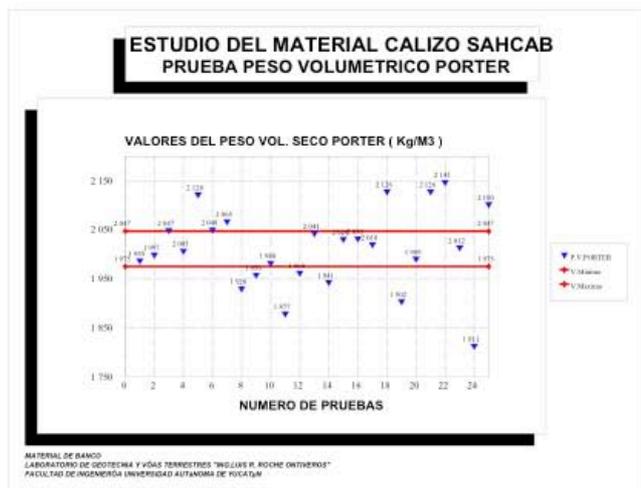


Figura 12. Carta de control estadístico de la prueba P. V. S. P.



Figura 13. Carta de control estadístico de la prueba P. V. S. S.

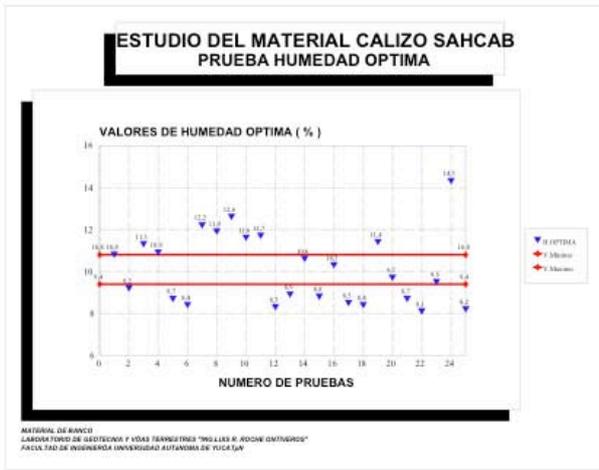


Figura 14. Carta de control estadístico de la prueba W

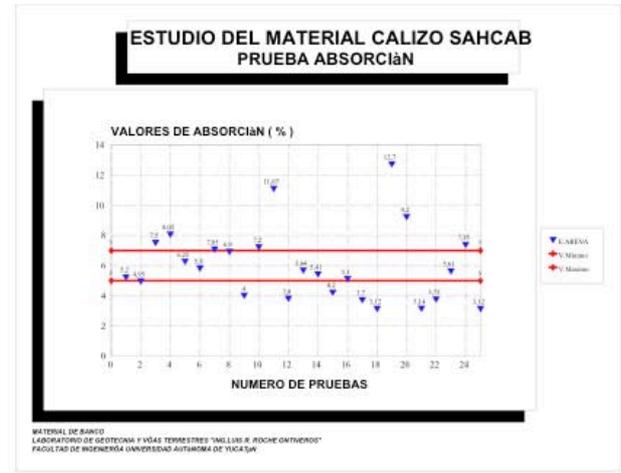


Figura 15. Carta de control estadístico de la prueba A

La finalidad de presentar cartas de control estadístico de los resultados del material sascab cuando se le somete a pruebas de laboratorio es la de dar un primer paso hacia el proyecto de especificaciones regionales en cuanto al uso de este material calizo.

CONCLUSIONES

La prueba anterior fue proporcionada en la Universidad Autónoma de Mérida, considero que muestra con claridad las características del suelo calizo estudiado sascab.

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas de granulometría, límite líquido e índice plástico, se puede concluir que el material sascab estudiado, conocido geológicamente como roca caliza no consolidada, le corresponde la clasificación de arena limosa (SM) observando las tablas de resultados en un 40% de las veces, grava limosa (GM) en un 44% de las veces, y grava arcillosa (GC) en un 16% de las veces según el sistema de clasificación que utiliza la S.C.T. representada en la figura 11.

En cuanto a las granulometrías obtenidas, al observar la bibliografía en el que se basa la prueba que es “Materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimentos” en el capítulo XCI inciso 91-03.2 de las especificaciones generales de construcción parte octava de la S.C.T. y los resultados observados en la figura No. 3 estos no tienen cambios bruscos de pendiente y se alojan casi en su totalidad en las zonas 1 y 2, de dichas normas, lo que nos da un material bueno para subrasante y sub-base. También los intervalos de confianza de la t de Student representado en la figura 4 para la granulometría confirman lo anterior.

Ahora la conclusión en cuanto a las pruebas de contracción lineal, valor cementante y valor relativo de soporte de la tabla 9 nos muestra una comparación entre las especificaciones que la bibliografía base de la prueba de la S.C.T. antes mencionada; muestra para los materiales que su gráfico granulométrico se aloja en la zona 2 y los resultados que se muestran en la tabla 8, para el valor mínimo y para el valor máximo.

De la tabla 9 se puede observar que en todas las pruebas valor relativo de soporte, valor cementante y contracción lineal efectuadas al material estudiado cumple con lo señalado en la especificación. En la prueba equivalente de arena el rango de valores nos muestra que el valor mínimo obtenido está por debajo del valor mínimo especificado, sin embargo esto no se obtuvo en cuatro muestras analizadas lo que nos dice que el material calizo analizado es altamente recomendable para usarse en capas de revestimiento y sub-bases en la construcción de

caminos y carreteras, cuando sus características tengan valores comprendidos dentro de las especificaciones señaladas.

Por otro lado cabe mencionar que el bajo contenido de contaminación orgánica y la baja plasticidad que arrojaron los resultados, garantiza que es un material estable sin excesivas deformaciones futuras ni cambios de volumen, situación que se ratifica con el bajo contenido de arcilla en las pruebas de tipo químico realizadas, y las pruebas de contracción lineal.

Afirmar que el material sascab es un buen material para capas de revestimiento y sub-bases no quiere decir que pueda ser útil en bases de pavimentos, por el contrario el material sascab no se recomienda por lo general para esta capa, sin embargo, dado que la curva granulométrica promedio del material estudiado muestra una adecuada distribución de los materiales (visto en la figura 4) de acuerdo a las normas y especificaciones vigentes y dado el rango de valores del V.R.S.; si este da un resultado mayor al 80%, dicho material se puede recomendar como capa base en caminos secundarios o de bajo tránsito.

Es justo recordar que los resultados y propuestas que se recomiendan para el material sascab en el estudio realizado, se obtuvieron en base a un tipo de material calizo del cual se reportan sus propiedades índice, por lo tanto las presentes recomendaciones no comparan a aquellos materiales cuyas características quedan fuera de los rangos estadísticos obtenidos y analizados en este proyecto de investigación, es decir tales propuestas de uso del sascab, únicamente son válidas para el material sascab estudiado.

Como dato curioso puede existir confusión en cuanto a la forma de escribir el material estudiado anteriormente si es Sahcab como en la prueba es mostrado o Sascab como se ha venido mencionando en el trabajo; en realidad ambas formas son correctas, ya que este nombre es utilizado por los pobladores.

IV. c PRUEBAS DE LABORATORIO A ROCAS CALIZAS (COQUINA SUAVE, LAJA CREMA, LAJA ROJA)

Ahora se presentará una prueba efectuada a la roca caliza de la ciudad de Mérida en Yucatán; dicha prueba fue presentada en el congreso internacional anual de la SOMIM efectuado del 17 al 19 de septiembre en la ciudad de Puebla en el año 2008; es un artículo relativamente reciente, que nos mostrará el comportamiento de la roca caliza cuando es sometida a compresión y la dureza de estas.

A manera de resumen antes de presentar la prueba. En dicho trabajo se realizaron pruebas a muestras de roca caliza pertenecientes a una cantera al sur de la ciudad de Mérida Yucatán, correspondientes a los tipos más comunes en el área. La laja se encuentra debajo del suelo (0.3 a 2.5 m) y la coquina entre 6-9 m de profundidad. Los ensayos mecánicos determinaron un valor de carga máxima de 585.66 kgf para la coquina suave, 10289.43 Kgf para la laja roja y 11273.88 kgf para la laja crema. Se utilizó un ladrillo como control, el cual tuvo una carga máxima de 647.27 kgf. El grado de compactación, la presencia de fósiles y la cantidad de impurezas son las principales causas de las diferencias observadas en el comportamiento mecánico de cada material. La dureza de la laja es el principal factor que restringe el desarrollo radicular.

INTRODUCCIÓN

En el norte de Yucatán se han identificado tres capas de sustrato calizo, cubiertos por los suelos típicos someros de la región (<30cm). La primera corresponde a una capa de roca dura, no porosa localizada inmediatamente debajo del suelo (0.3-2.5m); la segunda es una capa de sustrato muy suave y muy porosa (2.5-5.0m), la tercera es una capa fosilífera con diversos grados de porosidad y dureza (5-9 m). Estos tipos de sustrato son conocidos localmente como laja, sascab, y coquina respectivamente.

Los tres tipos de capas comparten las mismas propiedades mineralógicas pero sus propiedades físicas y su capacidad de retención de agua son muy diferentes; la laja presenta principalmente variaciones de color, puede ser blanca, crema, gris o rojo y retiene muy poca agua. El sascab es un sustrato normalmente blanco tan suave que incluso se puede deshacer en la mano; es muy poroso y retiene mucho agua. La coquina es un material altamente fosilífero, que varía en su grado de dureza; su retención de agua depende de su cantidad y tamaño de poros. Los nombres técnicos generales de estas rocas son: micrita y biomicrita. La clasificación más específica de cada muestra de roca depende del porcentaje de aloquímicos (granos diferentes a la matriz) pertenecientes a la matriz.

DETALLES EXPERIMENTALES

Las muestras fueron tomadas de diversas paredes expuestas después de la explosión y extracción de roca en una cantera de la ciudad de Mérida, Yucatán (Figura. 1). Se colectaron fragmentos de roca de aproximadamente (50x50x50) y se les marcó en la parte superior para recordar su posición en el campo. Las muestras se cortaron en piezas de (10x5x5cm) con una sierra cortadora eléctrica con disco de diamante. La parte superior de cada submuestras se marcó al igual que la original para ejercer la presión en ese punto durante los análisis de dureza. Se tomaron muestras de las variantes más abundantes de roca caliza encontrada en la zona de estudio.



Figura 1. Vista general de una pared expuesta en la cantera de donde se tomaron las muestras. La parte superior muestra el nivel original del terreno, la distancia con respecto a la parte inferior es aproximadamente 8 m.

ENSAYOS MECÁNICOS

Se realizaron seis muestras de cada uno de los diferentes tipos de roca (coquina suave, laja crema y laja roja) así como un material testigo (ladrillo macizo), que es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas a partir de una pasta arcillosa, cuyas dimensiones suelen rondar 24 X 11.5 X 6 cm. Antes del ensayo de compresión se comprobó que los cortes rectangulares presentaran paralelismo en ambas caras de acuerdo con la norma ASTM E9-89^a (2000) (figura 2.) se midió su masa por medio de una balanza modelo 700 ppw y se procedió a obtener la densidad de las muestras.

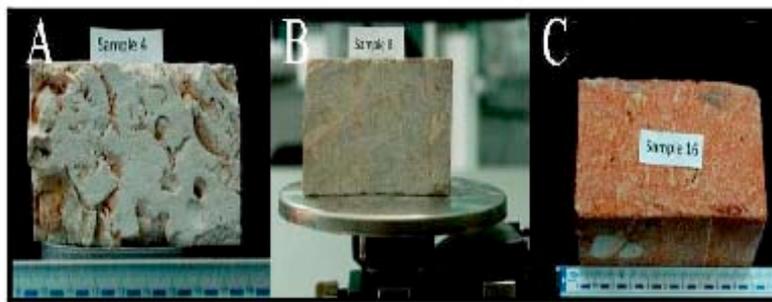


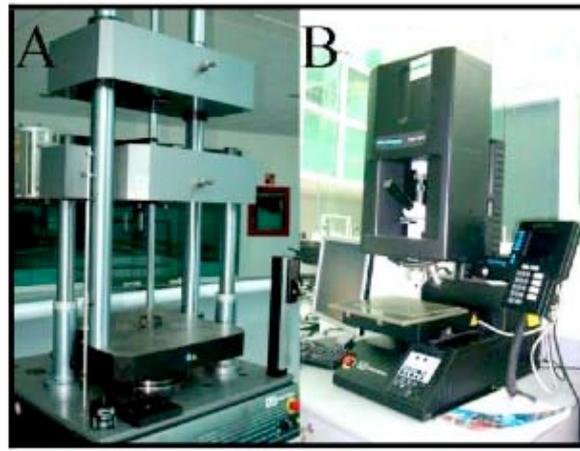
Figura 2. A) coquina suave; B) laja crema; C) laja roja.

Los ensayos de compresión se realizaron con una maquina universal del tipo INSTRON de la serie “satec series Modelo 600dx-F2-G1” (Figura 3A). Utilizando el programa partner, dicha maquina se programó para que obtuviera los datos y la gráfica de esfuerzo y carga durante todo el transcurso de la prueba.

La prueba se efectuó a temperatura ambiente con una velocidad de carga de 0.05 mm/min.

Para las pruebas de dureza se utilizaron los microdurómetros modelo INSTRON serie 210013 (Figura 3B), mediante las pruebas de Vickers y Rockwell. Se hicieron 10 identificaciones en cada probeta para obtener su dureza y sacar un promedio de la misma. La dureza es definida como la resistencia de un material a ser marcado.

Fue necesario emplear microdureza y dureza Rockwell, debido a que el material (Coquina Suave) no resiste la capacidad mínima de la prueba de dureza Rockwell, por lo que no permiten realizar el mismo ensayo de dureza a todas las muestras y fue necesario cambiar a Vickers por sus bajas cargas de penetración.



Figuras 3 (A) Maquina universal y 3 (B) Microdurómetro.

Las pruebas se efectuaron de acuerdo a las normas de la ASTM.

RESULTADOS

A) Análisis a la fractura:

El comportamiento mecánico de la coquina suave se muestra en la tabla 1. Mientras que la tendencia a la fractura mostró que en los primeros minutos de la prueba se inició una propagación a la fisura en la zona central de la pieza, esta propagación continuo en forma de ramificación en los bordes cerca de las aristas de la muestra, subsecuentemente mientras transcurría la prueba pequeños fragmentos del material se desprendían. La muestra en varias ocasiones se reacomodaba, esto se debe a su porosidad y a que en su interior tenia gran cantidad de fósiles. El tiempo estimado de la prueba fue de 25 minutos.

Las variaciones mecánicas de la laja crema se muestran en la tabla 1. La fractura de la serie se describe a continuación: en los primeros minutos del ensayo se rompieron las aristas de la parte superior e inferior de la probeta y se desprendieron pequeños fragmentos de las caras de la probeta, de tal forma que se obtuvo una alta densidad de fisuras en la parte central de la pieza, esto tuvo como consecuencia un desmoronamiento en la pieza llegando así hasta la ruptura del material a ensayar, el tiempo de ensayo para este caso en particular disminuyó con un tiempo prueba de 13 minutos.

Los resultados mecánicos de la laja roja se muestran en la tabla 1. La serie presentó un agrietamiento homogéneo en todas las caras de la probeta, caracterizado principalmente en una ruptura transversal en la pieza. En un tiempo de 3 minutos el ensayo tuvo una reacción precipitada efectuando una explosión en una de las caras laterales de la pieza, concluyendo el ensayo en un tiempo total de 7 minutos.

Los resultados obtenidos se compararon con el material testigo (ladrillo). De este se obtuvieron seis muestras rectangulares con las dimensiones estandarizadas de acuerdo a los ensayos anteriores y obteniendo valores que se presentan en la tabla 1. Los valores a la compresión alcanzaron características semejantes a la coquina suave.

En la figura 4 se muestra la evolución de las diferentes rocas analizadas en el presente estudio.

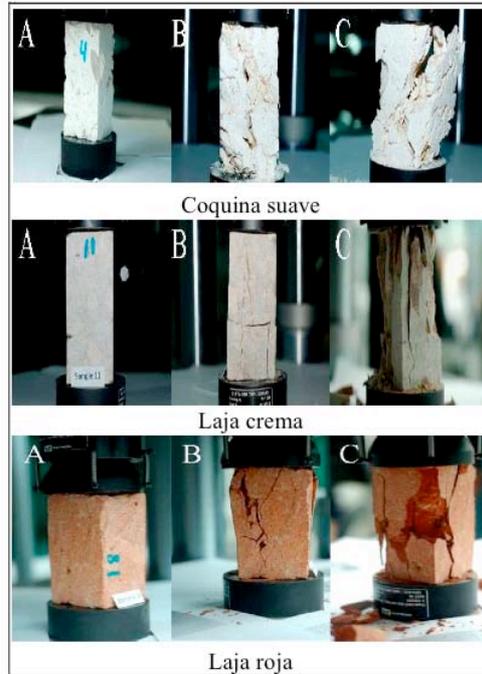


Figura 4. Diferentes momentos durante la compresión de las muestras. (A) comienzo de la prueba; (B) parte media de la prueba; (C) final de la prueba.

b) Identaciones por dureza micro Vickers.

En la figura 5 se pueden observar las superficies de las muestras ensayadas por microdureza. En la micrografía 5A, se aprecia la indentación de la huella con un debilitamiento de penetración debido a que el material en la mayoría de los casos es pulverizado con una baja carga de indentación de 0.02 grf. Para el caso de dureza tipo Rockwell las indentaciones de las muestras del tipo laja crema (Fig. 5B), denota una indentación más visible con un valor registrado en la tabla 1. Finalmente a mayor dureza se presenta una huella visible a un aumento de 50 X, en la zona identificada como se muestra en la imagen 5C.

Tabla 1. Densidad, carga, esfuerzo máximo, dureza y amortiguamiento de las rocas calizas

Muestra parámetro	Densidad (g/cm ³)	Carga Máxima (Kg _f)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Dureza HV/HRF	Amortiguamiento
Coquina suave	1.6	585.66	1.05	<0.1 HV	1.36%
Laja crema	2.6	11273.88	22.23	75.17HRF	26.9%
Laja roja	2.5	10289.43	18.50	41.15HRF	11.5%
Ladrillo	1.2	647.27	0.92	<0.1 HV	1.2%

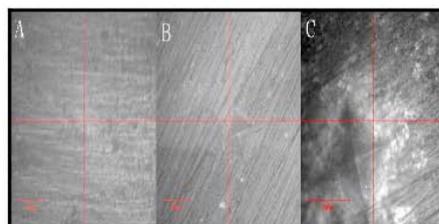


Figura 5. Imágenes obtenidas del microdurómetro. (A) Coquina suave, (B) Laja crema y (C) Laja roja.

c) Esfuerzo vs. deformación.

La gráfica de esfuerzo vs. posición (Figura 6) mostró lo siguiente: a) Coquina Suave: la gráfica presentó la cresta donde alcanzó el esfuerzo máximo, también indicó crestas en distintos puntos de la gráfica debido al reacomodo de la muestra, ya que es un material muy poroso. b) Laja Crema: la gráfica reveló cuando alcanzó el esfuerzo máximo fisurando el material por la mitad, obteniendo un decremento en el esfuerzo de la muestra mediante una recesión muy inclinada. c) Laja roja: la gráfica confirmó que a los 3 minutos de iniciado el ensayo presentó el esfuerzo máximo, después de ser alcanzado se redujo un poco y presentó otra cresta debido al reacomodo de la muestra, después su esfuerzo disminuyó notablemente.

Ladrillo: En la gráfica se puede observar que el esfuerzo máximo es menor que el de la muestra mas porosa de la roca caliza, siendo este un material frágil que presentó reacomodos durante la ejecución del ensayo.

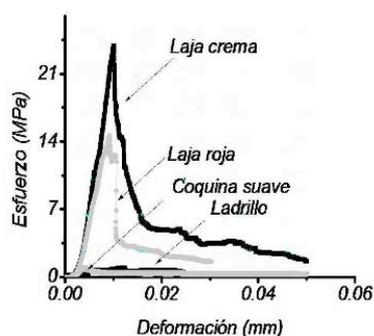


Figura 6. Esfuerzo contra deformación de todas las muestras.

A continuación se presentará el análisis y discusión de los resultados obtenidos en estas pruebas a las rocas calizas.

Coquina Suave: presenta propiedades muy parecidas a las del material testigo (ladrillo). Es muy importante hacer referencia que los fósiles son un factor determinante en esta roca como un material muy poroso (macro y microporos) de difícil predicción de ruptura. Por ende la coquina suave fue la muestra menos resistente ya que era la muestra mas porosa, esta característica se debe a que las muestras se encuentran a una profundidad de 5 a 9 m, lo que hace que almacene mas agua y no se filtre, en su interior como se mencionó contiene algunos tipos de fósiles (conchas, caracoles) por lo que presenta mayor fragilidad, lo interesante de esta es que mostró varios reacomodos durante la ejecución del ensayo. La dureza de este material es semejante a la dureza reportada del talco, por lo cual esto nos hace suponer que la resistencia mecánica es minima. Aunque los resultados muestran que puede ser tan resistente como un ladrillo su uso como material de construcción no es aconsejable, esto es a consecuencia de su baja compresibilidad, baja dureza, y principalmente por los bajos contenidos de absorción de agua y recuperación de material. Como dato adicional esta roca no presenta ninguna restricción mecánica para la penetración de las raíces debido a su suavidad y su porosidad.

Laja Crema: Es la roca mas dura y menos porosa. Sus propiedades mecánicas la hacen un buen material de construcción.

Laja Roja: La laja roja es una roca con propiedades muy parecidas a la laja crema. La diferencia quizá estriba en que esta roca contiene impurezas de hierro, lo que le confiere el color rojo y la vuelve mas dura que la laja crema. A continuación se presenta una comparación entre los resultados por Alonzo L. Et al, con respecto a los obtenidos en el presente trabajo (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de resultados.

	Esfuerzo (MPa)	
	Mínimo	Máximo
Este trabajo	1.05	22.23
Alonzo L. et al	1.78	64.72

Se determinaron las propiedades mecánicas para rocas de piedra caliza de diversas áreas en Mérida y enfocado principalmente a su comportamiento como material para la construcción, de esta manera es este trabajo el primer intento en correlacionar las propiedades mecánicas con el tipo de formación rocosa hallada en el sureste Mexicano. En general se observa claramente que en la tabla 2 que los rangos mínimos y máximos varían notablemente, lo que presupone que en el trabajo de Alonzo Et al; se analizaron muestras con impurezas en el material, lo que le da al material de ensayo valores más altos y con irregularidades; sin llegar a superficies planas; lo que traduce en variaciones notables.

CONCLUSIONES FINALES DE LAS PRUEBAS

Al término de las pruebas y análisis de los resultados se llegó a la conclusión de que la laja crema presentó mayor resistencia tanto en carga como en esfuerzo. Por el contrario la coquina suave fue la de menor resistencia. Con valores intermedios se encuentra la laja roja que presentó una carga menor con relación a la laja crema. El material testigo, tuvo resultados de carga y esfuerzos máximos cercanos a los de la coquina suave pero con distintos modos de fractura. Este tipo de roca caliza (laja crema) es en general un buen material que puede ser utilizado en la construcción, ya que sus propiedades lo hacen resistente. Así mismo se define que la profundidad a la que se encuentran las rocas esta relacionada con su resistencia, ya que a mayor profundidad la muestra es menos resistente y mas porosa.

En el próximo capítulo (Capítulo V) se mostrarán diferentes tipos de cimentaciones empleadas en la Riviera Maya (Playa del Carmen) en las cuales se revisarán los correspondientes estudios de Mecánica de Suelos efectuados para diseñarlas, también se hará una revisión a la reglamentación de construcción local, para conocer las limitaciones y los principales factores que se consideran para cimentar una obra; si se considera pertinente se realizará una crítica a dicha reglamentación.

CAPITULO V. "CIMENTACIONES SOBRE ROCA CALIZA"

Este capítulo está enfocado al tipo de cimentaciones comunes sobre roca caliza en la Riviera Maya (específicamente en la Ciudad de Playa del Carmen), abarcando los criterios de diseño, procesos constructivos, y edificaciones comunes en la zona.

Primeramente como introducción se definirá el término cimentación:

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de una edificación al subsuelo de la misma.

El diseño de cimentaciones de estructuras tales como edificios, puentes y presas requiere el conocimiento de factores como: condiciones geológicas del subsuelo considerado, resistencia, propiedades, características y comportamiento del subsuelo, la deformabilidad asociada al esfuerzo de los subsuelos que soportarán el sistema de cimentación, la carga que será transmitida por la superestructura a la cimentación (comúnmente denominada bajada de cargas); también se requiere tener conocimiento de las normas técnicas complementarias y el reglamento de construcción local, los cuales regirán el criterio de diseño de una cimentación.

Es importante señalar que las propiedades geotécnicas del subsuelo, tales como la granulometría, la plasticidad, la compresibilidad y la resistencia a fuerzas cortantes, pueden determinarse mediante pruebas apropiadas de laboratorio.

Enfatizando en el párrafo anterior estas pruebas de laboratorio arrojan las características y comportamiento de los subsuelos en estudio; en el capítulo anterior se mostraron pruebas relacionadas con el subsuelo común de la Riviera Maya obtenidas a través de estudios de mecánica de suelos desde la extracción de las muestras, conocimiento de la estratificación con equipo especializado, tales pruebas fueron estudiadas durante la carrera de Ingeniería Civil en las materias de comportamiento de suelos, mecánica de suelos y cimentaciones, materias en donde se estudio primeramente la obtención de muestras a través de: pozos a cielo abierto, prueba de penetración estándar, cono eléctrico, extracción de muestras con tubo Shelby etc., posteriormente el sometimiento de dichas muestras a pruebas de laboratorio para finalmente saber si ese subsuelo es factible para una estructura determinada, con esta información el ingeniero determina la cimentación más económica que genere un buen comportamiento, es decir que dicha cimentación pase la normatividad establecida por la reglamentación local como deformaciones y asentamientos permisibles o tolerables.

Recientemente se ha puesto énfasis en la determinación en sitio de las propiedades de Resistencia y deformación del subsuelo, debido a que así se evita la perturbación de las muestras durante la exploración de campo, así como al no ser llevadas las muestras a un laboratorio se genera un gran ahorro en tiempo para conocer las propiedades de los subsuelos. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias no todos los parámetros necesarios pueden determinarse o están determinados, debido a motivos económicos o de otra índole. En tales casos el ingeniero debe formular ciertas hipótesis respecto a las propiedades del subsuelo.

Para estimar la exactitud de los parámetros del subsuelo, sin importar si fueron determinados en el laboratorio, en el campo o si fueron supuestos, el ingeniero debe tener un buen entendimiento de los principios básicos de la mecánica de suelos. Así mismo debe estar consciente que los depósitos de suelo natural sobre los que se construyen las cimentaciones no son homogéneos en la mayor parte de los casos.

Consecuentemente el ingeniero debe tener un conocimiento pleno de la geología de la zona, es decir, el origen y naturaleza de la estratificación del subsuelo (en el caso de la región que se estudia en esta tesis dicha información corresponde a los primeros capítulos previamente estudiados), es importante de igual forma tener conocimientos de las propiedades hidrológicas del subsuelo.

En general, las cimentaciones de edificios y puentes pueden dividirse en dos categorías principales: cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas. Las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas de cimentación son ejemplos de cimentaciones superficiales; en la mayor parte de éstas, la profundidad de desplante puede ser igual o menor a tres o cuatro veces el ancho de la cimentación.

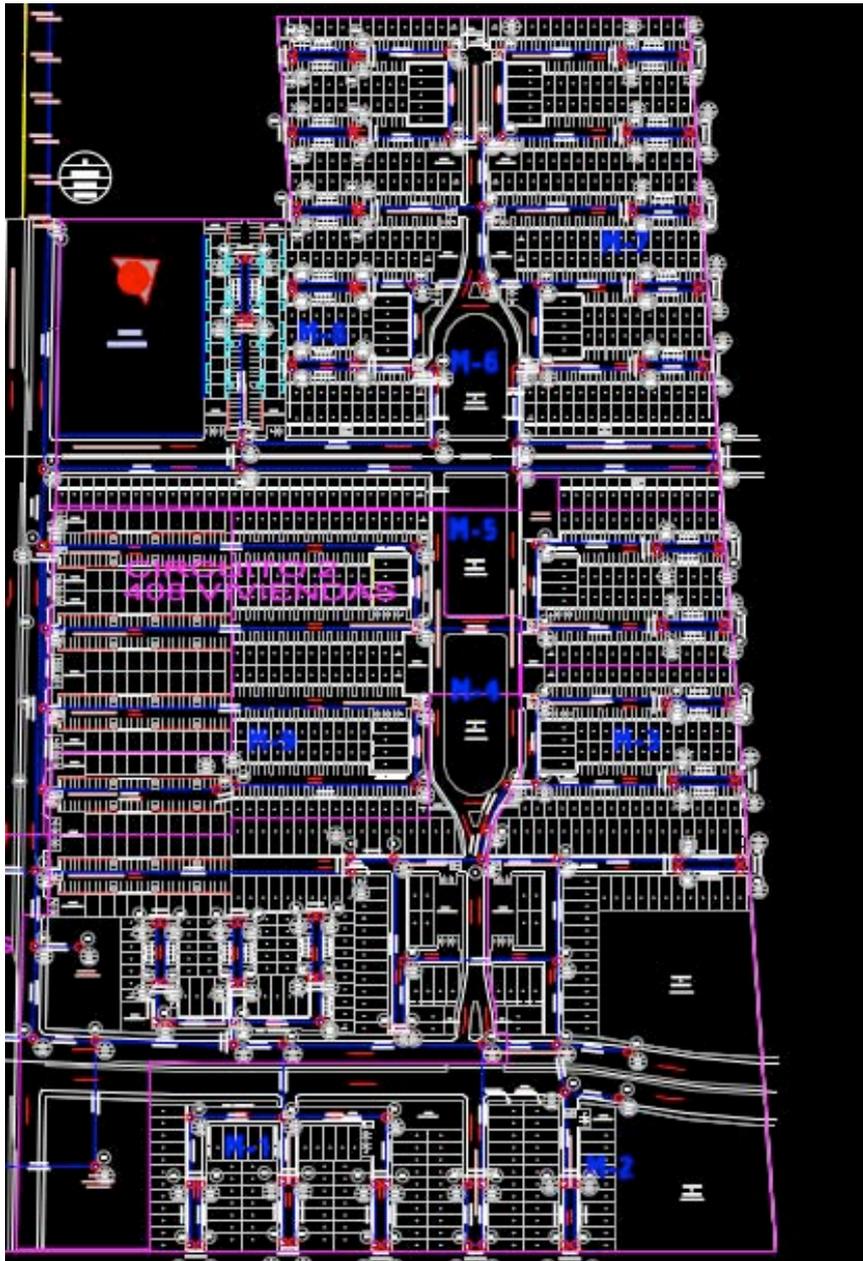
Los pilotes y las pilas son cimentaciones profundas. Éstas se usan en situaciones donde las capas superiores del terreno tienen baja capacidad de carga y cuando el uso de cimentaciones superficiales causará un daño o inestabilidad estructural considerable.

Posterior a esta breve introducción se presentarán ejemplos reales de cimentaciones comunes en la ciudad de Playa del Carmen en el estado de Quintana Roo, así como sus respectivos estudios y sondeos de mecánica de suelos, siendo el objetivo principal de este capítulo conocer el proceso completo que debe ejercer un ingeniero al proponer, diseñar y construir una cimentación; cabe mencionar que se puede generalizar el tipo y características del subsuelo para todo el estado de Quintana Roo ya que el subsuelo como se estudio en los primeros capítulos es homogéneo y estandarizado para prácticamente toda la Península de Yucatán.

V. a CASAS DE INTERÉS SOCIAL

El siguiente tipo de cimentación corresponde a un fraccionamiento que se encuentra actualmente en construcción denominado "Real Ibiza" donde se construyen departamentos de interés social conformados por edificios de tres niveles, casas de 2 niveles, áreas recreativas y comerciales, debido a políticas de privacidad de la constructora, no se proporcionó información de estudios de mecánica de suelos, sin embargo los datos sobre el subsuelo dados fue la Capacidad de carga admisible $Q_{ad} = 80 \text{ ton/m}^2$, profundidad de nivel freático equivalente a 12.5 m, tipo de roca encontrada: roca caliza de resistencia dura a media así como un estrato de 70 cm de material no consolidado llamado sascab.

El tipo de cimentación elegida fue losas de cimentación armada con una parrilla de varilla de $3/8" @ \text{ cada } 15 \text{ cm}$ y de 12 cm de espesor, dicha losa fue cimentada sobre un terraplén de 50 cm compactado al 95% conforme a la prueba porter estándar de material sascab.



PLAN MAESTRO DEL PROYECTO (1500 Viviendas)

PROCESO CONSTRUCTIVO

El proyecto ha sido empleado en diferentes ciudades de la república Mexicana, principalmente en la ciudad de México denominado "Real Paraíso", en el área metropolitana del estado de México y en la ciudad de Pachuca en el estado de Hidalgo; por primera vez la empresa Edificaciones e Ingenierías del Centro S.A. de C.V., empresa encargada del proyecto, se encuentra ejecutando este proyecto en una zona costera, en la cual se modificó el proyecto acoplándose a las características de la región, elaborando estudios de mecánica de suelos, cambios en el diseño arquitectónico, se planearon instalaciones subterráneas, de aire acondicionado etc.

Una vez contando con el proyecto concretado y teniendo claramente los objetivos del mismo, se procede a la construcción; primeramente se realizan los trabajos previos para la cimentación, es importante mencionar que "Real Ibiza" es considerado después de la crisis del año 2009 como la obra mas importante en vivienda en la zona, compuesta por 1500 viviendas, por lo que la urbanización del complejo resulta impresionante, desde la exploración del área, hasta el movimiento de tierras que se genera para realizar las plataformas donde serán desplantadas las losas, las cuales están compuestas por material obtenido de la misma excavación, llevando un proceso de tratamiento en una planta trituradora construida en el complejo, también es importante ver los procesos de alcantarillado, suministro de agua potable, y telefonía e Internet subterráneos; por lo que se considera que aunque resulta ser un fraccionamiento de interés social, se reconoce que la planeación del mismo resulta de primer nivel, ya que será un fraccionamiento completamente autosuficiente y ecológico, debido a que aunque ha causado una gran deforestación en la zona contará con áreas verdes protegidas y también la seguridad del mismo utilizará un sistema a través de cámaras de video conectadas a Internet en donde cada casa tendrá acceso a ellas, sistema denominado viviendas de séptima generación.



Fig. 1 Zanja para abastecimiento de agua potable Fig. 1.a Zanjadora utilizada en el proyecto

Habiendo descrito brevemente la dimensión y expectativas del proyecto, se indagará en la cimentación del mismo. Como en toda edificación planificada se elaboraron los respectivos sondeos del subsuelo, en el área donde se trazan las plataformas, fue necesario primeramente eliminar con maquinaria la capa vegetal que en esta región fue de 30 cm, posteriormente como se observan en las imágenes se encuentra la laja de roca caliza de resistencia media a dura, con maquinaria se realiza la excavación con el fin de nivelar lo mas posible el terreno con la laja de roca caliza expuesta; terminando la nivelación se realizó un relleno con material común en la región (sascab) de 50 cm compactado con maquinaria (motoconformadora y rodillo vibratorio) al 95% según la prueba porter en capas de 10 cm respectivamente.



Fig.2 Despalme del terreno



Fig. 2.a Nivelación del terreno para la plataforma



Fig. 3 Trituración del material



Fig. 3.a Plataforma compactada

Terminando el relleno se procede a tomar en cuenta las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias, pluviales, telefonía etc. En este proyecto dichas instalaciones se encuentran debajo de la losa de cimentación por lo que previamente antes de habilitar el acero se realizan las respectivas zanjas de instalaciones sanitarias y pluviales, posteriormente se habilita el acero de refuerzo de la losa de cimentación correspondiendo un emparrillado con varilla de 3/8" @ 15 cm en ambos sentidos, durante el habilitado del acero en la cimentación se dejan "disparadas" varillas de 3/8" @ 60 cm en todo el perímetro donde existirán muros de carga, debido a que la estructura de todas las viviendas será a base de muros de carga de block de concreto de 15 cm de espesor ahogados con concreto, las varillas de 3/8" serán el el refuerzo de acero vertical de los muros estructurales mencionados anteriormente; la cimbra de la losa de cimentación esta conformada por elementos estructurales de acero que delimitan el perímetro de la losa cumpliendo con los 10 cm de peralte marcados en el proyecto; posterior al armado y liberación del tramo por parte de los fierros, los eléctricos instalan los ductos que llevarán la instalación eléctrica, interfón, telefonía, Internet, televisión etc.

Terminando este proceso se realiza la limpieza exhaustiva de la losa para recibir el colado de la estructura con concreto premezclado de resistencia $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$ bombeable, para después curar la losa con un acelerante de curado llamado Curacreto.



Fig. 4 Sistema de Cimbra y Excavación de cepas para instalaciones sanitarias y pluviales



Fig. 5 Colado de la losa de cimentación



Fig. 5.a Acero estructural de muros de carga

Al finalizar la losa de cimentación, se realiza el trazo de la estructura y comienza el levantamiento de los muros de carga con sus respectivos castillos ahogados, el proceso es sumamente rápido, ya que cada plataforma lista para levantar muros de carga tiene capacidad para 5 casas; terminando el levantamiento de muros, se realiza el cimbrado del sistema de pisos conformado por un sistema de poliestireno denominado novidesa, que funciona como cimbra perdida, similar al sistema de piso vigueta y bovedilla, sin embargo con el sistema novidesa los tiempos se agilizan en forma importante; al igual que en el sistema de vigueta y bovedilla se requiere una losa armada con malla electrosoldada para conformar el sistema de piso. Es importante notar la eficiencia del sistema de cimentación utilizado para estas viviendas, ya que resulta rápido, económico, y ofrece gran estabilidad a la estructura soportando perfectamente los 3 niveles especificados en el proyecto.



Fig. 6 Estructura a base de muros de carga ahogados Fig. 6.a Sistema de piso "Novidesa"



Fig. 7 Entrega de Vivienda

CONCLUSIONES

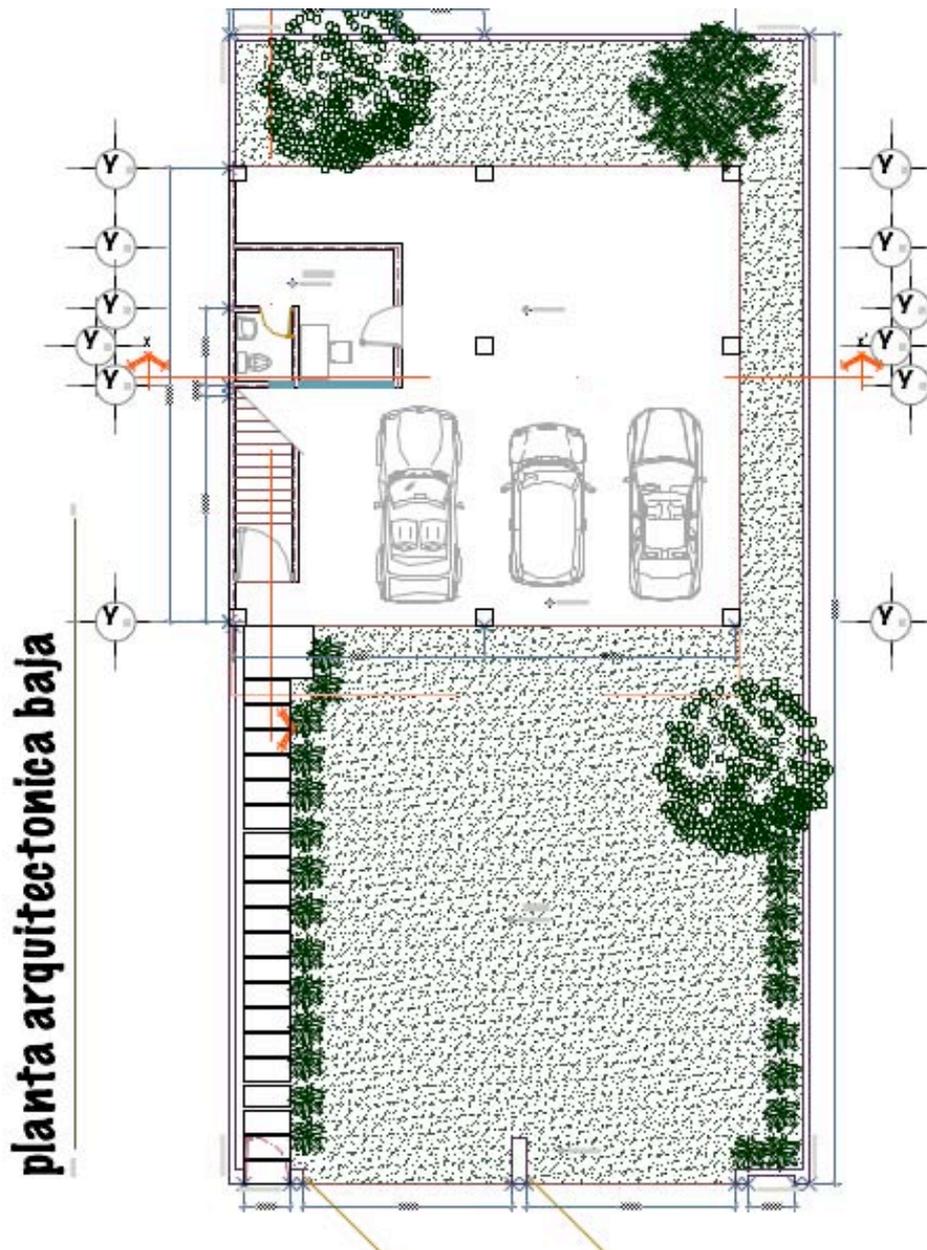
Este tipo de cimentación resulta sencillo siendo muy común hoy en día este tipo de edificaciones, ya que son edificaciones ligeras, económicas, y que brindan inmejorables tiempos para su construcción, sin embargo lo que me causó impresión es que en sus elementos estructurales no se contemplan castillos ni columnas, es decir las barbas de varilla de 3/8" preparadas previas al colado quedaron ahogadas dentro de los muros de la casa a base de block hueco de 10 cm de espesor; y este tipo de estructura requiere un alto control de calidad, ya que se debe garantizar que efectivamente todos los castillos ahogados cumplan con lo especificado en el proyecto.

En este tipo de edificaciones resulta interesante observar la velocidad de construcción y la producción en serie de las viviendas lo cual resulta muy eficaz con respecto a las edificaciones construidas tradicionalmente; al estar en esta obra pude constatar la velocidad de edificación, ya que semanalmente la producción era de 3 plataformas conformadas por 5 a 7 casas cada una; sin embargo a mi criterio no las considero edificaciones con controles de calidad altos, ya que la calidad de los materiales empleados no experimentan pruebas estrictas, se eligen materiales sumamente económicos, los procesos de acabados son de baja calidad, la estructura a base de muros de block ahogados con concreto no tiene estrictos controles de calidad, ya que en varias ocasiones al colocar las instalaciones, faltaban muros por ahogar con concreto; en

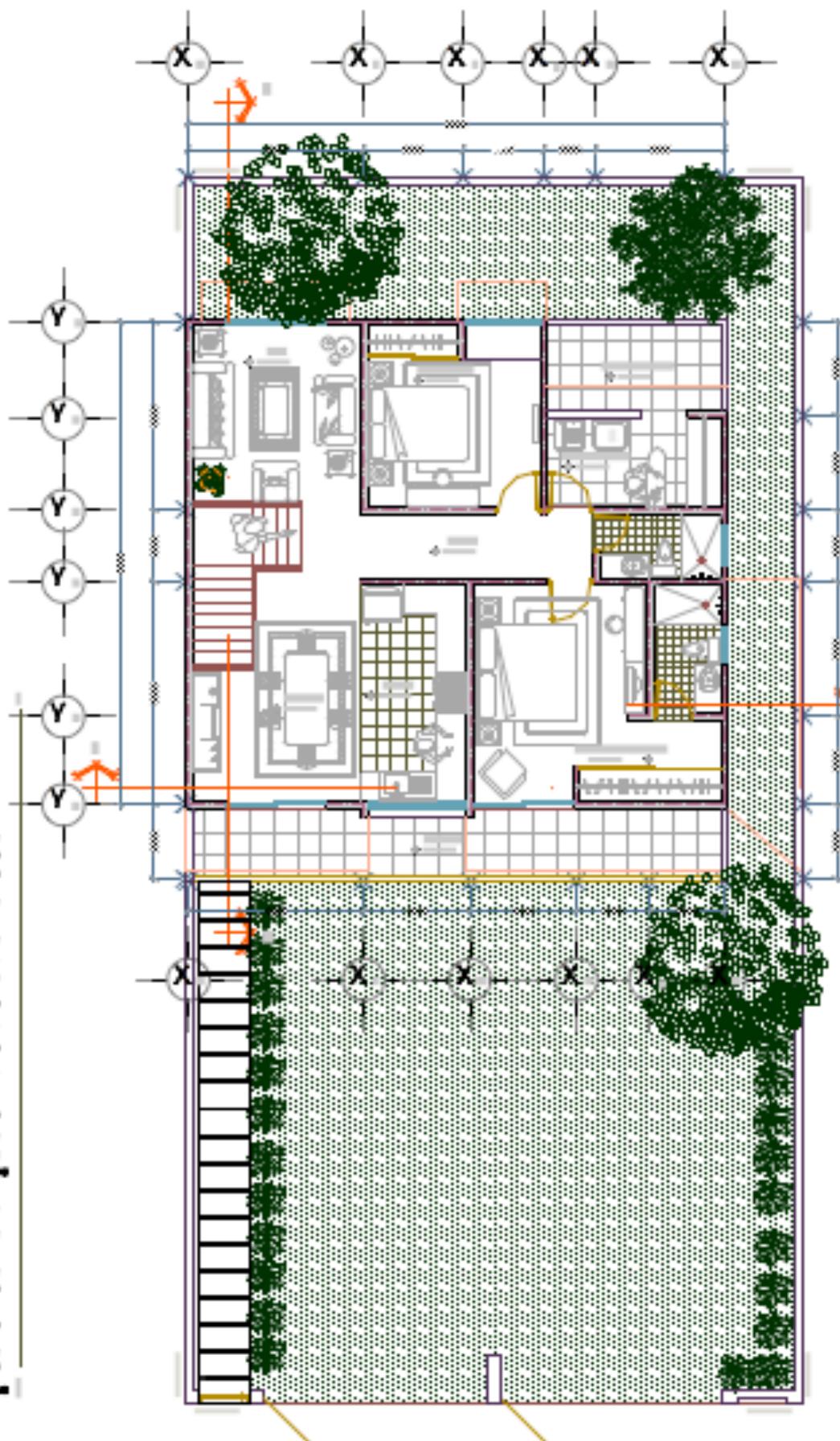
este tipo de construcción muchas veces apenas se pasan los controles mínimos de calidad enmarcados por las normas constructivas internacionales, por ende su durabilidad es menor al compararlas con estructuras edificadas tradicionalmente; sin embargo a las empresas constructoras lo que les interesa es cumplir el año de garantía que se les ofrece a los clientes, pasando esta fecha, los clientes se encargan de cualquier reparación en el conjunto.

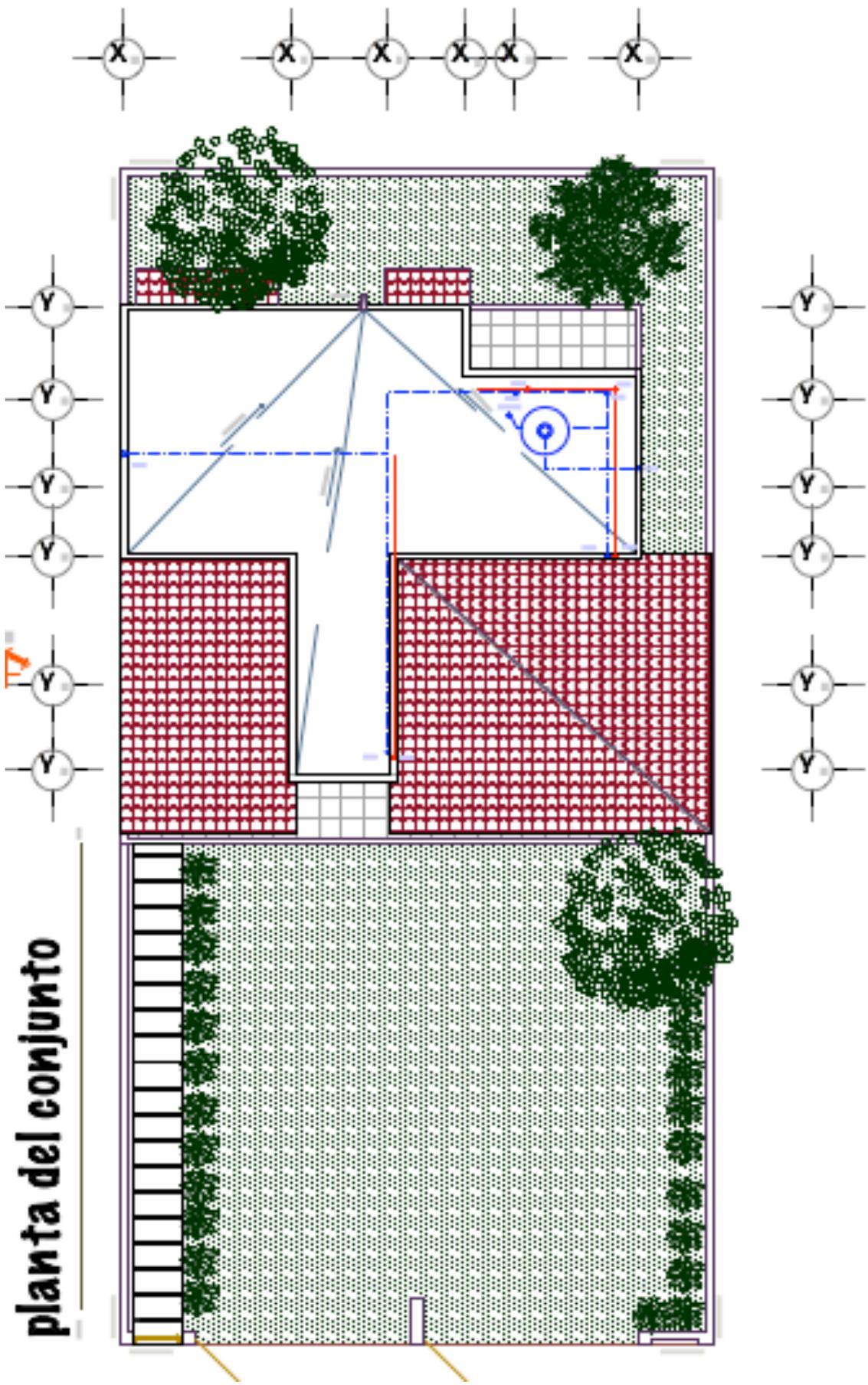
V. b CASA HABITACION DE DOS NIVELES NIVEL MEDIO-ALTO

La primera estructura que se presentará es una casa ubicada en la colonia ejidal de Playa del Carmen ubicada aproximadamente a 1 km de la playa, ubicada en el nuevo fraccionamiento denominado forjadores de la colonia Zazil Ha contando con toda la infraestructura para ser urbanizado como agua potable, servicio de alcantarillado, electricidad, telefonía, voz y datos en instalaciones subterráneas etc. Cabe mencionar que este tipo de instalaciones subterráneas comienzan a surgir en forma importante en todos los nuevos fraccionamientos y colonias populares de esta ciudad, demostrando la gran planeación que existe por los inversionistas y el gobierno estatal en dichos complejos habitacionales, con lo que se previenen factores comunes en la región que afectan la infraestructura como huracanes, tormentas tropicales, erosión, etc. La siguiente estructura fue diseñada en dos niveles como muestra el siguiente plano arquitectónico de la figura 1.



planta arquitectonica alta

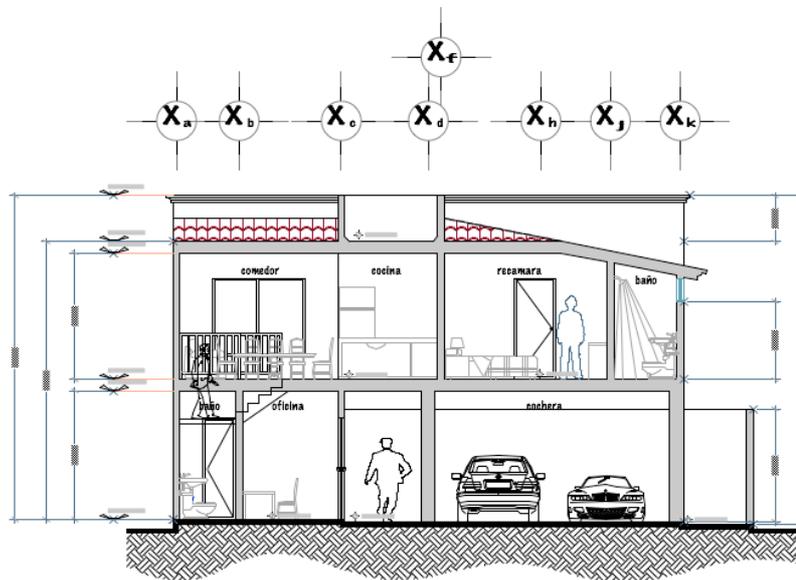




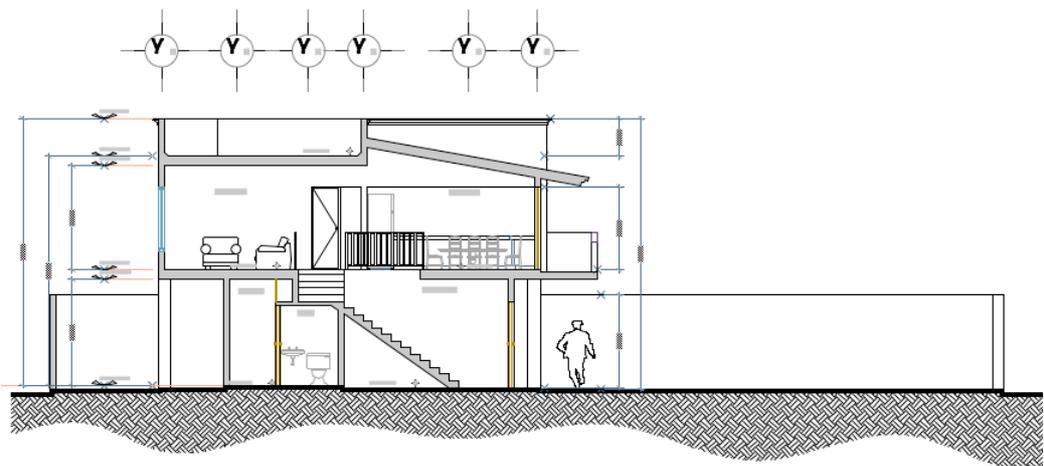
fachada principal



corfe transversal x-x'



corfe longitudinal y-y'



Como se puede observar se trata de una construcción tipo B es decir casa habitación de dos recamaras, sala, comedor, cocina y área de servicio, la planta baja será utilizada como patio como lo establece el plano de planta baja mostrado anteriormente.

De dicha construcción estuve a cargo y explicaré el proceso constructivo de la cimentación.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El primer paso para realizar una construcción es la realización de sondeos exploratorios del subsuelo donde se cimentará la estructura, es de gran importancia como ingenieros realizar los sondeos que sean necesarios, ya que estos proporcionarán propiedades mecánicas del subsuelo que garanticen resistencia del terreno, es muy importante no confiarse y dejar en el olvido los estudios de mecánica de suelos, por ejemplo, muchas veces se observan construcciones adyacentes y podría pensarse que el subsuelo puede soportar una estructura de las mismas dimensiones o menores, sin embargo eso es un gran error ya que como se estudió en los capítulos anteriores el subsuelo no siempre presenta homogeneidad y en toda construcción la mecánica de suelos debe ser considerada para cada estructura a cimentar.

En la Península de Yucatán como se observó en los capítulos anteriores el subsuelo es muy resistente prácticamente en la mayor extensión de la Península, lo que nos garantiza que en efecto puede soportar casi todas las estructuras que se planeen construir, claro exceptuando las regiones fangosas, sin embargo cabe resaltar que el problema común que le da gran importancia a los estudios de mecánica de suelos es la existencia de cenotes y cavernas, causados por el fenómeno de karsticidad ya estudiado en esta tesis en los primeros capítulos, dichas formaciones son muy perjudiciales para las estructuras, ya que es prácticamente seguro que fallen en el futuro, provocando asentamientos mas allá de los máximos permisibles, y en el peor de los casos hundimientos y derrumbes.

Los estudios para la casa habitación de este ejemplo los realizó la empresa Diseño y Construcción S.A de C.V.

El reporte de dicho estudio proporcionó la siguiente información:

ANTECEDENTES

La roca superficial está formada por una capa de roca de dureza media a muy dura hasta los 1.5 m de profundidad, a continuación le subyace el material de compactación media y pequeños estratos del denominado sascab (roca caliza no consolidada) hasta los 3.75 m, finalmente a partir de los 5 m la roca predominante es roca muy compacta a dura.

INTRODUCCIÓN

Para conocer las propiedades físicas del subsuelo, detectar posibles cavidades y determinar el tipo de cimentación de una casa habitación se solicitó a esta empresa realizar 3 sondeos del tipo avance controlado

TIPO DE OBRA

El tipo de obra a construir: Casa Habitación

UBICACIÓN DE LA OBRA.

Se localiza en el lote 02, manzana 11, calle 30 esquina calle 80, colonia Forjadores, en Playa del Carmen, municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

TOPOGRAFIA

El terreno es plano con una cota promedio de 7.5 metros sobre el nivel de aguas freáticas.

EQUIPO UTILIZADO

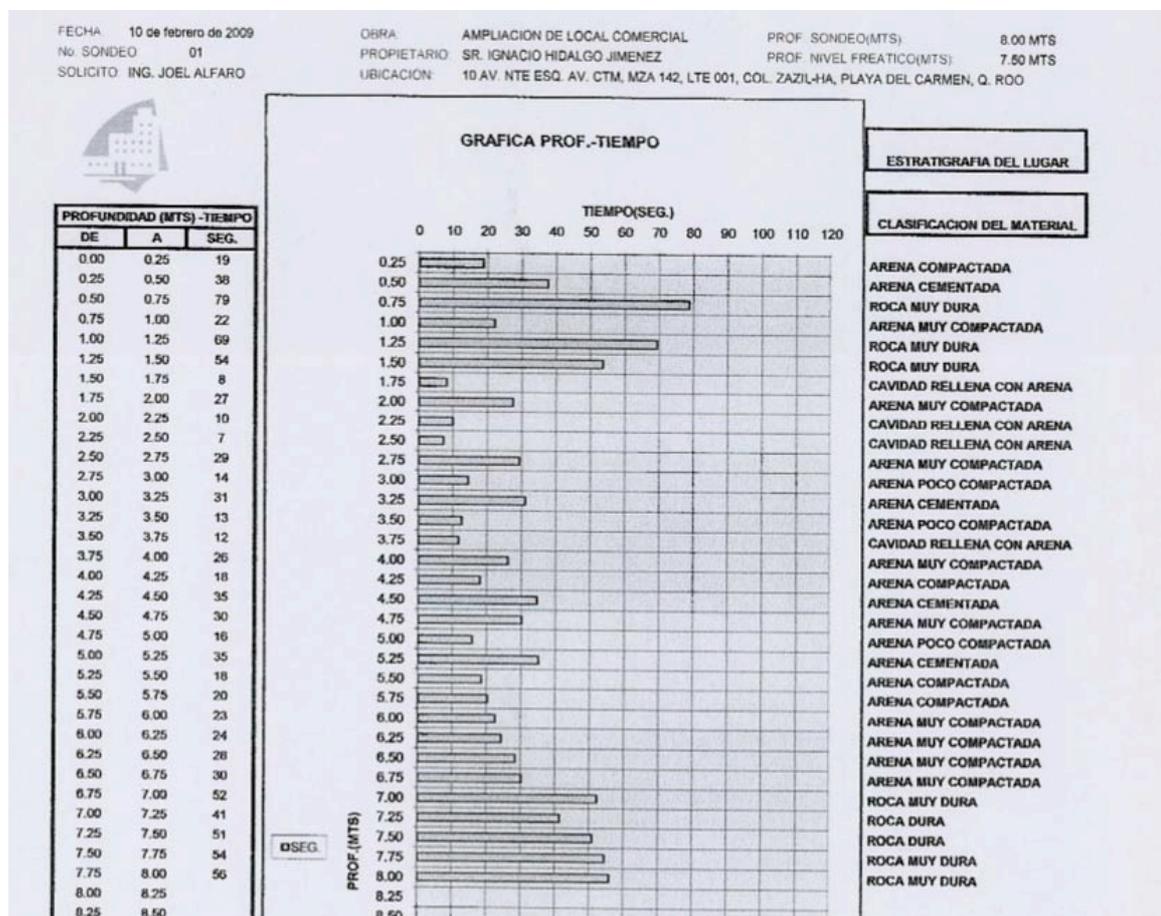
El equipo utilizado es perforadora marca Stenuik, con martillo de fondo de broca de 3 pulgadas de diámetro con insertos de diamante, alimentado por compresor marca Ingersoll Rand 250.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento es de avance controlado, para lo cual las barras de perforación están marcadas cada 25 cm y desde el inicio de la perforación, se toman lecturas de tiempo para avanzar 25 cm de perforación, logrando con esto detectar inmediatamente cualquier cambio de dureza del material y/o posibles cavidades.

ESTRATIGRAFIA

A continuación se presentarán los sondeos realizados al subsuelo en este terreno, la profundidad alcanzada en dichos sondeos fue de 8 m; en las gráficas se puede observar la relación profundidad - tiempo así como la estratigrafía encontrada a cada 25 cm de profundidad, se puede observar el nivel del manto freático localizado a 7.5 m de profundidad; por el tamaño de la vivienda en esta construcción se realizaron 2 sondeos como se muestran en las graficas siguientes:



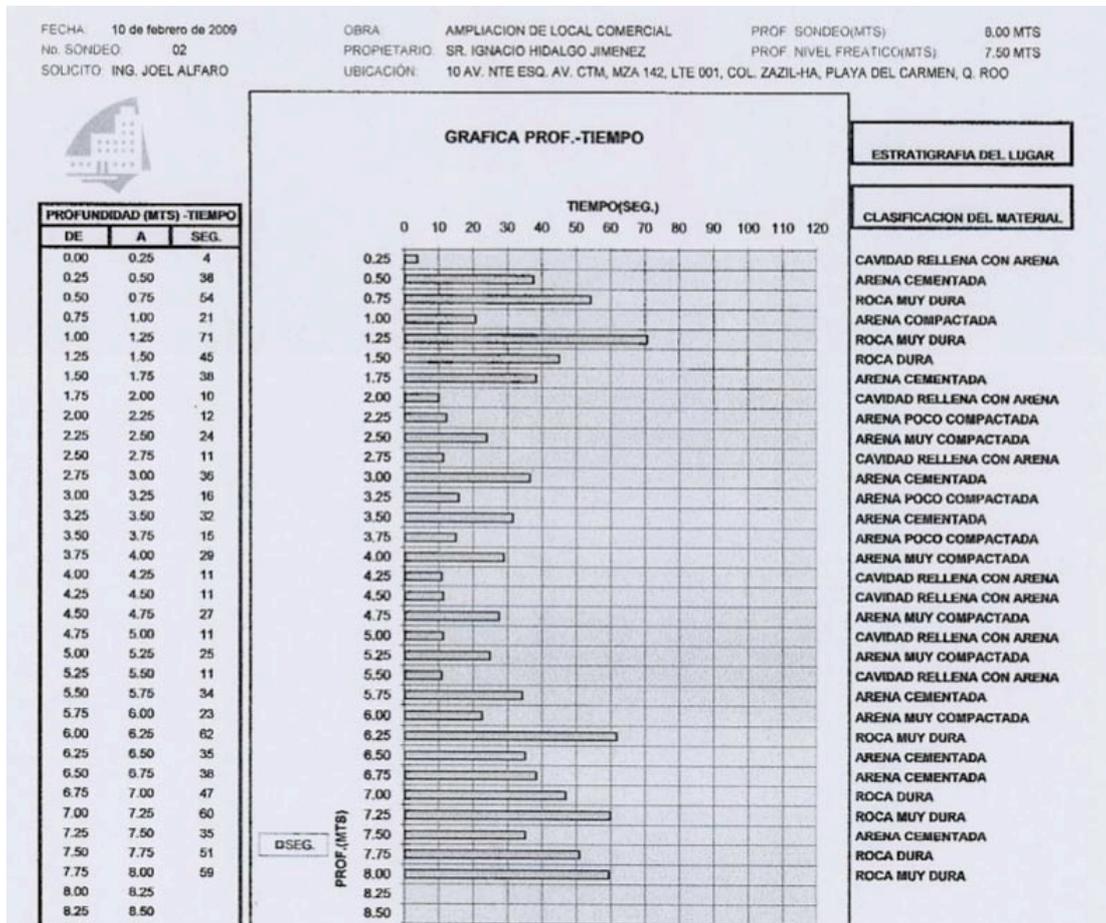


TABLA 1 Y 2. Sondeos del subsuelo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como puede observarse en los resultados, el subsuelo es de muy buena calidad, ya que después de la capa de tierra vegetal y/o relleno y rocas sueltas, cuyo espesor es de 25 centímetros en promedio, le subyace un estrato de roca que varía de dureza alta a media, esto hasta la profundidad explorada, con algunos estratos de suelo compacto (sascab).

La cimentación será del tipo superficial, a base de mampostería de piedra dura para muros de carga y zapatas de concreto armado para columnas. La capacidad de carga admisible para el diseño $Q_{ad} = 50 \text{ Ton/m}^2$. Para el desplante de la cimentación se retirará la tierra vegetal y rocas sueltas.



Fig. 1 Terreno donde se cimentará la estructura

En base al estudio de mecánica de suelos y con la información de la capacidad de carga admisible para el diseño, el estructurista es el encargado de realizar los cálculos necesarios para poder llegar a las dimensiones correctas de las zapatas corridas, en este caso el proyecto establece que serán de mampostería, contratrabes y las zapatas aisladas de dicha cimentación de tipo superficial, realizando previamente la bajada de cargas de la estructura.

Posteriormente se elaboran los planos correspondientes a toda la estructura como planos de cimentación donde tienen que estar especificadas con claridad las características de los materiales como resistencia del concreto, diámetro de varillas, tipo de estribos, especificaciones del armado, dimensiones de las zapatas, contratrabes, dados, y ubicación de estas etc.

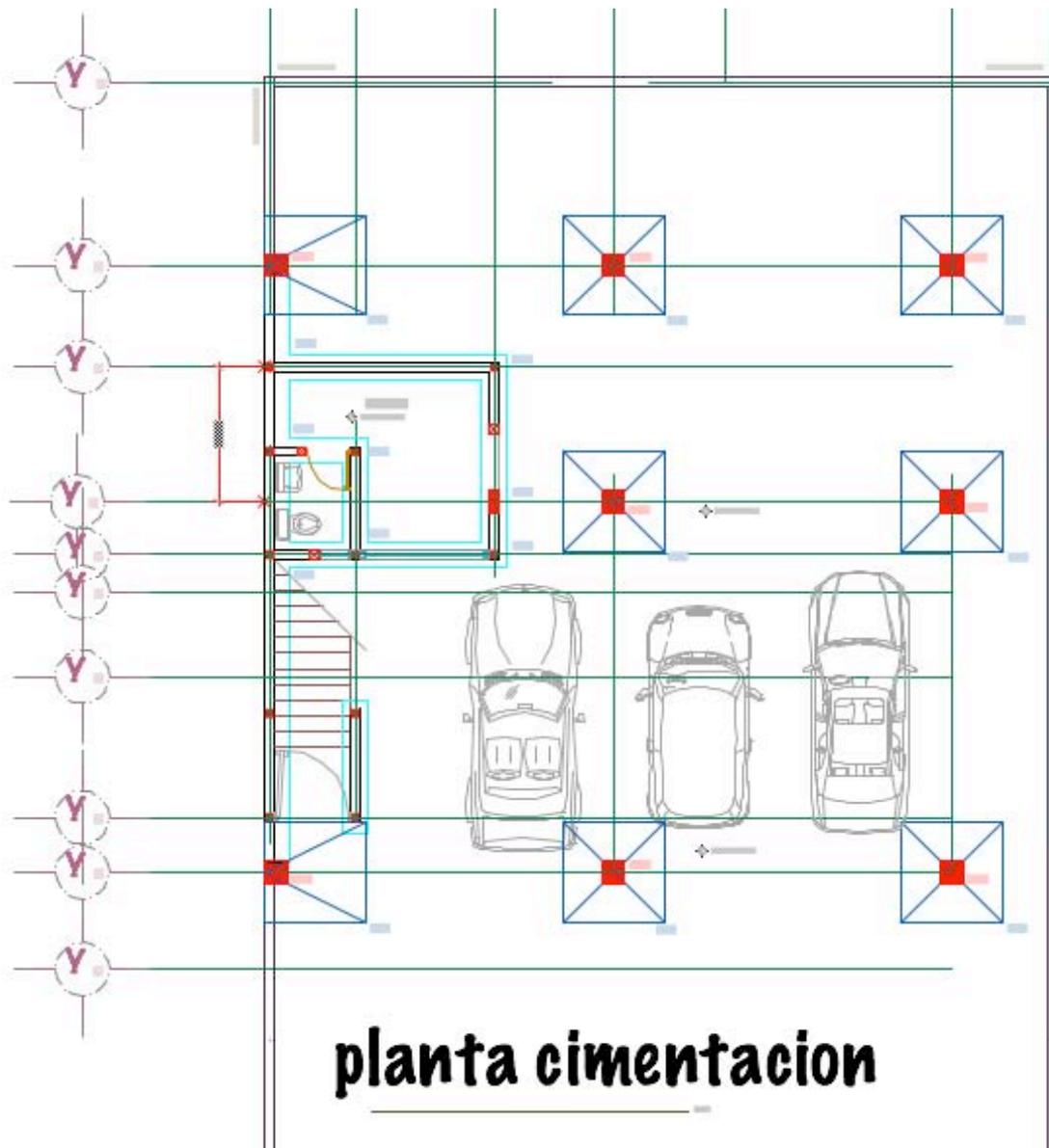
Los planos estructurales muestran las dimensiones de trabes, columnas, castillos, losas, muros de carga, especificaciones del armado de la superestructura etc.

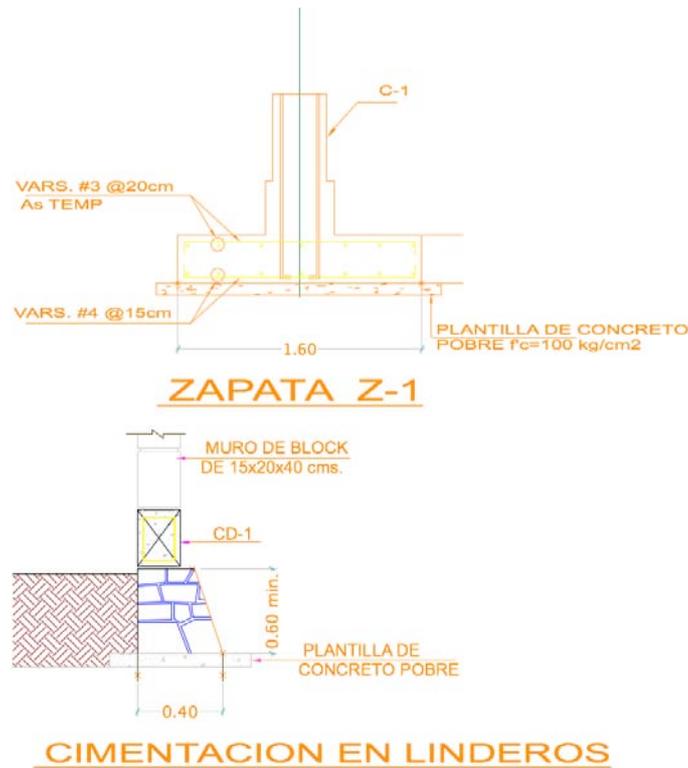
Los planos arquitectónicos marcan la distribución de los espacios, área de construcción, áreas comunes como jardines y pasillos, muros divisorios, cancelería y ventanas, puertas, acabados (tipo de acabado en muros, losetas, pisos, tejas etc.) y en muchas ocasiones se presentan hasta el tipo de muebles y material de estos recomendados por el arquitecto como lo veremos mas adelante en los planos del ejemplo de casa nivel residencial.

Los planos de instalaciones son de suma importancia para el constructor ya que las instalaciones van de la mano con la construcción en toda la obra, en dichos planos se marca la ubicación de las instalaciones, eléctricas, sanitarias, agua, gas, aire acondicionado, telefónicas, sonido y sistema de televisión satelital o cable.

Con estas herramientas se procede a la construcción de la casa habitación habiendo obtenido en el ayuntamiento las licencias y tramites necesarios para poder iniciar los trabajos.

A continuación se presentan los planos correspondientes a la cimentación de la casa:





PROCESO CONSTRUCTIVO

Ya con los planos de la obra, el Ingeniero comienza con la construcción, primeramente se realiza el despalme del terreno, para este proyecto se determinó realizar el despalme a mano, es decir sin maquinas debido a que el terreno es pequeño (300 m²) y el volumen a despallar no es de gran consideración.

Terminado el despalme se prosigue a retirar la capa vegetal para dejar visible la denominada laja (Figura 2.) que es en donde se desplantará la cimentación de la casa, dicho proceso se realizó con una retroexcavadora y camiones de volteo que retiraban el material.



Figura 2.Desplante de cimentación perimetral de mampostería sobre la laja del terreno

Concluido el retiro de capa vegetal, se realiza el trazo y nivelación para la ubicación de las zapatas especificadas en los planos, comenzando así la excavación de cepas para el muro perimetral, siendo cimentado con mampostería de roca caliza de 40 cm en la base y 60 cm donde se desplanta la cadena de cerramiento, además del armado de dados de cimentación donde se apoyarán los castillos del muro a cada 2.5m. Cabe mencionar que la laja queda visible

a escasos 50 cm de profundidad con respecto al nivel de calle por lo que para desplantar la zapata corrida de mampostería se excavo con la retroexcavadora aproximadamente 1 m lo mismo para las zapatas aisladas.



Figura 3. Cimentación de muro perimetral

Para las 8 zapatas aisladas en este caso de 1.6 x 1.6 m de base (6 zapatas centrales), con dados de 40 x 40 cm se realizó su excavación y antes de colocar la parrilla de acero de las bases se hizo una plantilla de concreto pobre de 5 cm

Al terminar la excavación de cepas de zapatas corridas, aisladas y las plantillas de concreto pobre para estas últimas, comienza el habilitado de acero, y el cimbrado en las zapatas incluyendo su respectivo dado, verificando que coincidan las medidas y armados con los planos de cimentación. A la par del habilitado de acero se tienen que verificar los planos de instalaciones ya que existen columnas que tendrán instalaciones antes de ser coladas, en su mayoría eléctricas y sanitarias, por lo que es importante tener esos detalles presentes.

Posteriormente cubriendo los detalles anteriores de instalaciones, armados, cimbra, etc. se procede a colar la cimentación con el concreto especificado en los planos previa cubicación del mismo; en este caso se utilizó concreto con revenimiento 14 cm premezclado bombeado con resistencia rápida a 14 días $f_c=250 \text{ Kg./cm}^2$.



Figura 4. Armado y dados de las zapatas



Figura 5. Cimbrado de la estructura



Figura 6. Relleno compactado de la cimentación

Posterior al colado de la cimentación se realiza el proceso de descimbra y curado para evitar agrietamientos por pérdida de agua, al finalizar el curado se impermeabiliza toda la cimentación de concreto con impermeabilizante asfáltico, paso que es de suma importancia como mantenimiento preventivo de la cimentación ante la humedad; finalmente se realiza el relleno de la excavación y nivelación del terreno especificado en los planos y cumpliendo las pruebas de compactación porter al 95%.



Figura 6. Sistema de piso (viguetas y bovedillas)



Figura 7. Colado de losa del segundo nivel



Figura 8. Preparación losa a dos aguas



Figura 9. Aplicación de acabados finos

Debido a que el tema central de esta tesis es la cimentación, en los ejemplos no se presentarán con detalle los procesos consiguientes como estructura y acabados, pero cabe mencionar que en esta región el sistema de piso más utilizado es de vigueta y bovedilla (Figura 6.) con una losa de concreto de 10 cm armada con malla electrosoldada, los acabados no son considerados de lujo, sin embargo tampoco son económicos, ya que la calidad de materiales es de un costo medio a promedio; el tiempo de duración de esta obra fue de 4 meses aproximadamente, trabajando jornadas de 8 horas de lunes a viernes y sábados media jornada, incluyendo también actividades ejecutadas por destajo y jornadas perdidas por mal clima.

En conclusión este tipo de construcción es típica en la zona, ya que es el modelo base de áreas de lotes y terrenos, el nivel socioeconómico, y la calidad de construcción en la mayoría de los nuevos fraccionamientos y colonias de la región, en donde cada lote tiene un proyecto diferente.

V. c CASA HABITACIÓN NIVEL RESIDENCIAL DE LUJO

Como el título refleja esta cimentación pertenecerá a una casa nivel residencial lujosa; primeramente describiré la construcción teniendo el lector referencias con los planos arquitectónicos mostrados en las imágenes posteriores.

La ubicación de esta obra es en el exclusivo complejo hotelero y residencial Playacar de la ciudad de Playa del Carmen en el estado de Quintana Roo, la residencia a construir se ubica en retorno copan lote 181 en el condominio Club Real de dicho complejo, es un terreno de 913 m², proyecto de una prestigiada firma de arquitectos, lo cual se refleja en la calidad de proyecto, especificaciones y su distribución siendo esta en planta baja: vestíbulo, biblioteca, sala, comedor, antecomedor, cocina, cava subterránea, alberca con carril de nado, cuarto de maquinas de alberca, vestidores, cisterna, jardín y áreas comunes, en planta alta: recamara principal con baño, vestidor, jacuzzi y terraza; recamaras 2 y 3 con baño, vestidor y tapanco; recamara de visitas con baño, cuarto de TV, cuarto y área de servicios.

Como se puede observar en la descripción anterior es una construcción de gran tamaño, además de que el proyecto arquitectónico presenta desniveles, variedad en sistemas de piso, techos inclinados, acabados de extremo lujo etc. lo que la convierte en un proyecto interesante, y en donde los controles de calidad tienen que ser estrictos. Fig. 1



Fig.1 Vista frontal de la residencia



Vista posterior de la residencia

En este proyecto existen diferentes tipos de cimentaciones, como losas de cimentación con muros de concreto para la alberca, cuarto de maquinas de esta, y cisterna, al observar los planos de cimentación resalta que la misma en todos los casos será de concreto, es decir no habrá cimentación de mampostería, únicamente concreto premezclado incluyendo zapatas corridas, contratrabes de cimentación, zapatas aisladas de diferentes dimensiones y un aspecto especial de esta construcción es que se encontró durante el estudio de mecánica de suelos una caverna en donde el arquitecto decidió aprovechar dicha cavidad como cava subterránea natural, cimentándola con losa de cimentación y muros de concreto (similar a la alberca cuarto de maquinas y cisterna), siendo previamente aprobada por la reglamentación local que prohíbe alterar el ecosistema acuático en caso de dolinas (cenotes) que se caracterizan por tener agua; sin embargo la caverna localizada en el terreno de este proyecto no tenía presencia de agua.

Considero interesante este proyecto ya que aunque se trata de una casa, contiene todos los elementos necesarios para conocer las cimentaciones superficiales, ya que se ven todos los ejemplos de estas, siendo de gran interés conocer su proceso constructivo.

Al igual que en el ejemplo anterior lo primero en cualquier obra a construir será explorar el subsuelo donde esta yacerá para conocer las características de este y así evaluar que tipo de cimentación será la que transmitirá las cargas de la superestructura al subsuelo.

A continuación se presenta el reporte de mecánica de suelos efectuado en el subsuelo de esta construcción el cual dictó lo siguiente:

ANTECEDENTES

La roca superficial está formada por una capa de roca media cuyo espesor varía de 0 a 2.5 m, a continuación le subyace el material denominado sascab (roca caliza no consolidada), el espesor de este material por lo general suele variar entre 2.5 m y 4.75 m descansando sobre roca dura a partir de los 5.5 m.

INTRODUCCIÓN

Para conocer las propiedades físicas del subsuelo, detectar posibles cavidades y determinar el tipo de cimentación de una casa habitación se solicitó a esta empresa realizar 6 sondeos del tipo avance controlado

TIPO DE OBRA

El tipo de obra a construir: Casa Habitación Residencial

UBICACIÓN DE LA OBRA.

Se localiza en el lote 189, manzana 22 A, Club Real Playacar, en Playa del Carmen, municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

TOPOGRAFIA

El terreno es plano con una cota promedio de 7.0 metros sobre el nivel de aguas freáticas.

EQUIPO UTILIZADO

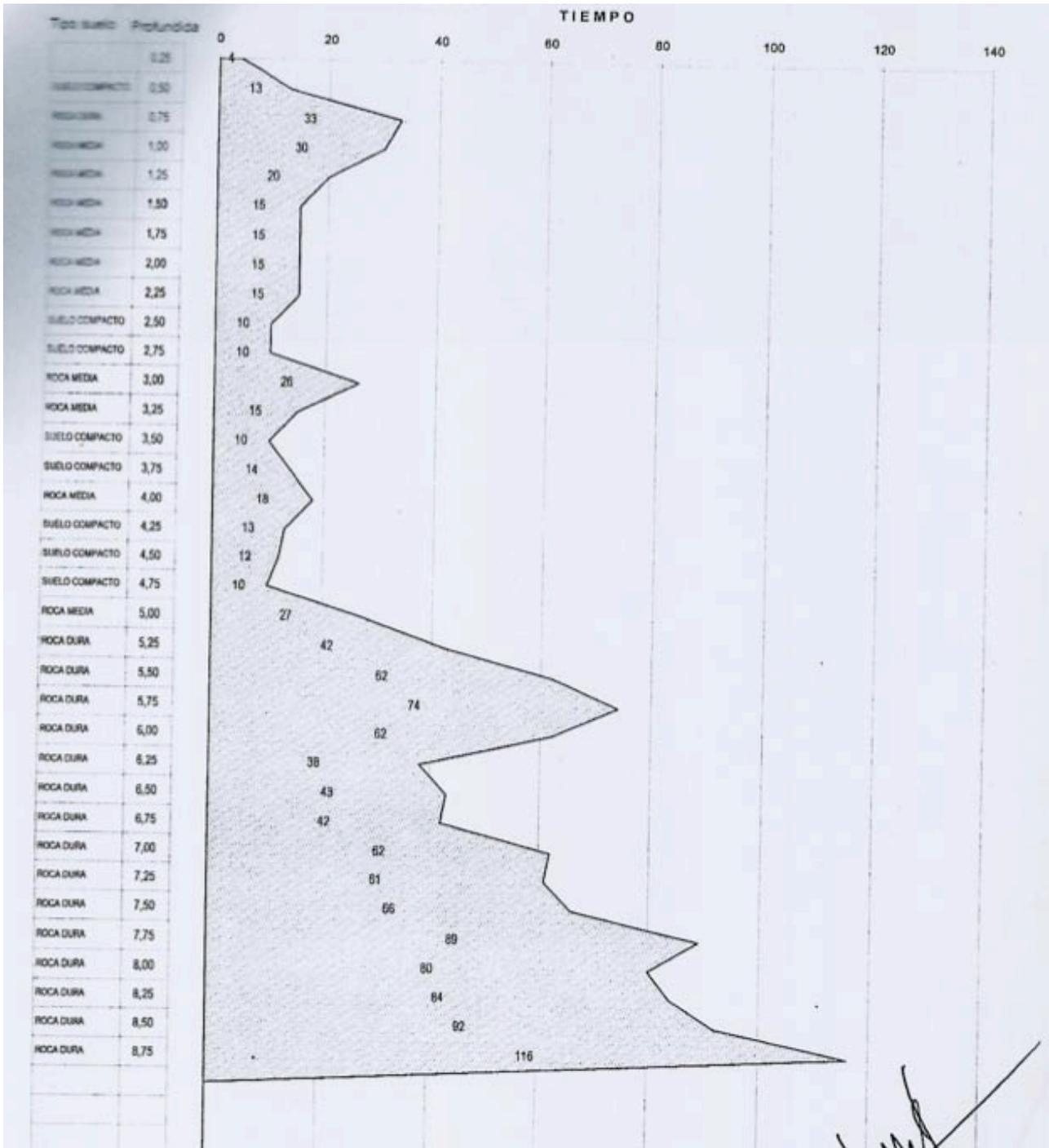
El equipo utilizado es perforadora marca Stenuik, con martillo de fondo de broca de 3 pulgadas de diámetro con insertos de diamante, alimentado por compresor marca Ingersoll Rand 250.

PROCEDIMIENTO

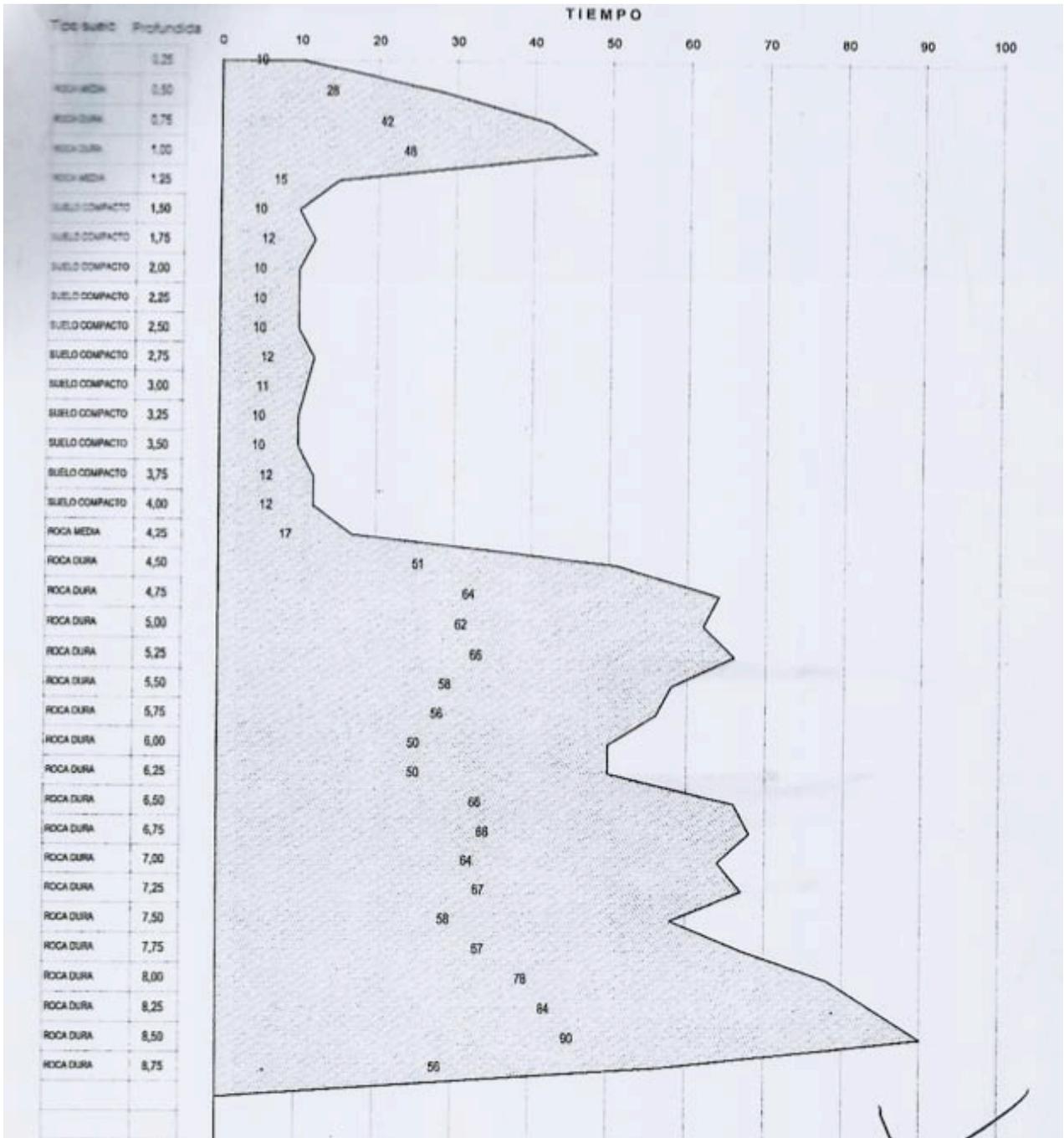
El procedimiento es de avance controlado, para lo cual las barras de perforación están marcadas cada 25 cm y desde el inicio de la perforación, se toman lecturas de tiempo para avanzar 25 cm de perforación, logrando con esto detectar inmediatamente cualquier cambio de dureza del material y/o posibles cavidades.

ESTRATIGRAFIA

A continuación se presentarán los sondeos realizados al subsuelo en este terreno, la profundidad alcanzada en dichos sondeos fue de 8.75 m; en las gráficas se puede observar la relación profundidad – tiempo así como la estratigrafía encontrada a cada 25 cm de profundidad; se realizaron 6 sondeos sin embargo en este trabajo se presentarán 2 gráficas de dichos sondeos; la carga admisible del terreno equivale a $Q_{ad} = 45 \text{ ton/m}^2$.



GRAFICA 1. Sondeo 1 del subsuelo



GRAFICA 2. Sondeo 2 del subsuelo

OBTENCION DE LA CARGA ADMISIBLE DEL SUBSUELO A PARTIR DE LAS GRAFICAS:

A continuación se obtendrá el valor de la carga admisible Q_{ad} a partir de la primera gráfica que en el estudio de mecánica de suelos dio un valor de $Q_{ad} = 45 \text{ ton/m}^2$; esto con el motivo de mostrar la utilidad de las gráficas tiempo-profundidad que arrojó el estudio.

Para la profundidad= 1m (profundidad de desplante de la cimentación de la residencia)

De la GRAFICA 1 del sondeo se tienen los siguientes datos

$t = 30 \text{ seg.}$

Profundidad= 1m.

Sabemos que: $\text{Vel.} = \text{dist.} / \text{tiempo}$ por lo tanto $V = 100 \text{ cm} / 30 \text{ seg.}; V = 3.333 \text{ cm/seg}$

Datos del equipo de barrenación según fabricante:

Profundidad de barrenación= 8 m

Torque de rotación= 1600 m/kg

Fuerza ejercida= 25000 kg

Área de base= 10 cm^2

Cono a 60 grados

El cono empuja a razón de 2 cm/seg.

Q ejercida por el equipo= Fuerza ejercida por el equipo/Área de base

Q ejercida por el equipo= 25000 kg/ 10 cm^2

Q ejercida por el equipo= 2500 kg/ cm^2

Correlacionando la Q ejercida por el equipo con su respectiva velocidad= 2cm/seg con la Q ejercida en la profundidad 1 m (incógnita en esta regla de tres) con la velocidad= 3.333 cm/seg.

Al resolver la regla de tres anterior se obtiene la Capacidad admisible en la profundidad 1m (Q_{ad})

$Q_{ad} = 4162.5 \text{ kg/cm}^2$ $Q_{ad} = 41.62 \text{ ton/m}^2$

Al existir 6 sondeos se realiza un promedio de la capacidad de carga dando $Q_{ad} = 45 \text{ ton/m}^2$ que es la capacidad de carga obtenida en el estudio de mecánica de suelos para este terreno.

Referencia: Peck, Hanson, Thornburn, "Ingeniería de Cimentaciones", Editorial Limusa 2007, pag. 149, subtema Penetrómetro Holandés de Cono.

PLANEACIÓN DEL PROYECTO

A continuación se presentará la planeación realizada para construir esta residencia, la cuál es completamente diferente al ejemplo de la casa de interés medio, ya que este proyecto contiene detalles en todas las partidas que deben ser estudiados, y requiere gran calidad de mano de obra, materiales, equipo y herramienta para cumplir con el proyecto establecido.

Primeramente en una obra de esta magnitud es necesario conocer el proyecto, es decir, estudiar y analizar con detalle cada uno de los planos, los cuales están ordenados de la siguiente forma:

-Estructurales (estructural cimentación, estructural planta baja, estructural planta alta, estructural alberca, etc.),

-Instalaciones (instalación eléctrica, instalación hidrosanitaria, instalaciones de la alberca, instalaciones telefónicas, instalaciones especiales: aire acondicionado, instalación de audio y video, instalaciones voz y datos, instalación televisión por cable y satelital, instalaciones de sistemas inteligentes de puertas, ventanas, instalaciones de seguridad sensores de movimientos, rayos láser perimetrales etc.)

-Arquitectónicos (Plantas de conjunto: planta baja, planta alta, áreas comunes; Acabados: Acabados planta baja, acabados planta alta, cancelería, muebles de baño, cocina, jardinería, propuesta de decoración; Planos de cortes generales etc.)

Debido a la magnitud de conceptos enlistados en el proyecto (planos) se tiene que realizar el presupuesto correspondiente, el ingeniero procede a cuantificar la obra para realizar el presupuesto y programa de obra correspondiente a dicha construcción.

Para esta obra se elaboró dicho presupuesto con el programa Precios Unitarios 2009 Neodata, elaborando primeramente un catalogo de partidas y conceptos (ejemplo: Trabajos Preeliminares, Cimentación, Estructura, Acabados) y a la vez dicho catalogo se subdivide en otros conceptos (Ejemplo: del concepto Estructura: Estructura Planta Baja, Estructura Planta Alta etc.).

El procedimiento de cuantificar una obra elaborando su respectivo presupuesto y programa de obra, es de suma importancia para conocerla, y de esta forma poder llevar a cabo la dirección de dicha construcción, apegándose estrictamente al programa de obra previamente realizado. Hoy en día existe software que brinda gran apoyo a los Ingenieros para la elaboración de cuantificaciones y presupuestos de obras, arrojando resultados muy confiables e información de muchos aspectos importantes de la obra como administración de material, mano de obra, equipo y herramienta, etc.

Después de realizar la cuantificación de la obra, su presupuesto y programa de obra, este último elaborado conforme a los tiempos que el cliente requiera la obra, en este caso 5 meses; el ingeniero puede comenzar la construcción teniendo la seguridad de conocer los procesos que se llevará a cabo.

A continuación se presenta el presupuesto de la obra, debido a la gran cantidad de conceptos se presentarán los subtotales por partida:

TRABAJOS PREELIMINARES

TOTAL TRABAJOS PREELIMINARES \$56,649.98

CIMENTACION

-Total de movimiento de tierras \$624,893.87

-Total Zapatas corridas y cadenas de cerramiento \$248,983.54

-Total zapatas aisladas y dados \$123,739.62

-Total de contratraves de cimentación \$144,294.81

-Total Firmes y losas planta Baja \$196,234.73

CIMENTACIÓN-OBRAS EXTERIORES

-Total Andadores y pisos \$320,533.22

-Total Jardinería \$387,212.44

TOTAL CIMENTACIÓN \$2,045,892.23

CISTERNA

TOTAL CISTERNA \$168,345.87

ALBERCA

TOTAL ALBERCA \$1,123,983.94

VESTIDORES DE LA ALBERCA

TOTAL VESTIDORES DE LA ALBERCA \$254,289.12

CAVA SUBTERRANEA

TOTAL CAVA SUBTERRANEA \$313,495.34

ESTRUCTURA PLANTA BAJA

TOTAL ESTRUCTURA PLANTA BAJA \$856,278.15

ESTRUCTURA PLANTA ALTA

TOTAL ESTRUCTURA PLANTA ALTA \$742,283.76

ESTRUCTURA AZOTEA

TOTAL ESTRUCTURA AZOTEA \$295,839.94

REGISTROS SANITARIOS

TOTAL REGISTROS SANITARIOS \$81,389.09

ACABADOS PLANTA BAJA

TOTAL ACABADOS PLANTA BAJA \$1,323,873.43

ACABADOS PLANTA ALTA

TOTAL ACABADOS PLANTA ALTA \$1,654,812.51

ACABADOS AZOTEA

TOTAL ACABADOS AZOTEA \$434,345.93

MUEBLES DE BAÑO

TOTAL MUEBLES DE BAÑO \$345,934.48

LIMPIEZA GRUESA DURANTE OBRA

TOTAL LIMPIEZA GRUESA \$245,128.12

CUARTO DE MAQUINAS DE ALBERCA

TOTAL CUARTO DE MAQUINAS DE ALBERCA \$243,212.33

COCINA INTEGRAL QUETZAL

TOTAL COCINA INTEGRAL MARCA QUETZAL \$1,543,334.75

TOTAL RESIDENCIA LOTE 181 CLUB REAL PLAYACAR \$11,729,088.97 PESOS

(ONCE MILLONES SETECIENTOS VEINTINUEVE MIL OCHENTA Y OCHO PESOS 97/100 MN)

El presupuesto incluye únicamente obra civil y jardinería especificada en el plano (incluye plantas, árboles, palmeras, césped, tierra etc.); se incluyen exactamente los materiales especificados en el proyecto, mano de obra calificada, equipo y herramienta.

Incluye carpintería en piso, lambrines y puertas.

Incluye todos los materiales correspondientes a acabados de obra civil

Incluye muebles de baño mas no instalación

No incluye algún tipo de instalación eléctrica, accesorios eléctricos ni luminarias

No incluye instalaciones hidrosanitarias, colocación de muebles de baño ni accesorios

No incluye closets, cancelería, herrería, ventanas, ni domos

No se incluyen equipos de bombeo, nado contra corriente, bomba de calor ni equipo de cloración en la alberca

No incluye instalaciones de voz y datos, teléfono, televisión satelital y cable, Internet, audio y video, seguridad ni sistemas inteligentes.

No se incluye cristal de entepiso del vestíbulo planta alta.

No se incluye el amueblado de la residencia

El presupuesto presentado anteriormente fue elaborado en el mes de **Enero del año 2009** considerando precios de los insumos correspondientes a esa fecha.



Fig. 2 Distribución de la Planta Baja



Fig. 3 Distribución Planta Alta



Fig. 4 Distribución en la Azotea

Conociendo el presupuesto correspondiente a un proyecto, así como el respectivo plan y programa de obra, este último encontrándose apegado a las necesidades del cliente y al flujo de recursos que se inyectarán al proyecto; se procede a realizar la ejecución de los trabajos enfocados en el plan y programa de obra para cumplir con los factores calidad, costo y tiempo.

A continuación se describirá el proceso constructivo de la cimentación de esta residencia, se mostrarán los planos correspondientes y es importante mencionar que debido a la privacidad del cliente no se permitió incluir imágenes del proceso constructivo, sin embargo dentro del proyecto existen imágenes digitalizadas del proyecto las cuales serán presentadas junto con los planos posteriormente.

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA RESIDENCIA LOTE 181 CLUB REAL, PLAYACAR

Primeramente como en la mayoría de las obras se realizan los trabajos preeliminares, estos consisten en despallar el terreno en sus 913 m², eliminando por completo las hierbas, ramas y árboles, respetando los árboles protegidos por el complejo residencial y a su vez por el municipio, en esta construcción se utilizó una retroexcavadora, un minicargador y camiones de volteo de 7 y 14 m³ que realizaron dicho trabajo.

El siguiente paso fue retirar con retroexcavadora y camiones de volteo la capa de tierra vegetal para dejar el subsuelo descubierto a escasos 25 cm, el cual está conformado en su totalidad por laja de roca caliza; una vez retirada la capa vegetal, se traza y nivela el terreno con equipo topográfico para localizar los puntos de desplante de la cimentación (zapatas aisladas, corridas, contratraves etc.), posteriormente con dicho trazo perfectamente elaborados participa toda la maquinaria que realizará las excavaciones y en esta partida es donde en el presupuesto se refleja el costo de Equipo y herramienta.

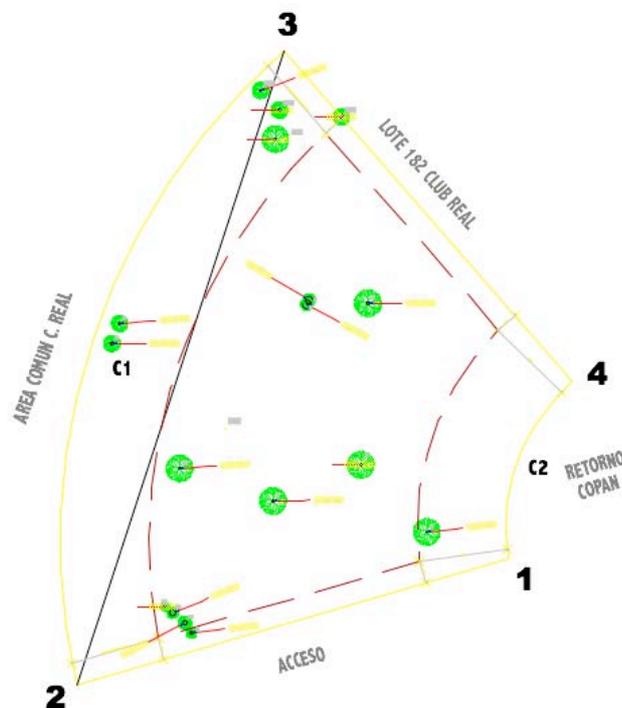


Fig. 5 Plano Topográfico del terreno

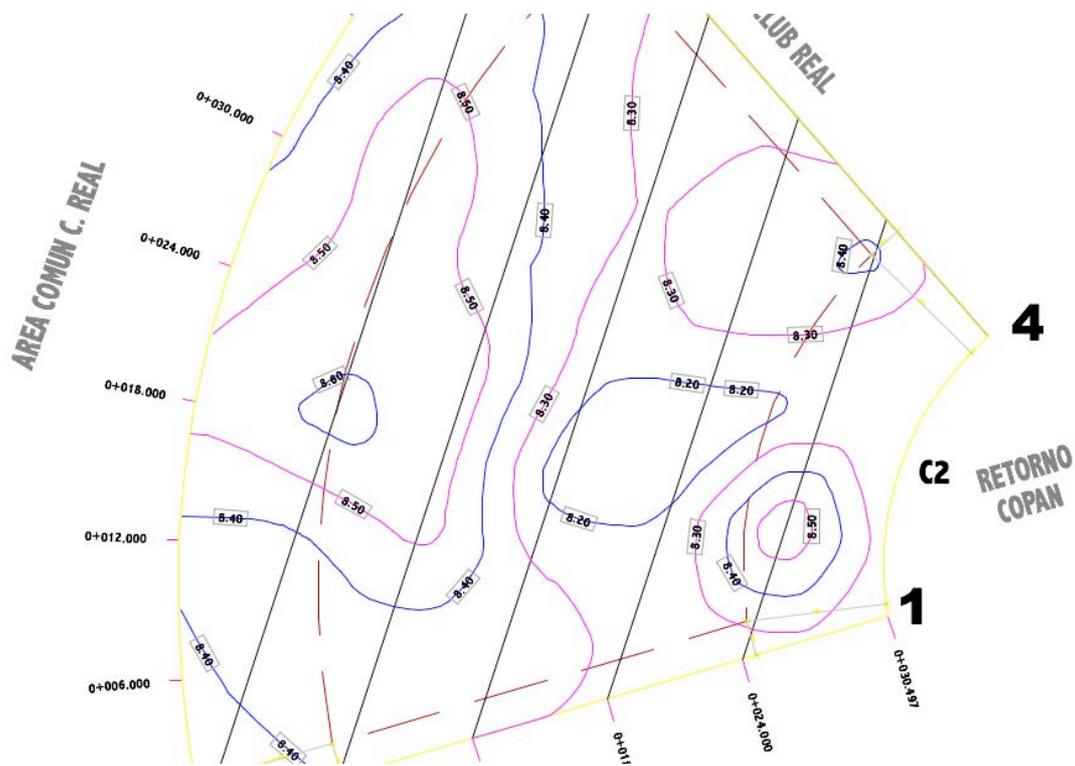


Fig. 6 Plano de Curvas de Nivel del terreno

CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
				1	2,787.955	3,566.284
1	2	S 73°32'40" W	30.50	2	2,779.316	3,537.036
2	3	N 18°01'36" E	45.38	3	2,822.468	3,551.079
3	4	S 40°56'28" E	29.75	4	2,799.994	3,570.574
4	1	S 19°36'46" W	12.78	1	2,787.955	3,566.284
SUPERFICIE = 913.09 m²						
CUADRO DE CURVAS						
CURVA	DELTA	RADIO	ARCO	STAN	CUERDA	AREA BAJA CUERDA
C1	61°30'40.732"	44.370	47.635	26.403	45.380	191.617
C2	58°53'15.176"	13.000	13.361	7.338	12.781	14.502

La excavación en esta obra se efectuó en 10 jornadas de trabajo (jornadas de 8 horas), en donde participaron una retro excavadora marca Caterpillar, un minicargador marca Bobcat, un compresor con dos rompedoras marca Copco, y camiones de volteo. El comportamiento del subsuelo resultó con un alto grado de dureza en los primeros 50 cm, posteriormente, como en la gran mayoría del subsuelo de la Riviera Maya se presentó el material no consolidado conocido como sascab con un espesor de 20 cm, para finalmente volver a encontrar roca caliza con dureza media como se muestran en los estudios de mecánica de suelos presentados anteriormente. Cabe mencionar que la profundidad de excavación fue de 1m para toda la cimentación de la casa y de 1.5 m para la cimentación de la alberca, la profundidad de desplante de las zapatas aisladas y corridas colindantes a la alberca fue de 1.8 m de profundidad, debido a que especificado en los planos estructurales de cimentación dichas zapatas estarán por debajo de la losa de cimentación de la alberca.

Al terminar la excavación, se realiza las respectivas plantillas de concreto pobre ($f_c=100\text{kg/cm}^2$) de 5 cm para poder realizar el armado en la cimentación y para evitar la contaminación del concreto con el material suelto del subsuelo, se utilizaron plásticos de polietileno; el habilitado de acero de las zapatas, dados y columnas, se comenzó paralelamente al terminar la excavación, conformado por cuadrillas de fierrosos y sus respectivos ayudantes, en esta etapa se debe verificar que el armado de acero concuerde completamente con los armados establecidos en los planos estructurales para estribos, grapas, bastones etc., al constatar en obra el control de calidad de los armados, se procede al cimbrado que de igual forma debe revisarse con detalle es decir verificar que las columnas, y dados estén perfectamente plomeados y verticales, que la cimbra cumpla con un buen refuerzo, en esta obra verificar la cimbra tuvo mas detalle en el cimbrado de la alberca, ya que esta fue de concreto y en los muros se ejerce un empuje del concreto sobre todo en la parte inferior, que al momento de colar pudiese abrir la cimbra o romperse y producirse un derramamiento de concreto que conlleva a perdidas importantes de material, mano de obra, equipo, herramienta y por supuesto económicas; en el cimbrado de la alberca se utilizó el sistema de separación a través de moños para el muro principal de la alberca, lo cual garantizó un buen refuerzo que soportó la presión del concreto y el vibrado, es importante que el cimbrado sea elaborado con madera que garantice resistencia, durabilidad, y que brinde buena apariencia al ser descimbrada.

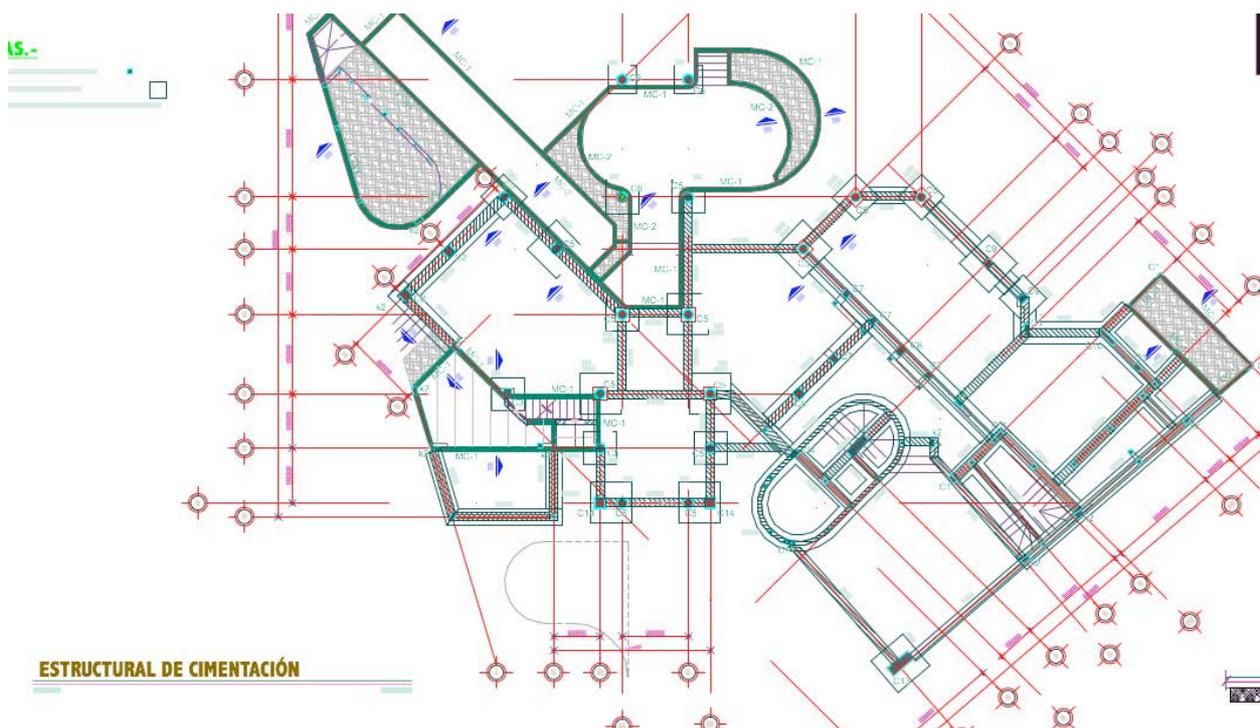


Fig. 7 Plano estructural de cimentación

ZAPATAS AISLADAS

TABLA DE ZAPATAS			
TIPO	B (cm)	h1 (cm)	As1
Z1	150	30	4@15
Z2	120	25	3@15
Z3	80	20	3@15

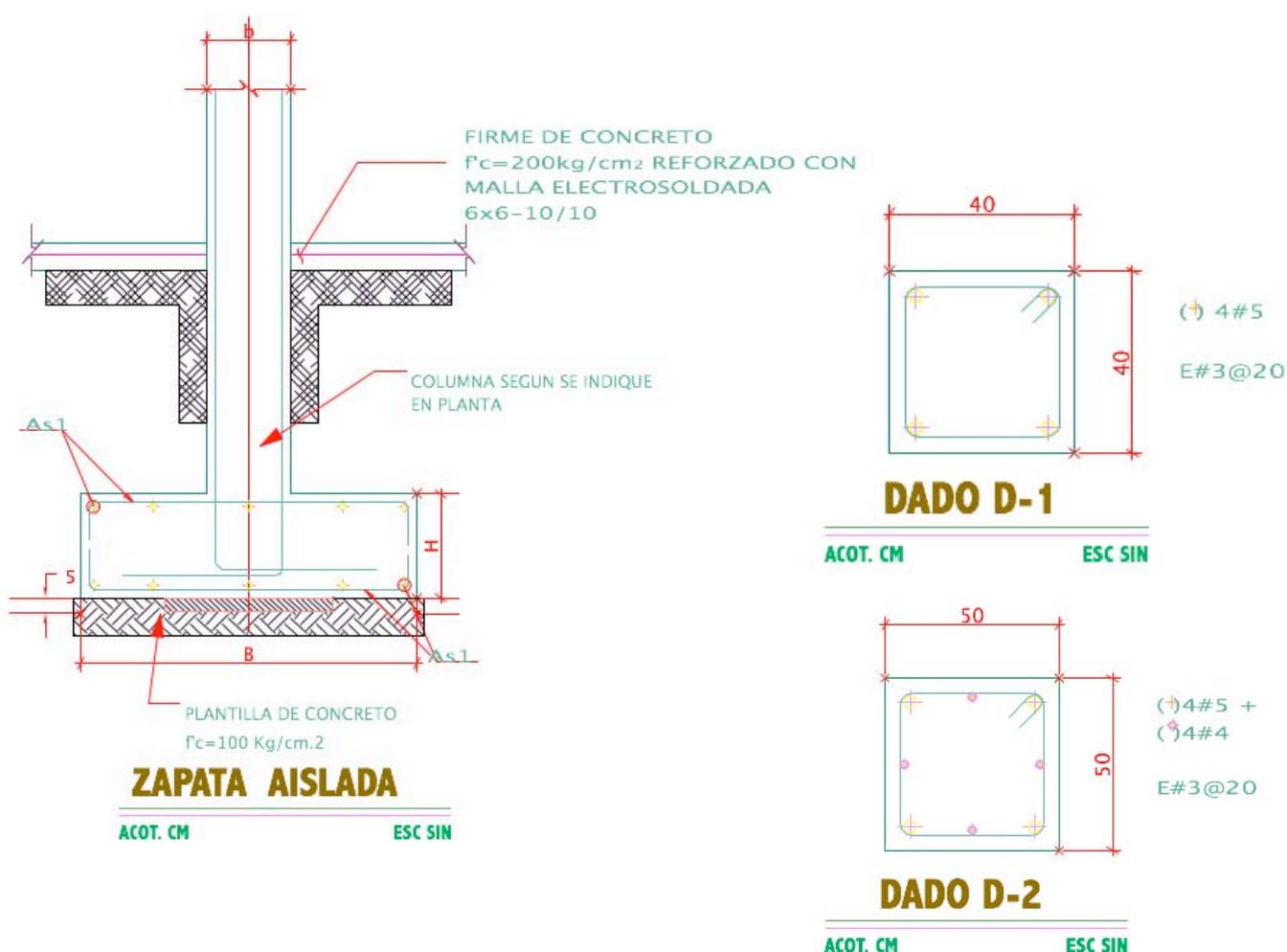


Fig. 8 Detalle de Zapatas Aisladas y sus respectivos dados de cimentación

Es recomendable que después del cimbrado y antes de colar se realice un último chequeo general en toda la cimbra y acero, para poder realizar el colado de la cimentación. Para esta obra se utilizó concreto premezclado bombeable de la marca Cemex concretos con resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de resistencia rápida a 7 días (esta resistencia rápida a 7 días se utilizó para poder cumplir con los tiempos establecidos en el programa de obra), en el concreto de la alberca se le agregó un aditivo anticorrosivo especial.

Como en toda estructura de concreto es necesario realizar el curado del concreto por pérdida de agua debido a la reacción química del cemento con el agua; por lo que en esta obra existió un

estricto cuidado en este aspecto, curando la estructura después del descimbre durante 7 días, evitando así cualquier agrietamiento del concreto; el curado de toda la cimentación se realizó con Curacreto.

Una vez pasando el proceso de curado se realiza la impermeabilización de toda la cimentación de concreto con impermeabilizante asfáltico marca fester vaportite 550 debido a que quedará enterrada y así se evitará humedad, corrosión, afectaciones por cambios de temperatura etc. Al finalizar la impermeabilización se rellenó el terreno con sascab compactado al 95% hasta alcanzar el nivel cero marcado por los planos.

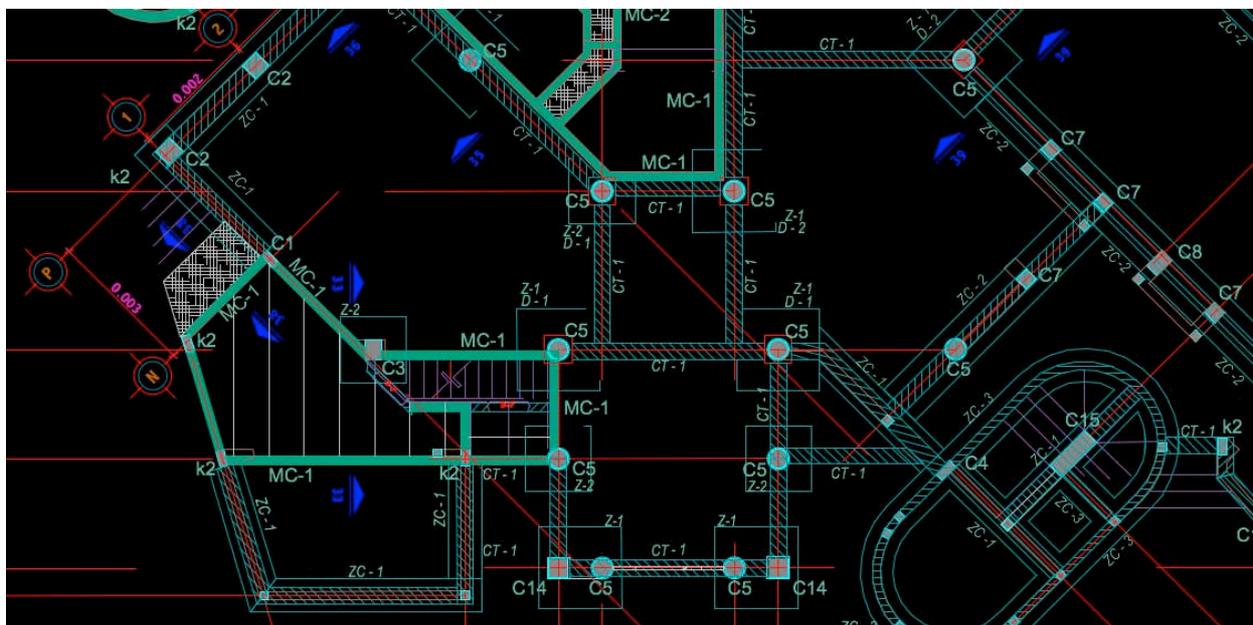


Fig. 9 Ubicación y nomenclatura de Zapatas corridas, Zapatas Aisladas y Muros de carga de concreto

ZAPATAS CORRIDAS

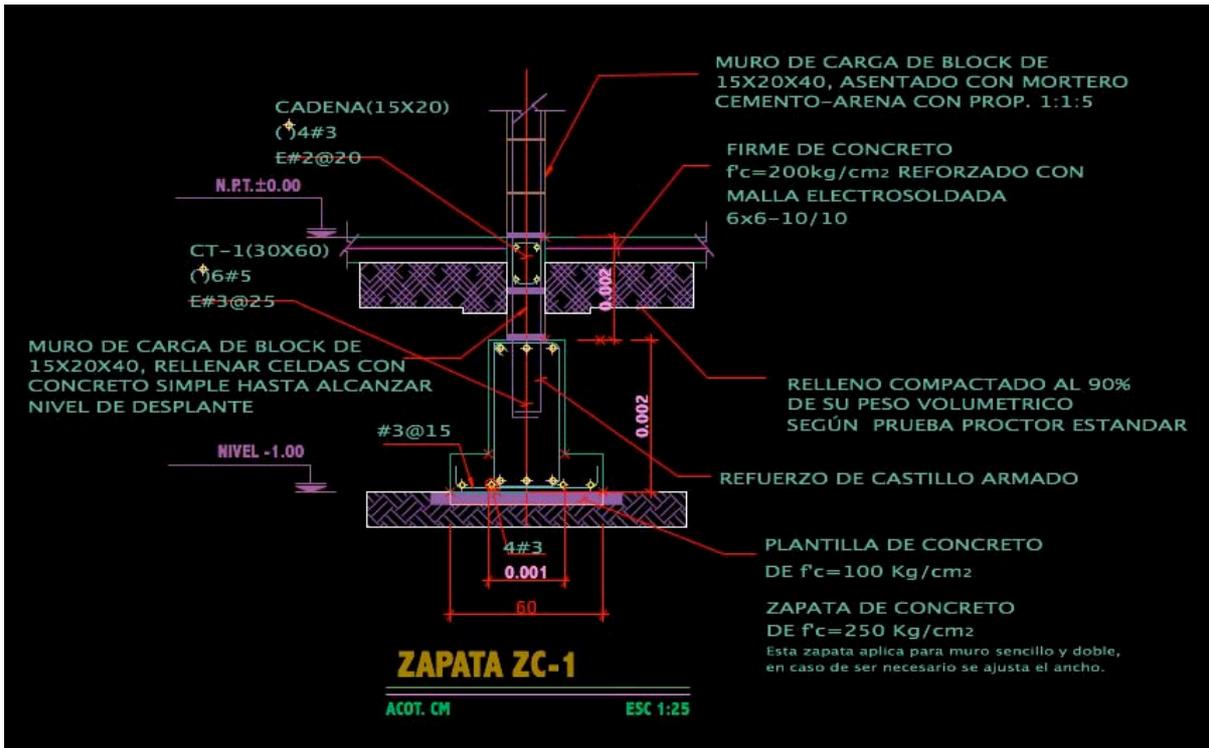


Fig. 10 Zapata Corrida tipo ZC-1

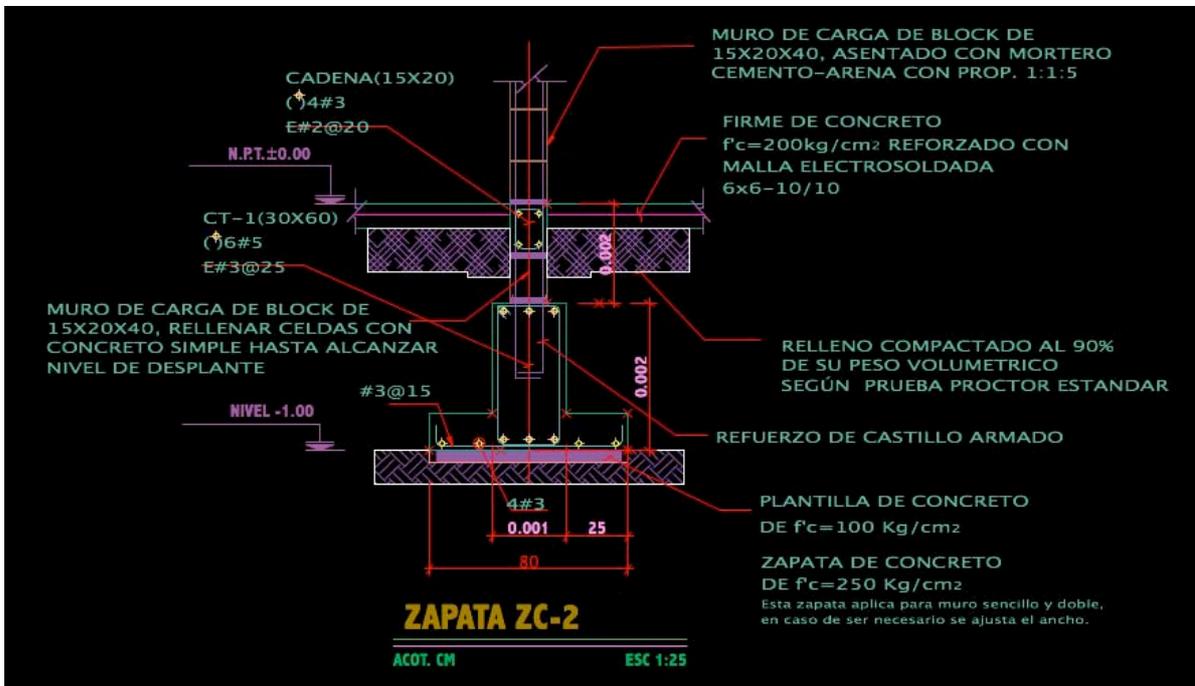


Fig. 11 Zapata Corrida tipo ZC-2

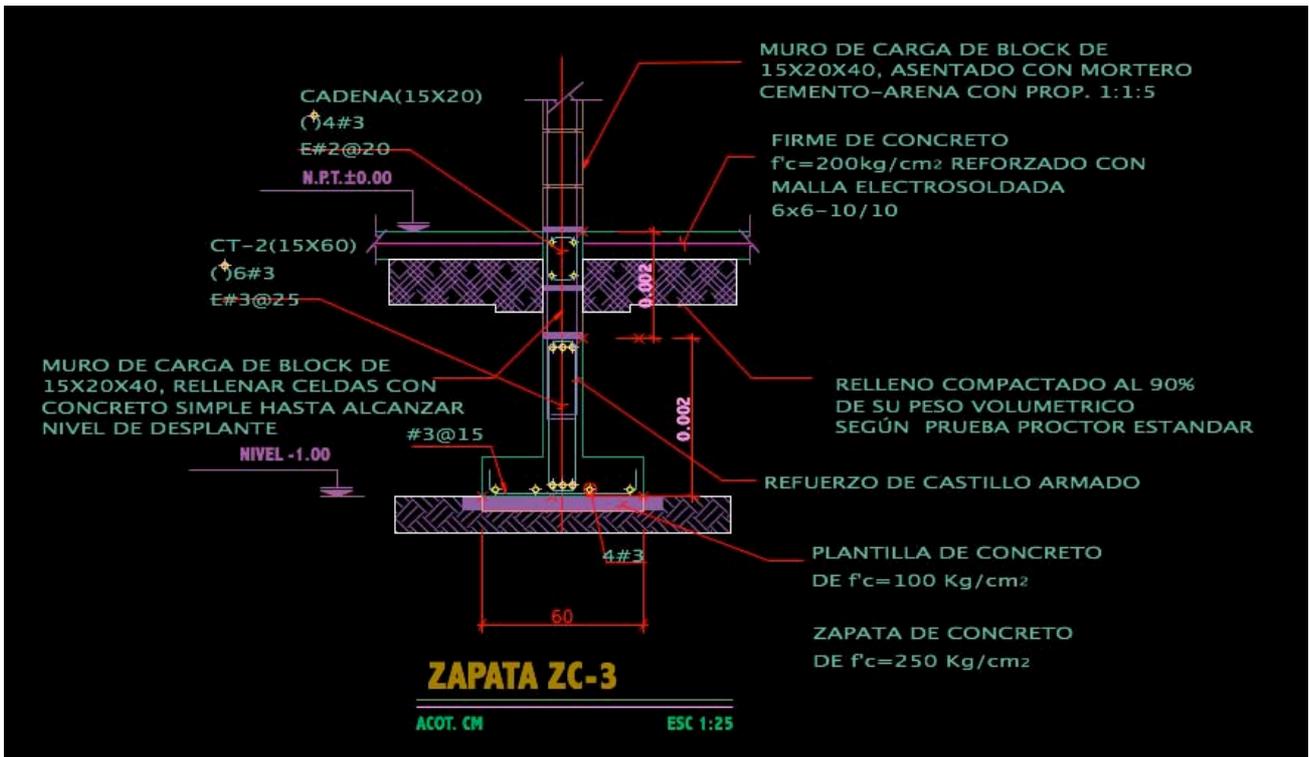


Fig. 11 Zapata Corrida tipo ZC-3

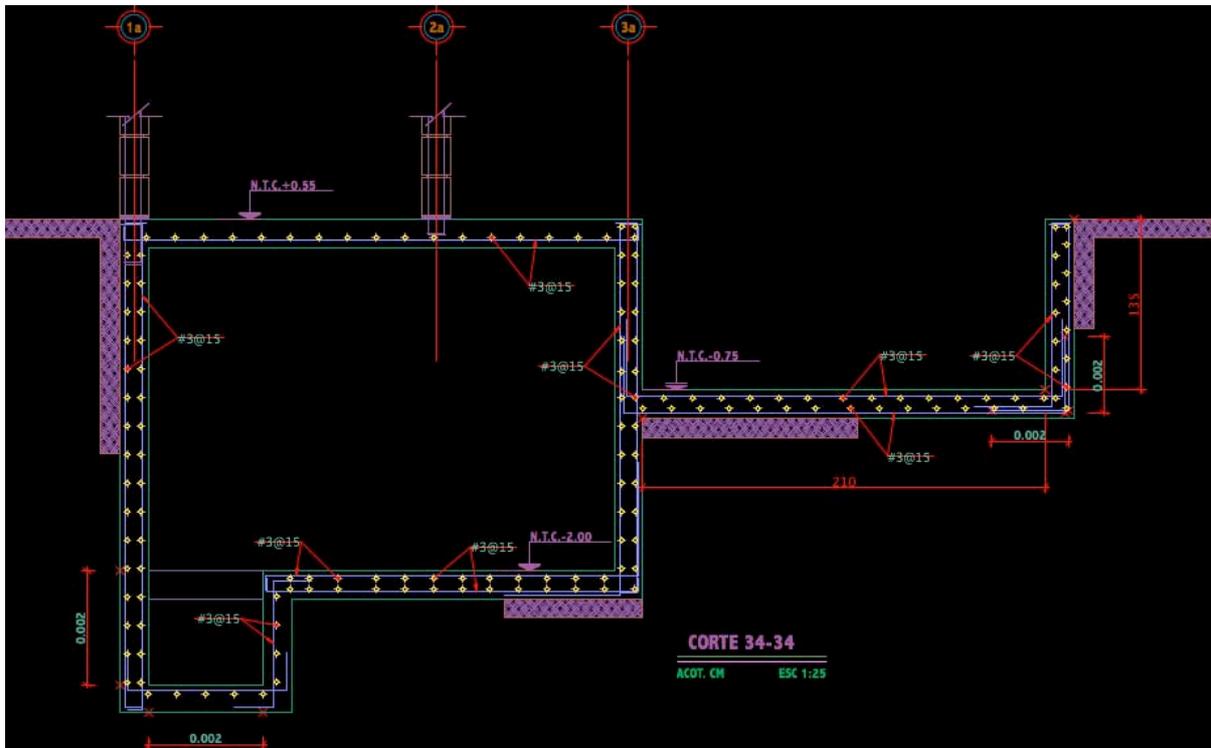


Fig. 12 Detalle de cimentación cuarto de maquinas (izquierda) y carril de nado alberca (derecha)

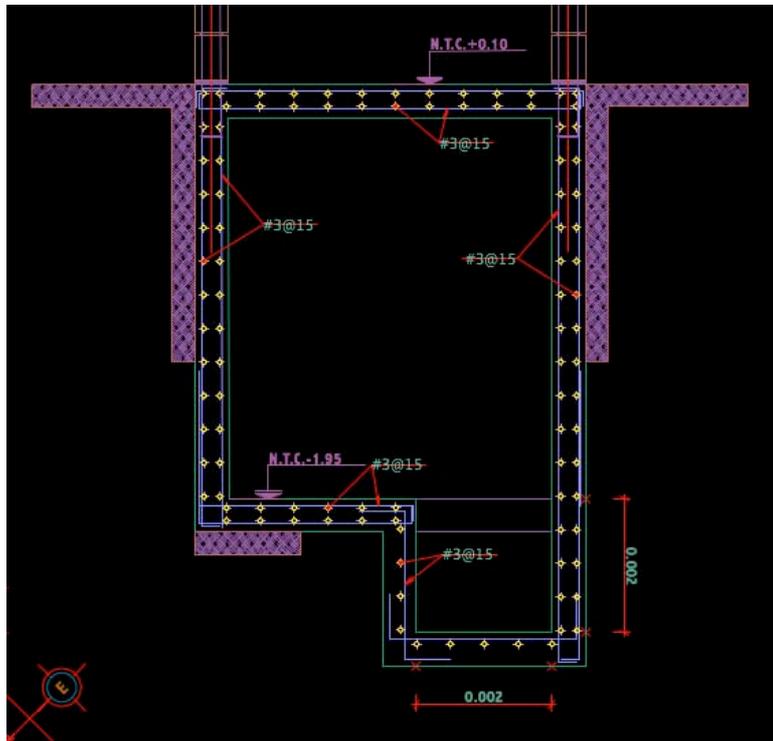


Fig. 13 Armado de cimentación de la cisterna (corte 19-19)

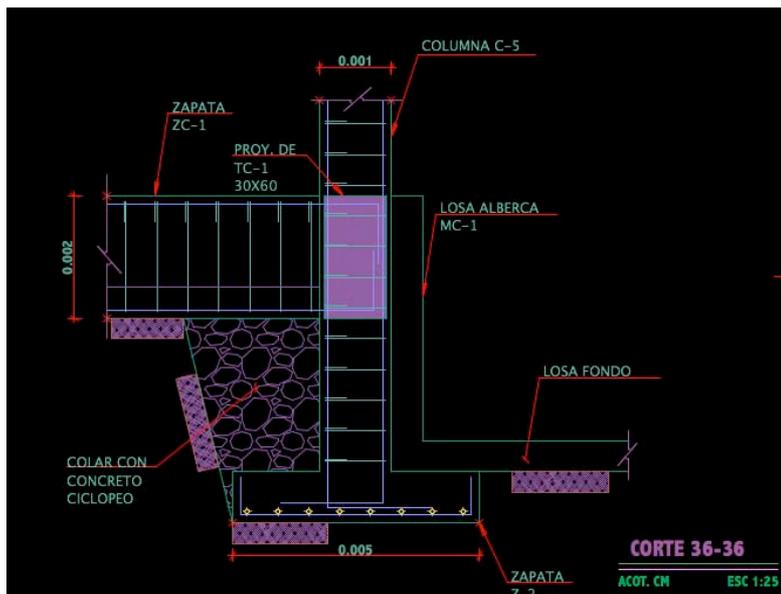


Fig. 14 Detalle de cimentación de alberca e intersección entre zapatas corridas e aisladas

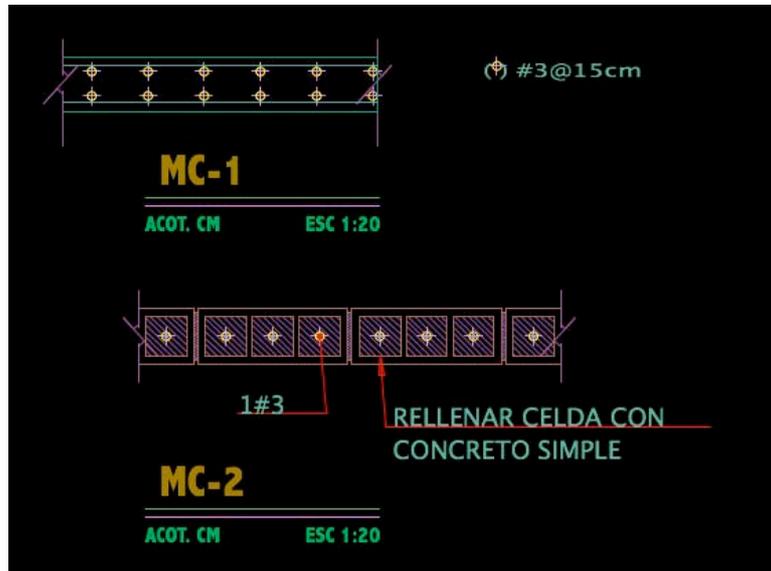


Fig. 14 Armado de muros de cimentación

En los párrafos anteriores se describió el proceso de cimentación en la construcción de esta residencia, la duración aproximada fue de 45 días hábiles (lunes a sábado); se prosiguió la obra con la realización de la estructura, siguiendo los planos estructurales, los sistemas de piso utilizados fueron vigueta y bovedilla de concreto, en los volados y terrazas el sistema de piso fue una losa de concreto armado, en la zona de distribución de la planta alta se instaló un piso de cristal apoyado en estructura metálica, el techo de los tapancos de las recamaras 2 y 3 se realizo con losa curva de concreto armado.

Finalmente al terminar la estructura se realizaron los acabados marcados en los planos arquitectónicos en la sección de acabados; causando estos el mayor costo de la obra; debido a que los materiales utilizados son de gran calidad como mármol crema marfil, empastado de muros, falsos plafones en todos los techos, lambrines de mármol en baños, lambrín de piedra en exterior, decks de madera tzalám en el área de la alberca, piso de madera de cedro de primera en antecomedor, escaleras etc. También los trabajos de jardinería formaron parte de esta partida de acabados, en donde se siguieron los planos de jardinería que este proyecto bien elaborado establecían (Fig. 15); en fin lo anterior se menciona debido a que es importante que el alumno ingeniero conozca como se distribuye el costo de una obra, en este caso los acabados generaron el mayor costo en la construcción.

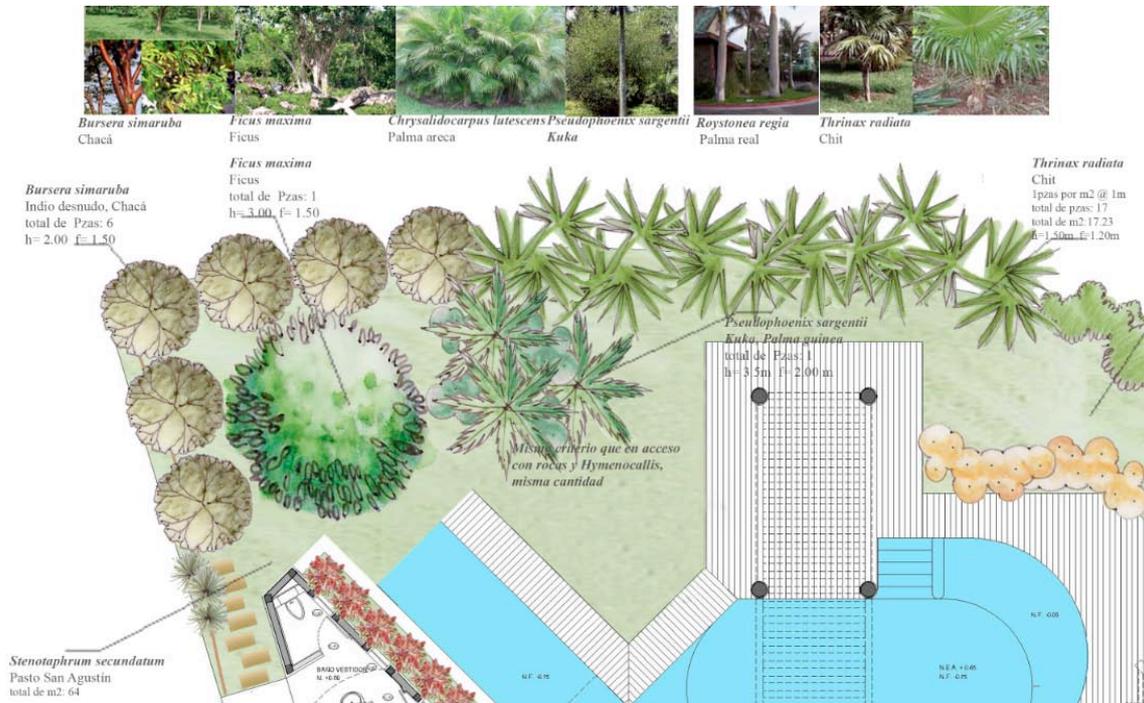


Fig. 15 Plano de Jardinería



Fig. 16 Imágenes digitales del interior de la residencia y propuesta de decoración

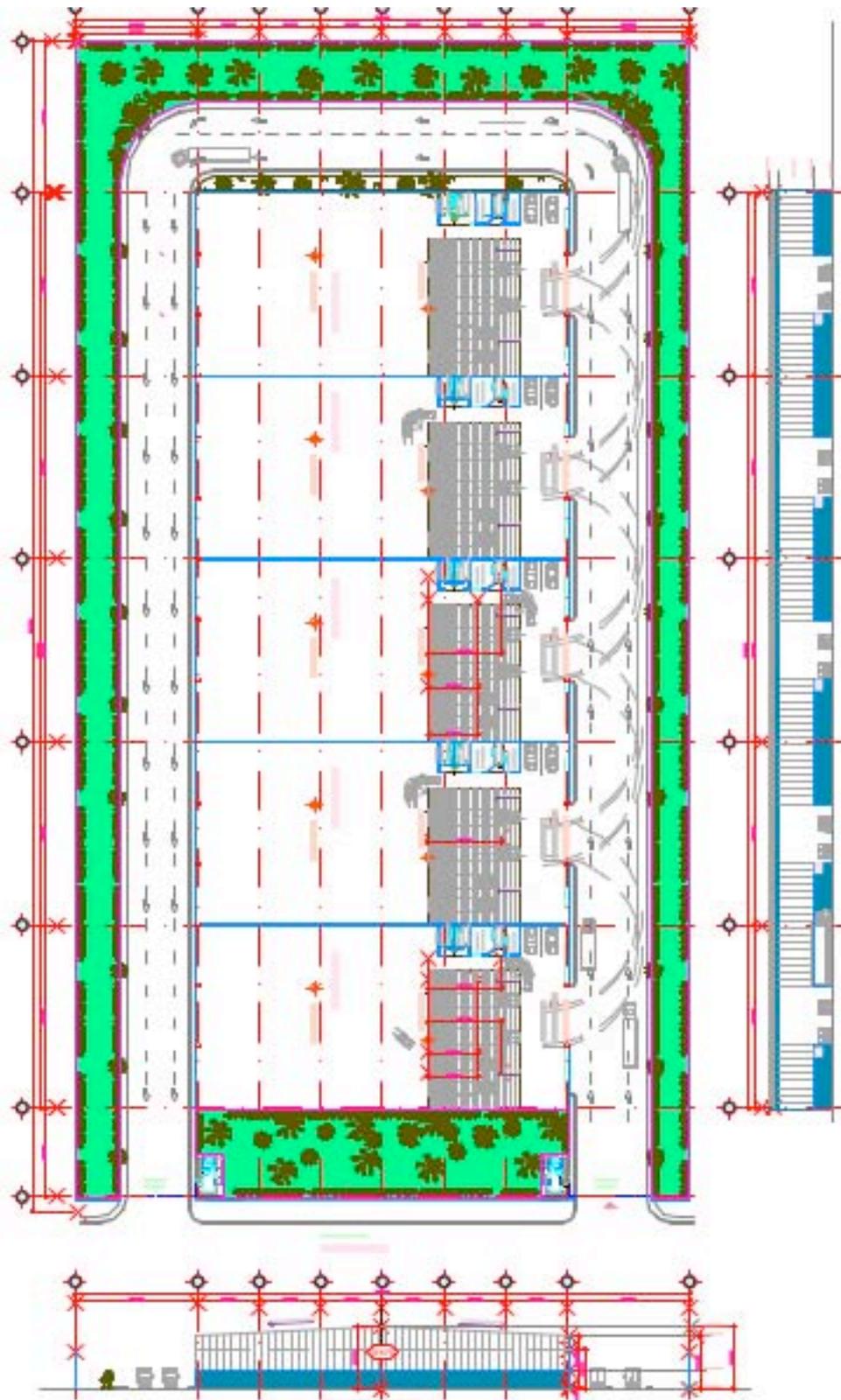


Fig. 1 Planta Arquitectónica tipo del conjunto de naves

PROCESO CONSTRUCTIVO

Como en el ejemplo anterior este proyecto requirió una planeación detallada, comprendiendo, estudios de mecánica de suelos, la cimentación apropiada que garantice la estabilidad de la estructura y que a su vez resulte la más económica, el diseño estructural en este tipo de edificaciones es de gran importancia, ya que para cubrir largos claros a un costo económico es necesario optimizar las dimensiones de cada elemento metálico, otro factor importante a planear son los accesos, ya que transitará transporte de carga pesado y mientras más fácil resulte acceder, los procesos de carga y descarga resultarán ágiles, la vida útil de un proyecto industrial es de igual forma importante estudiarlo durante la planificación, ya que en este tipo de construcciones los inversionistas buscarán obtener ganancias y reeditar la inversión en el tiempo menor posible, este aspecto va del mano con los estudios económicos de mercado. Ya planificado el proyecto, se elaboran los planos estructurales, de instalaciones y arquitectónicos necesarios para ejecutar la obra.

Cabe mencionar que en estructuras de acero se muestran en los planos detalles de conexiones, placas, tornillos, fijación de columnas y soldadura; debido a que en estructuras de acero estos elementos requieren controles de calidad sumamente estrictos, requiriendo mano de obra especializada respaldada por certificados de instituciones especializadas en estas clases de oficios para cada trabajador que ejerza dichos trabajos.

Para la construcción de estas bodegas se realizaron los estudios previos mencionados anteriormente y en base a estos se determina la viabilidad para elegir una cimentación; debido a que en los almacenes la carga muerta y viva es sumamente considerable por lo que se requiere una estabilidad absoluta en todo el terreno, el estructurista determinó el uso de zapatas aisladas como cimentación viable, previa construcción de plataforma de 50 cm compactada perfectamente al 95% prueba porter en toda el área del terreno.

Como se ha mencionado en los ejemplos anteriores primero se realiza un presupuesto, cuantificación y programa de obra previos, posterior a esto se realiza el despalme del terreno, es decir quitar las ramas, arbustos, árboles etc. habiendo obtenido los permisos y autorizaciones necesarias que exige el municipio.

En esta construcción la cimentación como se explico anteriormente resultó diferente, aunque haya sido de igual forma cimentación superficial basadas en zapatas aisladas, en esta obra posterior al despalme y retiro de tierra vegetal con retroexcavadoras y camiones de volteo, se realizó un relleno compactado de 50 cm de espesor en toda la superficie, siendo este compactado a cada 10 cm con equipos de compactación especificados en el proyecto (rodillo vibratorio compactador, bailarinas etc.) cumpliendo las pruebas porter al 95% en toda el área de las naves a construir.

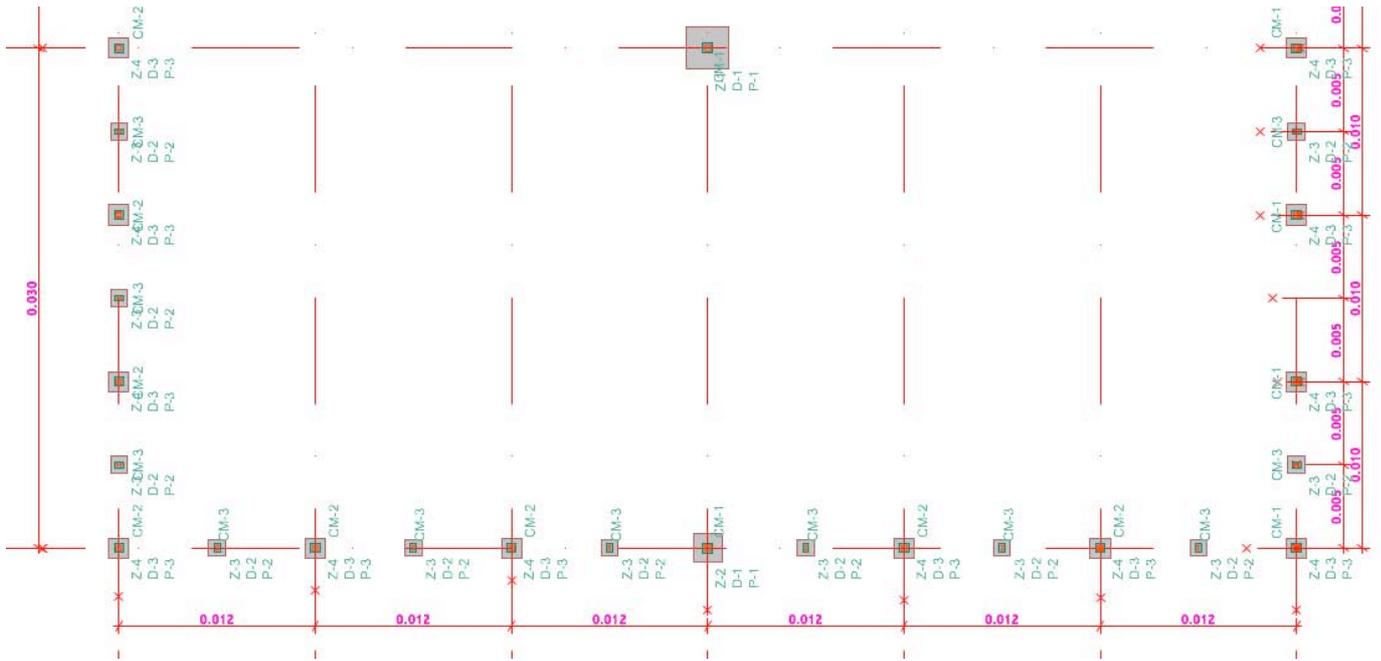


Fig. 2 Plano estructural de cimentación para nave individual

TABLA DE CIMENTACION								LECHO INFERIOR		LECHO SUPERIOR	
DADO	ZAPATA	A (cm)	B (cm)	a (cm)	b (cm)	D (cm)	H (cm)	V	H	V	H
D-1	Z-1	250	250	60	60	50	100	#5@15	#5@15	#3@15	#3@15
D-1	Z-2	170	170	60	60	35	100	#4@15	#4@15		
D-2	Z-3	100	100	50	35	20	100	#3@15	#3@15		
D-3	Z-4	120	120	55	55	20	100	#3@15	#3@15		

TABLA DE COLUMNAS			
PERFIL	PERFIL		SECCION mm
	mm x kg/m	in x lb/ft	
CM-1	OR 356X356X12.7	OR 14X14X1/2	
CM-2	OR 305x305X9.5	OR 12x12X3/8	
CM-3	IR 254x32.9	IR 10x22	

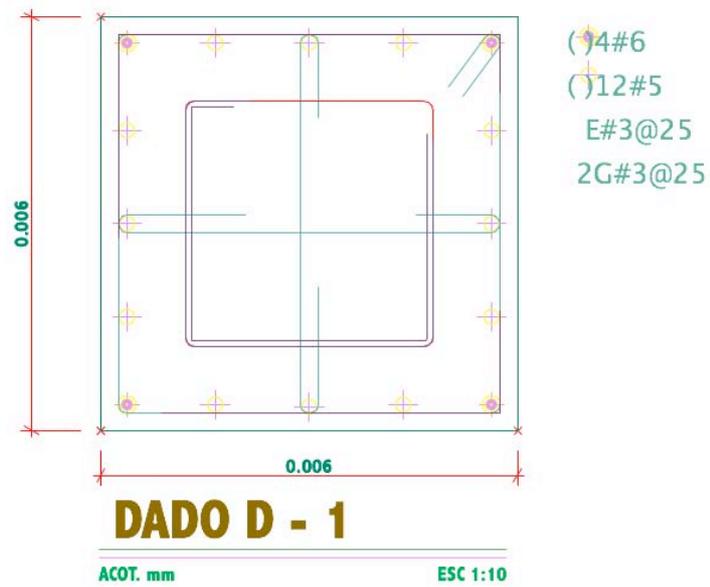
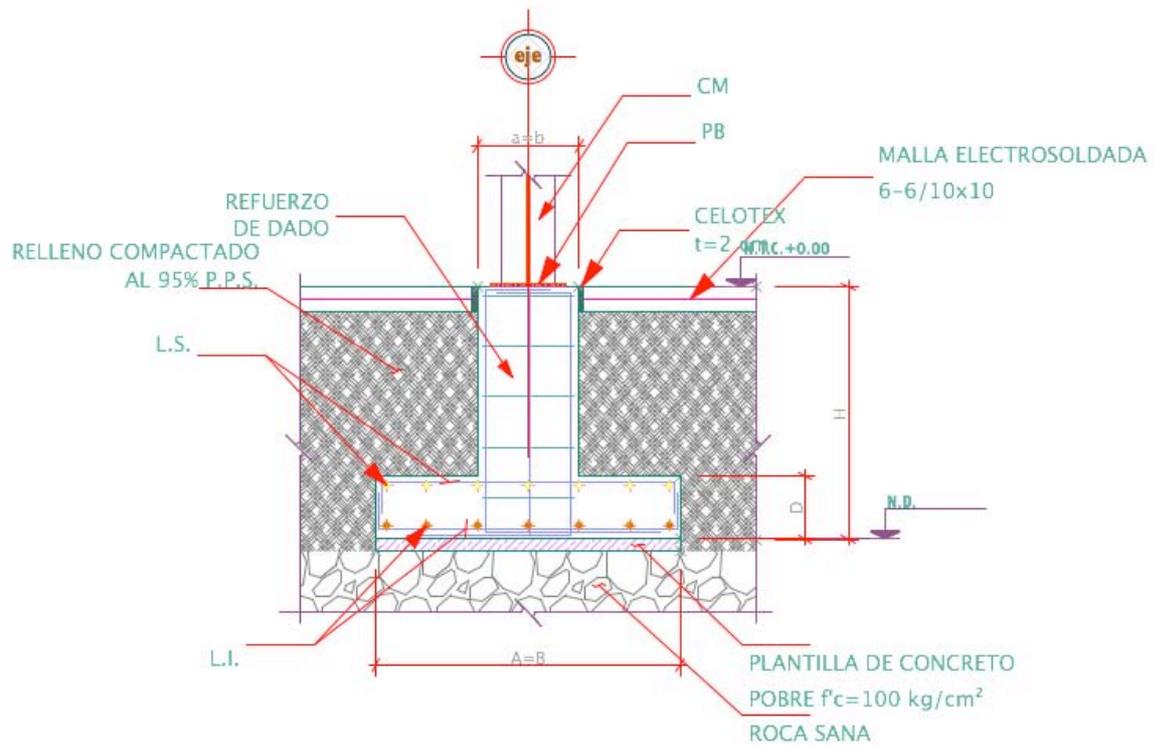
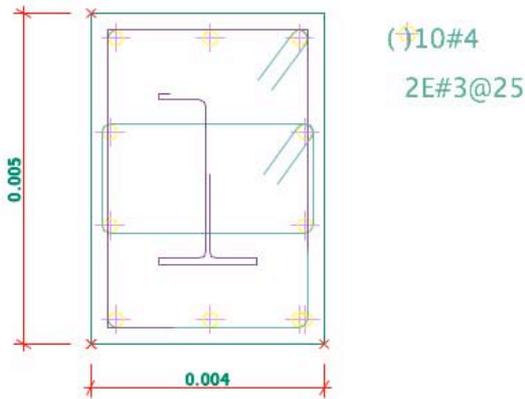


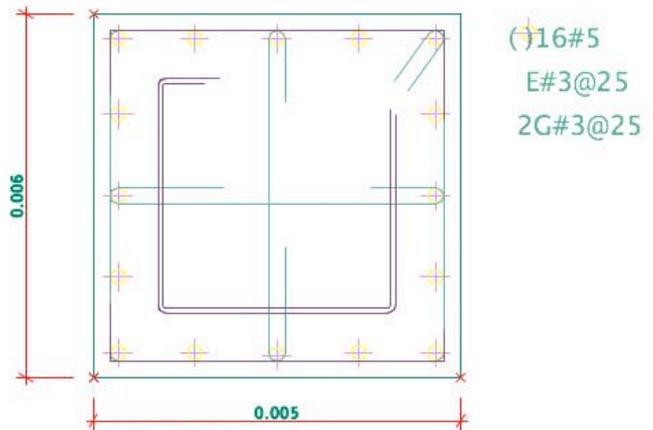
Fig. 3 Detalle de Zapata Aislada Tipo



DADO D - 2

ACOT. mm

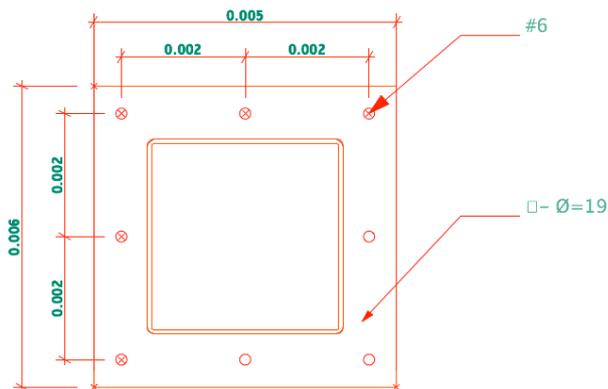
ESC 1:10



DADO D - 3

ACOT. mm

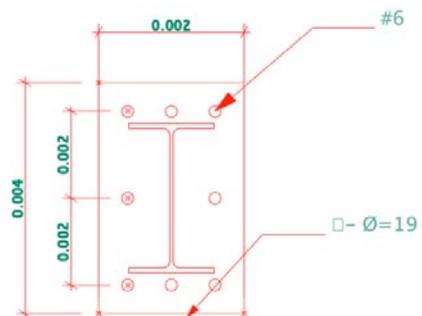
ESC 1:10



PLACA P-1

ACOT. mm

ESC 1:10



PLACA P-2

ACOT. mm

ESC 1:10

Terminada la plataforma compactada que garantizará una resistencia de 65 ton/m² en toda la superficie del terreno, se realizó la excavación para desplantar las zapatas aisladas con retroexcavadoras a 1m de profundidad como se muestra en la tabla de zapatas, el comportamiento del material compactado fue de menor dureza comparada con la roca caliza pura, sin embargo, como únicamente se excavaron 50 cm en material compactado, el desplante de todas las zapatas fueron apoyadas en la laja caliza.

Al finalizar la excavación se realizaron las plantillas de concreto pobre ($f_c=150\text{kg/cm}^2$) para el habilitado de las parrillas y dados de acero de las zapatas, verificando su coincidencia con los planos estructurales; posterior al habilitado se realizó la cimbra de las zapatas y debido a que las columnas que recibirán el apoyo de dichas zapatas son de acero, se preparó el anclaje (anclas con rosca de acero A - 36) y placas de acero A-36, ya que al colar las zapatas con sus

respectivos dados es necesario que dichas anclas estén previamente colocadas para garantizar su resistencia (ver Fig. 4).

Finalmente se realizó el colado, en esta estructura se utilizó concreto premezclado marca Cemex revenimiento 16 cm bombeado con $f'c=300$ Kg./cm² y acelerador de fraguado a 14 días; como en toda estructura de concreto se realizó el descimbre, curado, e impermeabilización asfáltica de la cimentación, para posteriormente rellenar y compactar con bailarinas industriales perfectamente el área excavada.

CONCLUSIONES

El proceso de cimentación superficial resultó similar en todos los casos, sin embargo en este ejemplo la elaboración de la plataforma compactada causó diferencias en el proceso constructivo, dicha plataforma al igual que el firme que va sobre ella están diseñados para soportar cargas muertas y vivas de gran magnitud, en cuanto a la cimentación de las zapatas, estas se encuentran por debajo del nivel de la plataforma, es decir están desplantadas sobre la roca caliza sana cuya capacidad de carga admisible supera las 80 ton/m²; garantizando la estabilidad de la estructura; el anclaje de las columnas de acero con la cimentación de concreto resulta ser crucial para que la estructura de la nave industrial ejerza la distribución de cargas como se planificó; por lo que se requieren altos controles de calidad por lo que el proceso de conexión de las estructuras de acero con los dados de las zapatas aisladas debe garantizar homogeneidad entre ambas estructuras; y que las cargas de las columnas sean transmitida uniformemente a las placas de acero que debilitan la frontera entre el concreto y el acero unidas por tuercas roscadas en las anclas de acero coladas dentro de la zapata aislada.

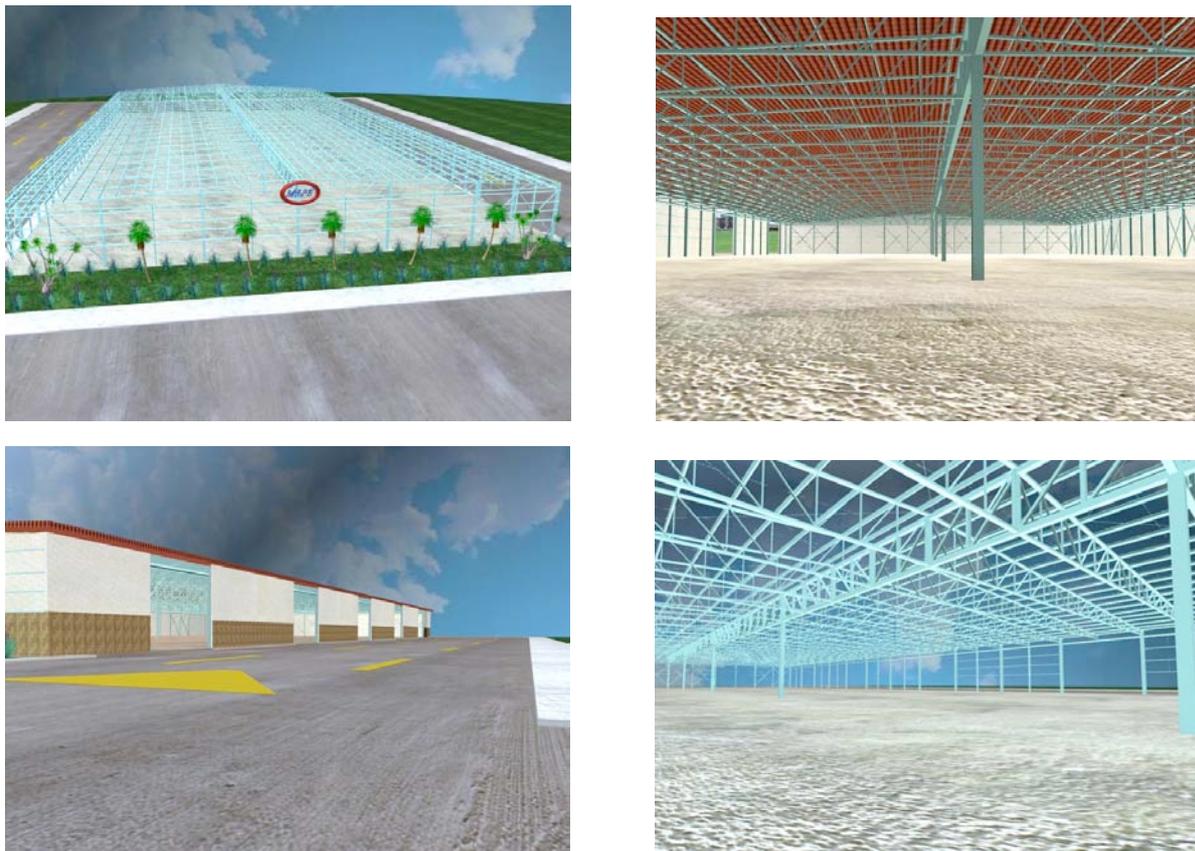


Fig. 4 Imágenes digitalizadas de los almacenes M&PE

V. e EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS FRENTE AL MAR

La siguiente cimentación corresponde a un edificio de condominios de lujo ubicado frente al mar en Playa del Carmen, dicha edificación se encuentra a un costado de una playa muy conocida en la zona llamada mamitas, se tuvo la oportunidad de platicar con los ingenieros encargados de la obra y así se obtuvieron los siguientes datos relativos al subsuelo y tipo de cimentación empleada, así como una galería de imágenes que reflejan el proceso constructivo de dicha cimentación.

Primeramente fue necesario conocer el proyecto agradeciendo a la constructora J Y H López Construcciones S.A de C.V, que me permitieron realizar visitas a la obra así como platicar con el ingeniero encargado de la obra.

El proyecto denominado "Royal" consta de 20 exclusivos departamentos frente al mar, por motivos de seguridad de la empresa únicamente se proporcionaron 3 graficas que representan los sondeos realizados al subsuelo, en dichas gráficas se puede observar un subsuelo de altísima dureza desde los primeros 30 cm, dando una capacidad de carga del subsuelo para cimentar la estructura es de 85 ton/m².

Como se menciona en el párrafo precedente, el tipo de subsuelo corresponde a roca caliza san alta dureza, en el terreno no se encontraron cavernas ni cenotes, lo que significa que el subsuelo tiene una alta resistencia y puede soportar la estructura con una cimentación superficial, en este caso se justifica la cimentación por zapatas corridas, contratrabes de cimentación y zapatas aisladas.

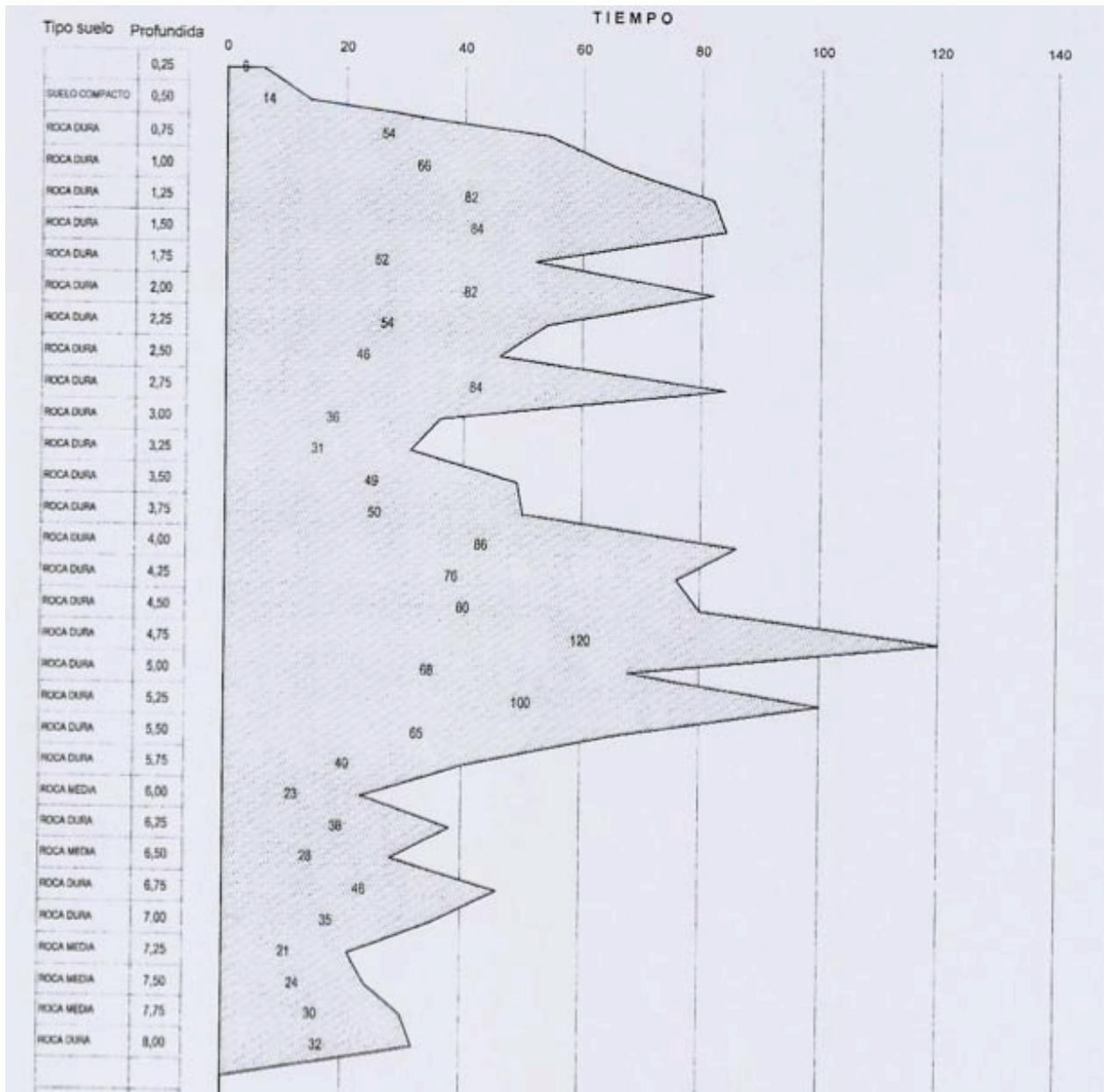
Es de suma importancia lo especificado en los párrafos anteriores acerca de la existencia de cavidades y cenotes, ya que en general los estratos de roca en esta región tienen la característica de ser muy resistentes, y esto conlleva a cimentar superficialmente prácticamente todas las estructuras, teniendo a favor también que el nivel freático se encuentra a gran profundidad (6 a 8 m); sin embargo cuando se localizan cavernas y cenotes se presentan las cimentaciones profundas, y en muchos casos si la caverna y/o cenote resulta de gran magnitud muchas veces el proyecto cambia a explotar turísticamente tal fenómeno kárstico debido a que resulta mas económico y en ocasiones mas redituable para el inversionista.

Regresando a las especificaciones del ejemplo, se encontraron zapatas corridas de concreto con dimensiones 80cm de ancho x 20cm de espesor con contratrase de 40x20 cm, zapatas aisladas de 2.4 m de largo X 2.2 m de ancho con un peralte de 55 cm de espesor y dados de 80x80 cm toda la cimentación fue realizada con concreto de resistencia $f'c=250$ Kg./cm² desplantadas a profundidades variables de 1.5 m a 3 m.

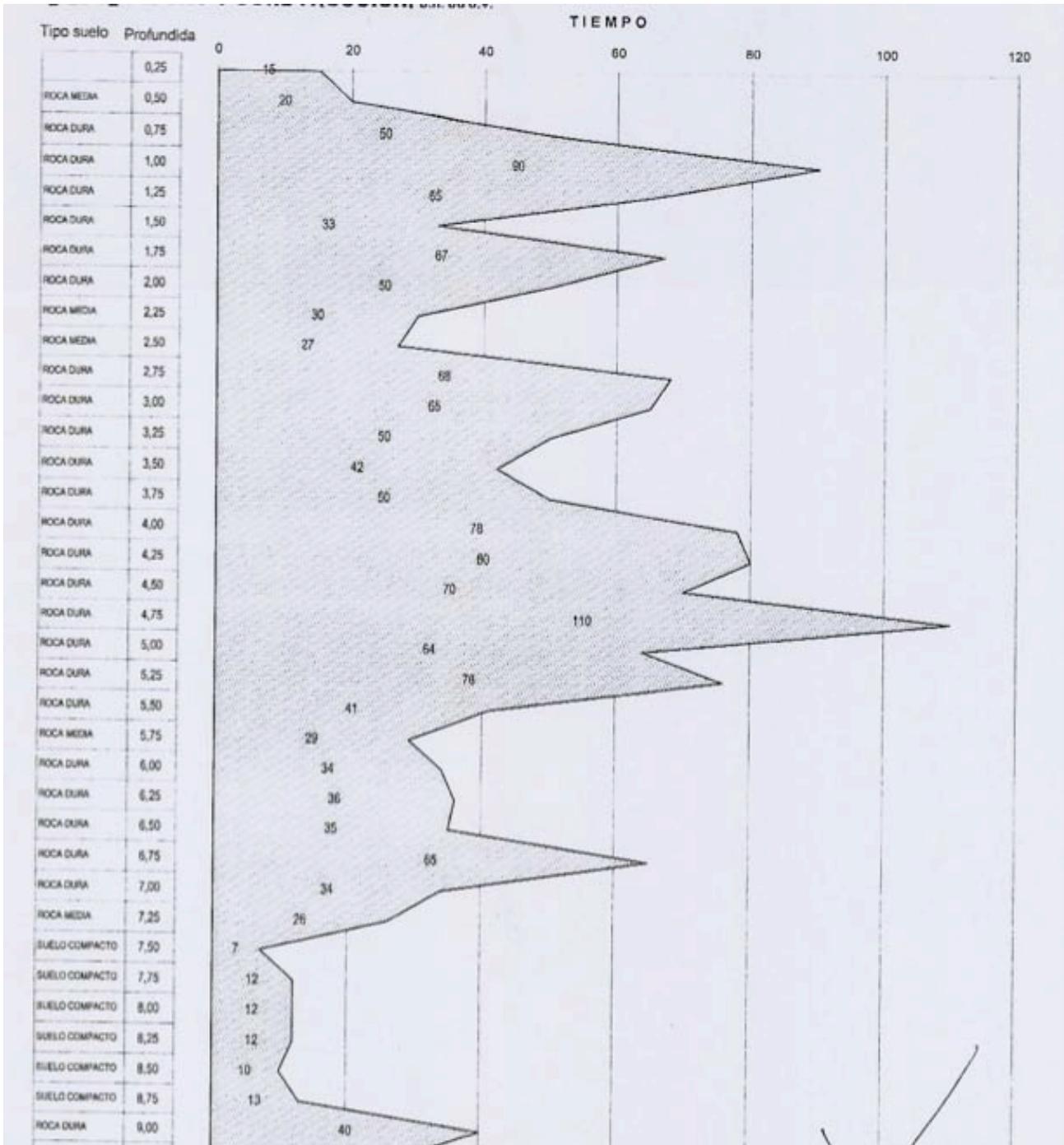


Fig. 1 Excavación para desplante de zapatas

A continuación se presentan las Gráficas correspondientes a los sondeos del subsuelo:



Gráfica 1. Estratificación tipo del terreno en estudio



Gráfica 2. Estratigrafía tipo del terreno en estudio

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN (ÁLBUM FOTOGRAFICO)

La excavación se realizó a 3 m de profundidad para el desplante de las zapatas aisladas y zapatas corridas:



Fig. 2 Plantillas de concreto pobre $f'c=150$ Kg./cm² para desplante de zapatas aisladas

Habilitado de acero de refuerzo en zapatas aisladas (2.4 m x 2.2 m con un peralte de 50 cm y dados de 80 cm x 80cm), se utilizaron varillas del No. 3, 4, 5, y 6:



Fig. 3 Habilitado del acero de refuerzo y cimbrado de zapatas

Colado de Zapatas Aisladas, Zapatas Corridas y contratrabes de cimentación :



Fig. 4 Colado de Zapata Aisladas y contratrabe de cimentación que une la cimentación



Fig. 5 Zapatas Corridas para desplante de muros de carga de block de concreto



Fig. 6 Muro de concreto armado para sótano

Relleno de la excavación previa impermeabilización:



Fig. 7 Producto de la excavación utilizado para relleno compactado al 95% prueba porter estándar.



Fig. 8 Impermeabilización y Relleno de la excavación para construcción de la estructura

Estructura de la edificación a través de columnas y trabes de concreto, muros de block de concreto, con sistema de piso de vigueta y bovedilla de concreto:



Fig. 9 Estructura de la edificación de 4 niveles

CONCLUSIONES

Este edificio representa las edificaciones comunes construidas en la costa litoral de la Riviera Maya, en este caso el subsuelo tiene una capacidad de carga muy alta por lo que se optó una cimentación superficial, el edificio comprende un complejo habitacional de lujo en cuatro niveles, que son los niveles máximos que permite el reglamento de construcción de esta región; el proceso de construcción de la cimentación fue rápido, teniendo una duración aproximada de 2 meses, los controles de calidad de esta obra fueron medianamente estrictos, ya que no existían controles de seguridad para los trabajadores y claro ejemplo fue que durante su construcción falleció el Ing. Residente al caer de la estructura.

Debido a la ausencia de cavernas y cenotes se opta utilizar cimentaciones superficiales, ya que generalmente la capacidad de carga que brinda el subsuelo en esta región es benéfica para cualquier cimentación superficial; de lo contrario si existiesen cavernas y/o cenotes se elaborará un estudio económico para determinar si es conveniente rellenar dicha caverna con concreto ciclópeo, si es que dicho cenote no tiene presencia de agua, ya que la normatividad prohíbe alterar mantos freáticos y la opción necesaria de cimentación será de tipo profunda.

V. f CIMENTACIONES PILOTEADAS

Este tipo de cimentaciones no es tan común en esta región como se presentan en suelos blandos como los del centro del país, específicamente el Distrito Federal.

Debido a que el tipo de subsuelo de la Península Yucatán proporciona gran Capacidad de carga no es muy común la utilización de cimentaciones profundas; como lo hemos visto en los estudios de sondeos mostrados en los ejemplos anteriores el subsuelo en esta zona puede soportar hasta mas de 100 ton/m², lo que generalmente en todos los casos garantiza un excelente comportamiento ante agentes como sismos, tormentas tropicales, huracanes etc. Debido a que el viento es el principal agente destructivo de las estructuras en esta región, la reglamentación local restringe construcciones mayores a 12 m de altura, lo que aún más garantiza la seguridad de las estructuras cimentadas superficialmente.

Lo comentado en el párrafo anterior no excluye completamente las cimentaciones profundas debido a que así como el subsuelo en esta región tiene una gran resistencia, es importante mencionar que cuenta con la desventaja de ser un subsuelo que es afectado o alterado por los fenómenos kársticos que provocan la disolución de la roca caliza y esto a largo plazo conlleva a la formación de cavernas, y formaciones que alteran la estabilidad original del subsuelo, generalmente mas frecuentes en el litoral del caribe debido a que la presencia de aguas salinas quienes aceleran dicho fenómeno, es pertinente mencionar que las construcciones mas importantes como hoteles, grandes complejos habitacionales, muelles etc. se desarrollan en esta franja litoral, por lo que al cimentar dichas estructuras es de gran importancia realizar los estudios que brinden todos los datos necesarios del subsuelo para determinar si es necesario utilizar cimentaciones profundas (pilotes, pilas de cimentación) ya que estas estructuras no pueden fallar de acuerdo a las normas técnicas complementarias.

Detectando las zonas de cavernas a través de sondeos y estudios de mecánica de suelos desarrolladas mas en la zona litoral, es importante saber que si dicha caverna se localiza en el área de una columna, es necesario realizar en esa área la cimentación con pilotes que son apoyados en el primer estrato de roca dura localizado comúnmente a 10 m de profundidad, dependiendo de la profundidad de la caverna, otra solución es rellenar la caverna con concreto ciclópeo si esta no contiene agua o ecosistemas animales, analizando detalladamente la comparativa de costos, otra solución como última opción consiste en cambiar el proyecto de tal forma que no abarque el área de la caverna.

La cantidad de pilotes o pilas de cimentación puede variar respecto a la dimensión o cantidad de cavernas, por lo que muchas veces en alguna construcción de esta dimensión se pueden encontrar desde un solo pilote o pila, hasta el piloteado completo de la estructura, es decir en esta región las cimentaciones profundas están en función de las cavernas y no de la resistencia del subsuelo como sucede en otras zonas donde las cimentaciones profundas están en función completamente de la resistencia del subsuelo como lo se ve en la Ciudad de México.

Como conclusión cabe mencionar que existen zonas fangosas y pantanosas identificadas en esta región, donde muchas de ellas son reservas protegidas por la característica de su ecosistema conformado comúnmente por manglares, sin embargo hay construcciones que se realizaron en zonas fangosas cimentadas a base de pilotes, debido al gran grosor del espesor fangoso, resultando mas económico cimentar con pilotes que realizar la excavación para una cimentación superficial.

Como dato curioso, en algunas ocasiones al realizar los estudios de sondeos para un proyecto que muchas veces ya está elaborado, se han encontrado en dichos estudios grandes cenotes y ríos subterráneos (que son cavidades con agua simulando ser una alberca natural), muchas veces presentan tanta belleza natural, que son explotados con efectos turísticos y la

construcción proyectada es cancelada; ya que para el inversionista resulta mas redituable explotar turisticamente dicho predio; en otras ocasiones resulta contraria la situación, es tanto el interés económico por los inversionistas, la mayoría de ellos extranjeros, destruyendo completamente dichas bellezas naturales, las cuales se pierden debajo de un gran hotel o complejo habitacional, lo mismo sucede con el manglar de la región, esto ha generado en los últimos años en las organizaciones ecológicas controversia y la existencia de numerosas preguntas sobre la supuesta protección al ecosistema en esta zona, quien otorga estos permisos?, convirtiéndose en una situación política que generará muchas conclusiones en los próximos años ante el crecimiento sobre exponencial que actualmente existe en la región.

V. g PROBLEMAS EN SUELOS FANGOSOS

Existen zonas de manglar donde el suelo es fangoso e inestable para edificar una estructura, generalmente siempre que se quiera cimentar en este tipo de subsuelo será necesario apoyar la estructura en un estrato rocoso que garantice estabilidad a la estructura, esto puede lograrse a través de rellenos compactados (resultando la mayoría de las veces demasiado costoso) y la utilización de cimentaciones profundas (pilotes).

Como ejemplo se encontró una estructura que falló por este problema en el complejo hotelero “El Pueblito Beach” en Playa del Carmen, donde se realizó la construcción de una alberca de concreto cimentada sobre un estrato de roca caliza, el problema de la falla se debió a que debido al gran tamaño de la alberca, parte del subsuelo donde se cimentó era fangoso, al no realizar los sondeos necesarios, los Ingenieros no se enteraron de este tipo de subsuelo comprendido en el área de la alberca, por tanto no quedó apoyada sobre la laja, lo que provoco asentamientos excesivos que provocaron cuarteadoras en la losa y muros de concreto en un plazo menor a 3 meses de haber terminado la obra.

Es importante como ingeniero prever este tipo de errores, ya que por no realizar un correcto estudio del subsuelo se pueden ocasionar fallas que resultan muy costosas y en el peor de los casos catastróficas; la solución para esta la falla del ejemplo anterior fue la demolición del área afectada, el retiro de la capa fangosa y relleno con material compactado al 95% y nuevamente la construcción de la estructura; situación que resultó costosísima y que debió haber sido estudiada previa a la construcción del proyecto. Otro claro y famoso ejemplo de la falta de análisis del subsuelo al cimentar una estructura es el faro de Puerto Morelos, ciudad intermedia entre Cancún y Playa del Carmen, el cual fue edificado sobre la playa, sin un análisis del subsuelo, dicha estructura tiene un importante desplome debido a asentamientos irregulares.



Fig. 1 Alberca del complejo “Pueblito Beach”



Fig. 2 Faro de Puerto Morelos

V. h COMENTARIOS A LA REGLAMENTACIÓN LOCAL

Este subtema tiene como objetivo conocer la reglamentación de construcciones de la región, específicamente del municipio de Solidaridad Quintana Roo, cuya cabecera municipal es la ciudad de Playa del Carmen.

Como en la mayoría de los reglamentos de construcción del país, todos tienen la finalidad de optimizar y garantizar la calidad de una construcción o edificación, lo que conlleva a un desarrollo de infraestructura y urbano, que teóricamente si se cumplieren al margen dichos reglamentos catapultarían a nuestro país como una potencia en infraestructura como sucede en la mayoría de los países desarrollados o denominados de primer mundo.

Desafortunadamente los reglamentos de construcción reflejan el subdesarrollo de nuestro país y la poca rigidez que existe para cumplir las reglas y leyes que se estipulan para todos los ámbitos que rigen a la nación; siendo la corrupción la principal enfermedad que impide el desarrollo y la prosperidad de un país al que la naturaleza le brindó todo el potencial, sin embargo nosotros sus habitantes hemos impedido su crecimiento.

El reglamento de construcción del municipio de Solidaridad está basado como la mayoría de los reglamentos estatales en el reglamento de construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias; debido a que es el reglamento mejor formulado y el que tiene el mayor respaldo de investigación del país y del mundo; lo que refleja que la calidad de la Ingeniería Mexicana puede competir con las mejores del mundo.

Todos los Artículos del reglamento son acertados y si fueran acatados en todas las construcciones, estoy seguro que el entorno urbano del país sería completamente diferente, ya que el reglamento tiene la visión de una urbanización vanguardista, cubriendo todos los detalles que se requieren para armonizar un entorno urbano. Las medidas de seguridad establecidas al construir como son controles de calidad de materiales, mano de obra, equipo y herramienta, señalización, accesos, rutas de evacuación, etc. Son claramente establecidas en el reglamento sin embargo en nuestro sistema actual antes criticado estas reglas no son acatadas, ya que en la mayoría de las obras, no existen controles de calidad para materiales, mano de obra (la mayoría no cuenta con seguro social), la falta de señalización, salidas de emergencia, rampas etc. Como es bien conocido ha provocado gran cantidad de accidentes, incendios, fallas estructurales, especialmente muerte de personas etc. Debido a que no existe un órgano que regule realmente las obras y haga ejecutar en forma rigorista el reglamento de construcción.

A continuación se hará mención de los Artículos que un servidor al laborar en esta región considero representativos o requieren comentarios críticos desde mi punto de vista.

CAPÍTULO II. USO DE LA VIA PÚBLICA

1. Realizar cualquier tipo de obra, modificaciones o reparaciones en la vía pública. 2. Ocupar la vía pública provisionalmente con instalaciones, construcciones, escombros o materiales de construcción, para la realización de obras o de servicios públicos

COMENTARIO:

Es difícil en la realidad encontrar una obra que cumpla los artículos anteriores, en la gran mayoría de las obras existe material en las aceras, escombros, basura etc., por lo que considero que es un artículo comúnmente violado en las construcciones de este País.

CAPÍTULO III. INSTALACIONES AEREAS Y SUBTERRANEAS EN LA VÍA PÚBLICA.

Artículo 17. En los casos de calles que se ubiquen en zonas turísticas, monumentales o vías de uso exclusivamente peatonal, la ubicación de las diversas instalaciones será subterránea, de manera que sólo queden visibles los elementos estrictamente necesarios.

COMENTARIO:

Efectivamente en Playa del Carmen, Cancún, Tulum etc. Se están construyendo fraccionamientos perfectamente planeados en el ámbito de instalaciones, ya que ante los factores de viento las instalaciones eléctricas, telefónicas, televisión etc. Son vulnerables a ser dañadas.

La realidad es que la inversión particular es la que realiza este tipo de obras, por lo que la minoría de las viviendas cuenta con esta infraestructura subterránea siendo vulnerables la mayoría de las viviendas a ser dañadas por factores meteorológicos principalmente los huracanes.

En realidad el gobierno únicamente invierte en instalaciones con esta calidad en la zona turística de Playa del Carmen y Cancún, comprendiendo unas cuantas colonias; resultando ser una farsa, ya que la imagen que se brinda al turista es muy diferente a la realidad de los lugareños.

Artículo 87. La altura máxima que podrá autorizarse para edificios será aquella que establezcan los Programas Regionales, Planes y Programas Directores, Parciales o Sectoriales de Desarrollo Urbano, correspondientes y aplicables, la cual no podrá ser superior a 12 metros en sus niveles habitables o hasta 13.50 mts, tomando en cuenta cubos de escalera, tinacos o elementos de fachada.

Los edificios de varias plantas destinados para habitación multifamiliar, deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- I. Contar con la Constancia de Uso de Suelo conforme a lo establecido por el Programa de Desarrollo Urbano y demás disposiciones relativas. II. En zonas consolidadas, deberán ubicarse éstos edificios en vialidades primarias, pudiéndose ubicar en otra vialidad previa consulta a la normatividad particular de la zona. III. Que el sistema de agua potable donde se abastecerá el edificio sea suficiente para darle el servicio y contar con instalaciones de reserva de agua potable. IV. Que tenga un sistema y equipo adecuado para desalojar y tratar las aguas residuales. V. Que dado el volumen de la construcción, deberán evitar problemas de tránsito que pudieran originarse, tanto en lo referente a circulación como al estacionamiento de vehículos en la zona de ubicación de la presunta construcción.

Las dimensiones mínimas de una pieza habitable:

VIVIENDA TIPO LADO MINIMO SUPERFICIE MINIMA ALTURA MINIMA INTERES SOCIAL* 2.70 m libres 9.00 m², no incluye área de closet 2.70 m libres INTERES MEDIO** 3.50 m libres 12.25 m², no incluye área de closet 2.70 m libres RESIDENCIAL 3.50 m libres 12.25 m², no incluye área de closet 2.70 m libres

Artículo 101. Las aguas pluviales que escurran por los techos y terrazas, deberán drenarse dentro de cada predio por medio de instalaciones específicas para el caso y por ningún motivo deberán conectarse a la red de alcantarillado, tampoco tendrán salida a la vía pública, ni deberán drenar sobre predios colindantes.

COMENTARIO:

La altura de las edificaciones que el reglamento establece menor a 12 m es justificada por los agentes meteorológicos como huracanes, tormentas tropicales etc. Sin embargo cabe mencionar que si se justifica la cimentación y estructuración de una edificación para mas niveles, es permitido por las autoridades.

Enfatizando sobre el artículo IV. Es muy difícil encontrar edificios multifamiliares con sistemas de abastecimiento de agua efectivos, mucho menos contar con reservas de agua potable y el tratamiento de aguas residuales prácticamente es nulo ya que muchas veces no existe el manejo de aguas incluso se siguen construyendo fosas sépticas que dañan los acuíferos; por lo que este artículo es completamente violado en la mayoría de las construcciones.

Cabe mencionar que donde la inversión es importante si se realizan este tipo de obras, como hoteles, condominios de lujo, campos de golf, etc.

CAPÍTULO XVIII EDIFICIOS PARA HOSPITALES, CLINICAS, CENTROS DE SALUD, CONSULTORIOS Y DISPENSARIOS MEDICOS Y EDIFICIOS PARA LA ASISTENCIA SOCIAL.

Artículo 131. El edificio deberá contar con cajones de estacionamiento tanto para médicos como para el público, de conformidad con la tabla que aparece en el Capítulo XXVIII denominado “Estacionamientos” de este Reglamento.

COMENTARIOS: Los hospitales gubernamentales no cumplen con este artículo, basta conocer la clínica del IMSS de Playa del Carmen que no cuenta ni con estacionamiento de ambulancias.

Los siguientes artículos (208, 224, 230, 245 y 246, 247) tienen la intención de mejorar la calidad de los servicios sin embargo ninguno cumple en la realidad con lo establecido en el reglamento, siendo el verdadero problema la corrupción, ¿quien verifica su cumplimiento?, ¿quien otorga los permisos?, ¿en realidad se tiene conciencia de la realidad del entorno urbano, político y social cuando se elabora un reglamento de construcción como este?.

ARTICULO 208. Los estacionamientos, deberán tener carriles separados para la entrada y salida de los vehículos, con una anchura mínima de 2.50 m.

Artículo 224. Toda área impermeable deberá de tener drenaje pluvial. El drenaje pluvial puede ser por medio de gárgolas o de coladeras en azotea conectadas a bajantes de aguas pluviales con descargas dentro del predio.

Artículo 230. Toda edificación deberá contar con un sistema de recolección de aguas residuales propio y exclusivo, que deberá estar conectado al sistema de alcantarillado en las zonas en que éste exista.

Artículo 245 y 246. En ningún caso, las aguas residuales podrán ser descargadas en los cenotes, cuevas o pozos que lleguen al nivel freático, en general en ningún elemento que tenga comunicación directa con el nivel freático

Artículo 247. Queda prohibida la instalación de fosas sépticas en predios localizados en zonas donde exista un sistema de alcantarillado, también queda prohibido usar como pozo de absorción un pozo que fue de abastecimiento de agua, es decir, que tenga comunicación directa con el agua de subsuelo.

CAPÍTULO LX MEMORIAS DE CÁLCULO.

Artículo 358. El Responsable Estructural, cuyo nombre registro y firma deben de contemplarse en el cuadro de referencia de los planos estructurales, es el responsable del diseño de la estructura y de sus elementos, incluyendo la cimentación, así como del método y especificaciones empleados, y estará obligado a entregar la memoria de cálculo para aquellas obras que requieran de responsiva estructural, a satisfacción de la propia Dirección. Artículo 359. La responsabilidad mencionada en el artículo anterior vence a los cinco años de haberse concluido la obra, sin haber experimentado cambios o modificaciones durante ese tiempo, o bien, según lo que establezca el código civil del Estado de Quintana Roo. Artículo 360. El Responsable Estructural deberá verificar que el diseño contemple el efecto combinado de todas las acciones externas que puedan ocurrir simultáneamente en una edificación, en condiciones más desfavorables de carga permanente más carga viva o carga permanente más carga accidental de viento. Artículo 361. En el diseño estructural el Responsable considerará las cargas permanentes y cargas vivas especificadas en textos estructurales reconocidos, considerando el uso y destino de la edificación y los pesos correspondientes a los materiales constructivos a utilizar. En el caso de la carga accidental de viento se utilizará mínimo una velocidad básica de diseño (Vd) de 270 Km./h o una presión (po) de 335 Kg./m². Artículo 362. En la determinación de las acciones internas y las deformaciones producidas por las acciones externas, el Responsable utilizará un método de análisis reconocido que tome en cuenta las propiedades de los materiales ante los tipos de carga considerados. Artículo 363. El Responsable Estructural deberá tomar en cuenta cualquier perforación o alteración en un elemento estructural para alojar ductos o instalaciones. Artículo 364. Es recomendable evitar excentricidades de diseño mayores del 10% (diez por ciento) de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección normal a la del análisis, con objeto de reducir los efectos de torsión debidos a la asimetría en rigideces, materiales y tipos de elementos resistentes. Artículo 365. En edificaciones que no requieran de responsiva estructural, el Propietario, o el Responsable de la obra civil, será el único responsable de la estabilidad y seguridad de la construcción.

COMENTARIOS:

Es importante conocer datos técnicos que son empleados al realizar una memoria de cálculo, lo descrito en el Capítulo LX es de gran importancia para elaborar un proyecto en esta región. Lo importante será conocer si realmente al entregar una memoria de cálculo al municipio, ésta es revisada por expertos en el tema, esto debido a que muchas veces los DRO únicamente firman planos sin conocer realmente las bases estructurales del proyecto, situación que en una emergencia podría resultar fatal.

CAPÍTULO LXI NORMAS DE CALIDAD.

Artículo 366. La resistencia, la calidad y las características de los materiales empleados en la construcción, serán los que se señalen en las especificaciones de diseño y en los planos constructivos, los que deberán satisfacer las normas de calidad que fijen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) emitidas por la Dirección General de Normas (DGN) de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Artículo 369. Los elementos estructurales inmersos en ambientes corrosivos o sujetos a la acción defectos físicos, químicos o biológicos, que tiendan a afectar su resistencia mecánica, deberán ser recubiertos con materiales o sustancias que garanticen plenamente su protección y estarán sujetos a programas permanentes de mantenimiento preventivo que aseguren su vida útil dentro de las condiciones del diseño.

COMENTARIO:

Es importante enfatizar en las normas de calidad en los proyectos, en este capítulo de la tesis se han presentado diferentes edificaciones y en todas ellas los controles de calidad fueron resaltados, ya que al tener estrictos controles de calidad, se garantiza el objetivo de cualquier proyecto.

CAPÍTULO LXII MORTEROS Y CONCRETOS.

Artículo 370. Los materiales utilizados en la elaboración de morteros y concretos, deberán de cumplir con las Normas oficiales Mexicanas en su capítulo de Construcción (NOMC). La dosificación de estos materiales, será en proporciones tales que sobrepasen los requisitos mínimos de resistencia, tomando en cuenta las características físicas de los agregados finos y gruesos disponibles en la región. Artículo 371. La resistencia a la compresión especificada del concreto, debe basarse en cilindros de prueba de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas (NOMC159 y NOMC83), elaborados con las revolturas empleadas en el colado de los elementos estructurales que integran la obra, y probarse a los veintiocho días cuando se use cemento Pórtland tipo I y a los catorce días para el cemento Pórtland tipo III (fraguado rápido) o cuando se empleen acelerantes. Las pruebas serán realizadas en laboratorios de control de calidad que estén autorizados por la Dirección mediante métodos y procedimientos reconocidos. El certificado correspondiente se anexará a un escrito dirigido a la Dirección para avalar la resistencia del proyecto aprobado. Artículo 372. La resistencia mínima de los concretos será: Kg./cm² 1. En trabes, vigas, columnas y cerramientos 250 2. En capa de compresión de losas de vigueta y bovedilla claros hasta 4.00 m 150 claros mayores a 4.00 m 200 3. Elementos prefabricados. 300 4. Concretos ciclópeos, firmes y banquetas 150 5. Pisos de concreto en naves industriales 200 6. Aceras, andadores y baldosas para tránsito peatonal 150 7. Andadores con tránsito vehicular ligero 150 8. Castillos 150 – 200 9. Plantillas 100 10. Cimentaciones: zapatas, contratraves y pilotes 250

Artículo 373. Se deberá llevar estricto control de la elaboración del concreto en los siguientes casos: a) Obras destinadas para uso público, tales como escuelas, hospitales, hoteles, comercios, salas de espectáculo, estadios, y otros similares. b) En casas habitación cuya superficie construida sea mayor de 40.00 m². c) En obras ya construidas, incluidas en alguno de los casos anteriores, en cuya ampliación intervengan sistemas estructurales o se modifiquen las ya existentes, y, d) En obras que sin estar consideradas en los casos anteriores, a juicio de la Dirección lo requieran.

CAPÍTULO LXIII ACERO DE REFUERZO.

Artículo 376. El acero de refuerzo deberá cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas para la Industria Siderúrgica (NOM C). Artículo 377. El acero de refuerzo especialmente el de preesfuerzo, deberá ser tratado con procesos electrolíticos que lo protejan de la oxidación. En todo caso antes de ser aplicado el tratamiento, la superficie deberá ser limpiada para eliminar toda partícula extraña al acero. Poco antes de ser habilitado y colocado se deberá inspeccionar si no ha sufrido daños en el transporte y manejo, en especial después de un largo período de almacenamiento. Si se considera necesario se harán pruebas de resistencia en los aceros de dudosa calidad. Artículo 378. Las barras de acero de refuerzo del concreto no podrán doblarse cuando estén parcialmente ahogadas, a menos que se tomen las medidas necesarias para impedir que se dañe el concreto ya fraguado. Todos los dobleces se harán en frío, excepto cuando se especifique en los planos estructurales. Artículo 379. La posición del acero de refuerzo deberá mantenerse por medio de amarres con alambre recocido, silletas y separadores de acero estructural de resistencia y número suficiente que impida movimientos durante el colado para garantizar la posición óptima de trabajo estructural así como los mínimos de recubrimiento que protejan a dichas armaduras.

CAPÍTULO LXIV ELEMENTOS PREFABRICADOS.

Artículo 380. Cuando se utilicen elementos prefabricados de concreto, el Responsable de la Construcción de la Obra tendrá la obligación de verificar que todos y cada uno de los elementos contengan grabados nombre del fabricante, número de serie de fabricación, número de lote y fecha de fabricación, número, calibre y esfuerzos de trabajo del acero y esfuerzo a la compresión nominal del concreto. Corresponde al fabricante la responsabilidad del diseño y elaboración de los elementos prefabricados. El Responsable tendrá el derecho de obtener un certificado de garantía que ampare que el elemento fue sometido a las pruebas de resistencia y durabilidad que señalan las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) o las que recomienda el Instituto Americano del Concreto (ACI).

Artículo 393. El Responsable de la Obra Civil (constructor y/o propietario), es quien vigilará que se lleve a efecto la debida construcción de la edificación y de cada uno de sus elementos, desde la cimentación hasta los acabados y entrega; de la calidad en la ejecución de los trabajos y su durabilidad; y del control de calidad de los materiales, concretos y morteros apeándose a las normas de construcción (NOM C) que fija la Dirección General de Normas (DGN).

CAPÍTULO LXX CIMENTACIONES

Artículo 418. Toda construcción, deberá estar soportada por medio de una cimentación apropiada. Se entiende por cimentación, al conjunto formado por la subestructura y el suelo. La subestructura, recibe las cargas de la edificación y la reacción del suelo. Las cimentaciones, deberán construirse de acuerdo con los materiales, secciones y características marcadas en los planos estructurales correspondientes, los que deberán ajustarse a los lineamientos que se especifican en las Normas Oficiales Mexicanas.

Artículo 419. Será obligatorio realizar y presentar el estudio de mecánica de suelo como requisito para la tramitación de licencias de construcción en:

1. Edificaciones ubicadas en toda la franja costera del municipio. Esta franja costera abarca desde el limite de la zona federal marítimo terrestre hasta 500 metros tierra adentro.
2. En las edificaciones ubicadas desde 500 metros de la zona federal marítimo terrestre hacia adentro, de mas de 2 niveles o mayores de 100 m².

Artículo 420. Solo se aceptará cimentar sobre rellenos artificiales, siempre que se cumpla con lo que se indica en el Artículo 423 de este Reglamento. Artículo 421. Debido a las particulares condiciones geológicas de la Península de Yucatán, la investigación del subsuelo deberá permitir con detalle las condiciones litológicas de la zona en la que se encuentra la edificación y la probable presencia de oquedades, depósitos de basura, rellenos mal compactados y cavidades naturales o artificiales. Para todas aquellas edificaciones no comprendidas en el Artículo que precede, deberán realizarse sondeos exploratorios suficientes, que permitan obtener la información anterior a profundidades donde se ponga en riesgo su estabilidad. Este tipo de exploración, deberá ser realizado por personal especializado. Artículo 422. Para el diseño de la cimentación en el que no se justifique un estudio detallado del suelo, se tomará como esfuerzo admisible del terreno una capacidad de 1 Kg./cm² (10 Ton/m²). Las estructuras que no requieren un estudio detallado de suelos, serán aquellas que por sus descargas en la cimentación, el valor anterior es satisfactorio. Artículo 423. Solo se aceptará cimentar sobre rellenos de material de banco cuando se demuestre que éstos son compactos o que se compactarán de acuerdo a las normas técnicas complementarias para este tipo de plataformas de cimentación. En los rellenos se tendrá cuidado con el problema del flujo natural tomando las provisiones necesarias para el escurrimiento del agua. Para la especificación y el control de la compactación de los materiales empleados en rellenos, el grado de compactación no deberá ser

menor del 90% Proctor. Estas compactaciones, deberán ser verificadas por un laboratorio reconocido en la entidad.

Artículo 425. Los muros cargadores, dependiendo de la capacidad de carga del terreno y de su compresibilidad, se podrán cimentar sobre zapatas corridas de mampostería de piedra natural rematadas con una dala de concreto reforzado o sobre zapatas corridas de concreto, provistas de trabes de rigidez o sobre losas corridas de cimentación generalmente provistas de trabes de rigidez. En el caso de cimentación de columnas, las zapatas podrán ser aisladas, de concreto simple o reforzado, o bien, serán zapatas o losas corridas provistas de contratraves de concreto reforzado. Los cimientos del lindero en el caso de zapatas aisladas o corridas, pueden hacer necesario el empleo de trabes de volteo o balancines. La estructura deberá anclarse a los elementos de la cimentación, los cuales deberán diseñarse para resistir los esfuerzos inducidos por fuerzas horizontales, así, los castillos de concreto arrancarán desde el desplante del cimiento y no desde la dala y el refuerzo de las columnas, se anclará en las zapatas y contratraves.

Artículo 427. Siempre deberá investigarse el efecto de la nueva construcción sobre la cimentación de las edificaciones colindantes, cuidando de manera especial el proceso de excavación, cuando se requieran explosivos. Artículo 428. Se respetarán en el diseño estructural las siguientes normas y coeficientes de seguridad:

- I. El coeficiente de seguridad del suelo será: Falla por esfuerzo cortante sin considerar fuerzas accidentales 3.0 Falla por esfuerzo cortante considerando esfuerzo cortante 2.0
- II. El coeficiente de seguridad en la estructura será: Falla por volteo 1.5 Falla por deslizamiento 2.0 En ambos casos se eliminarán las acciones que favorezcan a la condición de falla.
- III. No se deben de tomar en cuenta esfuerzos de tensión entre el suelo y la cimentación, al menos que se utilicen procedimientos constructivos que lo admitan.

CAPÍTULO LXXII TERRAPLENES O RELLENOS.

Artículo 437. La compresibilidad, resistencia y granulometría de todo relleno serán adecuadas a la finalidad del mismo. De manera, que cuando un relleno vaya a hacer contenido por muros, se deberán tomar las precauciones que aseguren que los empujes no excedan a los del proyecto. Deberá prestarse especial atención a la construcción de drenes, filtros y demás medidas, tendientes a controlar empujes hidrostáticos. Artículo 438. Los rellenos que vayan a recibir las cargas de una construcción, deberán cumplir los requisitos de confinamiento, resistencia y compresibilidad necesarios, de acuerdo a un estudio de mecánica de suelos realizado por un laboratorio autorizado por la Dirección. Se controlará su grado de compactación y contenido de humedad, mediante ensayos de laboratorio y campo. Artículo 439. En el caso de rellenos de aceras, patios y pisos habitables, éste deberá hacerse en capas de 0.15 m de espesor como máximo, aplicando no menos de cincuenta golpes por metro cuadrado con pisón de 20 Kg. con 0.30 m de altura de caída o igual energía de compactación.

Artículo 488. Queda prohibido efectuar obras de construcción, ampliación, adaptación, modificación, demolición o desmonte en terrenos donde se encuentren vestigios prehispánicos, sin previa autorización del Instituto Nacional de Antropología e Historia y de la Dirección.

CAPÍTULO LXXXVIII PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS.

Artículo 551. A la solicitud de la Licencia de Construcción, se deberá acompañar una serie de documentos de acuerdo al Formato de Requisitos establecido por la Dirección,

REQUISITOS:

- 1) Copia del Documento que acredite la propiedad del predio, debidamente inscrita en el Registro Publico de la Propiedad y del Comercio. 2) Copia del Recibo Oficial de pago, expedido por la Tesorería Municipal, del Impuesto Predial del bimestre o año en curso.
- 3) Copia de la Factibilidad, Recibo de pago o Contrato de Agua Potable.
- 4) Copia de la Factibilidad, Recibo de pago o Contrato de Energía Eléctrica.
- 5) Tres copias del proyecto de construcción, el que deberá incluir: a) Planos Arquitectónicos b) Planos de localización señalando la ubicación del terreno en la zona. c) Planta de Conjunto señalando la ubicación de la construcción en el terreno. d) Plantas Estructurales con detalles constructivos de losas y cimientos. e) Planos de Instalaciones Eléctricas e Hidrosanitarias. f) Cortes y Fachadas. 6) Memoria de Cálculo. 7) Estudio de mecánica de suelos. 8) Planos de instalaciones de gas, aire acondicionado, especiales.
- 9) Especificaciones.
- 10) Cuadro de Datos emitido y autorizado por la Dirección, el cual deberá indicar los Datos del Proyecto, los Datos del propietario, el Croquis de Ubicación del Predio y el Norte, las Superficies de la Construcción por nivel y uso, el Tipo de Licencia, la Tabla de Restricciones según las Normas aplicables vigentes, los Datos y Firma del Autor del Proyecto Arquitectónico con Cedula Profesional en la materia, datos y firma del Responsable del Proyecto Estructural con Cedula Profesional en la materia, los Datos del Director Responsable de Obra y el espacio para el Sello de Autorización de la Dirección.
- 11) Copia de las Licencia de Construcción anteriores, en caso de que se trate de una ampliación o Terminación de Obra.
- 12) Planos anteriores autorizados en caso de que se trate de Terminación de Obra.
- 13) Copia de la Carta de Aprobación y de los Planos Autorizados por el Instituto Nacional de Antropología e Historia, en su caso.
- 14) Copia de la Constancia de Uso del Suelo, Alineamiento y Numero Oficial.
- 15) Copia del Resolutivo en Materia de Impacto Ambiental, emitido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en su caso.
- 16) Copia del Dictamen de Impacto Ambiental o de Impacto y Riesgo Ambiental, en su caso.
- 17) Copia del Reglamento Interno en caso de Régimen de Propiedad en Condominio.
- 18) Fotografías del predio o la construcción existente.
- 19) Licencia de Tala.

COMENTARIOS:

Estos últimos capítulos referentes a los concretos, morteros, acero de refuerzo, elementos prefabricados, cimentaciones, terraplenes y rellenos y procedimientos administrativos presentan información necesaria que los Ingenieros comúnmente deben conocer, ya que se serán parte de la ejecución de la obra, desde los tramites administrativos que cabe mencionar que el estado de Quintana Roo ocupa el primer lugar en tramites administrativos largos, ya que el sistema burocrático que se utiliza es obsoleto, se pide documentación innecesaria, documentación que jamás es revisada pero es solicitada etc.

Conocer las especificaciones del acero también es de suma importancia, ya que junto con el concreto representan los materiales de mayor importancia estructural de cualquier edificación, por lo que deben cumplir con todas las normas establecidas en el presente reglamento de construcción; en el caso de los rellenos y terraplenes, los materiales utilizados para estos deben cumplir las propiedades necesarias que garanticen estabilidad, y es muy importante verificar las pruebas de laboratorio referentes a la compactación de los mismos.

Para concluir con este subtema es importante recalcar que los esfuerzos para realizar un Reglamento de construcción eficiente deben ser grandes; sin embargo mas importante sería aplicar el reglamento al pie de la letra, ya que esto provocará un gran beneficio al construir, y por ende al tener construcciones perfectamente reglamentadas se puede garantizar un crecimiento en la infraestructura del País que además de generar empleos, enriquezca el entorno urbano, social, cultural y político de una Nación.

CONCLUSIONES GENERALES

Considero importante haber realizado un trabajo sobre las características del subsuelo de la Península de Yucatán, ya que es una región poco estudiada en nuestro País, donde la densidad de población es la menor en la República con 3,223,862 habitantes, de la cual el 20.57% (663,262 h) se considera rural por habitar en 8,496 comunidades menores de 2,500 habitantes; los restantes 2,560,600 habitantes viven en 133 comunidades mayores de 2,500 habitantes; en una extensión de 138,000 km².

El crecimiento poblacional ha sido exponencial en las últimas 2 décadas, debido a la migración de familias provenientes de ciudades y poblaciones del sureste, centro, occidente y norte de la República como: Villahermosa (Estado de Tabasco), Tuxtla Gutiérrez (Estado de Chiapas), Ciudad de México, Querétaro, Guadalajara (Estado de Jalisco) y Monterrey (Estado de Nuevo León); familias cuyo propósito es buscar una mejor calidad de vida, sobre todo económica así como la búsqueda de ciudades tranquilas y seguras. Esto es posible encontrarlo en varias ciudades en crecimiento en la Península de Yucatán, ya que estadísticamente se ha comprobado que en dichas ciudades se tiene la mejor calidad de vida, olvidando los problemas de las grandes metrópolis como violencia, contaminación, inseguridad, desempleo etc.

Debido a tal crecimiento poblacional los gobiernos locales, federales e inversión privada han decidido realizar infraestructura de gran magnitud para apuntalar esta región hacia la sustentabilidad que ofrecen ciudades planeadas, modernas, ecológicas etc. Para poder ser en un futuro un referente mundial que ya comienza a ser en estos años, debido a que es la región que mas turistas visitan anualmente (aproximadamente 5 millones de turistas), también ha sido sede de eventos internacionales financieros, políticos, sociales, culturales etc. Sobre todo en el litoral Cancún-Riviera Maya en el Caribe Mexicano.

Al existir inversiones en la región se ha impulsado la construcción exponencialmente, llegando ocupar a nivel mundial hasta el segundo lugar en construcción, solo después de la región de Dubai perteneciente a los Emiratos Árabes Unidos que lleva prácticamente una década ocupando el primer lugar en desarrollo de infraestructura y construcción en el mundo.

El impulso del crecimiento de infraestructura y la construcción, activa el desarrollo económico, político, cultural, y social de una región; la Península de Yucatán no es la excepción en cuanto a la generación de empleos, tal crecimiento, es un referente hoy en día en el país y en América Latina; por este motivo como se menciona en los párrafos anteriores muchas familias Mexicanas y extranjeras han decidido vivir en estas ciudades referentes de la Península de Yucatán como Mérida, Cancún, y la Riviera Maya con el objetivo de buscar una nueva calidad de vida que gracias a la poca competencia en el caso de los empresarios, bajo numero de profesionistas, intelectuales, personal especializado que hoy en día se concentra en la Península; contrastante con la gran necesidad de profesionistas, especialistas, proveedores, debidos al crecimiento, muchas familias han logrado alcanzar niveles de vida que solo pudieron encontrar en una región con gran necesidad de personas dispuestas a trabajar y hacer de la Península de Yucatán el centro económico mas importante del País.

La península de Yucatán cuenta con una historia milenaria, tiene una riqueza cultural y natural considerada por los expertos en el tema inigualable en todo el mundo, dicha riqueza comienza a ser estudiada para los nuevos proyectos del futuro. Siendo cuna de la cultura Maya, una de las mas importantes en su tiempo, se ha despertado el interés de renacer tal grandeza en estos tiempos, la riqueza natural no se puede cuestionar, ya que existen gran cantidad de ecosistemas como selvas medias, manglares, zonas costeras, humedales, y gran diversidad de ecosistemas acuáticos en agua dulce y oceánicos. El mundo subterráneo de la Península de Yucatán es uno de los factores mas estudiados en las ultimas décadas, ya que debido al tipo de subsuelo compuesto por rocas calizas, se han encontrado verdaderos mundos subterráneos, muchos de los cuales, la ancestral cultura Maya ya los había explorado, incluso formando parte de su vida cotidiana, ya que eran explotados para la obtención de agua, muchos de ellos eran considerados las ventanas que dio la tierra para ingresar al “Xibalba” (“El Inframundo”), por lo que algunas de estas formaciones como cenotes y ríos subterráneos resultaban ser lugares sagrados donde se ofrecían sacrificios por los Mayas a sus dioses.

En efecto el subsuelo de la Península de Yucatán comienza a estudiarse en forma profunda por muchas disciplinas como la Ingeniería, la Antropología, Geología, Geografía, Biología etc. Ya que brinda gran cantidad de relevante importancia para todas estas disciplinas, considerando que hace millones de años la Península de Yucatán estuvo sumergida bajo las aguas del océano Atlántico y por ende existió vida marina. Los mantos acuíferos del subsuelo como se mencionó en el párrafo anterior, requieren una gran cantidad de estudios, debido a que aunque no existen corrientes superficiales, el subsuelo calizo que compone a la Península, el cual es muy permeable, ha generado la existencia de ríos subterráneos por toda la Península, de los cuales han sido descubiertos un porcentaje prácticamente nulo a los que realmente existen, además de los ríos subterráneos se han encontrado gran cantidad de cavernas y los llamados cenotes (cavernas con agua), grutas, formaciones creadas por un fenómeno llamado karsticidad que no es mas que la reacción de la roca caliza formada por carbonatos con el agua (ya sea de lluvia o agua salina proveniente del océano o por el estancamiento de la misma al emerger la Península hace millones de años), dichas formaciones generan formaciones y paisajes únicos en el mundo siendo uno de los referentes de visitas turísticas y de investigación en la región.

En la Ingeniería Civil estas formaciones son los principales factores a considerar al cimentar una edificación en esta región, ya que como se estudió en esta tesis las características físicas y mecánicas del subsuelo aportan gran capacidad de carga, capaz de soportar presiones y esfuerzos de gran magnitud; sin embargo la posible existencia de una formación kárstica es motivo suficiente para efectuar estudios detallados del subsuelo donde será cimentada la estructura.

Este trabajo fue realizado con la intención de que los próximos Ingenieros que serán parte de las futuras construcciones en esta región, tengan nociones del tipo de subsuelo, historia geológica del mismo, zonificación, conocimiento de los mantos acuíferos, tipos de cimentaciones y problemas que se encontrarán al construir en la Península de Yucatán; por lo que el trabajo comenzó en el primer capítulo presentando la historia Geológica del subsuelo, donde se conocieron los procesos evolutivos que sufrió el subsuelo de la Península, las formaciones durante las eras geológicas antes y después de que emergiera del océano Atlántico, dichas formaciones en este primer

capítulo se estudiaron cuando estaban cubiertas por mares someros, situación que ocasionó que gran parte del subsuelo al emerger tuviera grandes cantidades de carbonatos, mismos que disuelven la roca al efectuarse una reacción química, siendo también importante mencionar el gran contenido de fósiles marinos que en muchas regiones contiene el subsuelo, al conocer los primeros procesos geológicos del subsuelo, se estudiaron las diferentes características físicas y químicas que éste a presentado a lo largo de los posteriores periodos evolutivos, en dichas propiedades físicas predomina el estudio de la denominada karsticidad, se define este término como el cambio y forma de relieve del subsuelo provocadas por disolución de la roca caliza al contener carbonatos y reaccionar con agua, este fenómeno es fundamental estudiarlo para conocer los subsuelos calizos de la Península de Yucatán, ya que la estabilidad de los subsuelos esta prácticamente en función del grado de karsticidad que presenta un subsuelo en esta región. En este primer capítulo se analizaron consiguientemente las formaciones kársticas comunes en subsuelo calizo como dolinas (cenotes), úvalas, cavernas, estalactitas, estalagmitas, columnas, ríos subterráneos etc. en dichos análisis se estudiaron los minerales, tipos de rocas, propiedades físicas, químicas, mecánicas, características kársticas de cada formación, grado de karsticidad y el conocimiento de su ubicación a través de mapas Geomorfológicos.

Conocidos todos los detalles relacionados con el subsuelo el presente trabajo en su segundo capítulo tomó un enfoque hacia el subsuelo en la actualidad, se estudiaron las características en la Geología actual, es decir los mismos procesos de estudio en el primer capítulo a los fenómenos kársticos, estratigrafía, mineralogía, características físicas, químicas etc. fueron aplicadas a la Geología Actual del subsuelo, ubicando los periodos y etapas evolutivas del subsuelo en mapas geomorfológicos estudiados en las últimas décadas; en este segundo capítulo se detectaron las principales formaciones de la Península relacionadas con la etapa kárstica en la que actualmente se encuentran analizando las formaciones de relieve existentes y sus propiedades, se estudió de igual forma el tectonismo de la región que prácticamente es nulo debido a que la Península de Yucatán se encuentra dentro de una placa llamada del Caribe y los límites de esta placa se encuentran lejos de la Península, el sistema fluvio palustre y litoral también fueron estudiados con detalle en este capítulo, ya que es de suma importancia conocer el tipo de mantos acuíferos existentes en el subsuelo, finalmente la región litoral es importante conocerla porque en la Península de Yucatán, sobre todo por las nuevas ciudades en crecimiento que actualmente son planeadas y edificadas en esta zona, lugares donde se construyen grandes edificios como complejos hoteleros, fraccionamientos, centros comerciales, vialidades etc.

En el tercer capítulo, el enfoque de la tesis se tornó de lo general a lo particular, es decir, en los primeros dos capítulos la geología fue general para toda la Península, a partir del tercer capítulo la región en estudio fue el litoral Cancún-Riviera Maya, región en donde se estudiaron las cimentaciones ejemplificadas en los capítulos posteriores de esta tesis. De igual forma que los primeros dos capítulos, el estudio geológico del subsuelo en esta zona litoral comprendió pruebas físicas y químicas, pero aplicadas a las principales ciudades de la Península como Mérida, Cancún, la isla de Cozumel y la denominada Riviera Maya.

En el capítulo consiguiente (capítulo cuarto) se mostraron diferentes pruebas de laboratorio a muestras del subsuelo calizo, dichas pruebas fueron elaboradas por instituciones de gran

prestigio en la región como Universidades y laboratorios especializados en este tipo de pruebas; dichas pruebas al subsuelo como pruebas de compresión, pruebas triaxiales, propiedades índice, pruebas a fuerza cortante, plasticidad de los subsuelos, granulometría etc. fueron estudiadas durante la carrera de Ingeniería Civil y su ejecución en la vida cotidiana es muy similar, se realizaron las conclusiones pertinentes para cada prueba y generalizando el subsuelo calizo resultó ser apto para la construcción como materia prima para elaborar cemento, tiene la resistencia permisible para utilizarlo como mampostería y para prácticamente toda la Península el subsuelo ofrece gran resistencia a compresión, lo que garantiza capacidades de carga que soportan perfectamente y con gran comportamiento la mayoría de las construcciones edificadas en la zona a través de cimentaciones superficiales en la mayoría de las veces; también se realizaron pruebas efectuadas a la roca caliza no consolidada denominada sascab donde se demostró que este material da buena estabilidad y resistencia como agregado para vialidades, carreteras y rellenos compactados.

Al presentar detalladamente como se realizan los estudios en laboratorio antes mencionados, en el último capítulo se presentaron ejemplos de cimentaciones reales efectuadas en la zona, cimentaciones que representan la gran mayoría de construcciones que se realizan en esta región litoral del Caribe, en dichos ejemplos se detalla el proceso constructivo a seguir, partiendo desde su planeación, sondeos de mecánica de suelos reales, hasta su ejecución en el campo; cabe resaltar que en este último capítulo se realizó una revisión del reglamento de construcción local, donde se enunciaron los artículos que se consideraron interesantes mencionar y comentar.

Este trabajo de tesis fue elaborado para obtener el título de Ingeniero Civil, el cual me llenará de orgullo gran satisfacción, ya que el esfuerzo realizado durante la carrera fue arduo, además me enorgullece grandemente ser egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, de igual forma siento un gran agradecimiento y cariño a la Facultad de Ingeniería que pertenece a esta gran institución, la máxima casa de estudios de mi País, institución a la cual estoy y estaré infinitamente agradecido por permitirme haber estudiado en sus aulas, esperando algún día poder aportar parte de mi capacidad a dicha casa de estudios y regresar un poco de lo mucho que me brindó; es importante mencionar mi agradecimiento a cada uno de los profesores que tuve la oportunidad de conocer en sus aulas, muchos de los cuales tienen además de un gran respeto, mi admiración, no solo por su calidad de enseñanza, sino como Ingenieros y personas, ya que son pilares que motivan a cada alumno a brindar su mejor esfuerzo y a ser mejores personas. La disciplina y presión ejercida durante la carrera me enseñaron a ser responsable, a tener tenacidad al realizar mis labores, aprovechar las oportunidades que la vida nos pone enfrente, y sobre todo asumir cualquier reto que se nos presente como Ingenieros y personas, ya que tenemos las herramientas necesarias para que en el futuro seamos los Ingenieros que construyamos un mejor País en todos los aspectos acompañados de toda la juventud que comparta este mismo espíritu.

Considero importante agradecer a mi familia quienes son la motivación principal de mis triunfos y también mi apoyo en mis fracasos, ya que gracias a mi Padre, Madre y Hermana tengo una educación fundamentada en valores familiares, mismos que plantaron valores morales y sociales, valores que proporcionan la mayor fortaleza que un ser humano pudiese tener, y estos a su vez siguen siendo un reflejo en mi vida y trayectoria escolar, esta última la cual considero brillante

gracias a esos cimientos fundamentados en casa. La disciplina ejercida por mis padres durante toda mi niñez y juventud al saturarme de actividades que muchas veces a mi corta edad no comprendía, sin embargo era mi obligación cumplirlas como lo son los estudios seculares, estudios de música en forma profesional, disciplina que requería mucha dedicación; hoy, aunque no soy músico profesional, lo agradezco grandemente. De igual forma las actividades deportivas, actividades culturales, creencias religiosas etc. fueron y siguen siendo elementos base de mi educación y hoy me doy cuenta de las cosas positivas que dejó en mi vida aprender, obedecer y aprovechar las oportunidades que en mi hogar se me brindaron, incluyendo el acato de las reglas en casa y disciplina; ya que con el paso del tiempo sé que todo lo que pude aprender en mi niñez será la base de lo que en el futuro realizaré y me harán una mejor persona y más competitiva en mi futuro laboral.

Finalizando estas conclusiones, espero que este trabajo pueda ser de gran utilidad a todos los compañeros que están interesados en conocer las características del subsuelo de la Península de Yucatán y que la información contenida en esta tesis aporte los conocimientos e información que muchos ingenieros buscan al tratar de conocer el subsuelo de esta región que comienza a ser parte fundamental del desarrollo del país y estoy seguro que en pocos años la Península de Yucatán, lugar donde tuve la oportunidad de vivir un par de años, será un referente mundial en calidad de vida, turismo, economía, y belleza natural.

APÉNDICE 1. ARTÍCULO DEL PERIODICO LA JORNADA “FUE DESCUBIERTO EL RÍO SUBTERRANEO MAS LARGO DEL MUNDO”

Cancún, QR, 2 de marzo 2008. Dos buzos de origen extranjero descubrieron lo que podría ser el río subterráneo más largo del mundo, de casi 154 kilómetros de longitud y una profundidad máxima de 72 metros en la península de Yucatán, región donde se encuentran las tres corrientes más extensas en el subsuelo.

Sam Meacham, director del Centro Investigador del Sistema Acuífero de Quintana Roo, dijo que el hallazgo se hizo a finales de enero por Robbie Schmittner, de origen alemán, y Steve Boagarts, de Inglaterra, quienes lograron conectar lo que en un principio se pensó eran dos ríos diferentes.

Especialista en buceo acuático y originario de Texas, Sam Meacham explicó a La Jornada que, tras tres años de exploraciones, ambos investigadores lograron "conectar" los ríos Sac Actún (cueva blanca) y Nohoch Nah Chich (gran casa de las aves), que sumaron 153.6 kilómetros. La corriente fue agrupada como sistema Sac Actún "debido a que el más grande se come al más pequeño". La entrada a este afluente está entre la carretera Tulúm-Cobá, en las inmediaciones de la zona arqueológica de Tulúm, y su desembocadura en la zona costera de la Riviera Maya. Con este hallazgo, el río se convierte en el noveno lugar mundial de las cuevas más largas del mundo, secas o inundadas. Referente mundial. El estado cuenta ahora con los tres ríos subterráneos más largos del mundo: además del Sac Actún, están el Ox Bel Ha, de 146 mil 761 metros de longitud y profundidad máxima de 33.5 metros, y Dos Ojos, de 57 kilómetros de largo y 25 metros de hondura. Además, Sac Actún tiene 111 cenotes, pozas donde el río emerge a tierra, a los que Sam Meacham llama "cápsulas del tiempo", pues en ellos los espeleobuzos han localizado en los 20 años recientes restos del hombre temprano, además de esqueletos históricos de animales del pleistoceno, mismos que han sido reportados ante el Instituto Nacional de Antropología e Historia. Por la zona de Tulúm, dijo, hay registros de restos humanos de más de 10 mil años, que nada tuvieron que ver con los Mayas u otras culturas originarias de Mesoamérica.

Acerca de cómo llegaron allí, explicó que en la era de la glaciación, lo que ahora son cenotes eran cuevas secas utilizadas lo mismo por hombres que por animales; al concluir esa época comenzó el deshielo, subieron los niveles de los océanos e inundaron esos refugios, lo que los convirtió en "cápsulas del tiempo".

Debido a que el subsuelo es de roca caliza, la península de Yucatán carece de ríos en su superficie, pero debajo está surcada por corrientes subterráneas, lo que la hace muy susceptible de contaminación, explicó Meacham.

En toda la península de Yucatán, existen entre 7 mil y 8 mil cenotes, según los datos del espeleólogo Sam Meacham. Sólo en la Riviera Maya hay aproximadamente 600, muchos de los cuales son importantes atractivos turísticos de la zona.

Conciencia ecológica

Interrogado sobre la importancia del río subterráneo, señaló que esto es fundamental para la exploración y el mapeo de la zona, además de que permite hacer conciencia entre la población y las autoridades, pues el ciento por ciento del consumo de agua de la región depende del subsuelo.

Así, las autoridades locales ya comienzan a considerar los ríos subterráneos en el proceso de planeación para la construcción de obras. El nuevo plan director de Desarrollo Urbano de Tulum, por ejemplo, piensa dejar la mayor parte del territorio que está sobre estos sistemas de ríos subterráneos como áreas protegidas.

Ese plan propone que alrededor de 8 mil hectáreas de selva se mantengan con densidad de construcción nula o muy baja, lo cual fue acordado entre autoridades de los tres órdenes de gobierno y grupos ambientalistas de Quintana Roo.

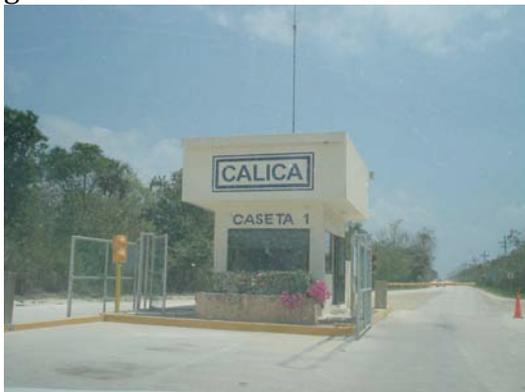
De igual importancia, destacó, esta red de ríos y grutas constituyen un gran atractivo turístico para el espeleobuceo y muchos de los cenotes, que eran considerados sagrados por la civilización maya, son utilizados como lugares de baño público.

Eso le da una importancia vital a la economía, no sólo de la península, sino del país, pues sólo los proyectos de turismo sustentable en la región de Cancún y la Riviera Maya generan entre 10 y 12 por ciento del producto interno bruto, aseveró el especialista.

Lenin Amaro Betancourt, director de Turismo del municipio de Solidaridad, donde se encuentra Playa del Carmen, comentó que con este descubrimiento se fortalece la Riviera Maya como un destino de espeleobuceo. "El año pasado llegaron a la Riviera Maya 120 mil turistas para practicar buceo, y de ellos 24 mil lo hicieron en la modalidad de espeleobuceo".

APÉNDICE 2. PLANTA DE AGREGADOS CALICA

Para la realización de este trabajo de investigación se realizaron numerosas visitas a diferentes obras y lugares que pudiesen brindar información relacionada con el tema, uno de estos lugares fue la planta de agregados CALICA ubicada a 7 Km. de la ciudad de Playa del Carmen, esta planta de agregados es la mas importante de América Latina, cuenta con una infraestructura impactante, y se especializa en la explotación de roca caliza a través de inmensos bancos con características especiales ubicado en dicha planta, extrayendo inmensos volúmenes de rocas, que pasan por un proceso para tener agregados para la construcción de gran calidad con características físicas y químicas requeridas por el cliente.



Acceso a la planta

Para poder ingresar a la planta es necesario pasar por un cerco de seguridad en el cual proporcionan equipo de protección necesario, debido a la magnitud de la maquinaria y materia prima (rocas) que se encuentran en ese lugar este equipo de seguridad básicamente es el uso de casco y gafas en algunos momentos del recorrido; también en este cerco se tiene controlado electrónicamente el personal que ingresa y sale de la planta, debido a que gran cantidad de material procesado en la planta se exporta por barco a otros países, y por seguridad se revisan vehículos entrantes y salientes de la planta.



Equipo de Seguridad

Al acceder sobre un largo camino recto que conduce a las oficinas se observa una banda que conduce agregados hacia la costa los cuales pertenecen al grupo de agregados que se exporta vía marítima en grandes barcos contenedores.

Fui recibido por la Ing. Lourdes Rodríguez jefa de control de calidad de la planta quien me dio referencias de las actividades de la empresa, características del material utilizado, proceso de trituración y separación, control de calidad etc.

En el estado de Quintana Roo se cuentan con 5 diferentes tipos de suelo y en su mayoría se caracterizan por ser poco profundos y de alta pedregosidad motivo por el cual no son en general adecuados a la agricultura ya que su espesor no pasa de los 20 cm. Pero en la mayoría de los casos cuentan con un drenaje suficiente debido a la permeabilidad de los mismos, fenómeno ya explicado con detalle en este trabajo.

Los tipos de suelo de Quintana Roo son los siguientes:

TZEKEL
TZEKEL KANKAB
KANKAB
A´KAL CHE Y EK-LUM
CALIZAS POSPLIOCENICAS ARENOSAS

TZEKEL: Constituye una capa delgada sobre la caliza y su color varia de café claro a rojo oscuro. En estos tipos de suelo prospera únicamente el henequén y principalmente ocupa zona de deslaves.

TZEKEL KANKAB: Son suelos que se han formado por arrastre y depositado por la lluvia; su color varia de gris-café a rojo oscuro. Este tipo de suelo cuentan con un excesivo drenaje. Es propio para el cultivo de maíz, caña de azúcar, frijol, yuca, hortalizas y frutales. Ocupa lugares del centro y del estado.

KANKAB: Son los suelos mas profundos que se encuentran en el estado. Tienen color rojo por la presencia del hierro en su descomposición. En algunas ocasiones se encuentran alternados con tzekele y kankab-tzekele y su drenaje es excesivo, estos tipos de suelo se encuentran en la parte sur del estado y se puede cultivar maíz y caña de azúcar.

A´KAL CHE: Son suelos superficiales de color gris – negro de textura arcillosa. En estos tipos de suelo el drenaje es deficiente por ser de textura arcillosa. Estos suelos se encuentran en la parte sur del estado y es propio para el cultivo de maíz y caña de azúcar.

CALIZAS POSPLIOCENICAS ARENOSAS: Estos suelos son los que se encuentran en la zona costera del estado. Estos suelos son arenosos, profundos, muy pobres y permeables.

CALICA

Por lo general el tipo de suelo que se encuentra en Calica en las áreas de explotación corresponde a la clasificación denominado tzekele por ser suelos que presentan una capa muy delgada sobre la caliza que aflora continuamente todo el terreno.

Para poder determinar sus propiedades físicas y químicas del suelo se realizaron tomas de muestras representativas del área utilizando un muestreador de suelos. Posteriormente se le practicaron los análisis en un laboratorio de análisis de suelo obteniendo los siguientes resultados.

Textura : De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que la textura del suelo presente en el área esta formado de la siguiente manera :

TEXTURA	%
ARENA	42.5
ARCILLA	35.3
LIMO	22.2
TOTALES	100

De acuerdo a los datos obtenidos en el cuadro anterior nos muestra que el tipo de suelo pertenece a la clase textural denominada migajón arcilloso, el cual presenta acumulaciones de materia orgánica producto de la degradación de la hojarasca.

ESTRUCTURA: La estructura del suelo es migajonosa que corresponde a una profundidad que varia dentro de los 10 a 20 cm. Limitada por un sustrato rocoso uniforme en todo el terreno de Calica siendo a partir de este la explotación útil de roca caliza que posee características de dureza y necesarias para producir agregados de acuerdo a los análisis realizados la estructura del suelo corresponde al tipo granular bien desarrollada.

La estructura antes mencionada prácticamente general en todo el estado de Quintana Roo, una ligera capa de suelo algunas ocasiones apto para cultivo, y debajo de esta la llamada laja que limita el estrato calizo de la península. Sin embargo aunque el subsuelo es prácticamente similar en todo el estado el terreno donde se ubica esta planta tiene la peculiar característica de tener diversidad de roca caliza es decir características químicas diferentes entre calizas, durezas, y propiedades físicas e índice variadas en toda el área de Calica y fue por esta que se eligió este banco.

POROSIDAD: El subsuelo presenta una alta porosidad situación que le atribuye un buen grado de permeabilidad e infiltración.

COLOR: Con base en la tabla de Bunsen presenta que el tipo de subsuelo que tenemos es de un color pardo oscuro a rojizo.

Sin embargo, la finalidad para Calica es la trituración de agregados pétreos que cumplan con las especificaciones requeridas según norma aplicable.

Los tipos de prueba que se les realiza a nuestros agregados son los siguientes.

REDUCCIÓN DE MUESTRAS

GRANULOMETRIA

DENSIDAD

ABSORCIÓN

PRUEBA DE LOS ANGELES

% PERDIDA DE FINOS POR LAVADO # 200

PESOS VOLUMÉTRICOS

REDUCCIÓN DE MUESTRAS: Reducir la muestra tomada en el campo para obtener los pesos requeridos de acuerdo al tipo de prueba que se vaya a realizar.

GRANULOMETRIA: Es la separación de diferentes tamaños de partículas por medio de cribas. Cuya norma aplicable es la NMX - C - 077

DENSIDAD: Es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y el volumen sólido de las partículas, que incluyen los volúmenes de los poros que se encuentren dentro de las misma.

ABSORCIÓN : Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

PRUEBA DE LOS ANGELES: Es la prueba para la determinación de la resistencia a la degradación por abrasión o impacto de los agregados gruesos

% PERDIDA DE FINOS POR LAVADO # 200: Esta prueba nos sirve para determinar el contenido de partículas mas finas de la malla 200 por medio de lavado. Donde las muestras de los agregados se lava por agitación y el agua que contienen los materiales disueltos y en suspensión , se separa por decantación y se pasa par la criba No. 200.

PESOS VOLUMETRICOS: Esta prueba nos sirve para conocer la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente especificado.

A continuación realizaré una reseña de la visita a la planta, por motivos de seguridad de la empresa la información brindada no es extensa en cuanto a pruebas de laboratorio, sin embargo es interesante conocer los procesos que se llevan a cabo dentro de esta empresa. Después de recibir una platica sobre el tipo de pruebas antes mencionadas realizadas en Calica, abordé un vehículo con la Ing. Lourdes para proceder a conocer la planta y el proceso que se efectúa en ella; primeramente a través de un mirador observé el banco donde se obtiene el material, siendo este inmenso y algo que llamó mi atención es ver una enorme laguna debajo de la roca ya explotada, la explicación fue que ese lago es el nivel del manto freático compuesto por agua dulce, ya que han excavado 12 metros de roca y a esa profundidad se encuentra el nivel freático generalizado para toda la Riviera Maya y la ciudad de Cancún variando en la costa o zona litoral 2 metros aproximadamente, ya que este banco por norma se encuentra a 4 Km. del nivel del mar. Es a esta profundidad de 12 m donde termina la explotación de roca, ya que a largo plazo me explicaba la Ing. Lourdes cuando se termine la vida útil que es de 25 años mas de la planta Calica se planea la construcción de un complejo turístico, que explotará la belleza de este lago cristalino creado por la explotación de roca caliza. Pude observar maquinaria pesada imponente como grandes camiones contenedores capaces de transportar 70 toneladas, etc.



Mirador del banco principal



Explotación del banco y alcance del Nivel Freático

El área siguiente visitada en la planta fue la de transportación, transportación y separación de agregados, primeramente se observa a los enormes camiones depositando los grandes bloques de roca en el triturador primario, este material es transportado por bandas a diferentes silos almacenados, mismos que depositan el material a trituradores que especifican el tamaño final del agregado previamente cribados; finalmente el material es llevado al área de lavado, donde se remueve las impurezas de la roca para ser apilado a través de bandas transportadoras creando enormes volúmenes de agregados separados por tamaños específicos.



Transporte y descarga del material en las trituradoras



Transporte por bandas





Transporte y apilamiento de material por tamaño de agregado

Al parecer el proceso termina aquí sin embargo la planta Calica tiene la peculiaridad de exportar agregados por enormes buques a diferentes países principalmente Estados Unidos por lo que existe una banda transportadora que es la que observé al entrar a la planta que lleva material hacia la costa.

Consecuentemente nos dirigimos hacia el otro lado de la planta donde se encuentra el puerto, y al entrar nuevamente a esta sección de la planta pasando por un cerco de seguridad previo similar al primero mencionado se observa de igual forma los grandes volúmenes de agregados separados estrictamente por tamaño siendo estos únicamente exclusivos para exportación, el día de la visita tuve la fortuna de ver el llenado de un buque de nombre “Bernardo Quintana” que recibía material para ser trasladado al estado de Florida en Estados Unidos de América, también fue interesante ver que dentro de la planta existe una planta de concreto Cemex ya que Calica renta estos espacios para concreteras que requieran sus agregados.



Transporte de material a buque carguero



Buque Carguero "Bernardo Quintana"

Finalmente fui conducido laboratorio de control de calidad, muy similar al laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNAM donde pude observar las pruebas realizadas al material mencionadas anteriormente y los instrumentos empleados para la realización de tales pruebas como hornos, cribas de laboratorio, charolas, y una maquina de resistencia ante impactos de los materiales, la cual es empleada para agregados sometidos a impactos que requieren ciertas construcciones como pistas de aeropuertos, autopistas, muelles etc.



Laboratorio de control de calidad



Prueba de impacto



Mallas de Cribado



Hornos

A continuación se presenta el formato universal de control de calidad utilizado en el laboratorio, donde se refleja la calidad del agregado similar a los formatos utilizados en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería, se puede observar en la tabla que los valores obtenidos están dentro del rango de los valores correctos ubicados en la columna especificaciones.

CALICA CALIZAS INDUSTRIALES DEL CARMEN, S.A. DE C.V. CONTROL DE CALIDAD CL-003

EMBARQUE W. H. BLOUNT No. CA041 FECHA 28-03-04 HORA 06:45
 DESTINO Corpus Christi, TX MATERIAL TIPO Code 499 No. DE PRUEBA 1113-1

PESOS:
 MUESTRA HUMEDA 30.5 lbs PESO TOTAL MUESTRA 139.9 lbs
 MUESTRA SECA 28.7 lbs LONG. MUESTREADA 1.0 Ft.
 MUESTRA LAVADA SECA 24.2 lbs LUGAR DE MUESTREO C-57 y C-58

TEXAS - 499

MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES
1 3/4"	45.00 mm	0	0	100
1 1/2"	37.50 mm	0	0	100
1"	25.00 mm	3.1	10.8	89.2
7/8"	22.40 mm	4.5	15.7	84.3
3/4"	19.00 mm	6.6	23.0	77.0
3/8"	9.50 mm	11.7	40.8	59.2
# 4	4.75 mm	15.5	54.0	46.0
# 8	2.36 mm			
# 16	1.18 mm			
# 40	425.00 µm			30 - 15
# 50	300.00 µm			
# 100	150.00 µm			
# 200	75.00 µm			
CHAROLA				

PESOS:
 MUESTRA HUMEDA _____
 MUESTRA SECA _____
 MUESTRA LAVADA SECA _____

% HUMEDAD 6.3

0.303 + 15.7 24.2

MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA

La siguiente tabla pertenece a una prueba de laboratorio realizada para CALICA, dicha prueba refleja la resistencia y comportamiento a compresión de las rocas utilizadas en la planta a través de corazones extraídos de diferentes puntos del banco de la planta, se puede observar la gran resistencia de la roca cuyos valores oscilan de 300 a 650 kg/cm² siendo los de menor resistencia los corazones 3-A y 3-B que corresponden a una roca porosa que presenta pequeñas cavidades.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

LABORATORIO DE CONCRETO

PRUEBA DE CORAZONES

Cliente: **CALICA** Fecha de extracción: **13/12/03** Obra: _____
 Elementos: _____ Fecha de ensayo: **13/12/03**
 Resistencia especificada: _____ kg/cm² a _____ días.
 Curado del Especimen: _____ Temperatura Ambiente Informe No. _____

Cliente	Especimen	Diámetro (cm)	Altura sin cabecear (cm)	Altura cabeceado (cm)	H/D	Factor de Corrección	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa (grs)	Masa Vol. (kg/m ³)	Carga Máx. (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	
												Prom.	
1	1-A	7.56	9.41	10.05	1.24	-	44.89	422.40	1,040.00	2,462.13	30,000	668	646
1	1-B	7.56	15.01	15.16	1.99	-	44.89	673.77	1,587.60	2,356.28	28,000	624	
2	2-A	7.56	11.83	12.11	1.56	-	44.89	531.03	1,194.10	2,248.65	18,000	401	395
2	2-B	7.56	14.90	15.18	1.97	-	44.89	668.84	1,607.60	2,403.58	17,500	390	
3	3-A	7.56	8.93	9.15	1.18	-	44.89	400.85	912.00	2,275.15	14,200	316	314
3	3-B	7.56	15.00	15.46	1.98	-	44.89	673.32	1,523.20	2,262.21	14,000	312	

OBSERVACIONES:

LOS CORAZONES 3-A Y 3-B CORRESPONDEN A UNA ROCA POROSA QUE PRESENTA PEQUEÑAS CAVIDADES.

EXTRAJO: *[Firma]* ENSAYO: *[Firma]* SIGNATARIO AUTORIZADO:
 TEC. OSCAR RODRIGUEZ TEC. OSCAR RODRIGUEZ ING. JOSE LUIS MENDEZ RAMIREZ

DIRECCION: AVENIDA MIGUEL HIDALGO (RUTA 5) No. 450 REGIÓN 91, MZA. 48, LOTE 30, CUNCUN, Q. ROO TEL. (01-98) 88-44-31, 88-54-59

APÉNDICE 3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA CONJUNTO HABITACIONAL

A continuación se presentará un reporte formal de un estudio de mecánica de suelos con el fin de que el lector pueda familiarizarse con los reportes de sondeos en las futuras obras que enfrente, agradeciendo a la empresa Control de Calidad y Geotecnia S.A de C.V (CCG) la información proporcionada

INFORME FINAL DE LA CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN CON PERFORADORA STENUIK, PARA EDIFICIOS DE CONDOMINIOS, SOLIDARIDAD QUINTANA ROO.

CONTENIDO:

1. Introducción
 - 1.1 Antecedentes
 - 1.2 Ubicación del sitio
 - 1.3 Topografía
 - 1.4 Descripción del proyecto
 - 1.5 Alcances
 2. Condiciones Geológicas del sitio
 - 2.1 Antecedentes
 - 2.2 Fisiografía
 - 2.3 Estratigrafía
 - 2.4 Geohidrología
 3. Cavernas
 4. Condiciones Geotécnicas del sitio
 - 4.1 Ubicación
 - 4.2 Exploración
 - 4.3 Estratigrafía y propiedades del subsuelo
 5. Análisis y diseño de la cimentación
 - 5.1 Cimentación propuesta
 - 5.2 Capacidad de carga
 - 5.3 Profundidad de desplante
 6. Conclusiones
- Referencias
Lista de figuras
Anexo 1: Resultados de exploración y muestreo
Anexo 2: Informe fotográfico

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El siguiente ejemplo pertenece a un edificio condominal en una estructura que alcanzará hasta dos niveles, realizándose previamente una campaña de exploración en este sitio con el fin de detectar posibles cavernas y determinar la estratigrafía y capacidad de carga del subsuelo.

1.2 Ubicación del sitio

El sitio está localizado en el Fraccionamiento Ylaku, en el lote 183, dentro del municipio Solidaridad, estado de Quintana Roo, figuras 1 y 2.

1.3 Topografía

La topografía del sitio donde se pretende construir es sensiblemente plano. Colinda hacia el norte y sur con caminos que rodean al predio en estudio, mientras que la oriente con el lote 184 y al poniente con el lote 182.

1.4 Descripción del proyecto

Se pretende construir un edificio condominal en estructuras que alcanzará hasta dos niveles con mezanine en cada nivel, con la información que disponemos se tiene que la estructura transmitirá la carga mediante marcos de carga que a su vez llevarán la carga directamente a la cimentación y ésta al terreno natural.

1.5 Alcances

Se realizó una campaña de exploración consistente en la realización de quince sondeos de avance controlado hasta una profundidad máxima de 8.5 m, a fin de determinar la posible existencia de cavernas, así como la estratigrafía existente en el lugar.

En este informe se presenta la descripción de los trabajos de campo y los análisis para evaluar la cimentación y las recomendaciones necesarias para su construcción, la capacidad de carga, profundidad de desplante, así como las recomendaciones generales para la construcción y protección de las estructuras del lugar.

2. Condiciones geológicas del sitio

2.1 Antecedentes

La península de Yucatán es una unidad geológica constituida por sedimentos calcáreos marinos del Cenozoico. Representa una extensa planicie que forma parte de la provincia geográfica de la llanura del Golfo y del Caribe, con características morfológicas y estructurales bastante uniformes (ref. 1).

2.2 Fisiografía

Los rasgos fisiográficos que presenta esta región son de tipo cárstico y corresponden a un estado de erosión intermedio dentro del ciclo geomorfológico. En las calizas existen cavidades y conductos de disolución que varían desde pequeños poros hasta cavernas muy grandes. El colapso de los techos de las cavernas da lugar a numerosas depresiones redondeadas (bolinas) grandes y pequeñas, conocidas comúnmente como cenotes.

2.3 Estratigrafía

En general sólo se tiene la formación Carrillo Puerto, que pertenece al Plioceno-Mioceno superior, ésta formación ocupa la mayor parte del estado de Quintana Roo. En general está formada en los estratos superiores por calizas duras, de color blanco a amarillo claro, con niveles arenosos debajo de los cuales se encuentran calizas arenosas menos duras, que van de un tono amarillento a amarillo-rojizo, alternadas algunas veces por margas, arenas y areniscas. Los estratos inferiores están representados por coquinas, recubiertas por una capa dura de roca caliza, con moluscos y otros tipos de fósiles marinos.

En algunas rocas los fragmentos de fósiles son de moluscos (pelecipodos y gasterópodos), foraminíferos (Planulina y Quinqueloculina) y espinas de equinodermos, con tamaño variable de 0.07 y hasta 15 Mm.; el cementante es lodo calcáreo (micrita), el cual ha recristalizado parcialmente a cristales de calcita.

El origen de la roca es sedimentaria marina, tal vez depositada detrás de los arrecifes coralíferos cerca de la costa, siendo por tanto, formadas en condiciones de sedimentación en un ambiente epinerítico y de evaporación total.

Hacia el norte del sitio existe un cordón litoral angosto, separado de tierra firme por ciénagas, marismas y lagunas pantanosas de aguas salobres que forman otra franja.

A pesar de que la geohidrología no es un tema en este trabajo, no puede dejar de mencionarse, aunque sea brevemente, por la importancia que tiene ésta

En esta zona no existen corrientes superficiales, porque la alta permeabilidad de las calizas provoca una rápida penetración del agua hacia el nivel freático. La erosión producida por el agua forma conos de disolución en la superficie, conductos y cavernas subterráneas a través de las cuales el agua fluye con gradiente prácticamente paralelo al relieve casi horizontal del terreno.

La plataforma caliza puede considerarse como un medio homogéneo con relación al acuífero costero cárstico que fluye en su interior (ref. 2).

3. Cavernas

Durante la campaña de exploración no se detectó ninguna cavidad por lo que la estructura no tendrá ningún problema de esta índole.

4. Condiciones Geotécnicas del sitio

4.1 Ubicación

El sitio se localiza al norte del estado de Quintana Roo, el predio está en una zona donde predominan las rocas calizas muy duras y macizas de espesores variables, le subyacen estratos de roca arenisca que en ocasiones llega a ser sólo arena cementada, que no alcanzó la sedimentación total, para considerarse como roca conocida comúnmente como sascab; en múltiples ocasiones se localizan las cavidades que ponen en riesgo las estructuras.

4.2 Exploración

4.3 Se programó una campaña de exploración consistente en la realización de quince sondeos de avance controlado con perforadora Stenuick, hasta una profundidad máxima de 8.5 m, la ubicación de los sondeos se muestra en la Fig. 3; los resultados se presentan en el Anexo 1, de manera tanto tabular como gráfica.

4.4 Estratigrafía y Propiedades del subsuelo

En general se encontró un horizonte de tierra vegetal de hasta 0.25 m, seguido de un horizonte de roca caliza subyacente por un horizonte de roca arenisca y hacia el final de los sondeos un horizonte de roca caliza; esta formación se prolonga hasta el final de los sondeos, ver Anexo 1.

5. Análisis y diseño de la cimentación

1.1 Cimentación propuesta

De conformidad con los resultados que se obtuvieron y a las condiciones estratigráficas de sitio así como el tipo de proyecto que se tiene sería recomendable resolver la cimentación mediante zapatas corridas desplantadas en el estrato de roca resistente que se localizó por debajo de la tierra vegetal, cabe señalar que se puede utilizar mampostería labrada con piedra típica de la región.

1.2 Capacidad de Carga

De conformidad con los resultados obtenidos y dada la estratigrafía del terreno se recomienda una capacidad de carga de 96 ton/m² , para la carga de diseño.

1.3 Profundidad de desplante

La cimentación se deberá desplantar sobre el estrato de roca que se tiene por debajo de la tierra vegetal. Si el ingeniero estructurista requiere mayor profundidad de desplante para fines de empotrar por momento de volteo se deberá hacer la excavación; es importante resaltar que la cimentación se deberá desplantar sobre un mismo tipo de material nunca en dos, esto con la finalidad de evitar la generación de asentamientos diferenciales que no son admisibles para la estructura proyectada.

2. Conclusiones

- El sitio se localiza en el lote 183 del Fraccionamiento Yalku, dentro del municipio de Solidaridad, estado de Quintana Roo.
- Se realizó una campaña de exploración consistente en la realización de 15 sondeos de avance controlado, ver Fig. 3.
- Se construirá un edificio condominal de dos niveles; se consideró que la estructura transmitirá sus cargas mediante muros que se apoyarán directamente en la cimentación y ésta en el terreno natural.
- La estratigrafía del subsuelo es homogénea.
- Antes de realizar la construcción es necesario tener un banco de nivel, que asegure llevar un control de cotas durante todas las etapas de construcción.
- Los resultados aquí presentados son aplicables al predio en estudio, en el que se consideraron las condiciones locales de los materiales en el sitio y de las condiciones particulares del proyecto.
- Los materiales utilizados durante el proceso constructivo deberán ser objeto de un continuo y estricto control de calidad.

Referencias

1. Springall Guillermo y Espinosa Leopoldo. El subsuelo de la península de Yucatán. Cuarta Reunión de Mecánica de Suelos SMMS, México. 1976.
2. Lesser et al. Geomorfología de la Península de Yucatán. Tercera Reunión de Mecánica de Rocas SMMR. México, 1982.
3. Dr. Gaziev Erast. Notas de clase Mecánica de Rocas. División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería UNAM. México 1996.
4. Duncan C. Wyllie. Foundations on rock. Second Edition. E&FN Spon. London, 1999.
5. Dr. Auvinet G. Gabriel. Notas de clase Mecánica de suelos aplicada. División de estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería UNAM, México, 1997.
6. Ruelas Moncayo Sergio. Curso de cimentaciones. Cimentaciones en roca. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C., México, 1982.

ANEXO 1 RESULTADOS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO



CONTROL DE CALIDAD
Y GEOTECNIA SA DE CV

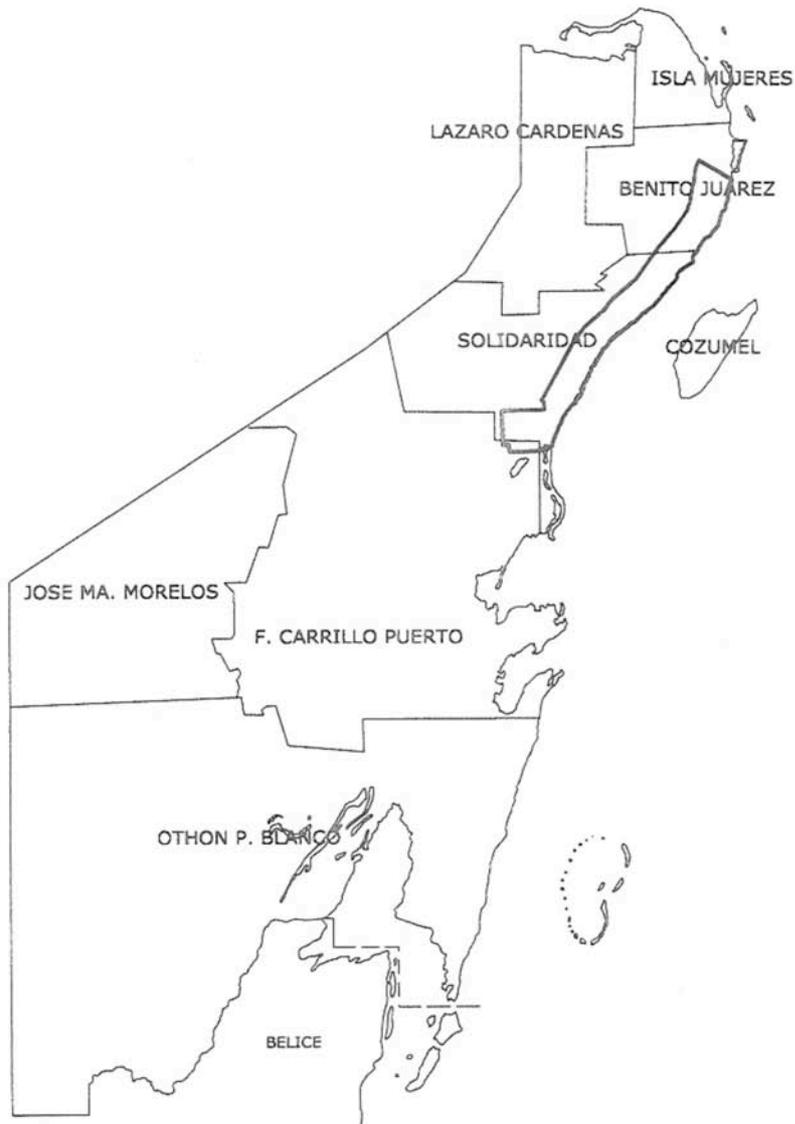
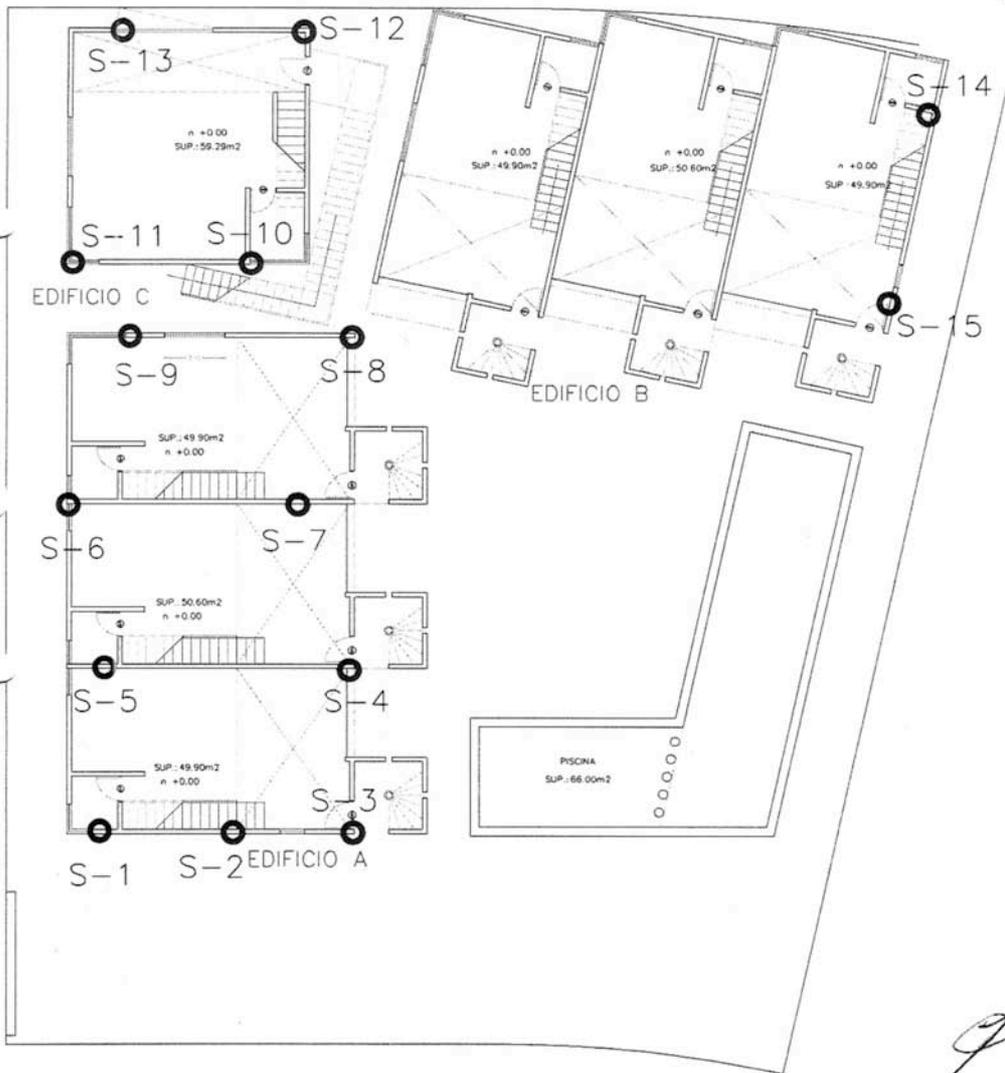


Fig. 1 ESTADO DE Q.ROO



CONTROL DE CALIDAD Y GEOTECNIA SA DE CV



Notas:
Número de sondeo
● S-3

Fig. 3 Ubicación de sondeos



Reporte de perforación

Obra:	Fracc. Yalku, Lote 183	Sondeo:	1
Localización:	Solidaridad, Q. Roo	Nivel Freatico:	No se encontró
Cliente:	Grupo Mabor SA de CV	Responsable:	Ing. Jaime Juárez Téllez
Fecha:	22-Nov-05	Operador:	J.F.T.F.

Profundidad, en m		Tiempo (segundos)	Especificación del material	Gráfica de perforación Eje X tiempo (seg)--Eje Y profundidad (metros)
De	A			
0.00	0.25	8	Tierra vegetal	
0.25	0.50	5	Tierra vegetal	
0.50	0.75	57	Roca caliza	
0.75	1.00	73	Roca caliza	
1.00	1.25	42	Roca caliza	
1.25	1.50	22	Roca arenisca	
1.50	1.75	25	Roca arenisca	
1.75	2.00	31	Roca arenisca	
2.00	2.25	31	Roca arenisca	
2.25	2.50	25	Roca arenisca	
2.50	2.75	16	Roca arenisca	
2.75	3.00	17	Roca arenisca	
3.00	3.25	18	Roca arenisca	
3.25	3.50	14	Roca arenisca	
3.50	3.75	22	Roca arenisca	
3.75	4.00	16	Roca arenisca	
4.00	4.25	17	Roca arenisca	
4.25	4.50	25	Roca arenisca	
4.50	4.75	19	Roca arenisca	
4.75	5.00	30	Roca arenisca	
5.00	5.25	25	Roca arenisca	
5.25	5.50	22	Roca arenisca	
5.50	5.75	24	Roca arenisca	
5.75	6.00	27	Roca arenisca	
6.00	6.25	22	Roca arenisca	
6.25	6.50	35	Roca arenisca	
6.50	6.75	65	Roca caliza	
6.75	7.00	53	Roca caliza	
7.00	7.25	47	Roca caliza	
7.25	7.50	44	Roca caliza	
7.50	7.75	55	Roca caliza	
7.75	8.00	45	Roca caliza	
8.00	8.25	50	Roca caliza	
8.25	8.50	73	Roca caliza	
			Fin de sondeo	

CCG



CONTROL DE CALIDAD
Y GEOTECNIA SA DE CV

Reporte de perforación

Obra:	Fracc. Yalku, Lote 183	Sondeo:	3
Localización:	Solidaridad, Q. Roo	Nivel Freatico:	No se encontró
Cliente:	Grupo Mabor SA de CV	Responsable:	Ing. Jaime Juárez Téllez
Fecha:	23-Nov-05	Operador:	J.F.T.F.

Profundidad, en m		Tiempo (segundos)	Especificación del material	Gráfica de perforación Eje X tiempo (seg)--Eje Y profundidad (metros)
De	A			
0.00	0.25	8	Tierra vegetal	
0.25	0.50	15	Tierra vegetal	
0.50	0.75	21	Tierra vegetal y roca	
0.75	1.00	67	Roca caliza	
1.00	1.25	86	Roca caliza	
1.25	1.50	52	Roca caliza	
1.50	1.75	46	Roca arenisca	
1.75	2.00	35	Roca arenisca	
2.00	2.25	42	Roca arenisca	
2.25	2.50	38	Roca arenisca	
2.50	2.75	30	Roca arenisca	
2.75	3.00	12	Roca arenisca	
3.00	3.25	21	Roca arenisca	
3.25	3.50	21	Roca arenisca	
3.50	3.75	29	Roca arenisca	
3.75	4.00	29	Roca arenisca	
4.00	4.25	20	Roca arenisca	
4.25	4.50	27	Roca arenisca	
4.50	4.75	17	Roca arenisca	
4.75	5.00	15	Roca arenisca	
5.00	5.25	21	Roca arenisca	
5.25	5.50	14	Roca arenisca	
5.50	5.75	16	Roca arenisca	
5.75	6.00	14	Roca arenisca	
6.00	6.25	11	Roca arenisca	
6.25	6.50	31	Roca arenisca	
6.50	6.75	50	Roca arenisca	
6.75	7.00	46	Roca arenisca	
7.00	7.25	81	Roca caliza	
7.25	7.50	96	Roca caliza	
7.50	7.75	102	Roca caliza	
7.75	8.00	122	Roca caliza	
8.00	8.25	71	Roca caliza	
8.25	8.50	70	Roca caliza	
			Fin de sondeo	



Reporte de perforación

Obra:	Fracc. Yalku, Lote 183	Sondeo:	4
Localización:	Solidaridad, Q. Roo	Nivel Freatico:	No se encontró
Cliente:	Grupo Mabor SA de CV	Responsable:	Ing. Jaime Juárez Téllez
Fecha:	23-Nov-05	Operador:	J.F.T.F.

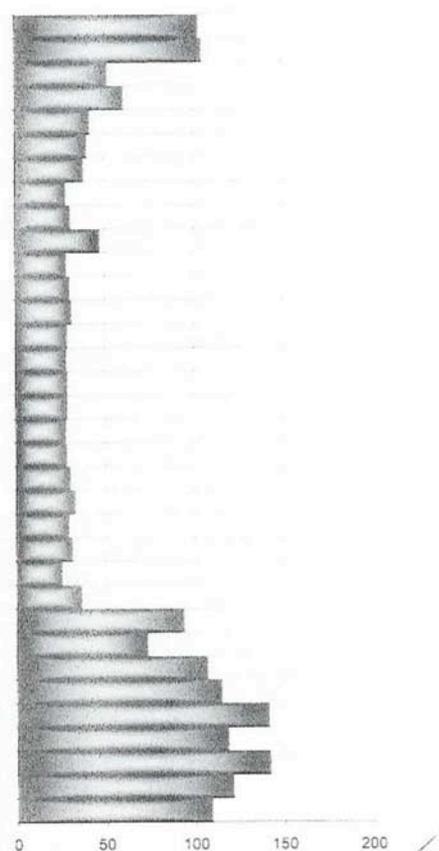
Profundidad, en m		Tiempo (segundos)	Especificación del material	Gráfica de perforación Eje X tiempo (seg)--Eje Y profundidad (metros)
De	A			
0.00	0.25	3	Tierra vegetal	
0.25	0.50	56	Roca caliza	
0.50	0.75	165	Roca caliza	
0.75	1.00	142	Roca caliza	
1.00	1.25	82	Roca caliza	
1.25	1.50	78	Roca caliza	
1.50	1.75	42	Roca arenisca	
1.75	2.00	46	Roca arenisca	
2.00	2.25	48	Roca arenisca	
2.25	2.50	49	Roca arenisca	
2.50	2.75	31	Roca arenisca	
2.75	3.00	11	Roca arenisca	
3.00	3.25	39	Roca arenisca	
3.25	3.50	24	Roca arenisca	
3.50	3.75	31	Roca arenisca	
3.75	4.00	48	Roca arenisca	
4.00	4.25	36	Roca arenisca	
4.25	4.50	31	Roca arenisca	
4.50	4.75	22	Roca arenisca	
4.75	5.00	24	Roca arenisca	
5.00	5.25	32	Roca arenisca	
5.25	5.50	29	Roca arenisca	
5.50	5.75	22	Roca arenisca	
5.75	6.00	17	Roca arenisca	
6.00	6.25	18	Roca arenisca	
6.25	6.50	13	Roca arenisca	
6.50	6.75	14	Roca arenisca	
6.75	7.00	22	Roca arenisca	
7.00	7.25	35	Roca arenisca	
7.25	7.50	25	Roca arenisca	
7.50	7.75	46	Roca arenisca	
7.75	8.00	119	Roca caliza	
8.00	8.25	88	Roca caliza	
8.25	8.50	91	Roca caliza	
			Fin de sondeo	



Reporte de perforación

Obra:	Fracc. Yalku, Lote 183	Sondeo:	5
Localización:	Solidaridad, Q. Roo	Nivel Freatico:	No se encontró
Cliente:	Grupo Mabor SA de CV	Responsable:	Ing. Jaime Juárez Téllez
Fecha:	23-Nov-05	Operador:	J.F.T.F.

Profundidad, en m		Tiempo (segundos)	Especificación del material	Gráfica de perforación	
De	A			Eje X tiempo (seg)	Eje Y profundidad (metros)
0.00	0.25	103	Roca caliza		
0.25	0.50	105	Roca caliza		
0.50	0.75	52	Roca caliza		
0.75	1.00	61	Roca caliza		
1.00	1.25	42	Roca arenisca		
1.25	1.50	41	Roca arenisca		
1.50	1.75	39	Roca arenisca		
1.75	2.00	29	Roca arenisca		
2.00	2.25	31	Roca arenisca		
2.25	2.50	48	Roca arenisca		
2.50	2.75	29	Roca arenisca		
2.75	3.00	31	Roca arenisca		
3.00	3.25	32	Roca arenisca		
3.25	3.50	29	Roca arenisca		
3.50	3.75	29	Roca arenisca		
3.75	4.00	29	Roca arenisca		
4.00	4.25	29	Roca arenisca		
4.25	4.50	28	Roca arenisca		
4.50	4.75	29	Roca arenisca		
4.75	5.00	31	Roca arenisca		
5.00	5.25	33	Roca arenisca		
5.25	5.50	30	Roca arenisca		
5.50	5.75	32	Roca arenisca		
5.75	6.00	26	Roca arenisca		
6.00	6.25	37	Roca arenisca		
6.25	6.50	94	Roca caliza		
6.50	6.75	74	Roca caliza		
6.75	7.00	107	Roca caliza		
7.00	7.25	115	Roca caliza		
7.25	7.50	142	Roca caliza		
7.50	7.75	119	Roca caliza		
7.75	8.00	142	Roca caliza		
8.00	8.25	121	Roca caliza		
8.25	8.50	109	Roca caliza		
			Fin de sondeo		



[Handwritten signature]

Título Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales
Autores Francisco Bautista Zúñiga, Alvaro Gerardo Palacio
Edición ilustrada
Editor Instituto Nacional de Ecología, 2005
ISBN 9685722137, 9789685722131
N.º de páginas 181 páginas

Título Geología de la República Mexicana: México, 1984
Autor Dante J. Morán Zenteno
Edición 2
Editor Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1990
Procedencia del original Universidad de Texas
Digitalizado 27 Mar 2008
ISBN 9688810606, 9789688810606
N.º de páginas 88 páginas

Título Revista de la Universidad de Yucatán
Editor Depto. de Publicidad de la Universidad de Yucatán, 1959
Procedencia del original Universidad de Texas

Título Revista - Instituto de Geología, Volumen 4
Autor Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología
Editor Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1980
Procedencia del original la Universidad de California

Título El estado de Yucatán: su pasado, su presente, su porvenir
Autor Rafael Zayas Enríquez
Editor Impr. para el autor por J. J. Little & Ives Co., 1908
Procedencia del original la Biblioteca Pública de Nueva York

Título The cenotes of Yucatan: a zoological and hydrographic survey
Número 457 de Carnegie Institution of Washington publication
Volumen 457 de Publication, Carnegie Institution of Washington

Autores Arthur Sperry Pearse, Edwin Phillip Creaser, Frank Gregory Hall, Carl Leavitt Hubbs

Editor Carnegie Institution of Washington, 1936

Procedencia del original Universidad de Texas

Título Mecánica de suelos, Volumen 2
Mecánica de suelos, Alfonso Rico Rodríguez

Autores Eulalio Juarez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez

Edición 2

Editor Editorial Limusa, 2002

ISBN 9681801288, 9789681801281

N.º de páginas 200 páginas

Título Ingeniería de cimentaciones
Biblioteca Limusa para la Industria de la Construcción

Autores Ralph B. Peck, Thomas T. Thornburn, Walter E. Hanson, Thomas H. Thornburn, José Luis Lepe Saucedo, Hermilo del Castillo Mejía

Edición 2

Editor Limusa, 1983

ISBN 9681814142, 9789681814144

N.º de páginas 557 páginas

Título Diccionario Real Academia española: Lengua española

Autor Real Academia Española

Editor ESPASA CALPE, 2004

ISBN 8467025964, 9788467025965

Título Diccionario de geología
Alianza diccionarios

Autores D. G. A. Whitten, J. R. V. Brooks

Edición ilustrada

Editor Alianza, 1986

ISBN 8420652172, 9788420652177

N.º de páginas 343 páginas

-Bonet, F. y Butterlin, J. (1959), "Reconocimiento geológico de la Península de Yucatán", Instituto de Geología, UNAM, México, D. F.

-Laboratorio de Geotecnia y Vías Terrestres, "*Ing. Luis R Roche Ontiveros*", (1987). "*Archivos Histórico*", (2001), Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.
Laboratorio de Geotecnia y Vías Terrestres, "*Ing. Luis R Roche Ontiveros*", (1993), "*Determinación de valores de resistencia mecánica de una roca a partir del conocimiento de valores de sus características índice*", Proyecto de investigación Aprobado DGICSA: 91-01-700. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
Laboratorio de Geotecnia y Vías Terrestres, "*Ing. Luis R Roche Ontiveros*", (1987), "*Estudio de las Características de Esfuerzo y Deformación en el material calizo conocido regionalmente como Sahcab*", Proyecto **Artículo de Investigación Alonzo L. et al / Ingeniería 7-1 (2003) 27-36** de investigación Aprobado DGICSA: C-87-01-0099, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

MEMORIAS DEL 14 CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM
17 al 19 DE SEPTIEMBRE, 2008 PUEBLA, MÉXICO

ISBN 978-968-9773-03-8 Derechos Reservados 608 © 2008, SOMIM

[2.] Estrada-Medina Héctor, Graham RC, Allen MF, Jiménez-Osornio JJM.
2005. Karstic Features and

Tree Root Development in Yucatán, México. 2005 ASA-CSSA-SSSA

International Annual Meetings Salt

Lake City, UT - November 6 - 10, 2005.

[3.] Duch GJ. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán - Los componentes del medio

físico -. Centro Regional de la Península de Yucatán (CRUPY), Universidad Autónoma de Chapingo,

México.

[4.] Duch GJ. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán – su relación con la agricultura-. Centro Regional de la

Península de Yucatán (CRUPY), Universidad Autónoma de Chapingo, México.

[5.] Querejeta, J.I. H. Estrada-Medina, M.F. Allen, J.J. Jiménez-Osornio, and R. Ruenes. 2006.

Utilization of bedrock water by *Brosimum alicastrum* trees growing on shallow soil atop limestone in a dry tropical climate. *Plant and Soil* 287: 187-197.

[6.] Querejeta JI, Estrada-Medina H, Allen MF, Jiménez - Osornio JJ. 2007. Water source partitioning among trees growing on shallow karst soils in a seasonally dry tropical climate. *Oecologia*, 152-26-36.

[7.] Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types, in Harn, W.E., *Classification of Carbonate Rocks*; American Association of Petroleum Geologists, *Memori* 1, 62-84..

[8.] Iker Bekir Topc, Burak Is-ikdag, Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite, *Building and Environment* 42 (2007) 3540–3546.

[9.] Norma ASTM E9-89a(2000)

[10.] Física Vol. 1. Resnick ISBN 970-24-0257-3

[11.] William F. Smith, Javad Hashemi; *Foundations of materials science and engineering*. 4th Ed. 2006. McGraw-Hill., p. 217.

[12.] Askeland, Donald R. *Ciencia e ingeniería de los materiales*, Pradeep P. Phulé. Editorial: México, D. F. : Thomson, 2004

[13.] S.R. Casolco, G. Dominguez, D. Sandoval, J.E. Garay, Processing and mechanical behavior of Zn–Al–Cu porous alloys. *Mater. Sci. Eng. A349* (2003) 98–110.

[14.] Norma ASTM E209-00(2005).

[15.] Norma ASTM E92.

[16.] Leopoldo Espinosa Graham y Georgina Elizabeth Carrillo Martínez, *Propiedades geofísicas de rocas y suelos calcáreos. Mediciones de laboratorio en especímenes pequeños*. *Ingeniería* 6-2 (2002) 23-32.

[17.] Lauro A. Alonzo Salomón, Leopoldo Espinosa Graham. *Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán*. *Ing. Revista Acad.* Vol 7.# 001, pp.27-36.

[18.] Alonzo L.,(1987) “Análisis estadístico de las propiedades del sahcab para su uso en pavimentos”, Tesis de la facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Enlaces web:

www.yucatan.gob.mx/

www.merida.gob.mx/

www.qroo.gob.mx/

www.solidaridad.gob.mx/

www.cancun.gob.mx/