

00181

②

1g.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA.

LA EDIFICACION EN LA ZONA MAYA

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
RESTAURACION DE MONUMENTOS .

00181  
1983

**TESIS CON  
BALLA DE ORIGEN**

M. EN ARQ. MARIO DE JESUS CARMONA Y PARDO  
OCTUBRE, 1983.



## **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 está 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.

# CONTENIDO.

1.- INTRODUCCION,	1
2.- MARCO DE REFERENCIA,	
- ANTECEDENTES HISTORICOS	2
- CARACTERISTICAS FISICAS DE LA ZONA MAYA,	7
VEGETACION	
EDAFOLOGIA	
GEOLOGIA	
- CRONOLOGIA MAYA,	13
3.- ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA EDIFICACION EN LA ZONA MAYA,	
MATERIALES,	15
SU EXTRACCION,	16
TECNICAS GENERALES,	22
HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS,	28
4.- SISTEMAS ESTRUCTURALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS,	
- TERRENOS,	33
- RELLENOS,	36
- BASAMENTOS,	36
- CIMENTACIONES,	37
- APOYOS CORRIDOS	42
- PILARES Y COLUMNAS,	47
- MUROS CON COLUMNAS EMPOTRADAS.	66
- DINTELES Y JAMBAS,	71
- BOVEDAS,	85
- VOLADOS Y ANCLAJES,	180
- CRESTERIAS,	185
- EDIFICIOS DE VARIOS NIVELES,	197
- ESCALERAS Y ESCALINATAS,	211
- PISOS Y CAMINOS,	219
- MUROS DE CONTENCION,	222

5.- CONCLUSIONES,	226
6.- APENDICE I	229
- NOMENCLATURA	
7.- BIBLIOGRAFIA,	230

INTRODUCCION.

## INTRODUCCION

Al contemplar cualesquiera de las obras de la arquitectura maya, tanto en su conjunto cuanto en su detalle, se produce una emoción muy profunda; este sentimiento nace de la observación de la unión entre las piedras y se va transformando hasta admirar el espacio construido, mismo que transmite su mensaje de belleza al ser humano.

En virtud de la consideración anterior pienso que además de estudiar detenidamente lo que representan las estelas y los glifos, las correlaciones calendáricas y la obra de arte por su valor intrínseco, es fundamental - dentro del enfoque arquitectónico, estudiar y analizar la tecnología utilizada por esta gran cultura, es decir que, además de fijar nuestra atención en los grandiosos horizontes arqueológico y artístico, es definitivamente importante introducirnos en el horizonte tecnológico a fin de comprender en forma integral a la arquitectura maya, al vigor y a la genialidad de la aportación de esta cultura al arte de la humanidad.

No existen muchos antecedentes sobre el particular, pero las obras arquitectónicas allí están, es por ello que esta investigación se enfoca hacia la "Edificación en el area maya".

MARCO DE REFERENCIA.

MARCO DE REFERENCIA  
ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A fin de comprender las manifestaciones artísticas, culturales, sociales y arquitectónicas de la civilización maya, es necesario partir del análisis del territorio en el cual se dieron lugar los diversos asentamientos humanos, así como las fechas en las que se produjeron.

De acuerdo con la geografía fundamentalmente y desde luego por razones de tipo cultural, a la fecha se divide el territorio maya en tres áreas perfectamente definidas: Sur o meridional, central y norte o septentrional.

El área sur, comprende las tierras altas de Guatemala, el sur del estado de Chiapas en México y la zona occidental de El Salvador, se considera - además una zona costera limitada por la Sierra Madre del Sur y el Océano Pacífico; y sirvió como paso a algunas culturas que desde el centro de -- México se pasaron a varias regiones de América Central.

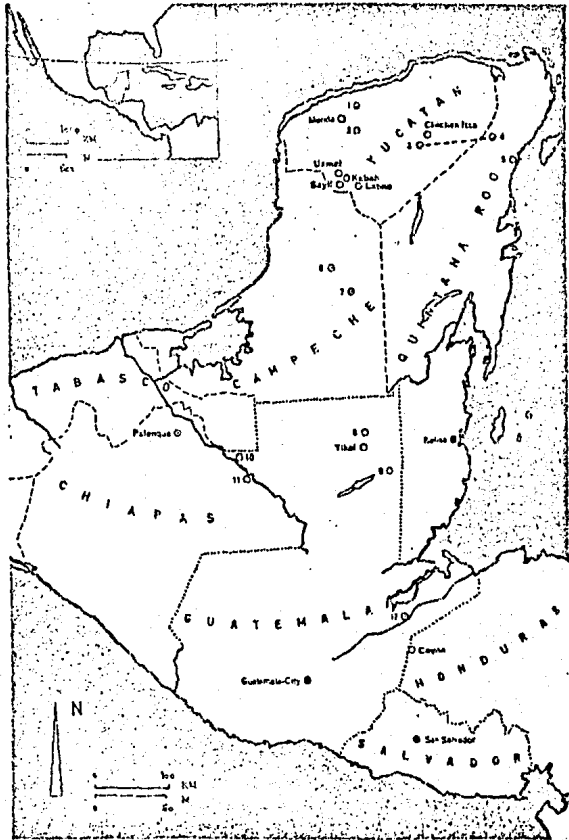
Durante el milenio anterior a nuestra era, la cultura olmeca influye ----  
----- de las costas del Golfo de México a las del Océano Pacífico, dejando la huella de su paso, como por ejemplo Izapa y Abaj Takalik entre otras, y al cabo de algún tiempo éstas pasaron a las llamadas tierras altas de Guatemala.



UBICACION DE LA ZONA MAYA

MEXICO  
GUATEMALA  
HONDURAS

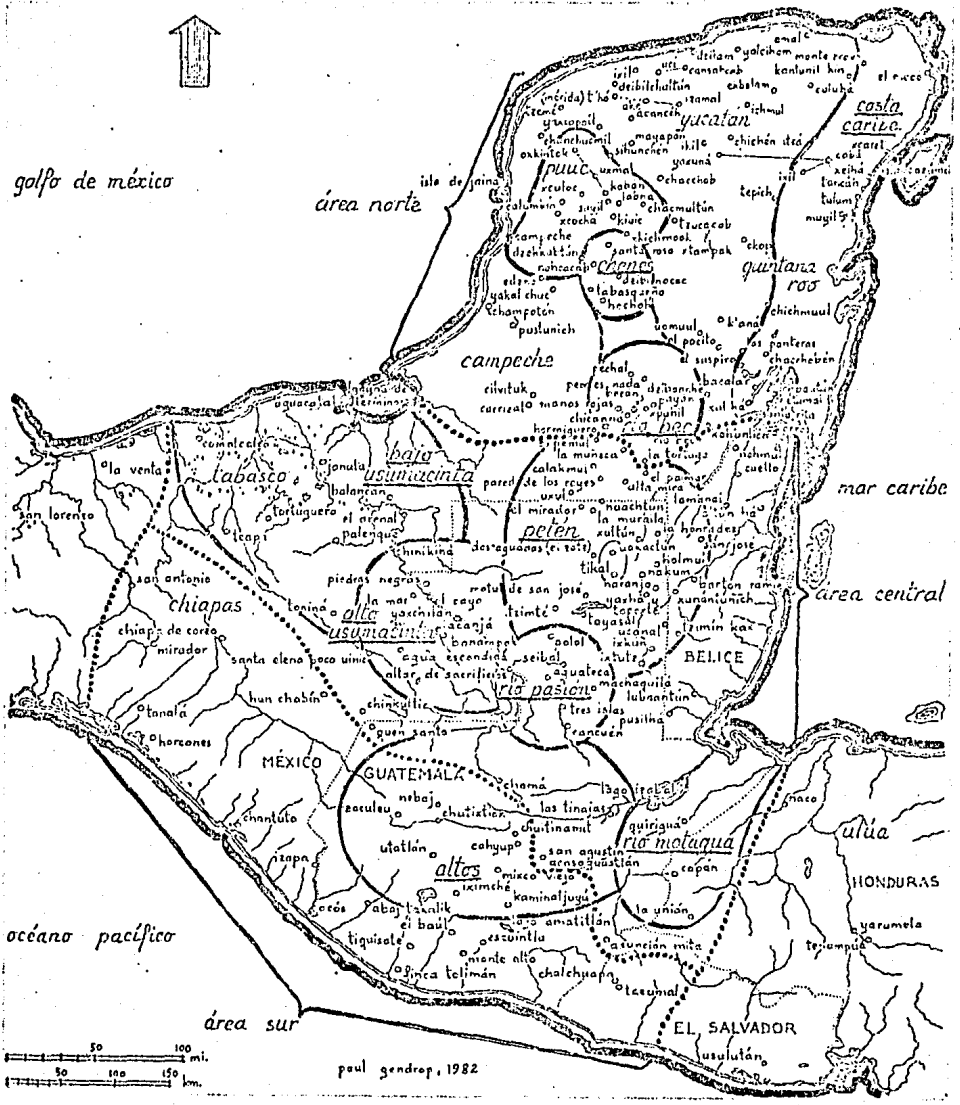
- |                 |            |              |
|-----------------|------------|--------------|
| 1 Dzibilchaltun | 5 Tulum    | 9 Naranjo    |
| 2 Acanceh       | 6 Edzna    | 10 Yaxchilan |
| 3 Yaxuna        | 7 Hochob   | 11 Bonampak  |
| 4 Coba          | 8 Uaxactun | 12 Quirigua  |



LOCALIZACION EN GENERAL.

Según Henri Stierlin

Mayan Living Architecture.



DISTRIBUCION Y NOMENCLATURA DEL AREA MAYA.

Según Paul Gendrop  
1982

Durante algunos siglos, este altiplano guatemalteco siguió recibiendo influencias de otras culturas, tales como la eotihuacana, cuyos ejemplos se encuentran en Kaminaljuyú y la de Santa Lucía Cotzumalhuapa.

En las últimas fechas de la cronología maya, estas tierras guatemaltecas registraron las influencias tolteca, chichimeca y azteca de las que existen completas evidencias.

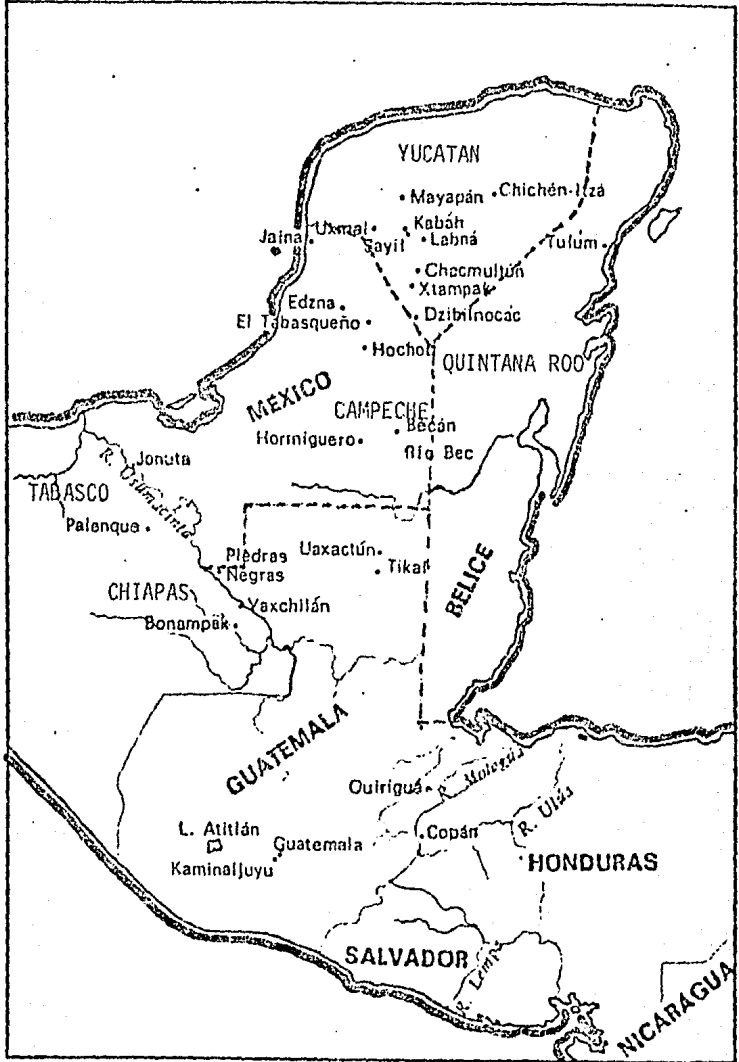
El área central es caracterizada por fuertes precipitaciones pluviales, climas muy calurosos, grandes ríos y vegetación de tipo selvático; su extensión comprende tierras bajas de Guatemala y Belice, el oeste de Honduras y partes de los estados mexicanos de Campeche, Chiapas, Tabasco y Quintana Roo. De acuerdo con esta ubicación, recibe en general el nombre de civilización maya.

Sitios característicos tales como Copán, Quiriguá, Tikal y Uaxactún entre otros, dan testimonio de una civilización mucho más avanzada que la del área mencionada anteriormente y en la que se edificaron con gran solidez y precisión obras de una arquitectura extraordinaria.

Por lo que se refiere al área norte, se puede considerar que está conformada toda en territorio mexicano, exactamente en la península de Yucatán, misma que comprende los estados de Campeche, Quintana Roo, parte de Tabasco y Yucatán.

En esta zona no existen ríos, las lluvias no son tan abundantes y la selva presenta otras características distintas a las del área central.

LOCALIZACION DE SITIOS PRINCIPALES DE LA ZONA MAYA.



En esta zona se crearon sitios como Cobá, Edzná, Dzibilchaltún, etc., con una arquitectura distinta pero brillantísima, además de otros sitios que recibieron una influencia tolteca procedente del centro de la República Mexicana, tales como Chichén-Itzá, Uxmal y otros en los que se refleja claramente la fusión de las técnicas de edificación, dando lugar a una arquitectura magistral.

#### CARACTERISTICAS FISICAS DE LA ZONA MAYA

Abundando sobre la geografía de la zona en donde tuvieron lugar los asentamientos ya mencionados, estableceremos inicialmente el tipo de vegetación característica.

La selva en la que tienen lugar los sitios mayas, queda comprendida entre los 14° y 22° de meridianos y los 86° y 92° de paralelos y se divide en:

- a) Selva alta perennifolia.
- b) Selva alta subperennifolia.
- c) Selva mediana subperennifolia.
- d) Selva mediana subcaducifolia.
- e) Selva baja subperennifolia.
- f) Selva baja caducifolia.

La clasificación anterior, de acuerdo con la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional de la Secretaría de Programación y Presupuesto, -

consiste en:

a). Selva alta perennifolia.

Comunidad vegetal muy densa dominada por árboles altos, mayores de 30 metros que se desarrolla en climas cálido-húmedos donde se registra una muy alta precipitación pluvial (la más alta del país), más del 75% de sus componentes conserva el follaje durante todo el año. Se distribuye en parte de la planicie y vertiente del Golfo de México, sur de la Península de Yucatán y en la porción sur de la vertiente del Pacífico; en muchos lugares puede estar en contacto con el Bosque Mesófilo de Montaña. Algunas de las especies más importantes son: *Terminalia amazonia* (Canshán Sombrerete), - *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Brosium alicastrum* (Ramón, Capomo), *Vochysia guatemalensis* (Palo de agua), *Andira galeottiana* (Macayo), *Calophyllum Brasiliense* (Bari, Leche María), *Terminalia oblonga* (Guayabo volador), *Pachira acuática* (Zapote de agua), *Dialium guianense* (Guapaque), *Ficus* (Amate).

b). Selva alta subperennifolia.

Comunidad arbórea mayor de 30 metros de altura que se desarrolla en climas cálido-húmedos, que se caracteriza porque alrededor de 25 a 50% de los árboles que la forman pierden sus hojas en el período más acentuado de la época seca, la cual aunque corta, está bien definida. Esta selva se encuentra en lugares con menor precipitación que en la selva alta perennifolia y en sitios protegidos como barrancas. Se distribuye en la vertiente del golfo, Península de Yucatán y algunas áreas del Pacífico en contacto con una sel-

va alta y con otros tipos de selvas de menor grado de humedad.

Entre las especies dominantes son comunes el *Brozimum alicastrum* (Ramón Capomo), *Manilkara zapota* (Chicozapote), *Sideroxylon tempisque* (Tempisque), *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Bucida buceras* (Pucté), *Masticodendron Capiri* (Capiri), etc.

c) Selva mediana subperennifolia.

Esta selva varía de 15 a 30 metros de altura, desarrollándose en climas cálido-húmedos y sub-húmedos; de 25 a 50% de las especies que la constituyen pierden sus hojas en la época seca del año. Se presenta sobre terrenos de pendientes muy fuertes y de naturaleza rocosa, cárstica, generalmente con drenaje rápido. Se distribuye tanto en la vertiente del Golfo de México como en la del Pacífico y en extensas áreas de la Península de Yucatán. Las especies dominantes son: *Brosium alicastrum* (Ramon, Capomo), *Brusera simaruba* (Palo mulato, Jiote), *Achrax zapota* (Chicozapote), *Bucida burceras*, etc.

d) Selva mediana subcaducifolia.

Comunidad vegetal de clima cálido sub-húmedo, donde de un 50 a un 75% de los árboles pierden sus hojas en lo más acentuado de la temporada seca, que es bastante prolongada. Son comunes las asociaciones de *Hymenaea courbaril* (Guapinol), *Hura polyandra* (Habillo), *Brosium alicastrum* (Capomo), *Lysiloma* spp. (Tepeguaes), *Ficus* spp. (Amate), *Enterolobium cyclocarpum* (Parota).

e) Selva baja subperennifolia.

Selva que se caracteriza porque alrededor del 25 al 50% de los árboles que la forman pierden las hojas en la época de secas, se desarrolla en climas cálido-húmedos y sub-húmedos sobre suelos profundos con drenaje deficiente, que se inundan en la época de lluvias y se secan completamente en la época de secas; se distribuye principalmente en la Península de Yucatán en las hondonadas llamadas "bajos".

Los componentes predominantes en esta selva son: *Haematoxylon campechianum* (Palo de Tinte), *Bucida buceras* (Pucté), *Metopium brownei* (Chechén), *Cameraria latifolia* (Chechén blanco), *Coccoloba*, etc.

f) Selva baja caducifolia.

Selva que puede alcanzar los 15 metros o un poco más de altura, desarrollándose en climas cálido-subhúmedos, semisecos o subsecos, donde la mayoría, 75 al 100% de los árboles que la forman, tiran las hojas en la época seca que es muy prolongada (6-8 meses); los árboles dominantes, por lo común son inermes. Se distribuye ampliamente sobre laderas de cerros con buen drenaje, en muchas partes del país y puede estar en contacto con selvas medianas, bosques y matorrales de zonas semi-áridas.

Son comunes las comunidades de *Bursera* spp (Chupandía), *Lysiloma* spp (Tepehuajes), *Jacaratia Mexicana* (Bonete), *Ipomoca* spp. (Cazahuates), *Pseudobombax palmezi* (Amapola), *Erithryna* spp. (Colorín), *Ceiba* spp. (Pochote), *Cordia* spp. (Cueramo).



## EDAFOLOGIA

Por lo que se refiere a las unidades físicas y químicas de los suelos, los asentamientos dentro del área maya quedaron comprendidos entre los siguientes:

- a) Rendzina
- b) Litosol
- c) Luvisol

siendo éstos respectivamente:

a) La Rendzina tiene una capa superficial rica en materia orgánica que descansa sobre roca caliza o algún material rico en ca], no son muy profundos, son arcillosos y se presentan en climas cálidos y templados, con lluvias abundantes o moderadas.

Su susceptibilidad a la erosión es moderada.

b) El Litosol es un suelo de distribución muy amplia, se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, son suelos sin desarrollo, con profundidad menor de 10 cm. y tienen características muy variables según el material que lo forma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona en donde se encuentren, pudiendo ser desde moderada hasta alta.

c) El Luvisol tiene acumulación de arcilla en el subsuelo, son de zonas tropicales lluviosas o templadas; su vegetación natural es de selva o bosque, son rojos o claros, son moderadamente ácidos, son suelos de suscepti-

bilidad alta a la erosión.

## G E O L O G I A

Por lo que se refiere a las características geológicas, podremos decir que existen en la zona maya rocas sedimentarias y volcano sedimentarias, con caliza y yeso, de acuerdo con la carta geológica elaborada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.

En el capítulo referente a Sistemas Estructurales y Elementos Constructivos, profundizo un poco sobre estos aspectos de orden geológico de los terrenos en los que se dió la civilización maya.

En la página 33, en el capítulo referente a terrenos profundizo mas sobre la geología general de la zona, destacando la importancia que tiene el terreno como parte de la estructura.

## CRONOLOGIA MAYA

Dentro de las etapas de desarrollo cultural en Mesoamérica, el área maya inicia su cronología en el año 3113 A.C. y ha sido clasificada en tres - grandes períodos fundamentales:

Preclásico

Clásico

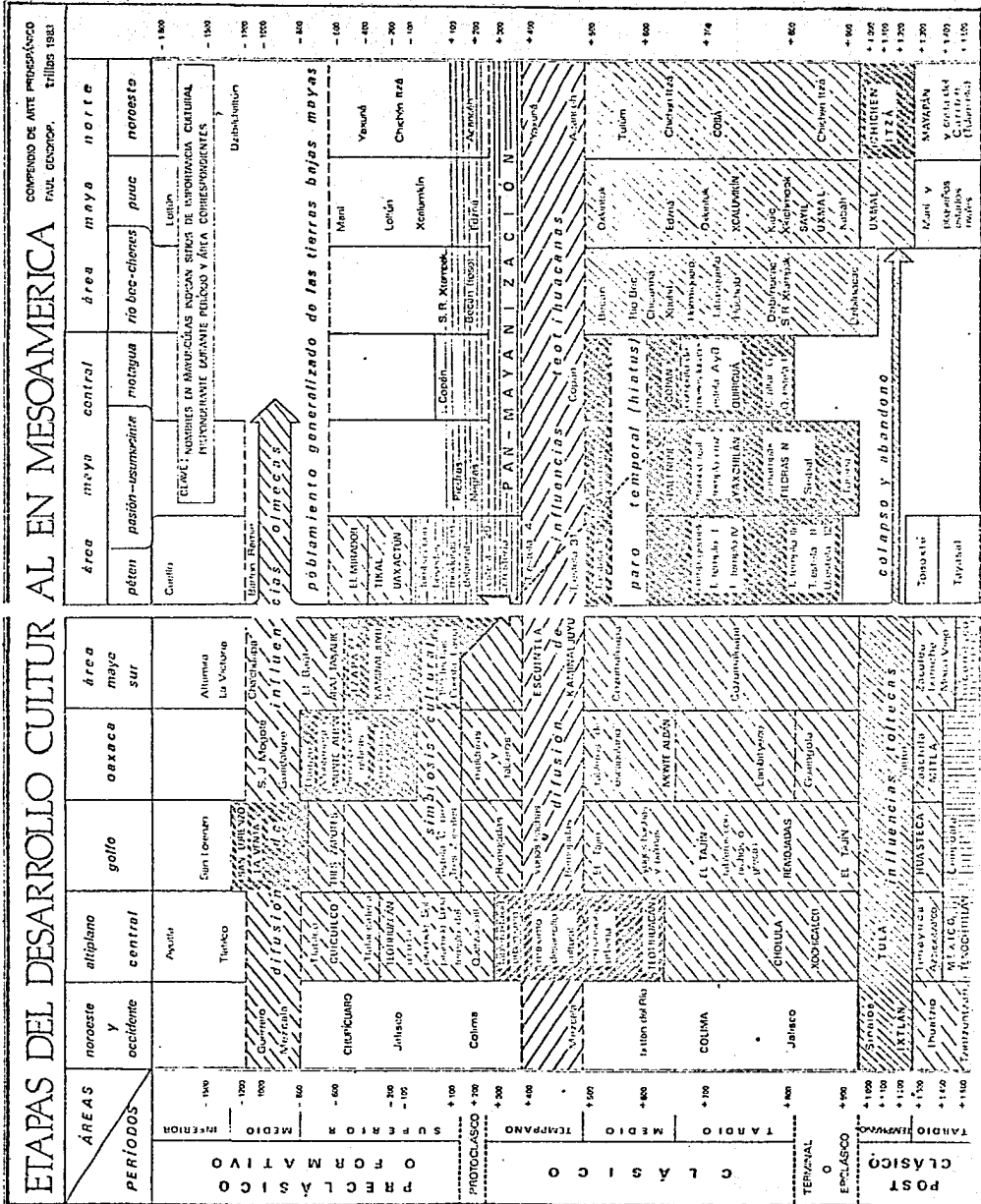
Postclásico

De acuerdo con: ----- Paul Gendrop, F.\* ----- la cronología maya en cuanto a sus obras arquitectónicas, escultóricas, etc., es decir, en su historia plena, se divide en varias etapas como muestra el cuadro siguiente y en él se indican los sitios sobresalientes por su arquitectura, en las tres etapas - enunciadas.

\* GENDROP, Paul

" Compendio de arte prehispánico".

Trillas, México 1983



ANTECEDENTES GENERALES  
SOBRE LA EDIFICACION EN LA  
ZONA MAYA

## ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA EDIFICACION EN LA ZONA MAYA

### MATERIALES

Entrando en materia, la edificación en la zona maya se realizó -----  
----- con la participación de pocos materiales.

Como se ha explicado en las páginas anteriores, las características predominantes de vegetación, suelo, edafología, etc., de las regiones mayas ilustran lo que podríamos considerar como el "Catálogo de Materiales de Edificación". Estos pueden ser agrupados fundamentalmente en: tierra, madera de ciertas es pecies, palma, piedra caliza, piedra arenisca, arena, cal, goma vegetal, - agua, sin tomar en cuenta los materiales con los que fabricaron sus herramientas tales como piedras duras, sílex, obsidiana y hueso.

La tierra acarreada jugó un papel muy importante y podríamos decir predominante en los rellenos tanto de cimentaciones, plataformas y basamentos, como en muros y techumbres.

Esta tierra, por sus características granulométricas, se prestó para mezclar se con piedras y permitir que éstas pudieran asentarse en forma correcta, obteniendo así una buena compactación en las camas de gránulos de diferentes diámetros mezclados.

La madera fue utilizada en la edificación maya tanto en lo que puede llamarse obra falsa como en estructuras perfectamente definidas, como se vió ante-

riormente. Las especies abundantes en esas regiones, tales como chicozapote, zapote de agua, amate, caoba, acacia, ceiba, etc., (algunos de ellos de altura superior a los 30 metros), por sus características de resistencia, tamaño, durabilidad, prestaron al pueblo maya un servicio de incalculable valor.

Estos tipos de árboles, son de bastante diámetro y en general se clasifican de resistentes a muy resistentes al ataque de hongos e insectos y a la acción de viento, sol y lluvia.

En cuanto a sus características mecánicas, estas especies tropicales presentan las siguientes, en términos generales de acuerdo con ASTM\*.

Flexión	Esfuerzo al momento de ruptura → de 910 a 1275 $\text{k/cm}^2$
	Módulo de elasticidad x 1000 → de 141 a 159 $\text{k/cm}^2$
Compresión	Esfuerzo al momento de ruptura → de 450 a 695 $\text{k/cm}^2$
Dureza	En superficies laterales 610 a 780 kg.
	En superficies transversales 645 a 1000 kg.

Se puede considerar que el uso de la madera en la edificación para los mayas, presentaba ciertas ventajas, tales como:

\*ASTM American Society for Testing and Materials.

- 1) Se puede cortar y trabajar en diversas formas y tamaños con la ayuda de simples herramientas manuales.
- 2) Ofrece gran estabilidad dimensional. Longitudinalmente los cambios en contenido de humedad causan fluctuaciones dimensionales casi imperceptibles. Las expansiones y contracciones por cambio de temperatura se pueden ignorar en la mayoría de los casos, ya que son muy pequeñas.
- 3) Tienen algunas especies gran durabilidad natural.
- 4) Tiene una excelente rigidez y resistencia en flexión, superior a otros materiales.
- 5) Posee una gran capacidad para absorber energía y para resistir cargas de impacto.
- 6) Es resistente a la acción de sustancias químicas y no se corroe fácilmente.

Los mayas probablemente tenían el conocimiento acerca de que la época más favorable para el derribo de los árboles es el invierno, por ser ésta la estación en que contienen menos savia evitándose así el ataque de los hongos.

Los árboles derribados en verano tienen su albura impregnada de savia la cual contiene sustancias fermentables como el azúcar, almidón, etc., albuminoides que presentan un medio excelente para ser atacado por los organismos destructores y contiene además algunos ácidos que son materias nutritivas de ciertos hongos. En tal virtud con estos conocimientos se cooperaba para la durabilidad de las construcciones.

De las maderas características de las selvas tropicales, que se han do anteriormente, a continuación presento - algunas de sus principales propiedades, mismas que a mi juicio las distinguieron para utilizarse en las edificaciones mayas.



TABLA A.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECANICAS.

Especie	Contenido de humedad %	Relación PA/VV	Flexión Estática		Módulo de elasticidad kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo al límite de proporcionalidad. kg/cm/cm <sup>3</sup>
			Esfuerzo al límite de proporcionalidad kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura kg/cm <sup>2</sup>		
Manilkara zapota	48	0.86 excesivamente pesada	786	1110 alto	163940 muy alto	0.211
Terminalia amazonia	81	0.52 muy pesada	423	741 mediano	119100 alto	0.090
Dialium guianense	65	0.78 excesivamente pesada	699	1145 alto	166880 muy alto	0.166
Calophyllum brasiliense	81	0.57 pesada	469	744 mediano	106030 alto	0.118
Swietenia macrophylla	115	0.43 moderadamente pesada	301	627 mediano	92260 mediano	0.088

TABLA A. Continuación

ESPECIE	Compresión paralela a la fibra Esfuerzo al límite de proporcionalidad	Compresión paralela a la fibra Esfuerzo al momento de ruptura	Módulo de elasticidad	Compresión perpendicular a la fibra, esfuerzo al límite de proporcionalidad	Corte paralelo a la fibra, esfuerzo al momento de ruptura	Dureza "Janka" Superficies laterales	Superficies transversales	Tenacidad
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg	tg. M./probeta
Manilkara zapota	440	585 muy alto	166720 muy alto	156 muy alto	110 alto	964 muy alto	850 muy alto	3.3804
Terminalia amazonia	278	375 alto	126200 alto	59 alto	.107 alto	438 alto	512 alto	3.2656
Dialium guianense	437	534 muy alto	136670 muy alto	123 muy alto	132 alto	965 muy alto	1014 muy alto	1.3520
Calophyllum brasiliense	270	343 mediano	88940 mediano	50 mediano	95 mediano	407 alto	485 mediano	4.6719
Swietenia macrophylla	238	323 mediano	81380 mediano	32 mediano	84 mediano	299 mediano	338 mediano	2.1092

TABLA B.

ESFUERZOS MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DISEÑO ESTRUCTURAL, CON MADERA LIBRE DE DEFECTOS, VERDE Y SUJETA A CARGAS DE CORTA DURACION.

Especie	Nombre común	Esfuerzo máximo en flexión estática	Esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra	Esfuerzo al límite de proporcionalidad en compresión perpendicular a la fibra	Esfuerzo máximo en corte paralelo a la fibra
		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Manilkara zapota	chicozapote	309	243	59	33
Terminalia amazonia	canshán	206	156	22	32
Dialium guianense	paque	319	222	46	37
Calophyllum brasiliense	barfí	208	142	19	28
Swietenia macrophylla	caoba	175	134	42	25

Echenique, Ramón.

"Características de la madera, su uso en la Construcción" 1976

TABLA C.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS Y DE MANEJABILIDAD Y APARIENCIA.

b-baja a-alta r-recto  
 m-media ma-muy alta d-desviado  
 e-entrelazado

	A P A R I E N C I A											
	Densidad	Prop. Mecánicas	Cambios dimensionales	Rapidez secado	Alabes y distorsiones	Durabilidad natural	Grano	Facilidad de aserrado	Facilidad de clavado	Color		
Manilkara zapota	ma	ma	a	m	b	ma	r	b	m	fina	incospicuo	pardo rojizo
Terminalia amazonia	a	a	a	m	b	a	e	b	m	moderadamente fina	irregular	amarillo
Dialium guianense	ma	ma	a	m	b	ma	r	m	m	media	irregular	crema
Calophyllum brasiliense	m	m	a	m	b	m	r	a	ma	media	irregular	pardo
Swietenia macrophylla	a	m	m	a	b	m	r	ma	ma	media	ausente	pardo rojizo

Echenique, Ramón.  
 "Características de la madera,  
 su uso en la Construcción".  
 1976

### C A L.

En el area maya, todos los cementantes son carbonatos de calcio, el uso de estos morteros y cementos implica un ciclo muy interesante de cambios quimicos que hacen que el producto terminado se vuelva quimicamente hablando el mismo que la roca nativa de la cual fue hecho.

La roca caliza original es carbonato de calcio (  $\text{CaCO}_3$  ) misma que al ser ----- horneada libera dióxido de carbono (  $\text{CO}_2$  ) en forma de gas. Esto deja por lo tanto (  $\text{CaO}$  ) que es cal viva.

Una vez obtenida esta cal viva, se le agrega agua; ésta fusión da como resultado una pasta ( mezcla ) conocida como cal apagada (  $\text{Ca(OH)}_2$  ), esta última transformación propicia un gran aumento de volumen.

Cuando la cal apagada se expone a la acción del aire cede el exceso de agua que absorbió cuando era cal viva, pero no solamente es un proceso de secado en virtud de que para perder esa agua debe tomar  $\text{CO}_2$  ( dióxido de carbono ) del aire. Cuando todo el volumen ha realizado este cambio, la cal apagada se convierte en carbonato de calcio (  $\text{CaCO}_3$  ) que es quimicamente identica a la caliza original e igual en resistencia.

Sin embargo, conviene hacer notar que una vez colocado este material en el grosor o espesor de los muros de las construcciones mayas, el aire no puede entrar al centro del mortero, por lo que se requieren decenios y hasta cen-

turias para que se complete la conversión explicada.

La mezcla de cal apagada con materiales inertes como el arena, produce una mezcla magnífica que toma los cambios de volumen ya citados; sin embargo, en los terrenos de la Península de Yucatán y demás de la zona maya, no se encuentra arena y si acaso la hay es en pocas cantidades, por lo que utilizaban el Sascab ( que significa en maya: tierra blanca y caliza) como sustituto de aquélla, mezclándolo mas o menos en la misma proporción que en nuestros días; éste procedimiento permitió obtener un excelente mortero.

LAWRENCE ROYS,\* mandó hacer un análisis de laboratorio de algunas muestras de mortero tomadas de la Casa de las Monjas en Chichen Itzá, encontrando lo siguiente:

COMPOSICION.

CaO	Cal viva	53.8 %
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono	42.4 %
SiO <sub>2</sub>	Arena	11.92%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido Férrico	0.25%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de aluminio	0.25%
H <sub>2</sub> O	Agua	0.38%
MgO	Oxido de Magnesio	1.00%

En otros sitios se han realizado muestreos y habiéndolos analizado se ha

\* LAWRENCE ROYS " The engineering knowledge of the maya". 1934 p. 98

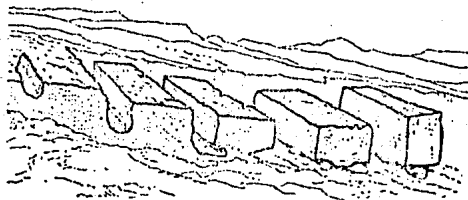
encontrado con resultados semejantes; lo que hace pensar en que probablemente los mayas ponían especial cuidado y atención en la elaboración de sus mezclas para garantizar así ----- buenos resultados.

Además se encontró que los materiales eran tomados de una misma cantera -- para elaborar las mamposterías de un edificio, dadas las características de los materiales estudiados.

En las construcciones, se llegaron a utilizar grandes bloques, mismos que sirvieron como columnas, dinteles, jambas, etc., para su obtención, se aprovechaban hendiduras naturales de la roca local.

En Calakmul, Campeche, se encontró una "cantera" en la que se aprecia el procedimiento de extracción de estos grandes bloques, mismo que consistía en cavar a lo largo de los costados con cinceles y mazos de piedra, una vez cavados los costados y la base, se alzaban con largos maderos, los troncos pudieron haber servido como rodillos para los efectos de transportar estos pesados elementos.

William H. Holmes, hizo un croquis de una cantera encontrada en las proximidades de Mitla, en el que se pueden apreciar las técnicas antes mencionadas.





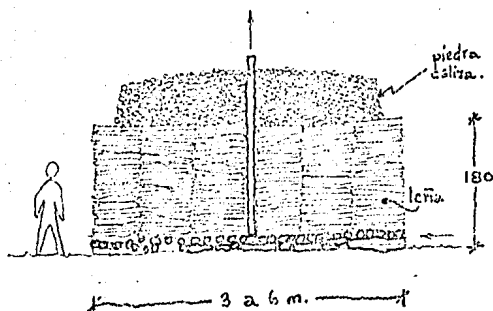
Ninguna construcción de piedra pudo haberse realizado sin cemento y los mayas sabían cómo extraer cal.

En esas tierras abunda la caliza, los mayas conocieron el procedimiento de quemar esta piedra caliza para extraer cal y actualmente en muchos lugares de la península de Yucatán, se usa el mismo procedimiento ancestral.

Primero se juntan grandes cantidades de madera usada como leña de 60 cm. de largo y se apiña en forma de un gran cilindro con la altura de 1.80 y un diámetro variable entre 3 y 6 mt..

La piedra caliza es machacada o triturada y depositada en gránulos no mayores que un puño humano sobre el material inflamable. El estrato de piedra caliza de 60 cm. de grueso aproximado es primero rociado con agua para ayudar a su descomposición; un morillo es colocado verticalmente en el centro del cilindro y sirve como una chimenea que orienta el flujo del aire. Se deja quemar esto por todo un día y en ocasiones hasta 36 horas y al cabo de esto, se vuelve un polvo blanco que solo necesita mezclarse con piedras trituradas para formar concreto y mortero uniéndolo con arena.

Este mismo material fue usado como estuco para cubrir muros y pisos de las edificaciones. Este se producía con arena fina de caliza mezclada con agua que contenía goma vegetal y el resultado era una sustancia pulida como mármol que al secarse endurece mucho.



CALERA ANTES DE QUEMARSE.

Según Henri Stierlin

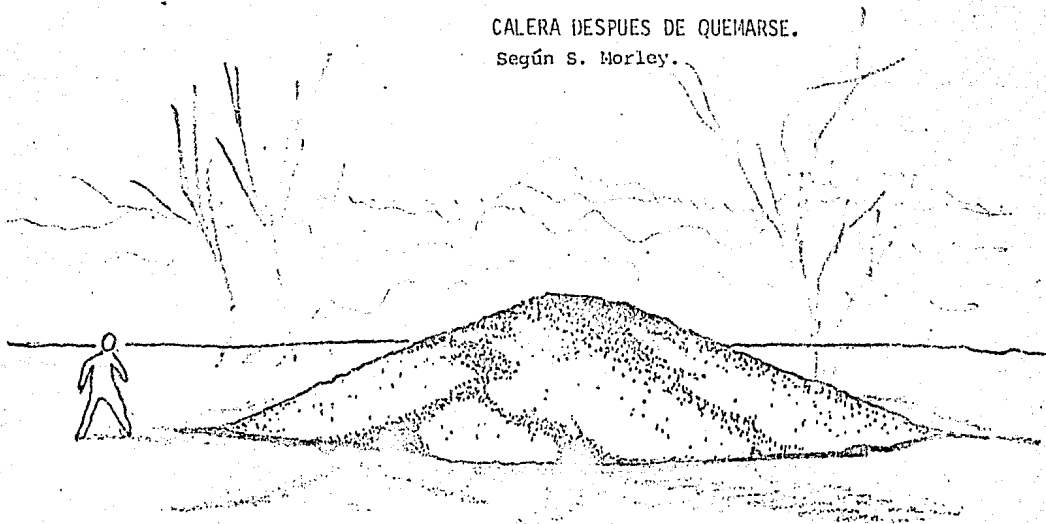
Mayan Living Architecture.

1976

p. 133

CALERA DESPUES DE QUEMARSE.

Según S. Morley.



SYLVANUS G. MORLEY

La civilización maya 1965 p. 419

## HERRAMIENTAS.

Para los efectos de construcción, los mayas utilizaron diversas herramientas, mismas que les permitieron resolver sus necesidades de acuerdo con las técnicas de edificación.

Entre las principales se pueden citar, como su utillaje lítico, aunque precario, las siguientes:

Cinceles basálticos, mazos de piedras duras, martillos de pedernal, navajas y navajones de sílex y obsidiana, punzones de hueso, leznas, pulidores de madera y piedra, plomadas y cucharas de madera.

Dice Earle Morris "Nos podemos imaginar a aquellos trabajadores de piel tosada, mezclando y aplicando el mortero con palas de madera, pedazos de cerámica, concha o calabaza" y añade "las cornisas están bellamente alineadas y las molduras y cornisas marcan una horizontalidad perfecta de esquina a esquina, sin el uso del hilo y de la plomada, la exactitud hubiera sido imposible".

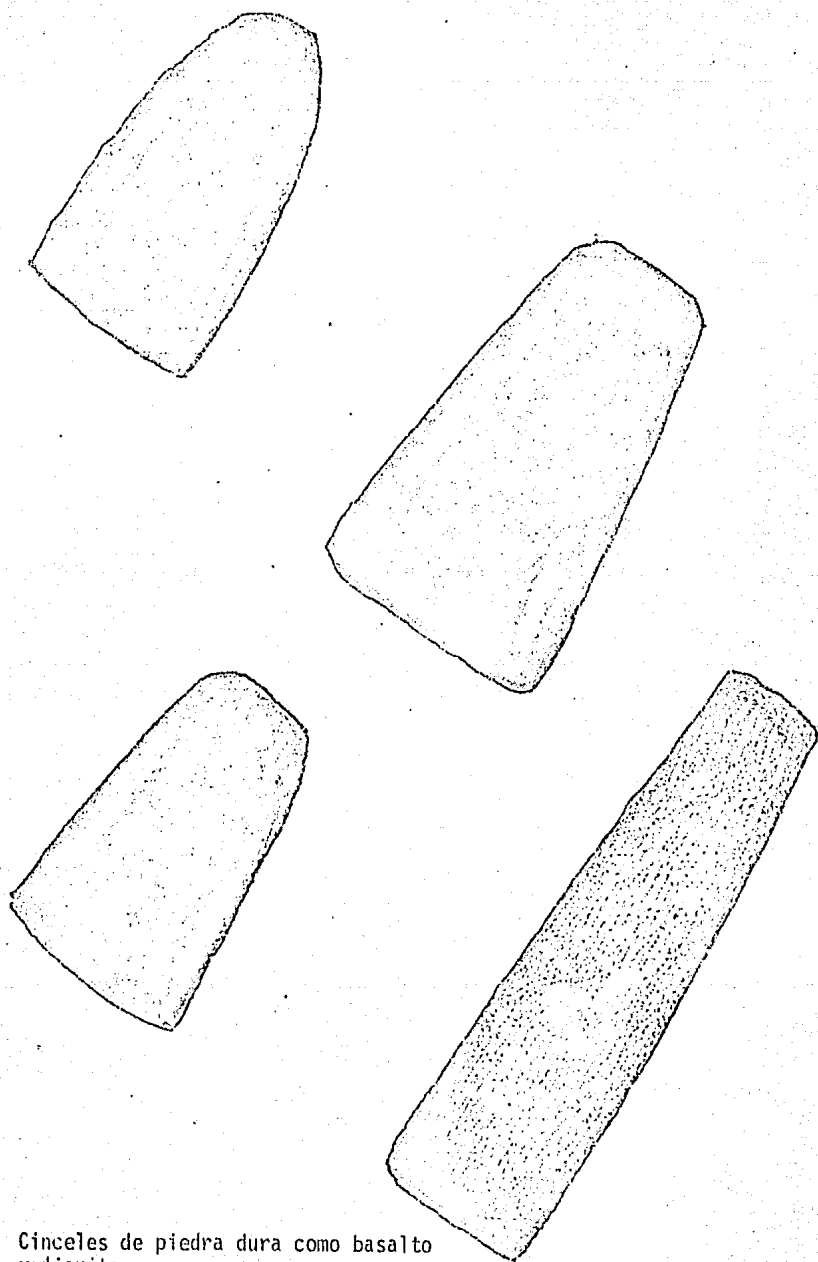
Me gustaría añadir para los efectos de completar el concepto de medición que probablemente los mayas pudieron utilizar la antigua regla de que: "La longitud del paso de una persona adulta es igual a la mitad de la distancia existente entre los ojos y la planta del pie."

Earle H. Morris.

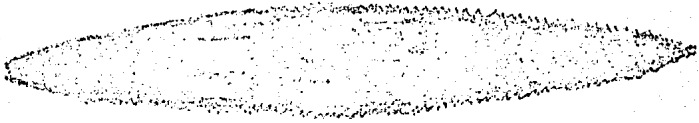
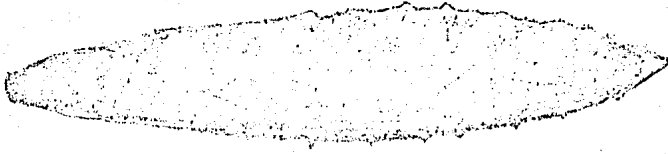
The Temples of Warriors at Chichen Itza Yuc.  
Description of the temple of the Warriors  
and edifices related there to.

Carnegie Institution of Washington Pub. 406

1931

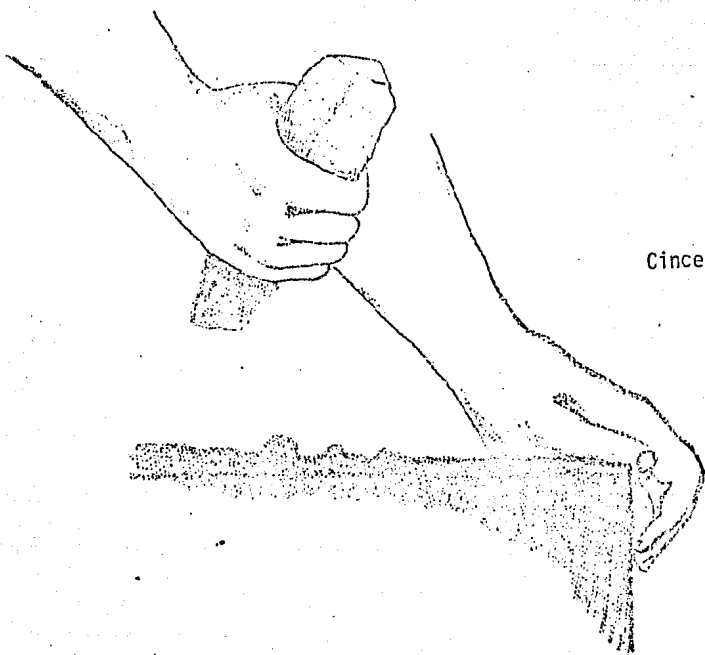


Cinceles de piedra dura como basalto  
y diorita.  
Según Sylvanus Morley

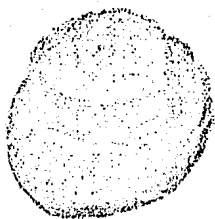


hojas de pedernal astillado halladas en Quiriguá y Zaculeu.

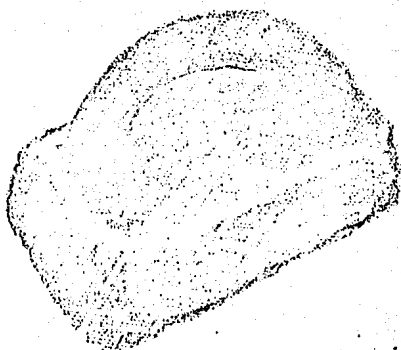
según Woodburg and Trik.



Cinzel.



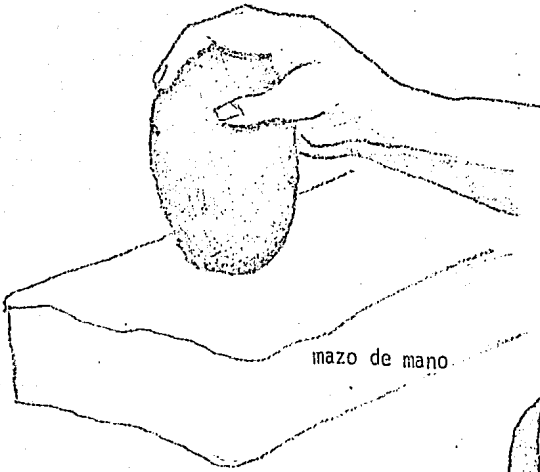
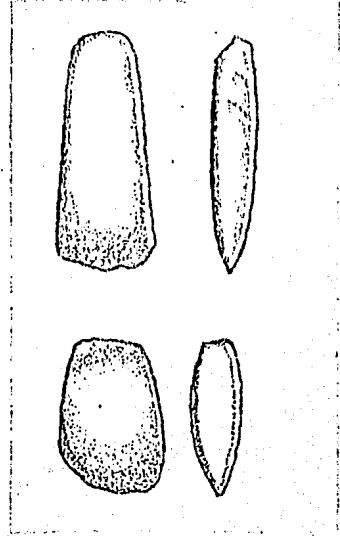
mortero



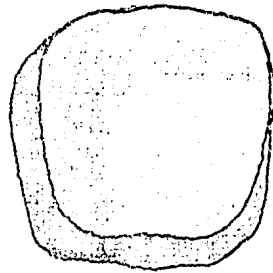
plana.

Según Carlos Chanfon O.

Hachas de Zaculeu



mazo de mano



mano de mortero



mazo de mano



buril

SISTEMAS ESTRUCTURALES  
Y  
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.



## TERRENOS .

Como parte de la estructura.

Las actividades volcánicas actuales, evidencian que una parte del interior de la tierra está fundida; esto nos conduce a pensar que la primitiva corteza terrestre sólida se formó por el enfriamiento y el endurecimiento - consiguiente del magma fundido. A causa de la edad de la tierra y de las transformaciones que la corteza terrestre ha sufrido, se puede establecer que ninguna roca actual pertenece a la corteza original; sin embargo, hay cerca de la superficie del suelo algunas rocas que se formaron posteriormente y que, en apariencia no han experimentado cambios en su composición o estructura originales; las rocas de este tipo se conocen con el nombre de rocas ígneas.

La textura de éstas varía según la velocidad del enfriamiento durante su formación; así si el magma fundido se enfrió lentamente bajo la superficie del suelo, permitiendo una cristalización separada de los minerales que lo componían, resultó una estructura de granos gruesos como el granito y la diorita.

Un enfriamiento más rápido conduce a una estructura densa de grano más fino como la riolita y el basalto. Por último, un enfriamiento rapidísimo del magma dió por resultado una estructura vítrea como la obsidiana.

Todos los suelos o rocas no ígneas que forman la corteza terrestre proceden de la disgregación meteorológica de las rocas ígneas. Esta meteoriza-

ción puede deberse a la acción mecánica del agua, del aire y del hielo, o a procesos químicos que suponen la transformación o disolución de los minerales y además de estos factores el clima dominante afecta considerablemente a los procesos de descomposición de los suelos.

Las partículas gruesas del suelo son las arenas, las intermedias los limos y las finas las arcillas; y resultan de la desintegración de las rocas ígneas. Estos materiales pueden ser transportados por la gravedad, por el viento, por el agua y depositarse en otros lugares; estos depósitos se conocen como sedimentos.

Ahora bien los sedimentos pueden transformarse posteriormente en rocas sedimentarias. Existe un grupo de rocas sedimentarias que es formado por agentes no mecánicos sino orgánicos tales como fragmentos calcáreos de las conchas de animales marinos, que dieron lugar a algunas calizas.

Otro grupo se originó por precipitación química, por precipitación de materias calizas disueltas en agua formando rocas calizas así como yacimientos de yeso.

Como marqué en los primeros capítulos de este trabajo, fisiográficamente, la península de Yucatán es una extensa mesa calcárea cuya altura no rebasa los 200 mts. y está apoyada sobre una amplia plataforma continental. La morfología Kárstica ha conferido a la región unas características particulares es decir, es un relieve propio de los macisos calcáreos en los que predomina la erosión por disolución.

El terreno por lo tanto presenta en el macizo calcáreo estructuras tubulares formadas por rocas puras, masivas y fisuradas para dejar que el agua penetre a profundidad.

La red hidrográfica superficial es escasa pero abundan los cursos de agua subterráneos.

Estos terrenos en general se clasifican como duros, siendo esta clasificación como piedra caliza en lechos compactos y se le ha encontrado una muy alta resistencia a la compresión. La piedra caliza pues, se podía extraer con cierta facilidad utilizando instrumentos de piedra y madera en virtud de que aparece blanda y con la intemperización se endurece. Por otra parte, en toda la zona se encuentran yacimientos de cascajo calizo ordinario llamados Zahcab.

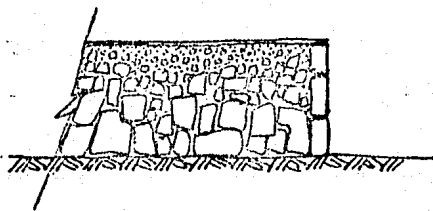
En suma, estos terrenos aunados al clima, proporcionaban a los mayas cuanto requerían para los efectos de edificación y con abundancia, piedra, cal, y madera, fibras para tejidos y cestería, alimentos vegetales y animales.

## RELLENOS Y BASAMENTOS.

La topografía del terreno condicionaba en forma importante a la fisonomía de los sitios, causa que propició que se hicieran rellenos y nivelaciones, así como en determinados asentamientos crear espaciosos basamentos o aprovechar colinas naturales, lo que les permitió tener escenarios ya sea de montaña o de inmensos fondos de selva y cielo.

Las bases de los edificios quedaban entonces en ocasiones formadas por tierra y piedras revueltas y compactadas, en otras, aprovechando grandes rocas existentes en el lugar y rellenando su entorno creando muros de contención utilizando el talud natural o ángulo de reposo del material. Su tamaño y proporción estaban en relación con el peso del edificio que se construiría sobre ellas.

Lo más usado en cuanto al tipo de acabado superficial realizado para iniciar sus edificaciones, consistía en una cama de pequeñas piedras o gránulos a veces ligados con mezcla con un espesor entre 0.50 mt. y 1 mt., a la cual como acabado final se le daba una capa de estuco con el que se formaban los pisos de las cámaras.



## C I M E N T A C I O N E S .

Para los efectos de analizar cualquier tipo de cimentación, me parece conveniente determinar algunas consideraciones al respecto.

El cimiento es el elemento de enlace entre la superestructura y el terreno.

La función de un cimiento bien diseñado es sustentar las cargas que actúan sobre él y distribuir las en una forma satisfactoria sobre las superficies de contacto en el terreno sobre el cual reposa.

La importancia entonces de una cimentación se revela por sí misma en virtud de que ninguna estructura puede subsistir sin una cimentación adecuada.

Cuando las superficies o capas superficiales son demasiado débiles, hay que profundizar la cimentación hasta alcanzar capas más resistentes, si es que éstas se encuentran próximas.

En el caso que nos ocupa, (cimentaciones de las edificaciones mayas), se puede considerar que los rellenos y basamentos descritos en el tema anterior constituyen los cimientos de las estructuras y al ser de un tamaño monumental en sus superficies de sustentación cumplen ampliamente su función.

Un claro ejemplo de esto lo encontramos en Chichen Itzá, en el Templo de los Guerreros; las columnas que soportaban pesadas cargas no tenían más cimentación que la gran masa general de piedras constituyentes del basamento, mismo que proveía un área más que suficiente de soporte para esas concentraciones de cargas.

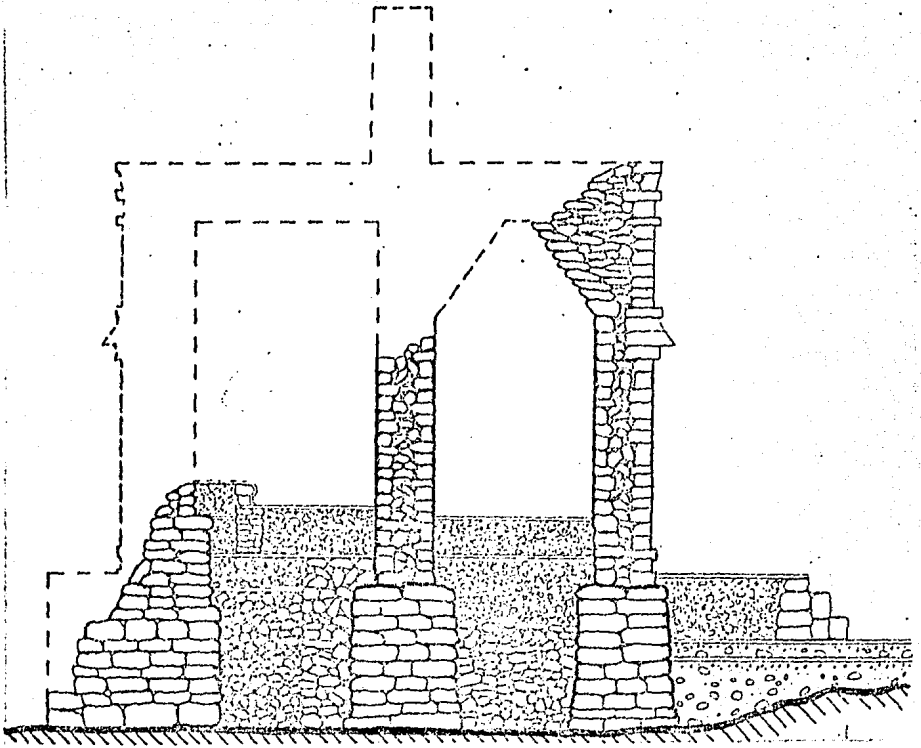
Sin embargo, se han desarrollado estudios en excavaciones que muestran el criterio maya para solucionar sus cimentaciones.

Probablemente, el término correcto pueda ser " ampliaciones de base de los apoyos ", siendo éstas las que transmiten las cargas al terreno.

Como ejemplo de lo anterior citaré a la excavación realizada en la zona de Río Bec, en el sitio de Chicanná, en la estructura II. Esta investigación fué realizada por Jack Eaton en 1970; en este caso se presenta la ampliación de la base de los apoyos o la cimentación de los mismos.

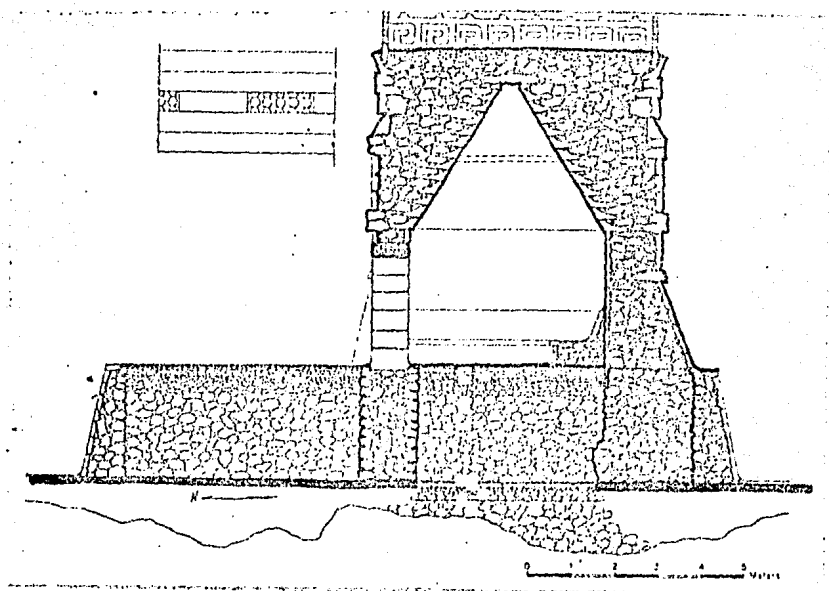
La figura siguiente muestra lo encontrado al respecto así como los criterios para rellenar e ir formando los distintos niveles de los pisos, tanto en el exterior cuanto en el interior.

La disposición o el acomodo de las piedras, denota la intención cabal de aumentar la sección de los apoyos verticales para descargar sobre el terreno resistente el peso de la edificación.

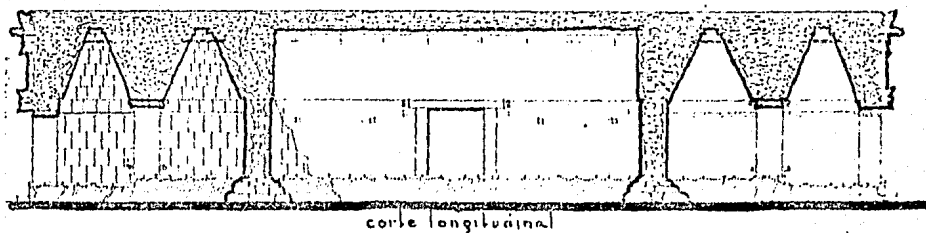


0 1  
metro.

Chicanná, Estructura II, corte en el lado norte  
( Jack Eaton 1970)



CHICHEN ITZA. El Mercado



UXMAL. Casa de las Tortugas  
Según Manuel Anábilis Domínguez.  
" ARQUITECTURA PRECOLOMBINA EN MEXICO".



Un carácter arquitectónico que es universal en todas las culturas y que persistió a través del tiempo sin modificaciones es la tendencia a elevar templos y edificios mediante grandes basamentos o espaciosas terrazas.

Gran parte de la belleza de los edificios no solo mayas sino prehispánicos en general, descansa en la definición de los espacios exteriores, realizados por la magnitud de sus basamentos y/o las terrazas claramente definidas. Ahora bien, la misma forma o silueta de las edificaciones nos comunica la intención de elevación hacia el cielo rompiendo la horizontalidad y la ampliación de las bases hasta llegar al terreno. Cuando estas bases sobresalían del terreno, los núcleos de piedras acomodadas siguiendo un ángulo de reposo o de talud natural en sus primeras edificaciones y a plomo en las posteriores, eran revestidas con sillares de piedra labrada y recubiertos con estuco.

## A P O Y O S            C O R R I D O S .

El hablar de apoyos corridos es sinónimo de hablar de muros, entendiendo por muro a un elemento vertical de carga o divisorio que en el primer caso transmite las cargas de las techumbres o de los niveles superiores, de las bóvedas, etc., a la cimentación.

Podemos considerar que en general, en la zona maya existieron dos tipos de muros, los de la arquitectura doméstica y los de los edificios ceremoniales. ----- De la primera clasificación sabemos, que los muros se construían a base de morillos y varas, mismos que soportaban las techumbres de paja.

Para la construcción de sus templos, preferían naturalmente materiales más duraderos tales como la piedra y la piedra con mezcla, los cuales garantizaban la perdurabilidad deseada, no así inicialmente cuando eran materiales perecederos.

Terminados los basamentos, se levantaban los muros probablemente, en una primera etapa hasta cierta altura para permitir la colocación de dinteles y se hacía una obra falsa de madera que servía como una especie de andamio muy útil para la edificación de la bóveda. Este procedimiento lo describiré más adelante en el capítulo referente a las bóvedas.

La edificación maya evoluciona desde los primeros muros revestidos con gran des piedras mal ensambladas y burdamente pulidas, como las que se encuentran en Oxkintok o en Uaxactún, llegando a manufacturar muros mejor alineados,

más ligeros y trabajados con piedras ensambladas y pulidas más finamente, revestidas con estucos más delgados, como se encuentran en Palenque.

En otros sitios hubo muros muy gruesos y robustos, especialmente los exteriores en relación con las estrechas crujías del interior; como en Tikal y en Yaxchilán y en otros más como en Uxmal, Sayil, Labná y Chichen Itzá, muros revestidos con sillares de piedra más pequeños, pulidos y ensamblados y más delgados, perfectamente realizados a cordel o a reventón.

Algunos de estos muros enunciados anteriormente, tuvieron de 1 a 2 metros de espesor como en Uaxactún, otros con grosor de más de 3 metros como en Tikal y unos más como en la costa del Caribe, en Tulúm, cuyo máximo espesor es de 1 metro.

A través del tiempo, durante las distintas etapas de la cronología maya, el tipo de trabajo tecnológico de edificación fue cambiando. Intentando definir o describir cada uno de los diferentes tipos de manufactura de muros, se puede considerar lo siguiente:

Existieron fundamentalmente cinco tipos de mampostería, a saber:

- a) Corazón o núcleo de piedras sin cantear, toscamente realizado, recubierto con una capa de estuco; v. gr. en Uaxactún.
- b) Piedras planas labradas burdamente, apoyadas y ligadas a una capa gruesa de mortero con todas las superficies estucadas bellamente, como en Palenque, en

el Palacio.

c) Bloques bien canteados, no muy pulidos, ligados con mortero fino como lo vemos en la Casa de las Monjas en Chichen Itzá.

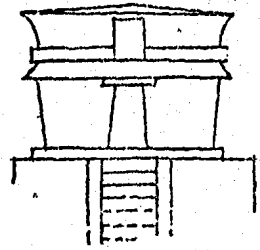
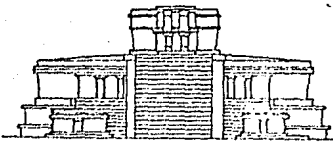
d) Corazón o núcleo de concreto chapeado con piedras finamente cortadas y labradas, tales como las del Palacio del Gobernador en Uxmal.

e) Muros realizados con toba, como se encuentran en Copán.

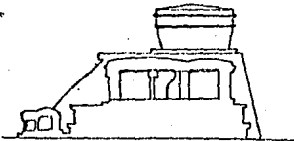
Utilizando alguna de las técnicas constructivas anteriores, se llegaron a manufacturar muros cuyo paramento exterior fué ligeramente desplomado; este desplome, según algunos criterios, se realizó para obtener un efecto de perspectiva y para crear áreas en sombra y otras en sol, para destacar los relieves.

Otros autores afirman que el objetivo fue probablemente facilitar el desagüe o escurrimiento rápido del agua de lluvia para evitar que se dañaran las pinturas que sobre los estucos estaban en las esquinas de los edificios, como lo encontramos en el sitio de Tulum. El caso es que con el mismo criterio de la bóveda en saledizo se fué construyendo el desplome de dichos muros.

TULUM.

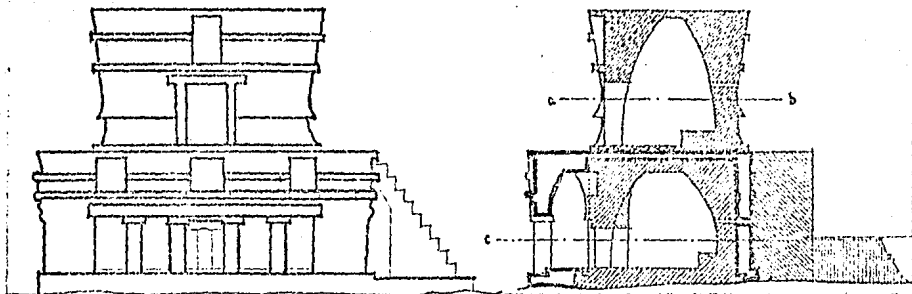


Templo del Dios Descendente



El Castillo.

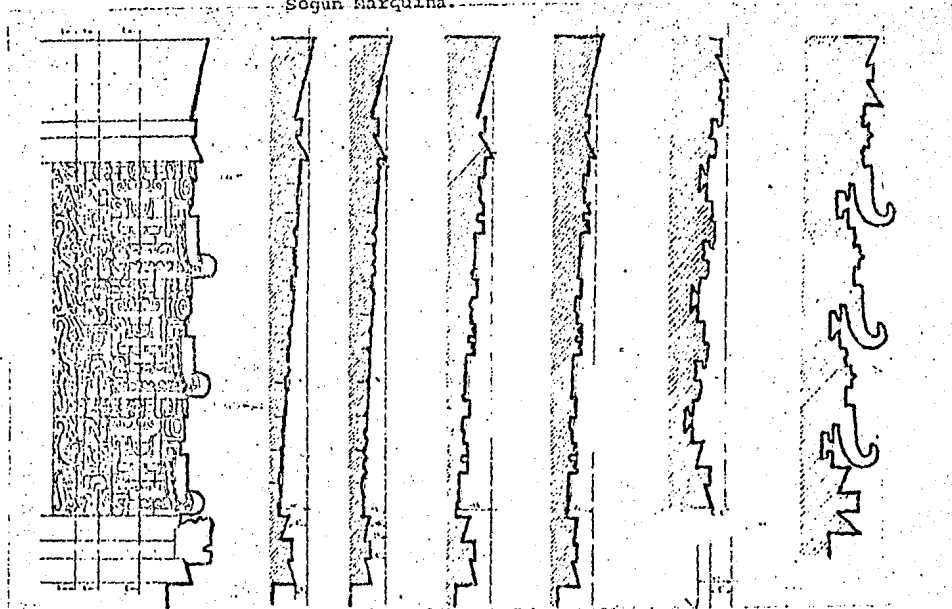
Según Marquina.



## TULUM.

Templo de los Frescos.

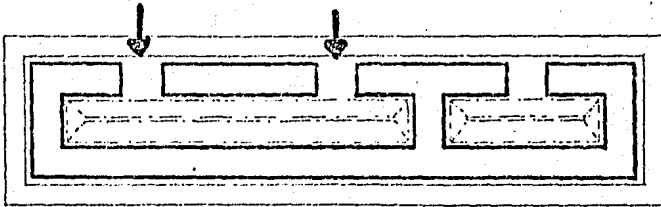
Según Marquina



Uxmal, Cuadrángulo de las Monjas, Edif. Oeste  
Según Frans Blom.

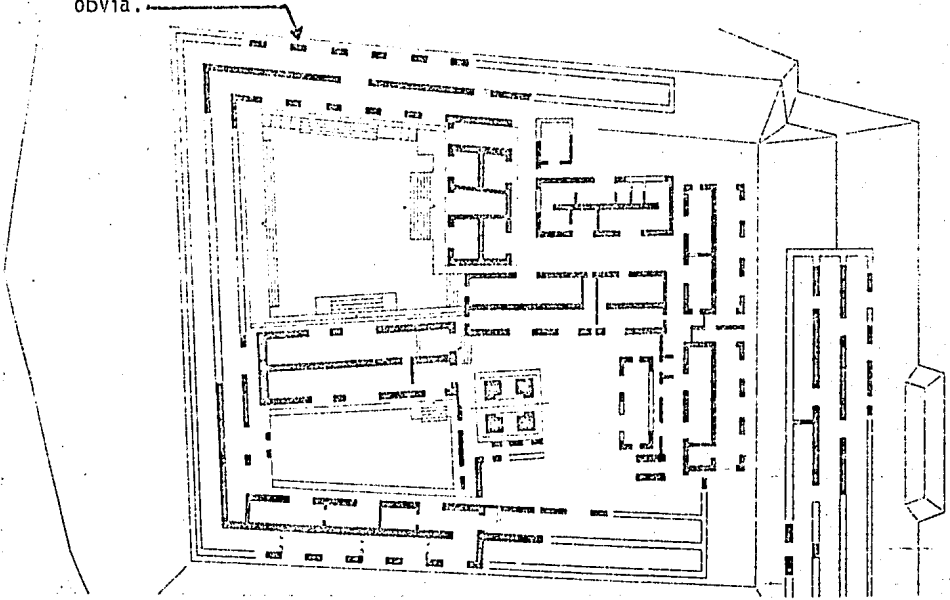
## PILARES Y COLUMNAS.

Inicialmente, como ya se ha mencionado, los muros fueron muy gruesos y burdos y a medida que el tiempo transcurría y la tecnología de la edificación maya evolucionaba, la sección de estos elementos arquitectónicos disminuía propiciando en cierta forma un refinamiento muy especial. Como vimos, existieron muros tan gruesos que la desproporción entre ellos y los claros interiores era total como en Tikal, en donde únicamente existían los pequeños vanos para dar acceso al espacio interior. Ahora bien; a mi modo de ver, cuando en una misma crujía se abrían dos accesos se comenzó a gestar la idea o el concepto de apoyo aislado. Con el ejemplo siguiente se comprenderá la idea, es la estructura S de Nakum.



NAKUM  
Estructura S (según Marquina.)

La evolución de este concepto arquitectónico-estructural la encontramos en Palenque, en el Palacio, en donde la relación entre macizos y vanos es obvia.



La apertura de vanos cada vez más próximos entre sí a lo largo de un mismo muro, fue propiciando la creación de este tipo de elemento estructural y arquitectónico, los apoyos aislados.

Los macizos o partes de muro que quedan entre las puertas, cuando éstas se encuentran muy próximas una de la otra, responden al concepto de pilares. Estos pilares en cuanto a su manufactura eran hechos en forma similar a los muros y su proporción francamente rectangular. En algunos sitios, como se aprecia en la figura anterior, la relación entre sus caras es de 1 a 2 ó 3.

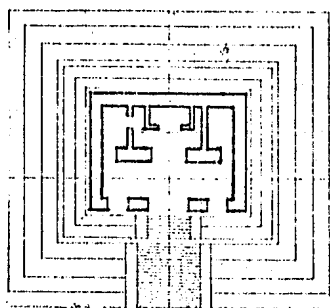
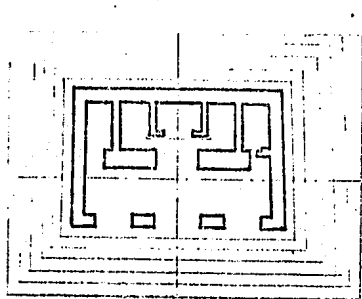
Planta del Palacio de Palenque

Según George Andrews

Maya Cities, Placemaking and Urbanization.



Sin embargo; en el mismo sitio pero en otras edificaciones podemos observar que ésta proporción de la sección de los pilares cambia; se trata de los Templos de la Cruz y del Sol, en los que la entrada está perfectamente -- marcada por dos pilares cuya relación entre sus caras es de 1 a 1.5 .

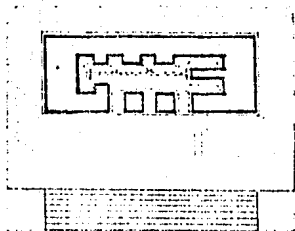


PALENQUE

Templo de la Cruz  
Según Marquina

Templo del Sol.  
Según Marquina.

En Yaxchilán encontramos ejemplos de pilares con sección en proporción de 1 a 1.



YAXCHILAN  
Estructura 39  
Según Marquina.

La proporción de estos apoyos aislados, como se vió fue variando hasta llegar francamente a convertirse en columnas, lo anterior es en cuanto a proporción mas no en cuanto a manufactura, pues los pilares fueron hechos con elementos o piedras pequeñas relativamente, y los que conocemos como columnas tienen características constructivas muy distintas. La aparición de estos elementos fue probablemente por el siglo 8 de nuestra era.

Entendemos por columna un elemento arquitectónico de fuste cilíndrico que realiza funciones de sostén y en ocasiones de decoración. La estructura en su organización produce que las distintas cargas que actúen sobre ella se transmitan y se concentren en las columnas para que éstas a su vez conduzcan dichas fuerzas a niveles inferiores o a la cimentación.

En la zona maya, encontramos diversos tipos de columnas distribuidas según la cronología, la ubicación del sitio, la geografía etc. .Las hay monolíticas, con sillares, con bloques, con núcleos de mampostería, de diámetros variables ---- esbeltas, con tambores rajueleados, lisas o integradas con escultura, con basa y capitel y con capitel solamente.

La columna como tal fue desconocida en la región del Petén y es en la cuenca del Usumacinta en donde podemos ubicar el uso de los pilares y de allí hacia el norte, en la península su desarrollo completo, cuya única excepción conocida se encuentra en Lacanjá, Chiapas.

Las primeras columnas fueron realizadas en mampostería a base de lajas como encontramos en los edificios de Río Bec, más adelante la columna fue corta-

da o labrada en un bloque de piedra de una o dos piezas marcándole ----- en algunos casos un éntasis bien logrado. En estos casos se realizó un capitel pero no así una basa, esta tipología de columnas la encontramos en la región del Puuc, en sitios como Kabáh, Labná, Sayil, Chacmultún, etc. como se aprecia en la pag. 52.

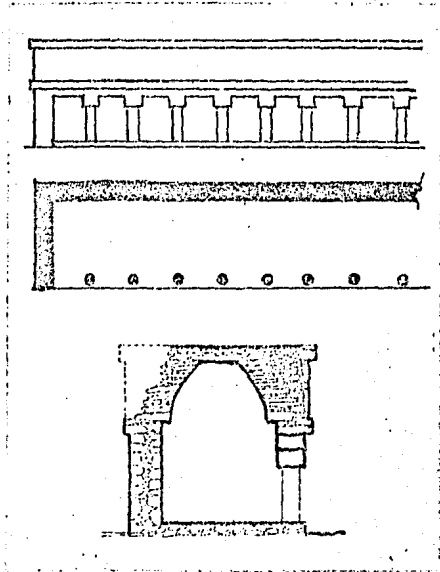
Posteriormente mas al norte, en la zona maya tolteca el desarrollo de las columnas se realizó de acuerdo a las características citadas en el párrafo anterior.

En Chichen Itzá, por ejemplo, las bóvedas no se apoyaban o descansaban sobre muros, sino que descargaban sus esfuerzos sobre vigas soportadas por columnas o pilares marcando las aportaciones arquitectónico-estructurales consistentes en corredores porticados, penetraciones del exterior hacia el interior, salas hipóstilas, fachadas abiertas, etc.

En la planta baja del llamado Templo de los Guerreros de Chichen Itzá, se tiene un ejemplo claro de la composición del espacio interior en cuatro hileras de pilares ( 61 elementos ) colocados perpendicularmente al eje -- principal del edificio. Las bóvedas descansaban sobre estos elementos constituyendo una creación arquitectónica en la cual el enorme peso descargaba sobre los elementos verticales hechos de bloques superpuestos.

Se puede establecer que la aportación que propiciaron estos elementos estructurales fue fundamentalmente la gran superficie cubierta para un mismo espacio arquitectónico.

SIHUNCHEN, YUC.  
Según E. Wyllys Andrews IV



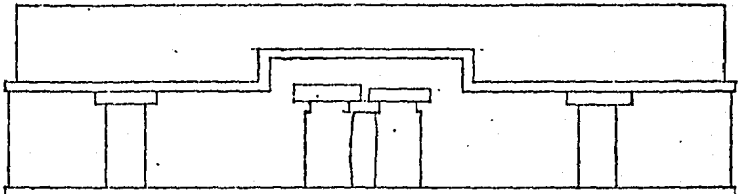
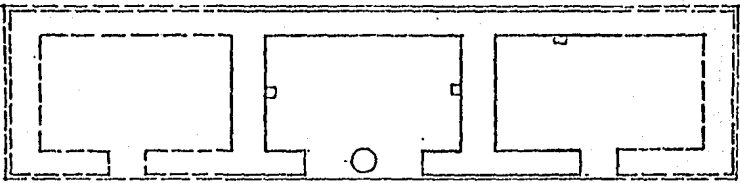
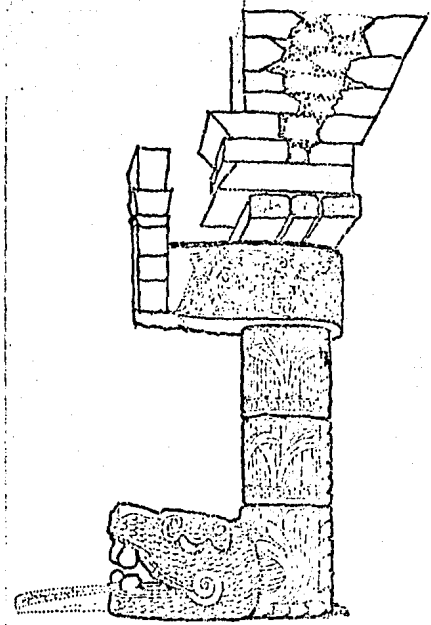
FACHADA, PLANTA Y CORTE.

La evidencia arquitectónica indica que este edificio fué realizado probablemente entre el clásico temprano y el clásico medio aproximadamente por el 600 de nuestra era.

Las columnas de sección circular y de tipo cilíndrico, se consideran como antecedentes de épocas de florecimiento posterior.

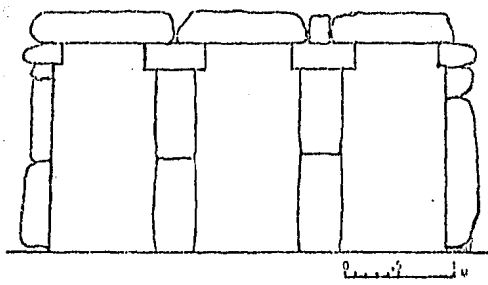
CHICHEN ITZA  
Juego de Pelota

Según George Kubler.  
Serpent Column Portals  
in Yucatan and Mexico.



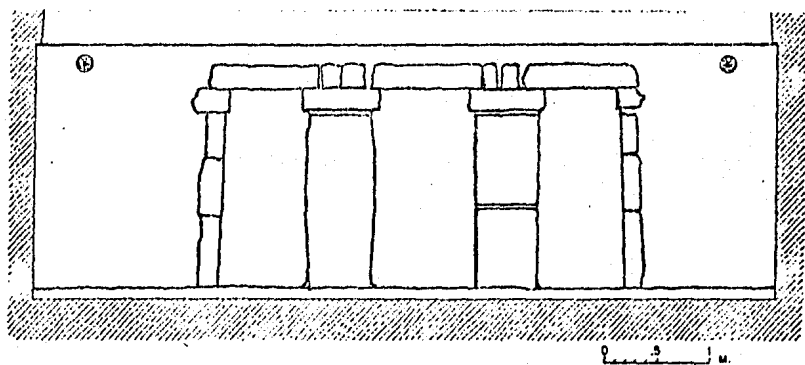
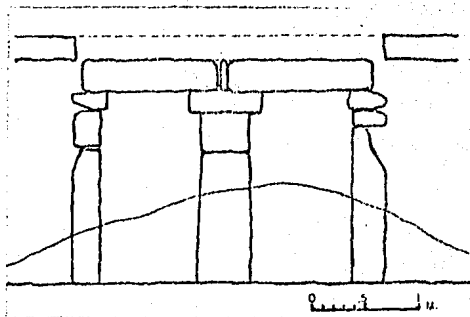
KABAH Estructura A15

Según G. Andrews.



LABNA  
Estructura 1  
acceso al cuarto 59

LABNA  
Estructura 11  
acceso al cuarto  
12



SAYIL Estructura 2B1

Según H. E. D. Pollock

"The Puuc" an Architectural Survey of the hill  
Country of Yucatan and Northern Campeche.

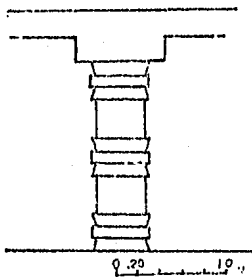
Resulta interesante retomar el punto en el que se lleva la transición de pilares a columnas en virtud de que la sensación espacial es diferente. Consideremos que la perspectiva que ofrecen muchos pilares alineados da la impresión de ser superficies de muros, mientras que las columnas ( sección circular ) producen una sensación de más libertad en el espacio -- pues la visuales son más libres que cuando existen pilares.

Conviene también destacar la proporción de las columnas, v. gr. en el Palacio de Sayil, los fustes de las columnas no eran más altas que tres veces su diámetro, en el edificio de las mil columnas de Chichen Itzá, la proporción o relación entre ancho y alto es de 1 a 4 y en el Mercado es de 1 a 8.

Además de la proporción entre base y altura de las columnas, de su relación de esbeltez, es interesante meditar un poco sobre la separación entre columnas, pues nos encontramos casos como en el Palacio de Aké en el que las columnas de 1.20 mt. de diámetro aproximadamente están separadas 4.5 mt. una de la otra, en el Templo de los Guerreros, su separación es de 2.5 mt. en la planta baja y en la planta alta 4 mt. en Sayil 1.5 mt.; esta separación o intercolumnio dependía de los sistemas constructivos y de los materiales con los que se contó en los diferentes sitios, v. gr. los dinteles de madera o de piedra, pues los claros eran salvados por ellos.

Otro aspecto muy interesante es el de que muchas columnas en varios sitios poseían decoración; en algunos casos ésta se hacía sobre el recubrimiento o chapeo de los sillares, en otras como por ejemplo en el Templo de los Guerreros cada bloque o sillar era cuidadosamente labrado; en sitios como Kiuic, las columnas llevaban un engrosamiento de la sección en forma de -

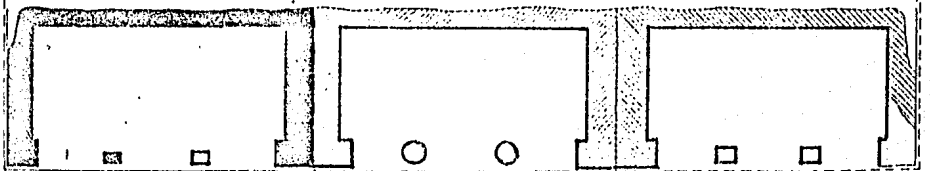
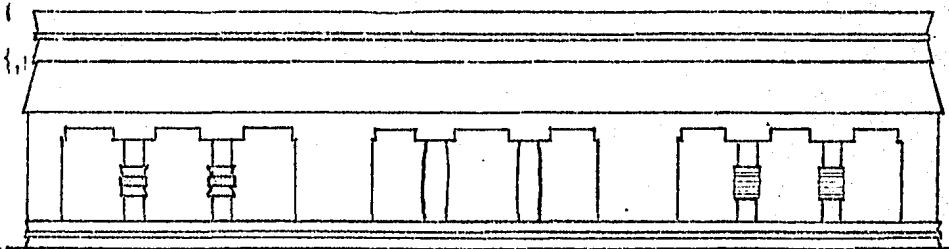
atadura en el fuste; es decir que aprovechaban además de la función estructural a las columnas para cierta ornamentación de las edificaciones.



XCOCHKAX



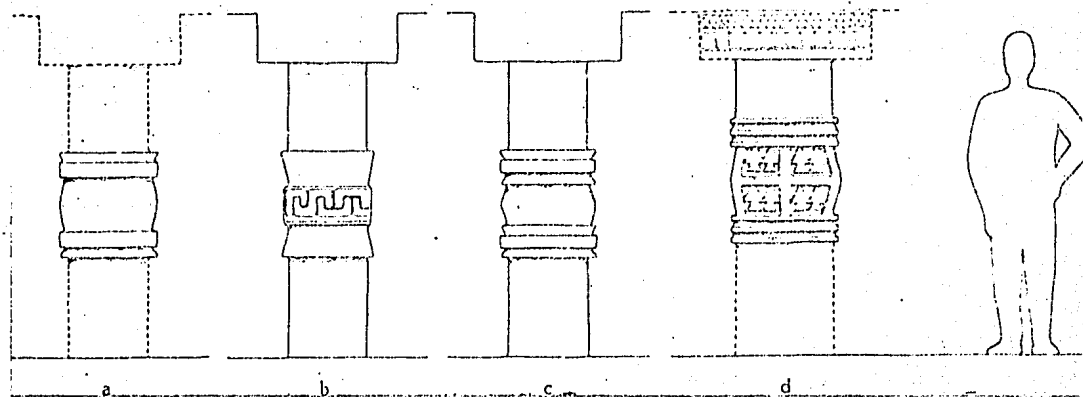
0 .10 .20 30



KIUC, Grupo 2, Estructura 1.

Según H.E.D. Pollock "The Puuc".





### KIUC

Pilares fajados  
con "barriles" o "ataduras"  
o "diamantes" en relieve.

Edificio 1 Gpo. 1 a  
Edificio 1 Gpo. 2 b,c  
Edificio 1 Gpo. 3 d

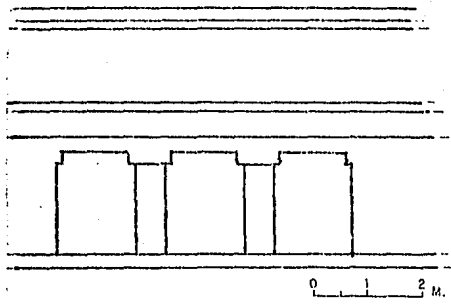
Según Paul Gendrop.

Uxmal, Grupo de las Columnas  
pilar rectangular de sección  
encontrado entre las ruinas  
de la techumbre.

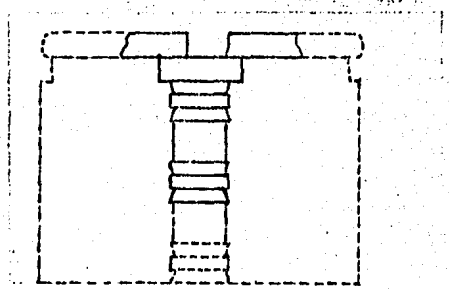


0 1 M.

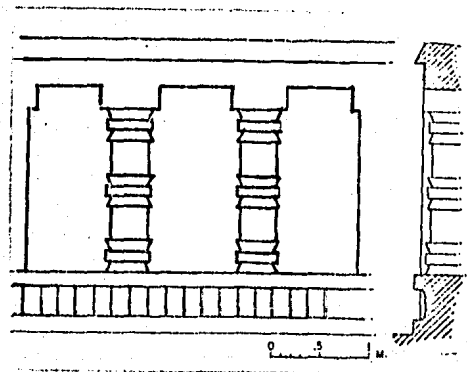
Según. H.E.D. Pollock.



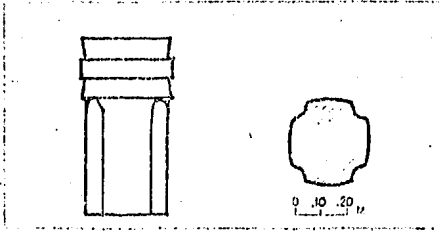
XCOCHA



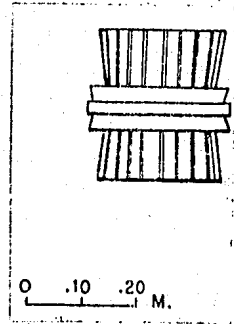
ITZIMTE.



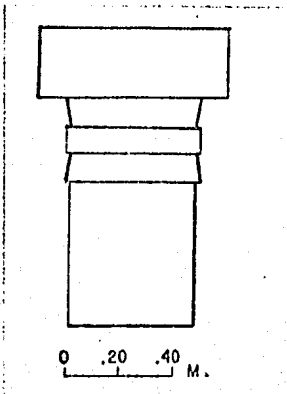
NAOX.  
 Estructura 1  
 Según H.E.D. Pollock.  
 "The Puuc".



LABNA  
Estructura 1  
elevación y sección de una  
columna estriada.

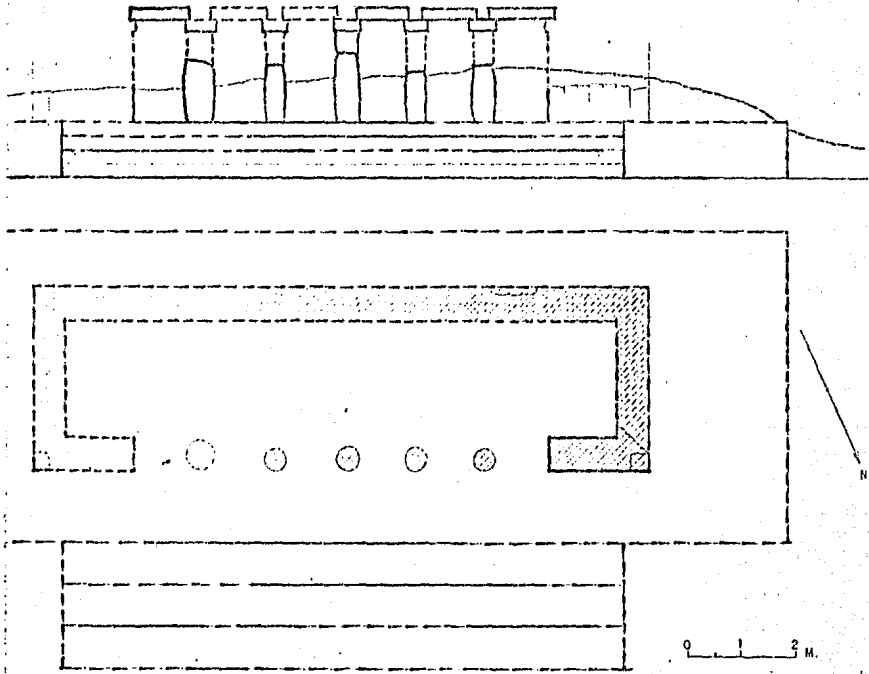


POMUCH.  
Elemento de columna  
seccionada.



KANKI.  
Grupo norte, edificio Sur  
fuste y capitel.

Según H.E.D. Pollock.  
" The Puuc".

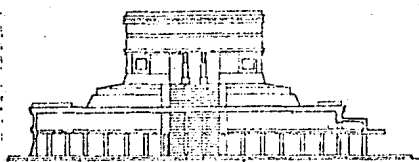


SABACCHE.

Estructura 4 .

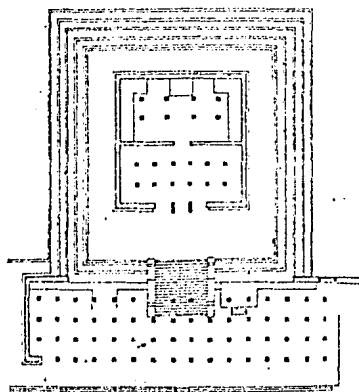
Según H.E.D. Pollock.

" The Puuc".

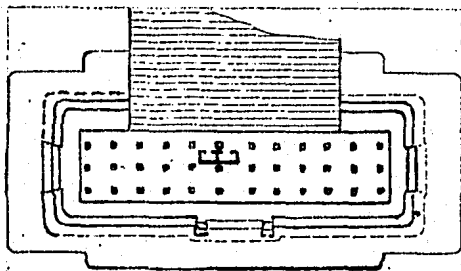
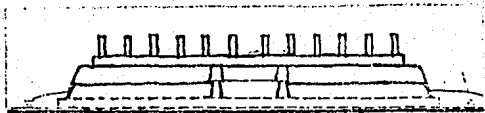


CHICHÉN ITZA  
Templo de los Guerreros.

Según Pierre Ivanoff.  
Monuments of civilization maya.



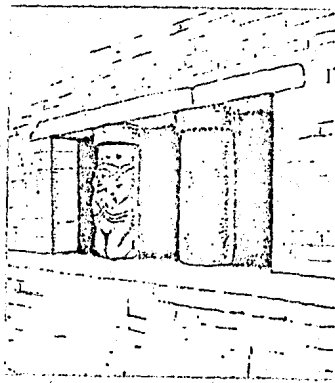
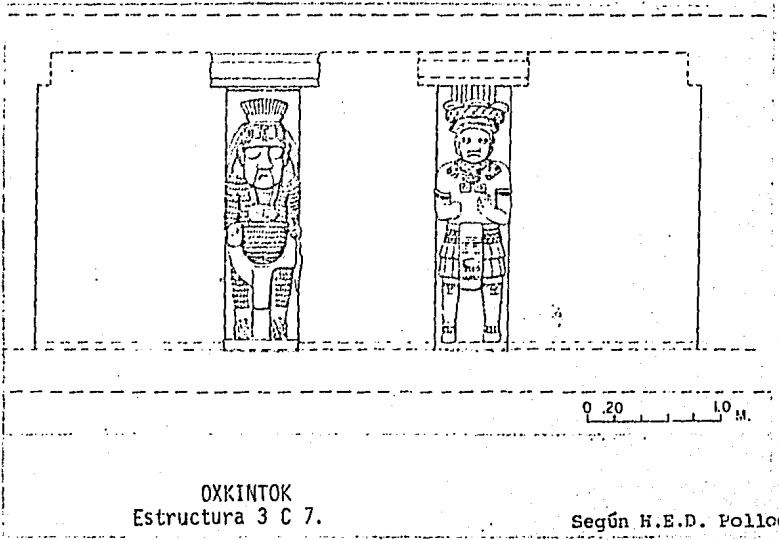
0 5 10 20



AKE, Yuc.  
Estructura 1.

Según Lawrence Roys  
y Edwin Shook.

0 5 15 30



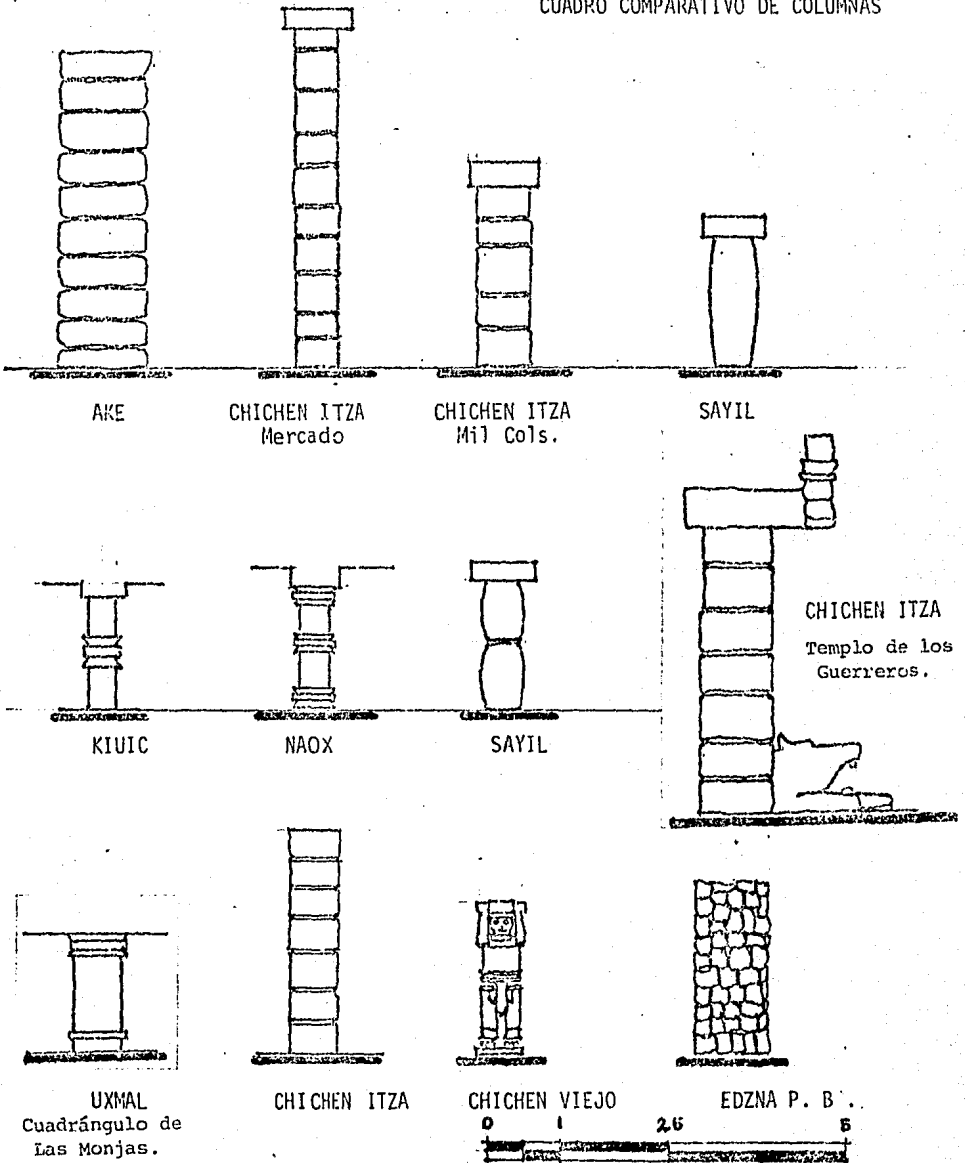
YAXCOPOIL.

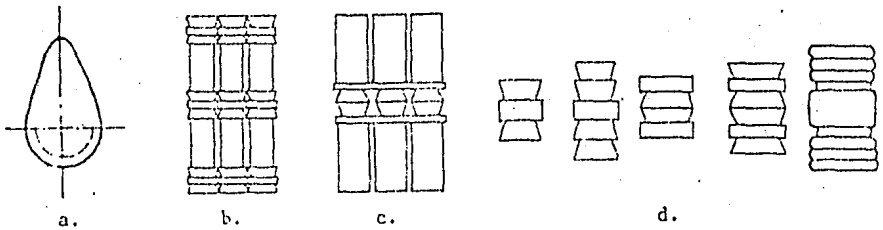
Sobrevivencia tardía  
de columnas labradas

Aposento 7 del Aka'ná.

Según Paul Gendrop.

CUADRO COMPARATIVO DE COLUMNAS





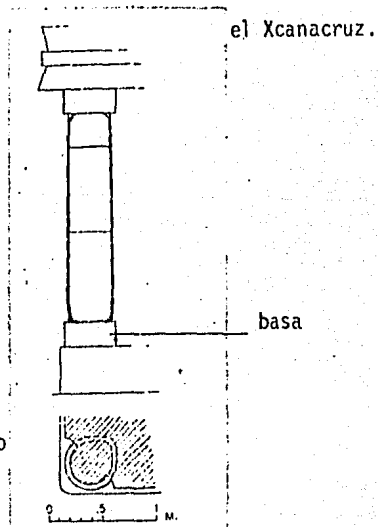
Según George Andrews, Puuc architectural styles, a Reassessment.

a. sección típica de columnillas o junquillos. CHUNCATZIM Estr. 1

b. y c. junquillos fajados.

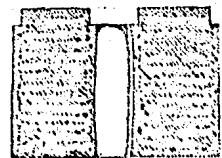
d. diversos perfiles de ataduras.

Planta y alzado de una columna embebida o empotrada ubicada en esquina en planta baja de un edificio



llamada por Pollock "columna de tres cuartos"  
en su libro "The Puuc" p. 58

Es conveniente aclarar que éste tipo de columnas es diferente al de las que se encuentran exentas, pues éstas últimas carecen de basa y tienen un marcado éntasis acusado en el fuste.

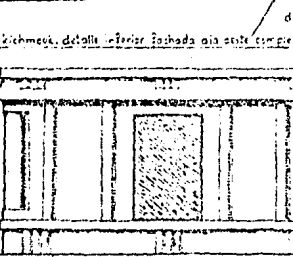
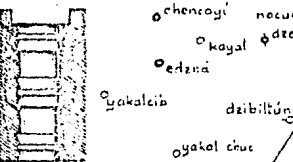
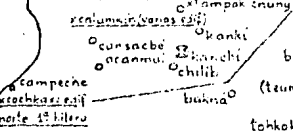
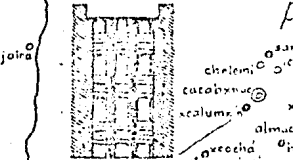


Según Paul Gendrop.

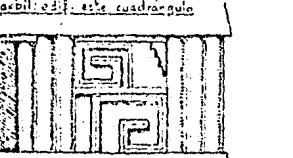
"Los estilos Río Bec, Chenes y Puuc". 1983



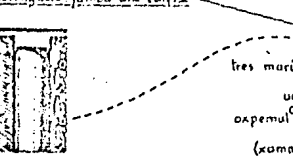
o indeterminada y columnas entrecruzadas con capitel y usualmente, en base en ángulos o quiebres de cruces (o excepcionalmente como en el E.I. II de horiguera, en calidad de jambas de puerta) o columnas o columelillas embebidas, sin base ni capitel, en paramentos de fachada (o, eventualmente en las jambas de una puerta) o columnas o pilares provistos de capiteles en forma de "aladuras" o pilares o columnas fajas hacia la parte central... y, eventualmente, les extremas... de su fuste con esculturas en forma de "aladuras", "barrales" o "diamantes" o entrecruzadas de columnas de fuste cilíndrico o abombado, con capitel usualmente paralelepípedo... Paul Gendrop.



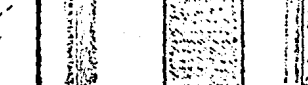
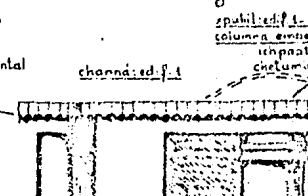
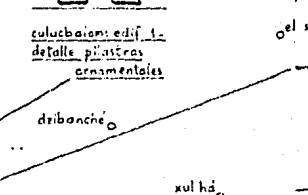
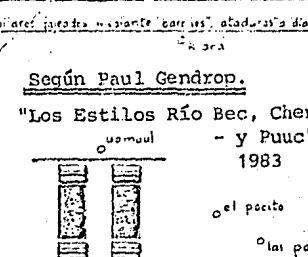
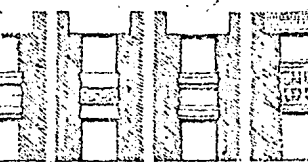
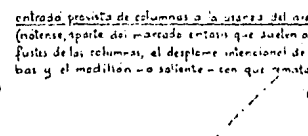
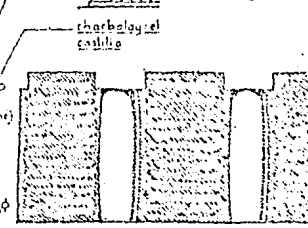
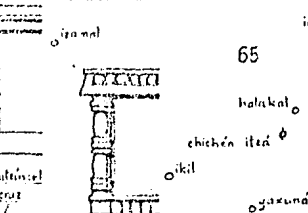
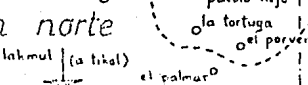
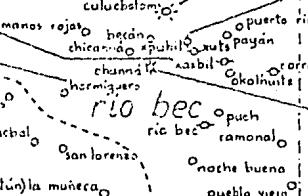
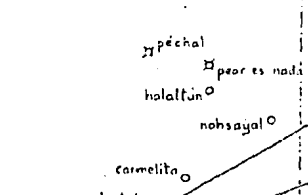
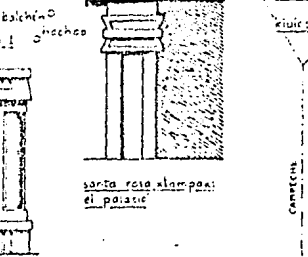
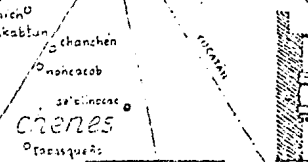
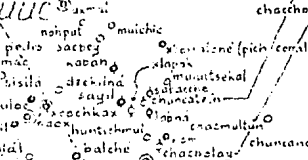
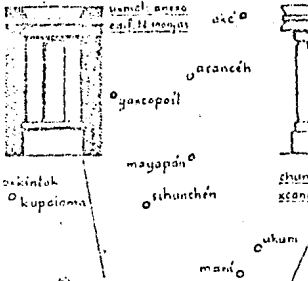
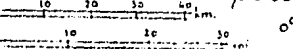
acabil: edif. este cuadrángulo



horiguera: jamba ala edif. II



escalas: aproximadas:



puuc

chenes

rio bec  
petén norte

Según Paul Gendrop.  
"Los Estilos Río Bec, Chenes - y Puuc"  
1983

uomul  
el picito  
las panteras  
el suspiro

culucbaion: edif. 1.  
detalles: pilares  
ornamentales

péchal  
peor es nada  
holallún  
nohsayal  
carmelita  
culucbaion  
puerta rico  
hegán  
chicán  
channá  
horiguera  
tres marías  
uaacbal  
oxpemul  
samanlún la muñeca  
colahmul (la tikal)  
el palmar

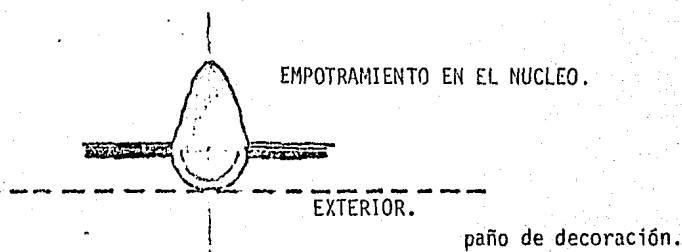
channá: edif. 1  
xul há  
spuhil: edif. 1. detalle  
columna embebida  
uchpatun  
chelum: edif.

COLUMNAS SIMULADAS,  
EMBEBIDAS O EMPOTRADAS

Las columnas no solo se utilizaron como apoyos aislados sino que en algunas regiones como en el Puuc, principalmente fueron motivo de decoración exterior, es decir en fachada, pero al no tener función de recibir las concentraciones de cargas se adosaron a los muros creando una tipología que George Andrews bautizó con el nombre de "Estilo Columnar o de Columnillas" (Columnar style, Colonnette style).

Esta tipología de edificios recibió así su nombre en función de que se trata de describir el uso de formas distintas en diversos tipos de mitades de columnas como elementos decorativos de las fachadas.

La sección o corte en planta de estas columnas adosadas, es la siguiente:



Hacia la cara exterior, la piedra era cuidadosamente labrada en semicírculo mientras que en la otra parte se dejaba un perfil que semeja una espiga, misma que se empotraba en el corazón o núcleo de la edificación.

El trabajo de tallado de la piedra fue diverso y veremos algunos tipos de este labrado.

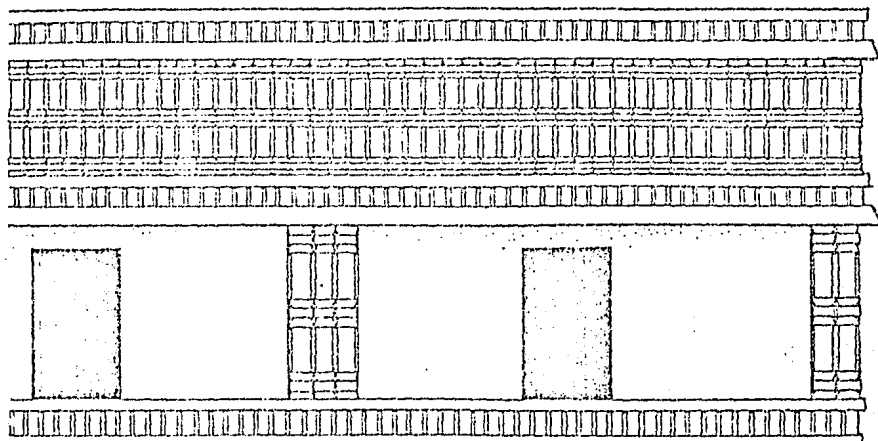
a) Edificios con filas continuas de junquillos lisos o con ataduras en la parte superior de los muros, como en Kabáh, Labná, Kiuic y Uxmal.

b) Construcciones con planos alternando con grupos de medias columnas en la parte superior de los muros, como en Kiuic y Yaxché-Xlabpak.

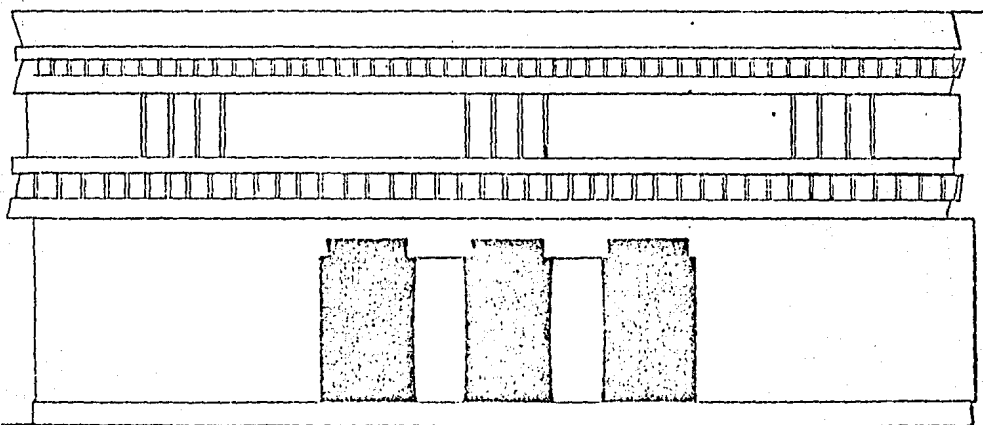
c) Edificaciones con muros inclinados en la parte superior con grupos de muro liso alternado con grupos de medias columnas. Ejemplos de ello están en Kabáh y Sayil.

d) Edificios en los que se combinan las medias columnas adosadas con pequeños tamborcitos como en Xkichmook, Chacbolay y Almuchil.

e) Edificios con junquillos o tamborcillos en la base o en la mitad de la cornisa, pero sin medias columnas en el resto de la fachada, como por ejemplo en Balché.



KABAH, Estructura 1C1

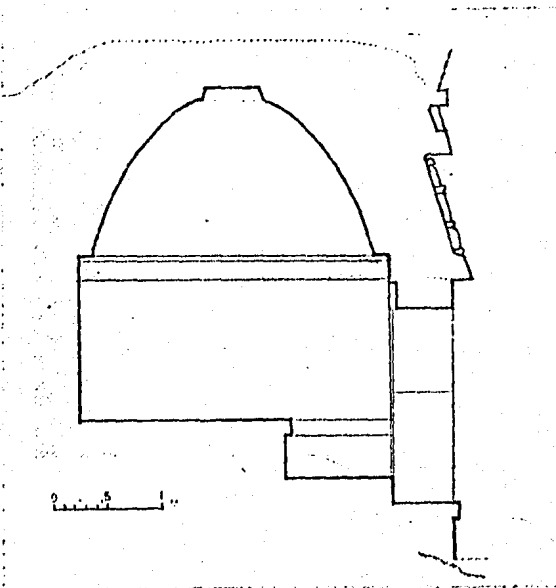
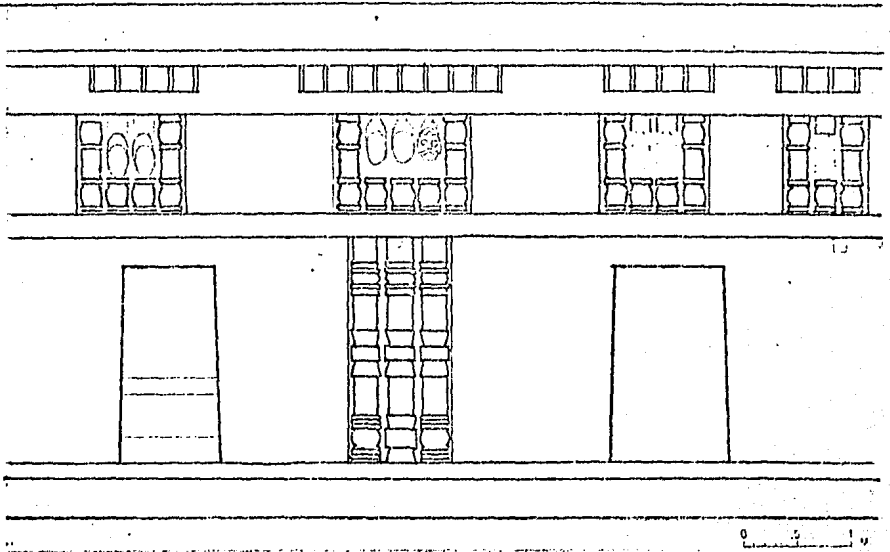


YAXCHE - XLABPAK

Estructura 1.

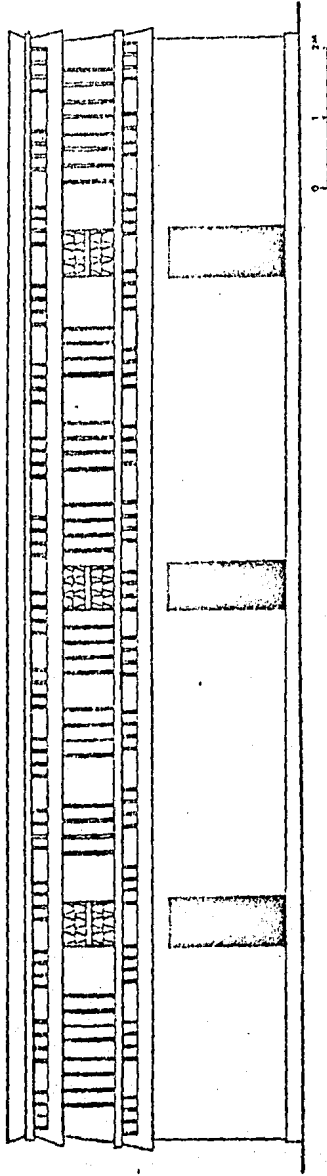
Según George Andrews.

"Puuc architectural styles a Reassessment".



SAYIL  
Estructura 1B2

Según H.E.D. Pollock.  
"The Puuc".



XXICHMOOK

Estructura II

Según George Andrews.

Xkichmook revisited Puuc vs. Chenes Architecture.

## D I N T E L E S .

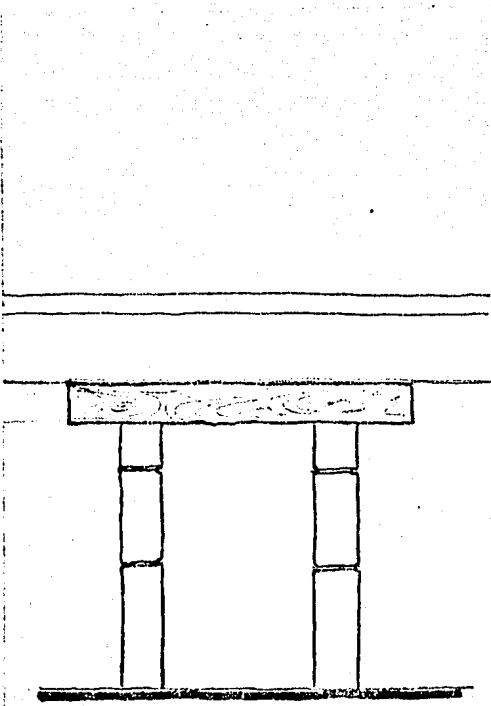
Recurriendo a su definición, dintel es un elemento arquitectónico, horizontal, que se apoya sobre jambas o columnas y se colocan sobre puertas y ventanas.

Los dinteles se componen de una sola pieza y en la zona maya fueron hechos con dos tipos de materiales; madera y piedra. Su función es la de soportar el peso de la techumbre al hacer una apertura en el muro de carga.

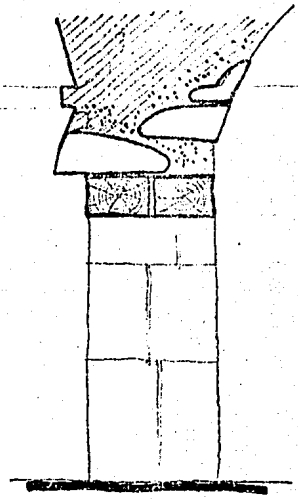
Si el dintel requerido era mayor de 90 cm . se tenía que realizar en madera ( madera de chicozapote ) y como material perecedero a través de los siglos falló con el consecuente colapso de muchos edificios. Sin embargo existen edificaciones, como en Uxmal y Chichen Itzá, que en la actualidad -- presentan los elementos de madera soportando el peso asignado por la estructura, siendo casi el único elemento arquitectónico realizado en otro material que no fuera la piedra, quizá porque no había grandes piedras o bien por tradición o por la dimensión del claro a salvar.

Los dinteles de madera se realizaron con una sola pieza en algunos sitios en otros se usaron dos secciones colocadas una junto de la otra como en la estructura 2B1 del tercer nivel en Sayil.

En Uxmal, en el grupo 22 edificio norte y en Oxkintok, estructura 3 B 5, encontramos 3 secciones de madera trabajando juntas.

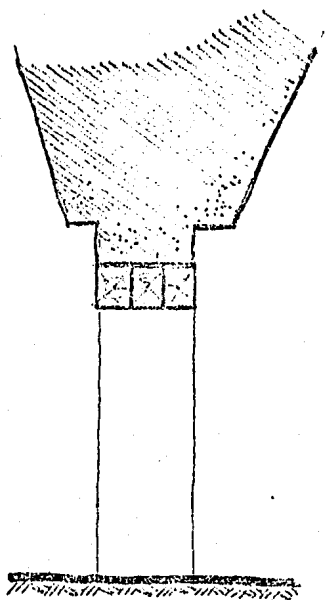


Sayil, Estructura 2 B 1



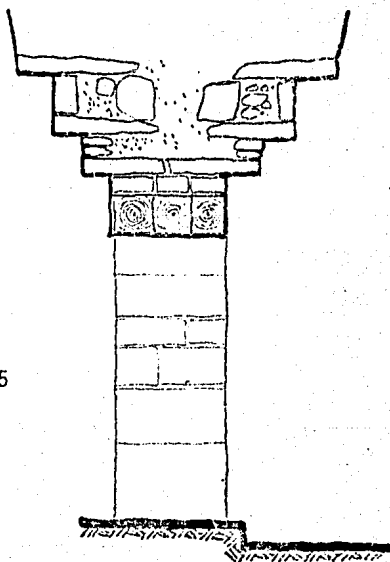
Tercer nivel





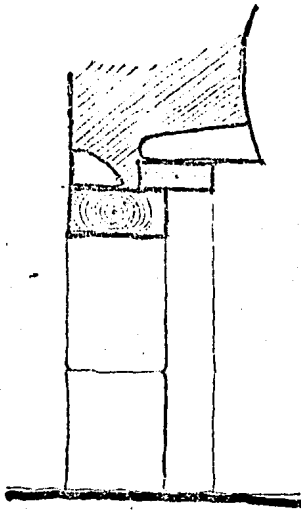
Uxmal, Grupo 22  
Edificio Norte.

Oxkintok, Estructura 3 B 5



Según H. E. D. Pollock  
" The Puuc ".

Otro criterio constructivo en el uso de dinteles de madera lo podemos analizar en la estructura 2A2 de Kabah, en donde encontramos una superposición de elementos provocando un remetimiento en los paramentos tal y como se aprecia en el croquis siguiente:



Kabah, Estructura 2 A 2

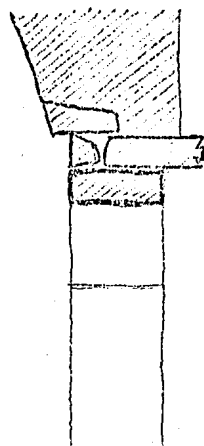
En algunos sitios se utilizaron dinteles de piedra aplicando los criterios generales, tales como los siguientes:

- a) Inclinar hacia el centro del claro las jambas como lo encontramos en Labná, consiguiendo una forma trapezoidal en los accesos.
- b) Provocar un saliente o modillón en el extremo superior de las jambas ( Yaxchilán, Puuc temprano).
- c). Utilizar columnas intermedias (Palacio de Sayil).

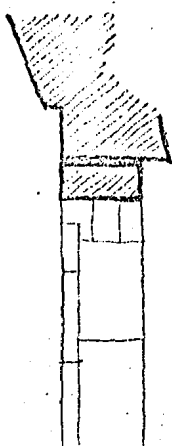
Las proporciones de las secciones de los dinteles pétreos, varían en general de 1 a 1.5 como lo vemos en Sayil, hasta la proporción de 1 a 4, - como en el edificio con Pinturas de Chelém o en la estructura 5 del sitio de Sabacché.

Sobre los dinteles se descargaba el peso de las bóvedas así como el de la estructura y las molduras y cornisas, además de proporcionar un apoyo para los perfiles pétreos empotrados en el corazón o núcleo como se verá en los croquis de las páginas siguientes.

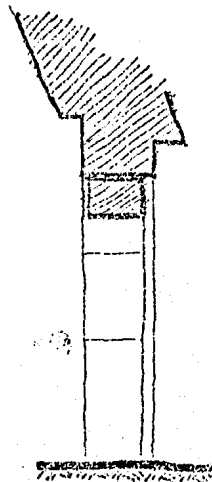
El uso de los capiteles proporcionaba además del coronamiento del fuste y una ampliación de la sección para evitar la penetración, una superficie para descansar encima de ella a los dinteles y al mismo tiempo para acortar el claro entre las jambas, ejemplos de ello los encontramos en los sitios de Sayil, Labná, Muluchtzekel y Kankí entre otros, mismos que en las figuras siguientes se presentan.



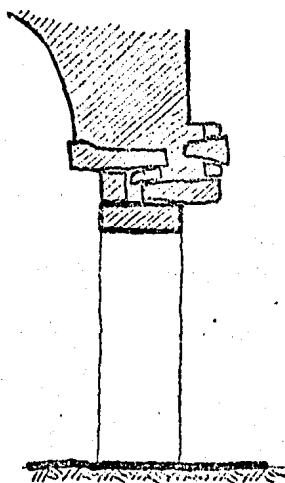
Sabacché , Estructura 5

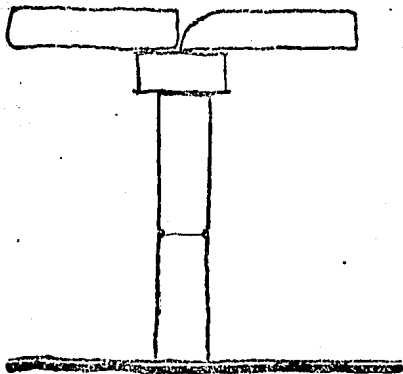


Sayil Estructura 4B2

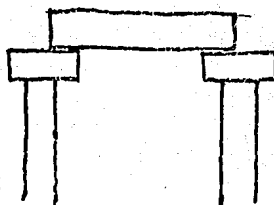


Chelemí.. Edificio con pinturas.



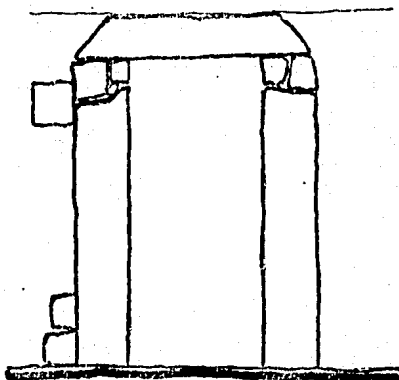


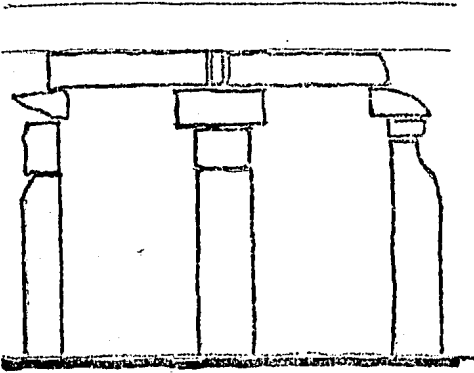
Labná, Estructura 1, Cuarto 59



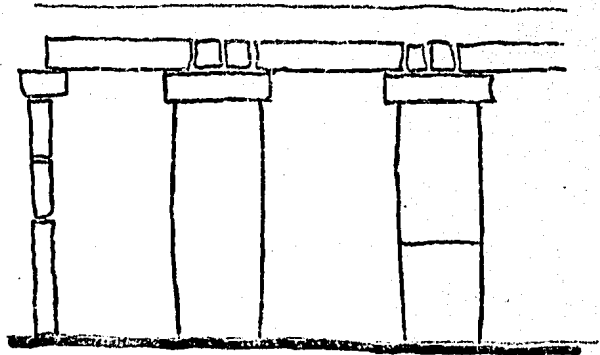
Kankí, Grupo principal  
Edificio este.

Xcalumkín.

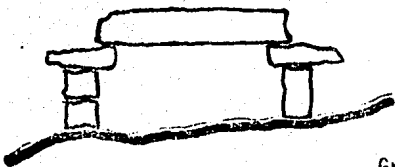




Labná, Estructura 11



Sayil, Estructura 2B1



Muluchtzekel  
Grupo Sur, Estructura Oeste.

Según H.B.D. Pollock

" The Puuc ".

En virtud de lo antes expuesto, podemos decir que es generalmente aceptado el hecho de que los dinteles de madera desplazaron a los de piedra en la medida en que los anchos o claros de las puertas lo necesitaban, (sobre todo en la región del Puuc). En el Petén y en río Bec la madera siguió siendo esencialmente la madera el material clave para construir los dinteles.

Ahora bien, es importante observar el hecho de que en toda el área maya, la falla de los dinteles fue la causa mas generalizada o común de las fallas de los edificios.

Con la falla de un dintel debida a sobrecargas, fallas en el material, quemaduras deterioros, plagas y otras razones, el soporte de la bóveda de un lado se perdía, por lo que la mitad de la sección de las bóvedas colapsaba.

Conviene destacar que, de acuerdo con Morris y algunos otros autores, "el uso de dinteles de madera no tenía ninguna ventaja sobre la utilización de los de piedra". El hecho de dar caras cuadradas a un tronco de chicozapote con herramientas primitivas era tanto como cantar una piedra, pero hay que considerar que la madera dadas sus características de peso volúmetrico, manuableidad y facilidad de explotación ofrecía ventajas para su uso.

## J A M B A S .

Recurriendo a su definición, entendemos por jamba aquel elemento estructural que se coloca a los dos lados de las puertas o ventanas de una edificación, con el objeto de sostener el dintel y transmitir las cargas de éste a niveles inferiores.

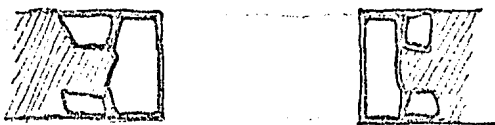
Este elemento, en la edificación maya fue realizado en piedra, ya sea de una sola pieza, de dos ó tres piezas ó como si fuese un muro. Su construcción fue por lo general a plomo, es decir vertical, pero en algunos sitios se determinó su edificación con un cierto desplome de la parte superior hacia el interior del vano.

El jambaje, es decir, el conjunto formado por las dos jambas y el dintel correspondiente, constituyeron en la arquitectura maya el marco de una puerta además de haber sido elementos estructurales claves en ciertas edificaciones para asegurar su estabilidad hasta los momentos actuales.

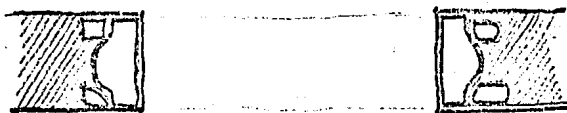
En las páginas siguientes, ----- analizo gráficamente los diversos ejemplos de jambas utilizadas con mayor frecuencia por los arquitectos mayas en sus edificaciones.



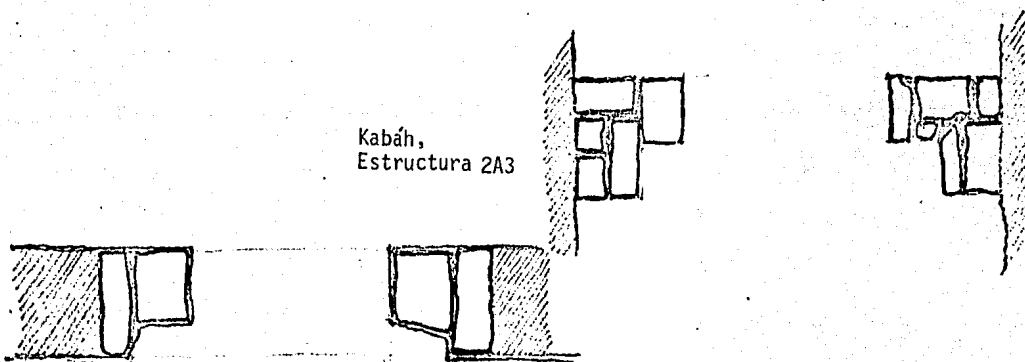
## DIVERSOS TIPOS DE JAMBAS.



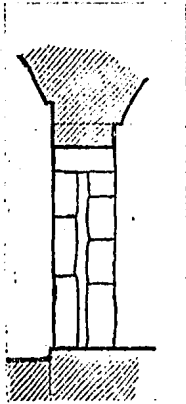
Muluchtzeke



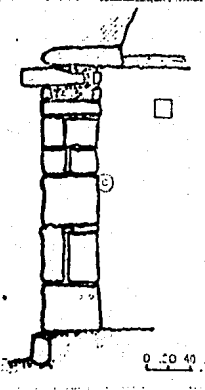
Kabáh, Estructura 2C6

Kabáh,  
Estructura 2A3

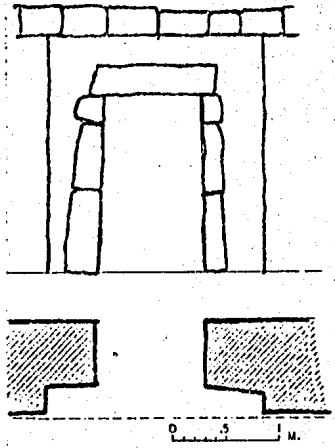
Labná, Estructura 1, Cuarto 17.



SAYIL  
Estructura 2B1

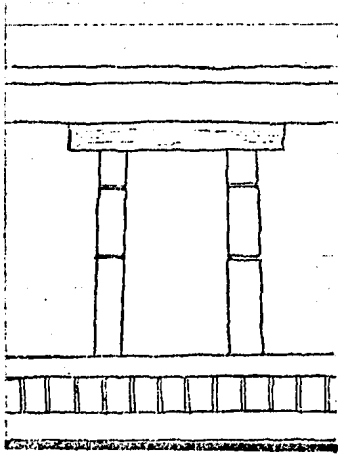


LABNA  
Estructura 1

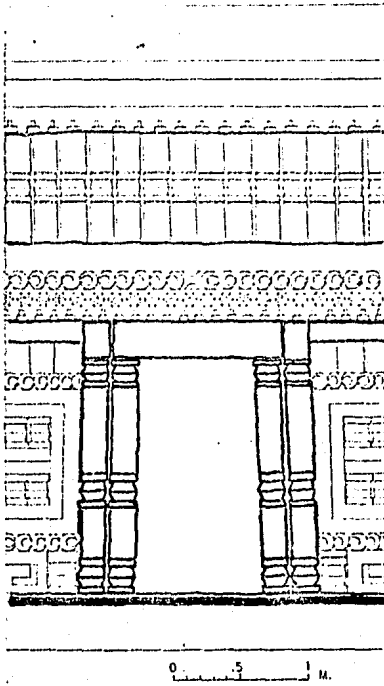


CACABXNUC  
Grupo Norte Edificio Norte.

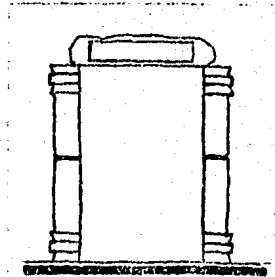
Según H.E.D. Pollock  
" The Puuc ".



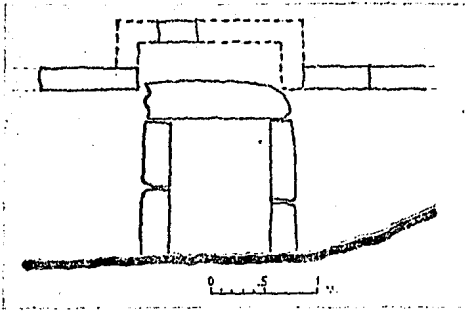
SAYIL  
Estructura 2B1



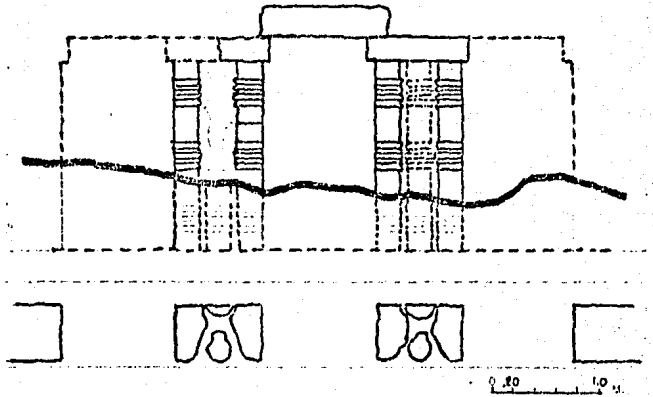
LABNA  
Estructura 11  
Según H.E.D. Pollock.  
" The Puuc".



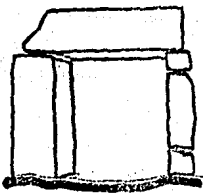
CACABBEEC  
Grupo Sur  
acceso a cuarto 1



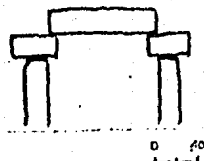
LABNA  
Estructura 4  
Cuarto 5



XKALUMKIN  
Gpo. Norte, patio norte  
Edificio Norte.



SABACCHE  
Estructura 1



HALAL  
Edificio principal.

Según H.E.D Pollock.

" The Puuc ".

ORIGEN  
ESTABILIDAD  
RESISTENCIA DE LOS MATERIALES.  
MIEMBROS DE MADERA ( MORILLOS ).  
CASOS ESPECIALES DE TRABES PETREAS.  
TRABAJO DE LA BOVEDA.  
EDIFICACION DE LA BOVEDA.  
TRABAJO DE LA PIEDRA.  
CIERRE DE LAS BOVEDAS.  
TIPOLOGIA DE LAS BOVEDAS.  
DISTRIBUCION Y ACOMODO DE LAS BOVEDAS.  
BOVEDAS PARABOLICAS.  
CASOS ESPECIALES.  
EDIFICACION MAYA TOLTECA.

LA BOVEDA MAYA

## LA BOVEDA MAYA

Es de suma importancia considerar los medios tecnológicos que fueron empleados por la civilización de los mayas para llevar a cabo sus concepciones arquitectónicas.

Los edificios más tempranos construidos por los mayas fueron sin duda realizados completamente de madera y otros materiales perecederos. No es posible determinar en qué punto las techumbres de madera y de palma hicieron por primera vez su aparición en el área maya, ni tampoco estimar el tiempo -- que se llevó esta forma para llegar a ser un prototipo. Debieron transcurrir algunos siglos para tener la versión refinada de la choza.

El uso de la piedra para fines de edificación fue inicialmente concebido para la construcción de plataformas bajas. Las piedras aisladas o desprendidas, mezcladas con lodo, se usaron para este fin usando tierra común para rellenar. En cierto tiempo, las plataformas se volvieron más y más grandes y más complejas requiriendo el uso de grandes cantidades de piedra, mismas que fueron ásperamente ahormadas o adaptadas, pero fueron sin duda los inicios de una incipiente arquitectura.

Muy poco se conoce acerca del desarrollo de estos aspectos en el preclásico, pero recientes excavaciones, nos dice G. Andrews, han revelado que en el período clásico los mayas poseían una maestría en la técnica de cantar y dar forma a la piedra caliza que encontraban por debajo de la superficie -

del suelo a lo largo del área bajo su dominio.

Como se analizó anteriormente, ellos también aprendieron a quemar esa misma piedra caliza para fabricar la cal, con la que a manera de cemento podían pegar grandes cantidades de piedra en mamposterías para formar plataformas o subestructuras mamposteadas que marcaron el comienzo de la edificación - en toda forma.

Recientes excavaciones realizadas en Dzibilchaltún, en El Mirador y en Tikal, revelan que las grandes plataformas chapeadas con lodo y piedras recubiertas con estuco, fueron comenzadas a construir por el año 600 a.C.. Hacia el año 300 a. C. ó 250 a. C., grandes plataformas ceremoniales y edificios - con terrazas fueron construídos. En ellos, los muros fueron hechos con piedra burdamente cortada y cubiertos de estuco. Hasta este momento las superestructuras aparecen realizadas con madera y paja.

Después de un corto lapso, probablemente por el año 50 de nuestra era, los constructores estaban capacitados para extender el uso de la piedra y del mamposteo de la misma a la erección de edificios masivos con bóvedas en voladizo o saledizo, originadas probablemente en la arquitectura funeraria, durante el período clásico, según William R. Coe.

El proceso del corte de la piedra caliza, usando exclusivamente herramientas de piedra, no fue tan difícil como puede parecer, en virtud de que esta piedra es relativamente blanda antes de ser expuesta al aire ya que posteriormente a dicha exposición se torna dura.

William R. Coe.

The carved wooden Lintels at Tikal

1961

Report. No. 6

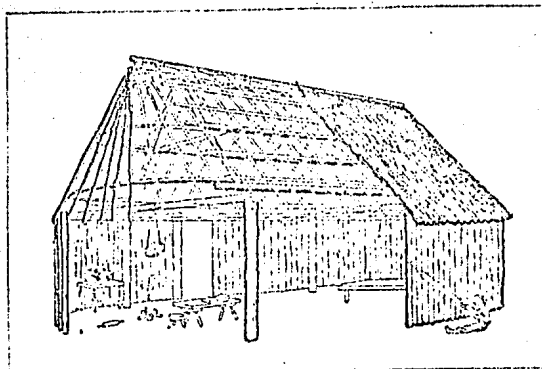
Es necesario, además, considerar que todas las operaciones fueron limitadas exclusivamente a la mano de obra, en virtud de que los mayas no conocieron ningún tipo de maquinaria y no tuvieron tampoco animales domesticados para usarlos como elementos de acarreo y de trabajo pesado; fue necesario pues, el trabajo de muchos hombres para la erección de los edificios.

Debe considerarse sin duda la posibilidad de que los edificios son variaciones formales de la choza maya de madera y paja pero con un cierto desarrollo. Existen datos acerca de que los templos erigidos en el clásico temprano muestran claras evidencias de que las estructuras soportaban edificios de madera que tenían esencialmente las mismas características y proporciones que los posteriores hechos en piedra.

No es posible aún determinar con exactitud la fecha exacta de la aparición de la bóveda, pero se puede considerar, nos dice Andrews, "no apareció después del 300 de nuestra era en las áreas norte y sur". La bóveda en cuanto a su concepción, debe entenderse que se desarrolló en el área maya, en virtud de que ninguna otra cultura mesoamericana concibió algo semejante. Aquí es donde es necesario hacer una serie de consideraciones acerca de cómo pudo irse originando este concepto. Su principio puede considerarse hoy día como simple pero desde luego llevó su tiempo y costó su esfuerzo entenderlo para los habitantes de esa región en esa época.

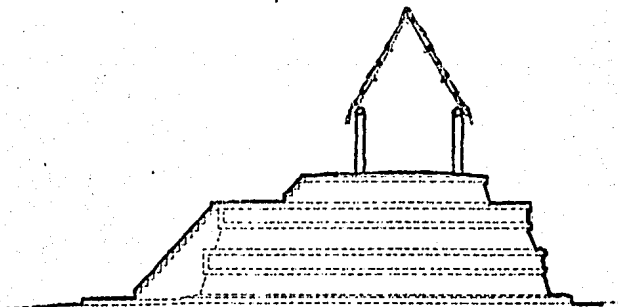
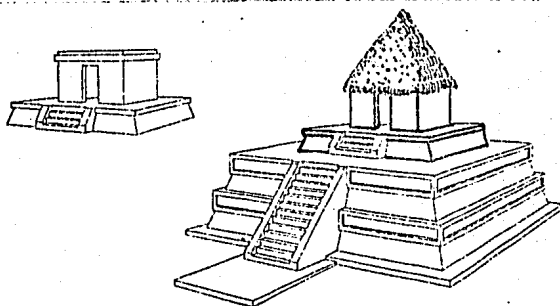
En la evolución de la choza maya para convertirse en bóveda, se pueden considerar varios pasos; en su libro titulado "MAYA CITIES", G. Andrews muestra estas consideraciones en una forma muy clara.





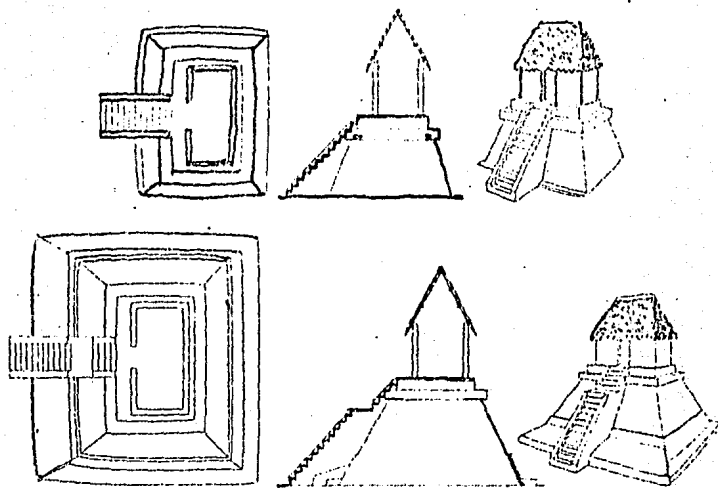
Choza Maya

Según Henri Stierlin  
Mayan Living Architecture.



KAMINALJUYU, Guatemala,  
Estructura A 7

Según Wauchop- Willey  
Archaeology of Southern Mesoamerica.



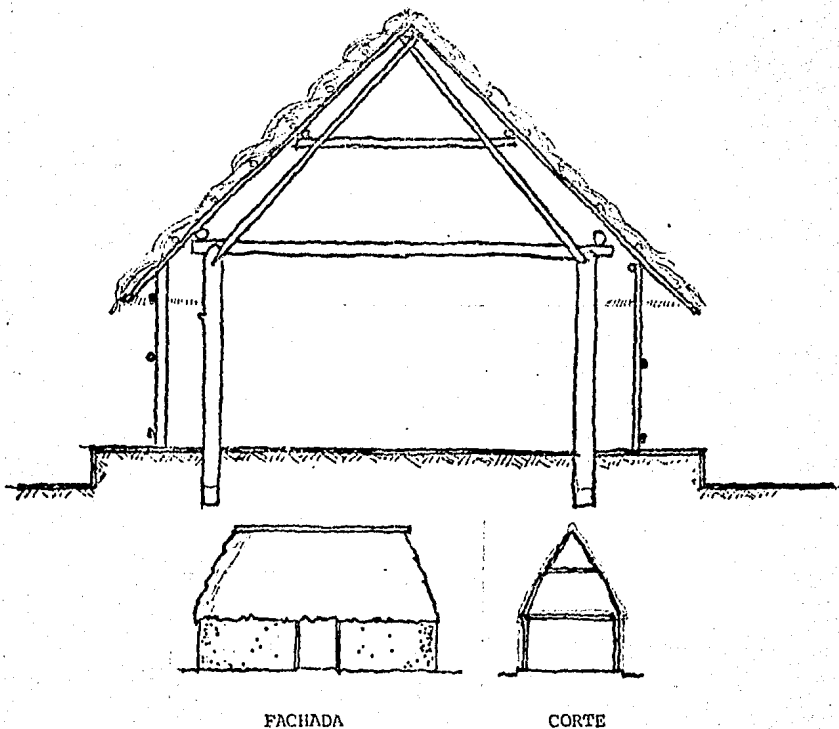
KAMINALJUYU, Guatemala

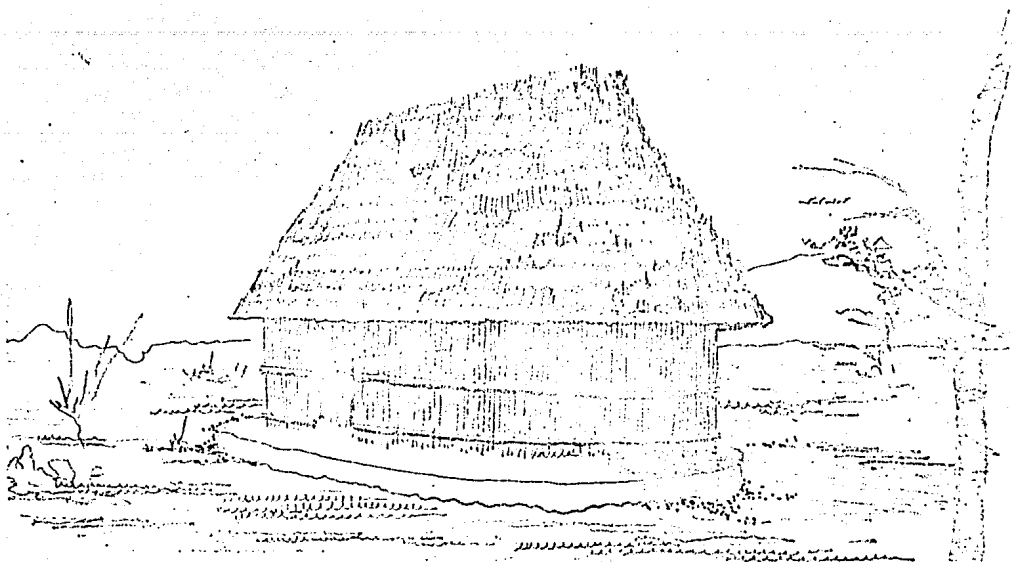
Estructuras A 5 y A 6.

Basamentos con el templo en la parte superior,  
edificados con la misma técnica de la choza maya.

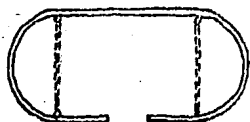
Según Wauchope - Willey  
Archaeology of Southern  
Mesoamerica.

Inicialmente, la choza maya fue realizada con postes de madera que soportaban una estructura ligera de lo que en México hoy llamamos morillos, o sea troncos delgados en estado natural. Sobre esta estructura se coloca una cubierta de palma o paja. Los postes, colocados en las esquinas, están ligados por miembros también de madera colocados horizontalmente, es decir a manera de vigas y sobre éstas descansa la cubierta. Para evitar que todo el peso o carga de esta cubierta se concentre en los elementos mencionados, a la mitad o a la tercera parte de ella se colocan otras de menor longitud y sección sobre las cuales, y a manera de enredadera se coloca la paja. Lo mencionado en este párrafo lo muestra la figura siguiente.





Según Paul Gendrop.  
Quince ciudades mayas.

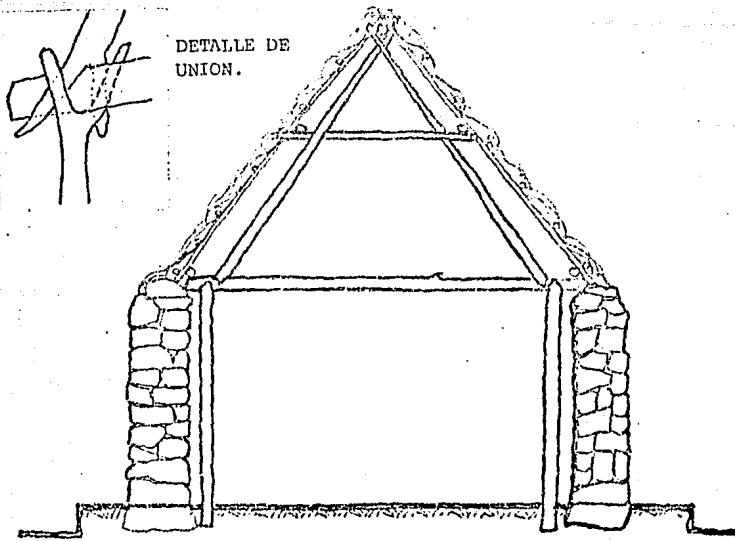


PLANTA.

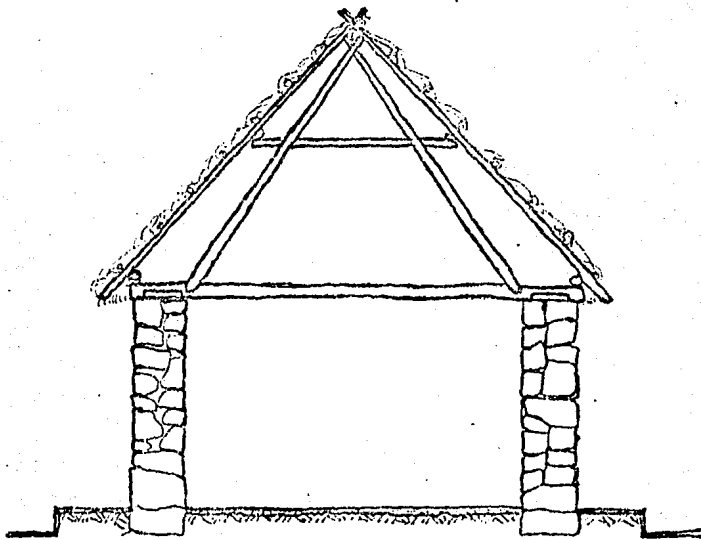
CHOZA MAYA EN LA ACTUALIDAD.  
Redibujado por Mario de J. Carmona

Continuando con el desarrollo, se menciona en segundo lugar el hecho de que los muros exteriores de madera se sustituyeron por muros de piedra, conservándose las estructuras interiores en la misma forma que la primera consideración.

La figura siguiente muestra el segundo cambio, en el que se pueden apreciar las estructuras, una de ellas la que soporta la parte interior, es decir - los postes ligados con vigas y por otra parte los muros de piedra bajos, que llegan hasta la parte inferior de la cubierta de paja.



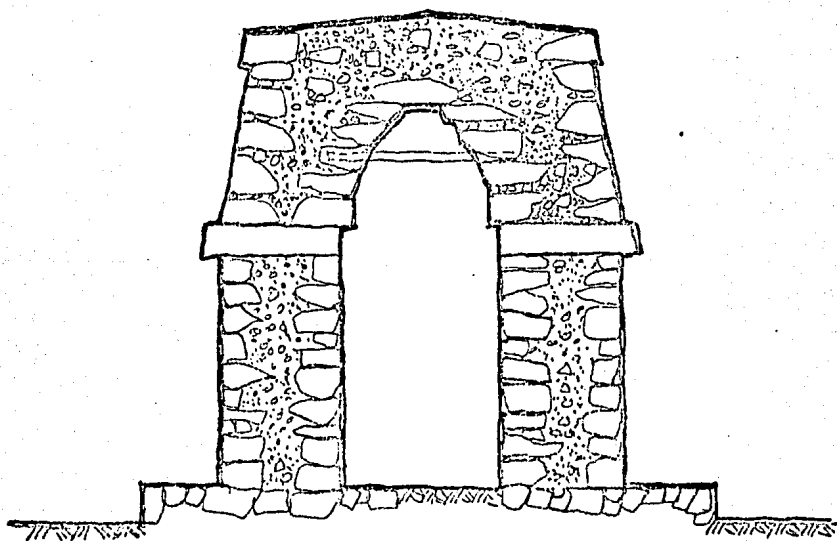
Se puede observar que los muros de piedra en este caso no están cargando la cubierta, simplemente cierran el espacio interior, mientras que la estructura de madera hecha con postes y vigas soporta las cargas.



Según George Andrews.  
Maya cities, placemaking and urbanization.

El croquis anterior muestra la tercera fase en esta evolución y consiste precisamente en que ahora los muros bajos toman totalmente la carga de la cubierta, convirtiéndose en elementos estructurales que soportan íntegramente el peso de la cubierta, mismo que se trasmite a ellos por medio de las vigas. Este tipo de construcción, representa un avance tecnológico importante dado que los muros son ahora un elemento permanente que además puede decorarse.

El último paso en el desarrollo de la edificación hecha completamente de mampostería, consistió en la erección de una bóveda en saledizo apoyada en la parte superior de los muros que ahora son de una sección mucho mayor que las de los casos anteriores.

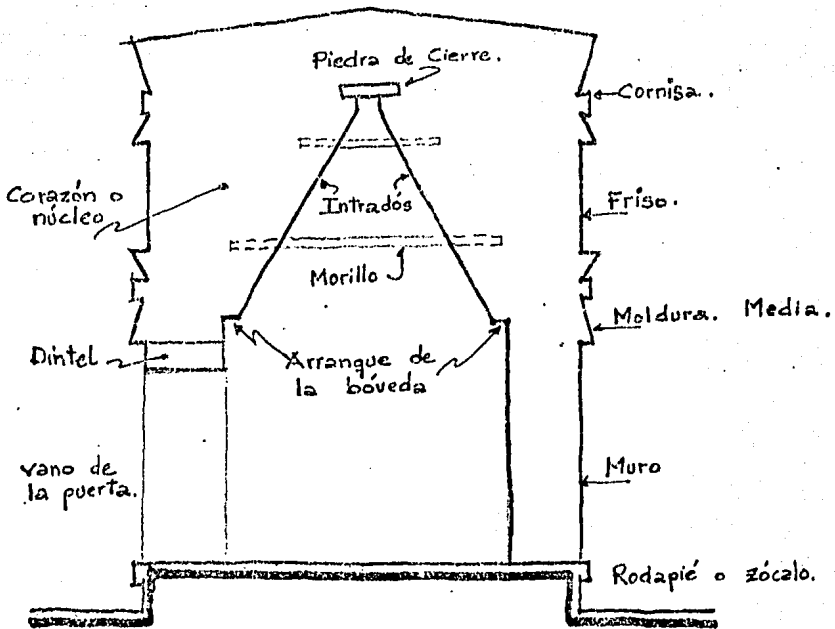


El principio estructural de la bóveda maya, expresado en una forma general, consiste en ir superponiendo piedras una hilada sobre otra con una cierta pendiente o inclinación hacia el interior en las dos caras o intradós de las bóvedas mismas, destacándose la característica importante de que cada mitad de la bóveda es estructuralmente independiente. Los mayas no conocieron el uso de la clave como en otros tipos de arcos, pero lo que sí es definitivo es el hecho de que este tipo de edificación sirvió perfectamente para el uso que ellos necesitaban satisfacer, la monumentalidad estaba creada y no requerían grandes espacios cubiertos.

La estabilidad del sistema se debe en términos generales a la carga muerta que se encuentra aplicada en la parte superior de la edificación, proporcionando balance o equilibrio al conjunto.

Por lo que se refiere al claro salvado por esta estructura, se debe considerar que en promedio eran de 1.5 m. a 2.40 m., aunque algunas no muy frecuentes llegaron a salvar 3.60 m. y 3.95 m., y nunca se dieron claros mayores.

Para los efectos de profundizar un poco más en el estudio de la bóveda maya, creo conveniente definir los términos que la definen, mismos que se muestran en el siguiente croquis; en el cual se indican las partes fundamentales y características de las cuales haré mención posteriormente.



Esquema general del tipo de estructura maya  
Ver apéndice 1 pag. 226

Para los efectos de entrar en materia, es de fundamental importancia analizar los aspectos del conocimiento que tenían los mayas acerca de ciertos principios de estabilidad y resistencia de materiales, del trabajo de los mismos y sus procedimientos constructivos.

En la construcción de la bóveda, los mayas utilizaron un gran cúmulo de conocimientos que muestran el alto grado de desarrollo y de cultura que tenían. Se puede entonces afirmar que en los antiguos edificios los muros de tierra y piedra coronados por precederos miembros de madera, soportaron las cu-



biertas; mismas que en la mayoría de los casos tienen como preferente solución el inclinar los muros uno hacia otro.

Basándonos en las consideraciones anteriores, podemos decir que los fundamentos de la bóveda maya son: gruesos muros verticales que soportan dos muros inclinados y un tipo determinado de cumbrera.

Los arquitectos mayas poseían un conocimiento cierto de los principios de estabilidad y un razonable entendimiento de las propiedades del material plástico que usaron tales como el cemento y el adobe, junto con la habilidad técnica para controlar sus propiedades esenciales.

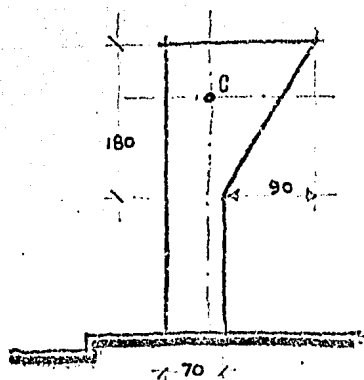
#### ESTABILIDAD

En su estudio de los conocimientos de ingeniería de los mayas, - Lawrence Roys desarrolla una serie de consideraciones de suma importancia, mismas que resumo a continuación.

"Los muros tanto en su interior como en su exterior son verticales hasta llegar al arranque de la bóveda y para su construcción hasta dicha altura no se encontró dificultad alguna. Pero como los edificios se construyeron por arriba de ese nivel, la cara interior de la bóveda, en virtud de su pendiente, causa que el centro de gravedad de todo el muro tienda a voltearse hacia el interior pudiendo entonces desprenderse al quebrarse".

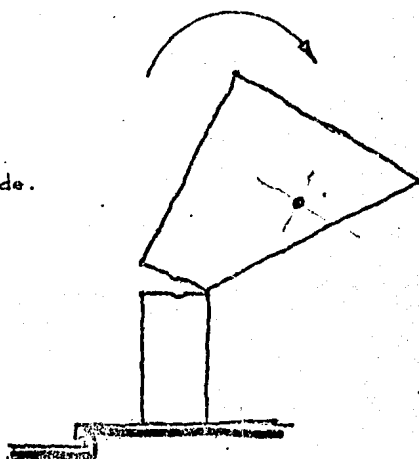
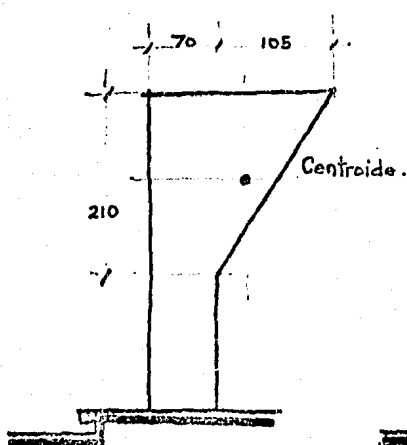
Lawrence Roys

The engineering knowledge of the Maya.



Cuando no se pasaba de las dimensiones indicadas en el croquis, el centroide quedaba sobre el muro, no existiendo tendencia al volteo.

Una vez que se aumentaban las dimensiones en altura y en volado, el centroide de salía necesariamente del espesor del muro.



En resumen, el muro de 0.70 m. de grueso permite volar la bóveda cuando mucho 90 cm. sin peligro de volteo, correspondiendo esto a una altura de bóveda de 1.80 m. ... encima del arranque.

Si la pendiente o volado se aumenta más de 90 cm. la mitad de la bóveda - está propensa a caer o voltearse, amenos que algo contribuya a evitarlo. Si por afuera también la bóveda se inclinara, la tendencia al volteo se acrecentaría, pero dejándola vertical hacia el exterior hasta el nivel de la techumbre y teniendo un mamposteo convenientemente realizado se forma un todo monolítico que ayuda mucho en la estabilidad.

Esta solución fue considerada como típica del estilo de construcción maya, pero está lejos de ser universal.

Existe otra forma utilizada, en la que la parte exterior del muro también se inclina produciendo con ello el friso inclinado en la techumbre. Esta solución va acompañada de un considerable sacrificio de estabilidad, teniendo como límite usual de altura 1.20 o 1.50 m. sin peligro de volteo.

El primer caso señalado es sencillo y analizando, se puede establecer que manteniendo el grueso de los muros existía la posibilidad de resolver el problema de estabilidad.

Para el segundo caso, se requería equilibrar el volteo. La ubicación del punto de ruptura es muy importante. Si el muro y la bóveda fueran monolíticos, como lo es actualmente el concreto, no habría problema. Sin embargo los mayas no pudieron desarrollar sus cementos hasta ese punto.

Con la altura de una bóveda sin refuerzo, limitada a 1.80 m. o menos y su

correspondiente volado no mayor de 90 cm., el arquitecto maya, que cuidaba su reputación, probablemente seguía las siguientes reglas:

- 1) El espesor de los muros debía mantenerse.
- 2) La estabilidad debía asegurarse considerando alguna de estas posibilidades:
  - Soportar el volado de la bóveda con muros en el final o remate del edificio.
  - Soportar el volado de la bóveda por medio de muros perpendiculares a ella.
  - Utilizando miembros de madera como elementos trabajando a compresión.

Utilizando alguno de estos medios de refuerzo, estaban aptos para aumentar perfectamente su bóveda y consecuentemente la profundidad de sus espacios.

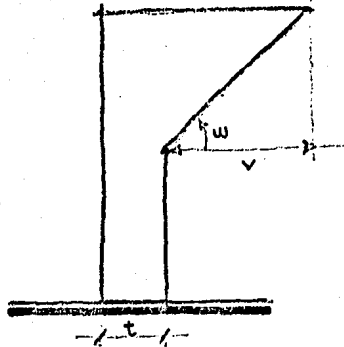
A las luces de la tecnología actual, podemos analizar de una manera sencilla la fórmula que permite determinar el volado que puede resistir una bóveda antes de que su mitad sufra un volteo. Ella se deriva de igualar los momentos en el punto en donde el volteo tiene lugar.

Desarrollemos la fórmula:

Sea  $w$  el ángulo del intradós de la bóveda.

Sea  $v$  el volado efectivo de la bóveda.

Sea  $t$  el espesor del muro.



La altura vertical de la masa de volteo es:

$$(v) (\cot w)$$

El área del trapecio con el volado es:

$$A = 1/2 \times v \times (v \times \cot w) = 1/2 v^2 \cot w.$$

El brazo de palanca =  $1/3 v$

El momento = área por brazo de palanca =  $1/6 v^3 \cot w.$

El área de la sección del muro =  $(t) \times (v \cot w)$

Su brazo de palanca =  $1/2 t$

El momento = área por distancia =  $1/2(t^2)v \cot w.$

En la página siguiente se igualarán los momentos.

Ahora, igualando momentos, se tiene:

$$1/6 v^3 \cot w = 1/2 t^2 v \cot w$$

Eliminando términos semejantes:

$$1/3 v^2 = t^2$$

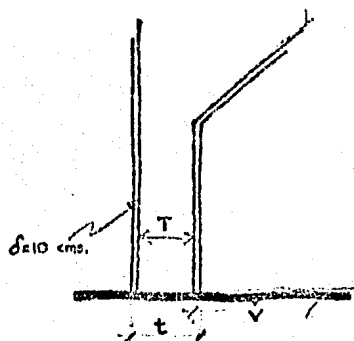
$$v^2 = \frac{t^2}{1/3}$$

$$v^2 = 3 t^2$$

$$v = 1.73 t$$

O sea que cuando el volado sobrepasa 1.73 veces el grosor del muro, el volteo de la mitad de la bóveda aparece.

Ahora bien, siendo un poco más rigouristas, considerando que el recubrimiento del muro y el extremo de las piedras que está sin mortero no trabajan, se puede efectuar una modificación en la fórmula anterior deducida:



Minúsculas = dimensión real

Mayúsculas = dimensión efectiva

$$\text{Entonces, } v = V + 10 \text{ cm} \quad \text{y } t = T - 10 \text{ cm}$$

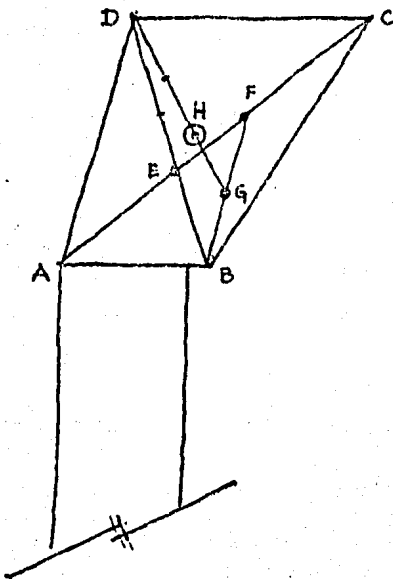
Sustituyendo valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$V = 10 = 1.73(t-10)$$

$$V = 1.73 T - 27 \text{ cm.}$$

Lo anteriormente expuesto nos revela claramente que todo depende del centro de gravedad del trapecio que en sección forma la mitad de bóveda.

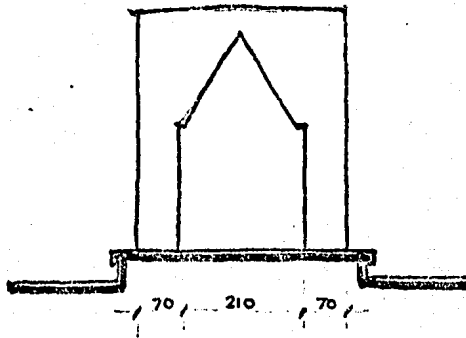
De acuerdo con lo que Roys explica, para un trapecio como el de la figura siguiente hay una metodología gráfica para determinar su centroide y es como sigue:



- 1) Se traza la sección a escala y se obtiene el perímetro ABCD,
- 2) Se trazan las diagonales AC y BD mismas que se intersectan en E.
- 3) Se localiza el punto F, siendo  $AE$  igual a  $CF$ .
- 4) Trazar BF y localizar su punto medio G.
- 5) Trazar DG y ubicar H sobre la línea DG a una distancia de G igual a  $DG/3$ .

Este punto H así determinado es el centro de gravedad buscado.

Sin los refuerzos, la anchura de los espacios internos o interiores usualmente se limitó a 1.80 m o a 2.10 m (doble del volado de la bóveda).



#### RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

Se puede partir del punto de vista de que los materiales utilizados en la construcción tenían un alto grado de cohesión y que cuando se usaban grandes masas de muro, éstos actuaban como monolíticos.

Se utilizó en el área maya una composición de piedra caliza y mortero para realizar las estructuras y éstas se recubrían de chapeos de piedra y prácticamente toda la resistencia del edificio terminado dependía del "concre-



to" o mezcla utilizados. Aquí la pregunta interesante es cómo fue hecho este material y cómo fue usado para prevenir que se colgaran partes de la masa y se desprendieran del cuerpo principal.

Realizando algunas pruebas de laboratorio, se ha llegado a encontrar que la tensión del material al colgarse se puede contrarrestar con una resistencia en cada sección transversal de  $1.463 \text{ kg/cm}^2$ .

Con muros gruesos y maderas se solucionaban los problemas, sabiendo que el promedio de resistencia del mortero utilizado por ellos era de 5.85 a  $8.78 \text{ kg/cm}^2$ . En el clásico, el tipo de construcción usado con perfección consistía en piedras planas sentadas o recibidas con mortero formando una sólida mampostería. A esta bóveda se le conoce como bóveda en saledizo o arco maya.

#### MIEMBROS DE MADERA

Se tiene la convicción de que el arquitecto maya tenía conocimiento de la importancia que los principios de estabilidad y resistencia de materiales jugaban en la construcción de sus edificios.

Los actuales habitantes de esas regiones utilizan unas traveses de madera en sus techados y aparte de su utilidad estructural, les sirve de granero.

En 1911, E.H. Thompson, estableció su creencia de que las traveses de madera

de las bóvedas, son sobrevivientes convencionales de las traves cruzadas para la techumbre, mismas que daban pendientes para controlar el agua. Estableció además que las traves de madera aseguraban o aumentaban la estabilidad de los edificios y que las colocaban para darle el mayor refuerzo posible a sus estructuras.

En Tikal y en Palenque la construcción típica tiene dos filas de traves o vigas al igual que en Yaxchilán.

En Tikal se encuentra la fila inferior a 17.5 cm. del arranque de la bóveda y en Palenque fue a 75 cm.

Las vigas mencionadas nunca fueron menores de 12.5 cm. de diámetro y se espaciaban horizontalmente como en Palenque a cada 3 metros y nunca a menos de 2.40 m.

Se tienen conocimientos acerca del uso que daban los mayas en todas sus construcciones a las dos filas de vigas en las bóvedas, pero en Palenque se tienen datos completos acerca de que se variaba este patrón de dos filas de vigas de acuerdo a las necesidades de cada edificio. Sin embargo casi nunca se excedían de tres filas de vigas.

En ciudades como Chichen Itzá, Uxmal y Labná, las vigas inferiores eran de mayor sección que las superiores; tenían 12.7 cm. de diámetro, las de la segunda fila eran entre 9 y 11.5 cm. de diámetro, pero siempre grandes en su sección para tener valor estructural suficiente.

Cuando eran utilizadas tres filas de vigas, las del último nivel, el más alto, eran pequeñas en su sección dando la impresión de varas y no de miembros que le dieran resistencia al edificio. Raramente aparecían en promedio de 5 cm. y se colocaban frecuentemente a 10 cm por abajo del coronamiento de la bóveda.

Dos filas de vigas fueron las que en su uso predominaron, pero se llegaron a usar tres como en Chichen Itzá.

Aceptando esta teoría acerca de las vigas o miembros de madera, se puede considerar que le daban resistencia a las bóvedas en dos formas principales:

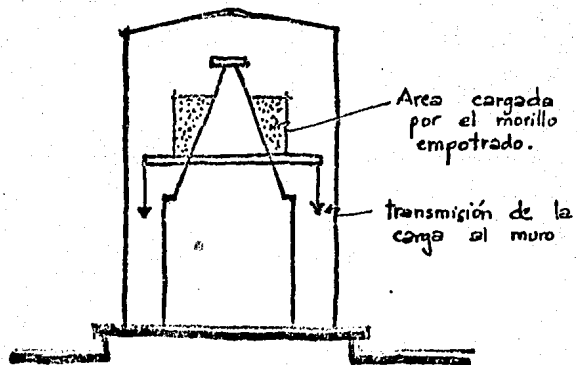
- 1) Las ayudaban evitando que cayeran hacia adentro.
- 2) Auxiliaban al material de la bóveda para que no cayera alrededor de su empotre o anclaje.

Estas dos consideraciones eran valoradas antes de que el material fuera contiguo, es decir, se colocaban estos elementos de madera al momento de realizar el edificio y ahí se quedaban. El uso de estas vigas probablemente evitó el pandeo de las bóvedas y formaban parte de ellas desde el proyecto.

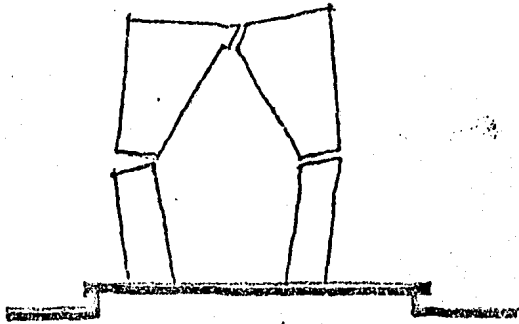
Habiendo establecido el tamaño de las vigas y su posición y ubicación en las bóvedas, se puede establecer una tercera consideración, su anclaje o empotre. En Chichen Itzá, Uxmal y Labná, Lawrence Roys examinó la profundidad de una cavidad y encontró que tenía más que la necesaria para preve-

nir el volteo de la bóveda. Las vigas inferiores eran colocadas con un empo-  
tre de 91 cm. en la mampostería y en la mayoría de los casos dicho empo-  
tre fue de 76 cm y la mitad de este valor era el de las siguientes vigas en  
la segunda fila.

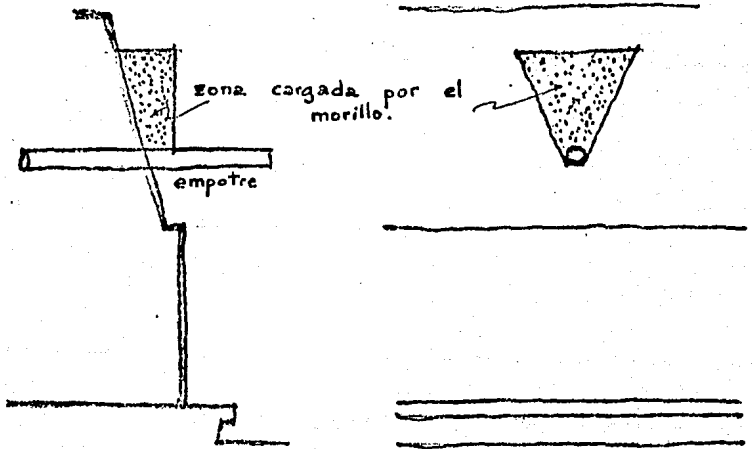
Se puede pensar además que el hecho de profundizar más el empo-  
tre de las vigas era también en cierta forma para hacerlas trabajar en tensión. El  
hecho de que las vigas se empotraran tanto en el corazón de la mampostería  
sugiere de alguna manera que soportaban alguna carga gravitacional, es de-  
cir que podían cargar algo utilizando parte de la bóveda como granero; pero  
más que eso, los empotres de esas vigas cargaban directamente una parte de  
la bóveda como se muestra a continuación.



Una parte de la mampostería descansa sobre la viga; esa carga es transmitida hacia los extremos del muro haciendo que tome la carga verticalmente. Si la bóveda no tuviera esas vigas, podría haberle pasado lo que la figura siguiente muestra:



Debido al uso del cemento que tenían, que era débil, las bóvedas mostraban la tendencia a flambearse hacia adentro. Las vigas colocadas perpendicularmente al sentido de la bóveda y empotradas bastante, proporcionaban un refuerzo ideal al débil cemento de la mampostería, sobre todo mientras fraguaban y adquirían su resistencia. La zona soportada por cada viga es un triángulo invertido visto o analizado a continuación tanto en corte como en alzado.



En virtud de lo anteriormente expuesto, se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- 1) El tamaño de las vigas es suficiente para proporcionar resistencia a las bóvedas.
- 2) Su posición y ubicación es favorable para la misma intención.
- 3) El anclaje en la mampostería de dichas vigas proporciona resistencia al material que queda en torno a ellas.

Pero se pueden anotar además algunas complicaciones que están un poco en contra de las tres anteriores:

- a) Existen edificios en los que no se presentan estos sistemas.
- b) Los mayas fueron capaces de construir bóvedas sin vigas.

El hecho es que en verdad la mampostería colocada en torno a la viga adquiriría mayor resistencia debido al empotre profundo. Además actuaba como tensor ayudando a que la bóveda no fallara empujando los muros hacia afuera y también hacia adentro, en este caso trabajando como miembro en compresión.

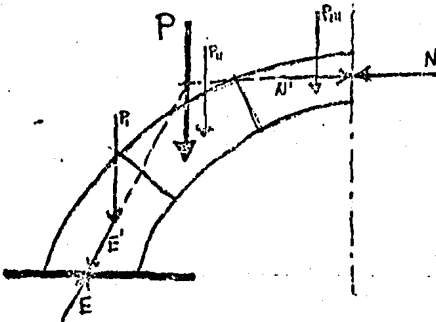
Quizá los arquitectos mayas no analizaron muy profundamente cómo actuaban las vigas, pero sí se daban cuenta de que si se omitían o se instalaban mal, existían problemas.

Forma de trabajo de la bóveda.

Las bóvedas se pueden considerar como formadas por una serie de arcos.

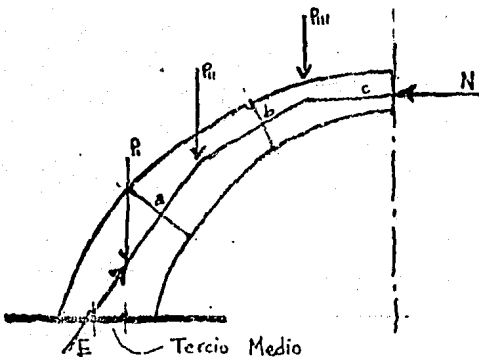
Como los extremos están fijos y con la aplicación de cargas no se desalojan, se constituye un arco en el que los esfuerzos dominantes son compresiones que aumentan hacia los extremos.

Para los efectos de entender el sistema de trabajo de la bóveda, refirámonos al siguiente croquis:



Supóngase dividido en  $x$  dovelas, es necesario conocer los pesos que obran en cada una  $P_1$ ,  $P_{11}$  y  $P_{111}$ , siendo  $P$  la resultante de todas ellas en ese semiarco.

$P$  se puede descomponer en 2 fuerzas  $E'$  y  $N'$  que pasan por el centro de los apoyos y tendrán 2 fuerzas en sentidos contrarios, respectivamente  $E$  y  $N$ .

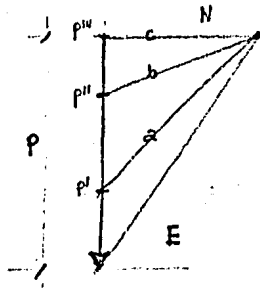


La solución gráfica auxilia en forma considerable a entender el trabajo de los elementos estructurales.

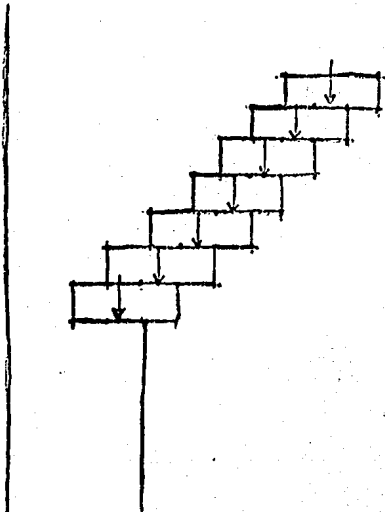
La línea formada por a,b,c es la línea de presiones.

Si esa línea de presiones pasa por el tercio medio, los elementos serán capaces de resistir los esfuerzos.

Remitiéndonos a la bóveda maya, también ese principio del tercio medio tiene total validez.



En este ejemplo se aprecia la transmisión de cargas dentro del tercio medio.





Durante los últimos años, se han ido encontrando datos acerca de los métodos de construcción maya y han provisto bases para comprender los conceptos de diseño estructural. Bajo estas luces, muchas características de las estructuras mayas toman una nueva de racionalidad o de entendimiento.

Stanley Loten ha realizado una serie de estudios referentes a los procedimientos seguidos para la construcción de bóvedas en Tikal. Las evidencias en las cuales esta construcción se basa están contenidas en los reportes de arquitectura "Tikal Architectural Survey" publicada por la Universidad de Pennsylvania en el "Proyecto Tikal".

Algunas bóvedas se encuentran intactas, otras han sufrido colapsos parciales particularmente en las puertas en las que los dinteles de madera fallaron; estos casos, aunque trágicos, nos hacen ver la disposición de soportar muchas toneladas de mampostería sobre miembros perecederos y tienen su lado positivo. Las caras rotas permiten ver claramente como en corte las estructuras y han hecho posible ver con exactitud cómo fueron construidas las bóvedas.

A continuación, describiré los pasos que Loten aclara en su ponencia sobre las técnicas de construcción de bóvedas en Tikal.

En primer lugar se edificaba la plataforma, misma que ofrecía una buena superficie para desplantar la estructura, misma que tenía planeada para soportar el edificio con bóveda. Esta superficie casi siempre estaba recubierta con mortero y estuco.

A continuación, como siguiente paso se construían los muros sobre la plata-

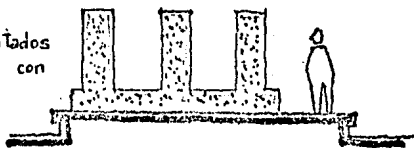
forma. Estos elementos se levantaban por hiladas a un mismo nivel tanto en el exterior como en el interior.

Las caras interiores, como las exteriores, eran revestidas después de la instalación o erección del muro; estos chapeos no retenían el núcleo o corazón de mampostería, éste era soportado por piedras unidas con un mortero oscuro y el chapeo en sus elementos se hacía con un mortero blanco. Es importante distinguir que los mayas utilizaban distinta cantidad de cemento en sus morteros de acuerdo con el uso que le darían, es decir, en el corazón o núcleo de mampostería se usaba menos cemento en la mezcla mientras que en el chapeo se usaba más cantidad del cementante.

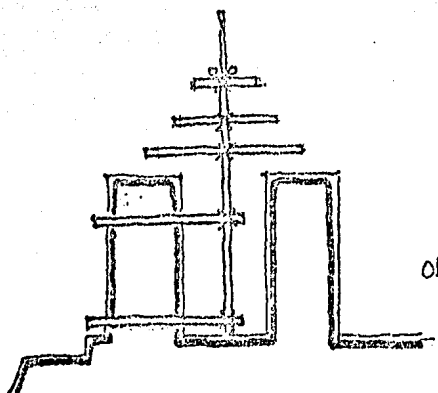
Después de terminar el chapeo tanto exterior como interiormente y haber obtenido el perfil deseado, mismo que usualmente era en línea recta, las superficies eran alisadas con un recubrimiento de goma vegetal ----- y mortero, terminado con una delgada aplicación de estuco blanco aplicado con un cepillo. Esta superficie de estuco se extendía desde el interior a través de la parte alta del muro, que podría llamarse la corona o enrase, - bajando por el exterior del mismo hasta la plataforma.

A los lados de los claros de las puertas y en las partes altas de los muros se dejaban las bases para colocar los dinteles.

Muros levantados  
y recubiertos con  
estuco.



Según Stanley Loten  
Area maya norte.

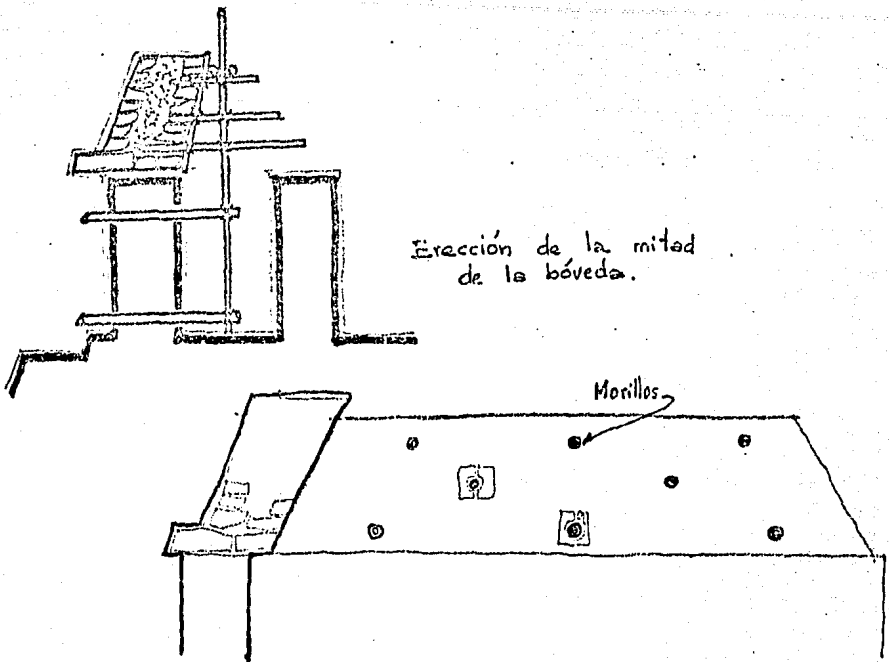


Obra falsa de madera.

Durante la construcción de los muros se colocaban miembros de madera o vigas (morillos) pasando a través de los muros exteriores, en intervalos regulares, hacia los espacios interiores.

Estos morillos se colocaban a distintas alturas, unos en la base de los muros y otros a los  $3/4$  de la altura; esto lo demuestran los huecos encontrados en esos sitios, los inferiores llenos de raíces y plantas o tierra y los superiores sellados.

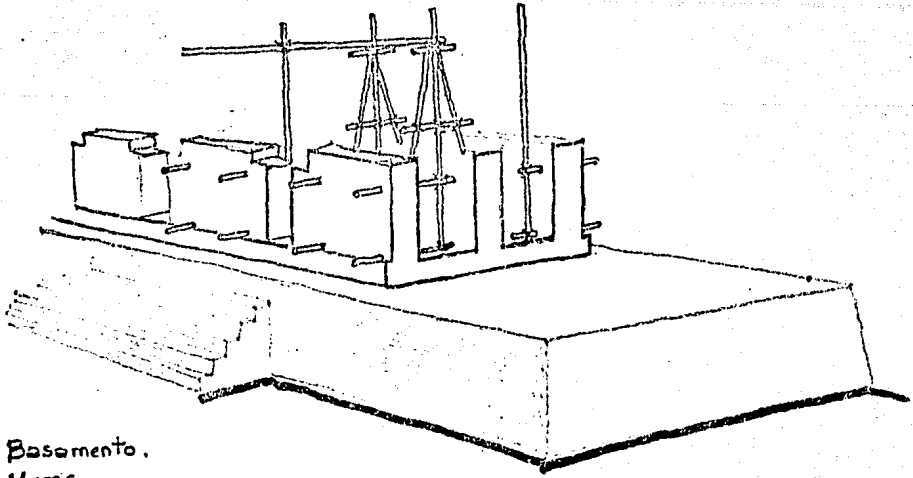
Las vigas o morillos han dejado evidencia acerca de que éstos se colocaban antes de la mampostería que iba sobre ellos. Esto lo vemos en el ----- corte de las piedras que están en torno de dichos elementos de madera, como lo indican los croquis siguientes:



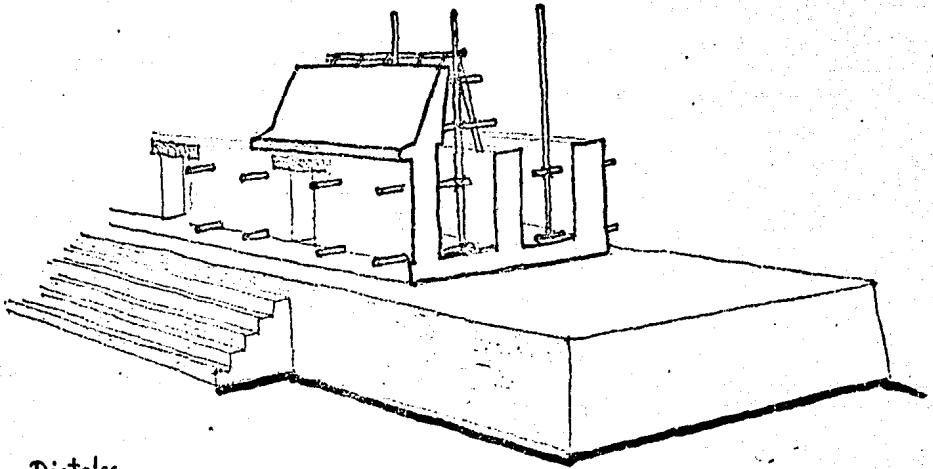
Con arcilla moldeada, colocada a todo lo largo de la bóveda (sentido longitudinal) en la parte del cierre, se podía realizar un nivel con la ayuda de agua en ese canalón, que garantizaba exactitud en la colocación de las piedras de cierre. El ejemplo de ésto lo podemos observar en el hecho de que las piedras de cierre de bóvedas tienen una perfecta nivelación.

Antes de iniciar la colocación de las hiladas de la bóveda, se colocaban los dinteles sobre los claros de las puertas y sobre éstos algo de mampostería para uniformizar un nivel para el arranque de la misma.

En la cara exterior del muro, mientras que en el interior se iniciaba la hilada del arranque, se colocaban las piedras con volado que marcarían y soportarían la moldura media.

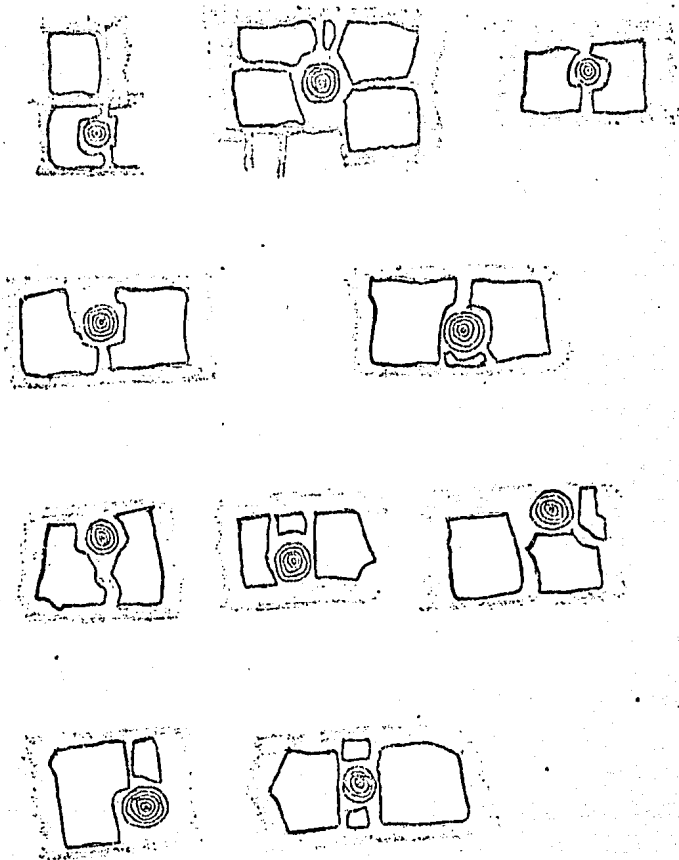


Basamento.  
Muros.  
Estuco.  
Obra falsa.



Dinteles.  
Mitades de bóveda.

STANLEY LOTEN  
" SIMPOSIUM AREA MAYA NORTE "  
Redibujado por Mario de J. Carmona.



Diversos detalles de empotramiento de morillos  
según Stanley Loten  
Redibujado por Mario de J. Carmona.

Resulta congruente el pensar que se necesita una obra falsa de madera en el interior, entre la construcción de los muros y las bóvedas, lo que sugiere que hubo necesidad de colocar elementos verticales o mástiles en el centro del claro, que eran más altos que la bóveda que iba a construirse y en los extremos de éstos quedaba marcado el lugar o nivel del cierre de la misma.

Atravesando los muros y a manera de mechinales, como ya se indicó, se colocaban elementos horizontales de madera, de los cuales se sujetaban los mástiles centrales. Posteriormente se colocaban en los mástiles otros elementos horizontales en longitudes variables, los más largos abajo y los más cortos arriba marcando la inclinación que llevaría el intradós de la bóveda, pues iban en un plano perpendicular al eje de la cruzía.

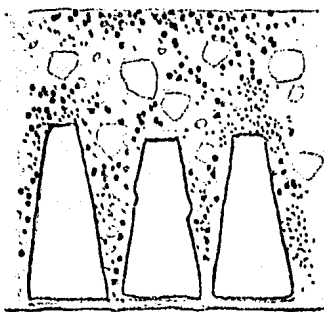
Debe hacerse notar que las longitudes de estos morillos eran un poco mayores a los que describirían las caras interiores de las bóvedas, pues se empotraban en ellas.

Finalmente, en la parte superior de esta estructura de madera y sobre los últimos morillos, en forma paralela al eje de la cruzía se colocaban dos elementos redondos más, mismos que marcaban con exactitud el lugar del cierre de la bóveda desde antes de iniciar el mamposteado de la misma.

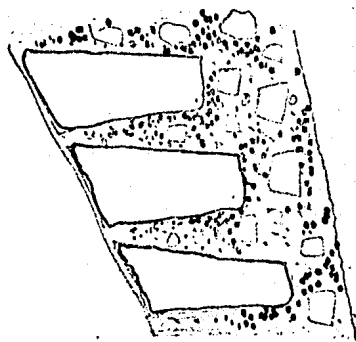
Una vez terminada esta estructura con elementos verticales y horizontales, se colocaban otros en forma inclinada o diagonal como le llama Loten, estableciendo el ángulo interior o inclinación del intradós de la bóveda con el cual la certeza de llegar al cierre con exactitud era suficiente.

Hasta este momento se iniciaba la construcción de la mampostería de las bóvedas; procediendo local por local, con las cuatro unidades de la bóveda, es decir, dos caras a lo largo de la crujía y otras dos al término de la misma. Cada unidad de bóvedas era construída de la misma manera o técnica edificatoria que los muros.

Primero se colocaba el núcleo o corazón de mampostería y descansando o apoyándose en él se ponían las piedras del intradós y también las de la cara exterior. Este procedimiento se realizaba hilada por hilada y tanto en planta como en sección estas piedras llevaban una forma como de dientes. Como ya se dijo, las calidades de los morteros usados en el núcleo y en el chapeo eran distintos; estas piedras que formaban las caras perfectas del intradós o las del exterior del edificio, con su forma de dientes eran envueltas en un mortero blanco con mucho cemento. Este mortero, de muy buena calidad, permitía soportar esfuerzos de tensión.

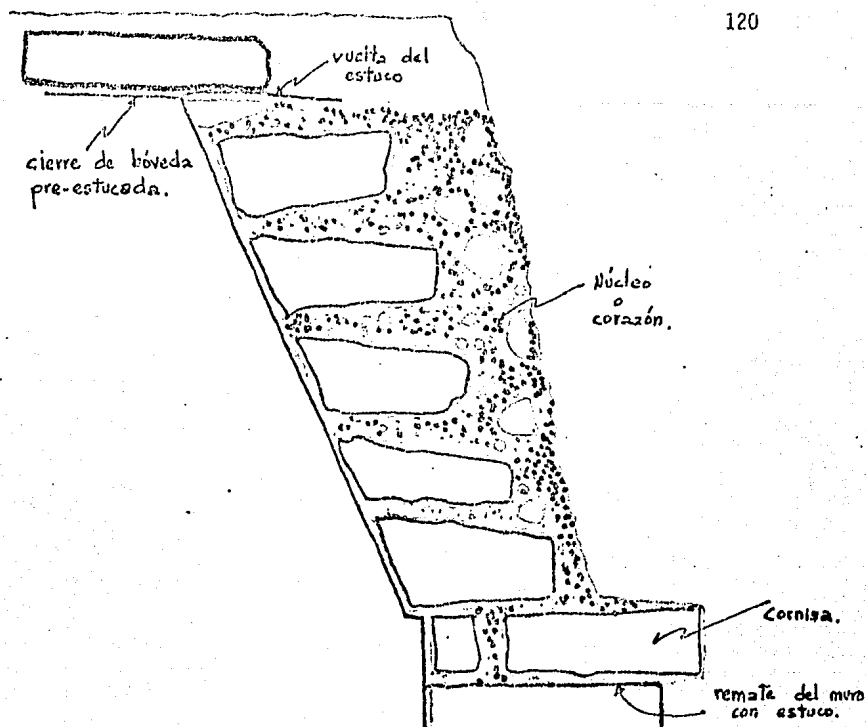


PLANTA



SECCION





En el exterior, es decir en fachada, las hiladas en muchos casos no eran tan cuidadosamente hechas, como en el intradós donde eran paralelas.

Cada mitad de bóveda era independiente de la otra con excepción de los morillos, mismos que no tenían ningún efecto estructural significativo en la relación de un intradós con otro.

Sin embargo es interesante resaltar el hecho de que el mejor mortero --- --- era utilizado en la parte alta de la bóveda, pues es la más delgada en sección y por ello podía tener esfuerzos de tensión que eran tomados por esta excelente mezcla.

Después de instaladas las bóvedas, parte de la obra falsa de madera era desmantelada excepto algunos miembros horizontales que se quedaban para esperar algún tiempo a que la resistencia del material pétreo llegara a sus límites

deseados y además para servir como apoyos para dar el acabado final con goma y estuco blanco.

Este estucado daba la vuelta por encima de las últimas piedras de la bóveda, dejando una capa en la que en modo uniforme se asentaba la piedra de cierre. Estas piedras eran probablemente estucadas antes de ser colocadas, pues no existía ya obra falsa para subirse y realizar bien este detalle.

Después de la instalación del cierre de la bóveda las piedras de cierre eran cubiertas con un estrato o capa de mampostería suficiente para dar un terminado estucado con pendiente a la envolvente de la bóveda. Esto permitía desalojar las aguas pluviales protegiendo el interior de la edificación mientras se terminaban los trabajos en la parte superior del edificio.

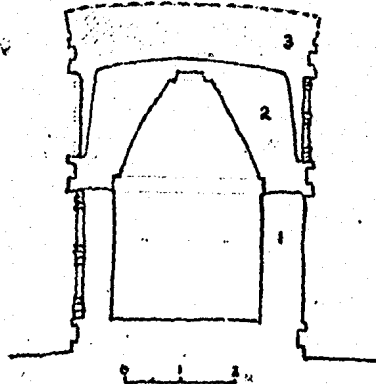
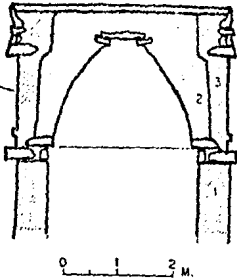
Los mechinales que inicialmente se dejaban en la cara exterior de los muros servían para dar acceso fácil a la parte alta y poder realizar los trabajos de rellenos y cresterías y una vez terminados éstos, eran cortados y tapados los orificios y cubiertos con estuco, y cuando se requerían nuevamente trabajos de mantenimiento se descubrían y se usaban en la forma descrita.

Paralelamente a George Andrews, H. E. Pollock en su estudio sobre Yucatán y el norte de Campeche, establece una secuencia en la edificación de la bóveda maya, hacia finales del período clásico, especialmente en la región Puuc.

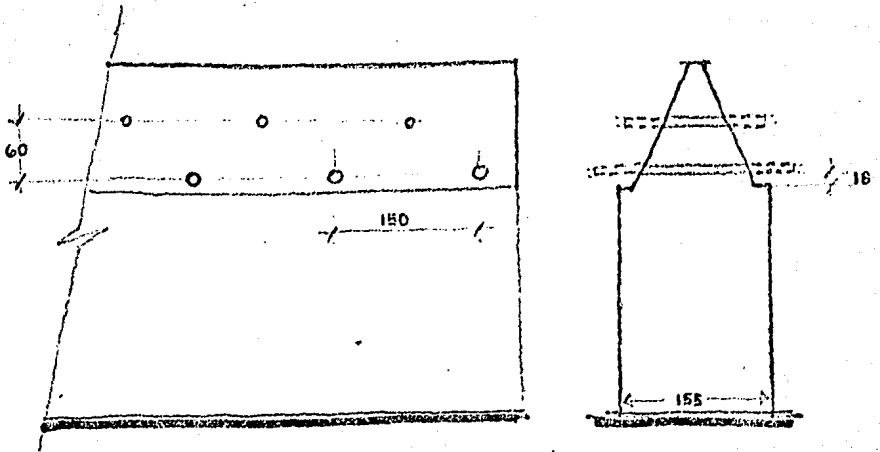
Este procedimiento está comprendiendo tres fases características que son respectivamente:

- 1) Los muros se construían hasta llegar a su enrase y se recubrían de estuco tanto en el interior como en el exterior y en la parte alta.
- 2) Se realizaba la parte correspondiente al intradós de la bóveda y al núcleo o corazón de mampostería.
- 3) Se revestía o forraba ese núcleo, formando las molduras, frisos y demás elementos de tipo ornamental.

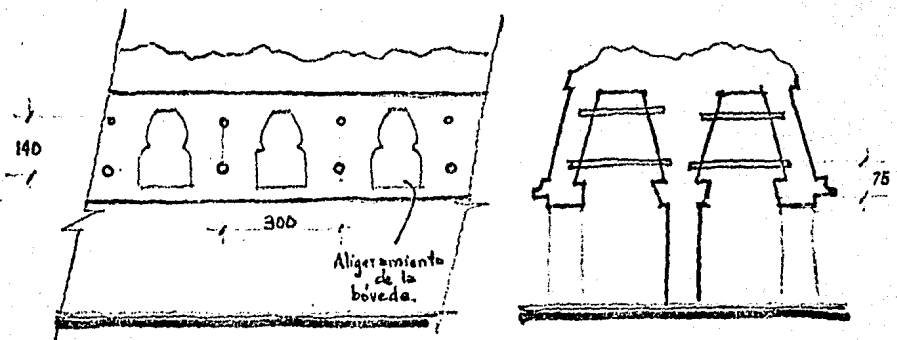
Estos pasos están indicados en las figuras siguientes:



DIVERSOS EJEMPLOS DE UBICACION DE VIGAS



Bóvedas con sus vigas en Tikal



Ubicación de vigas en Palenque \*

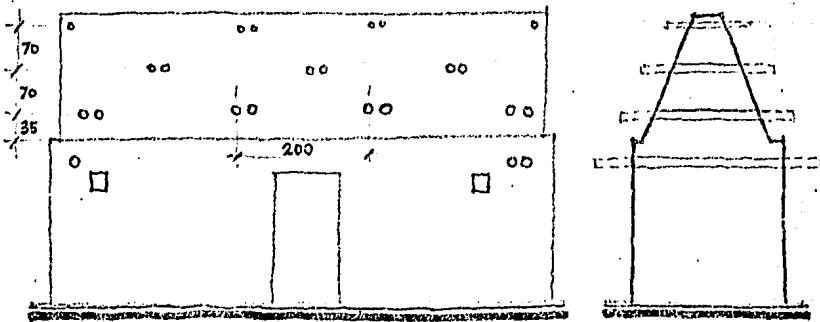
Según Lawrence Roys

The engineering knowledge of the Maya.

En Palenque se encuentra este tipo de hoquedad hecha en la bóveda, aparentando debilidad pero está compensado con una excepcional resistencia de la mampostería y la ubicación de las vigas.

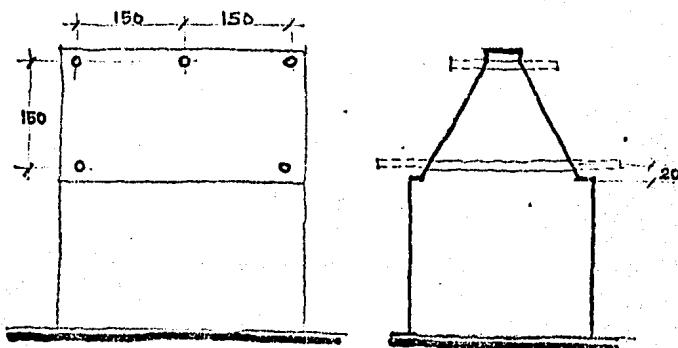
\* Según Lawrence Roys.

The engineering knowledge of the Maya.



Templo de los Falos en Chichén Itzá

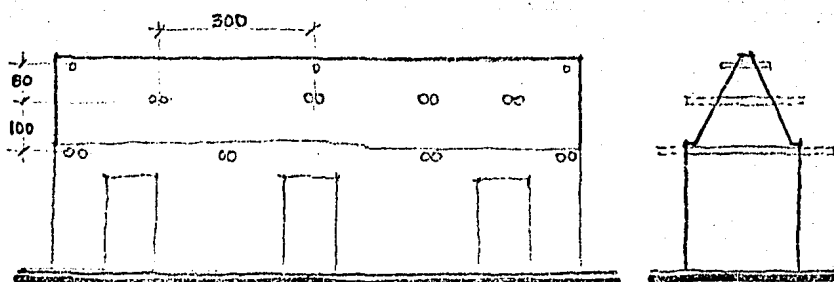
Nótense los pequeños orificios cuadrados cerca de los extremos de la cámara: probablemente son ventanas o ventilas.



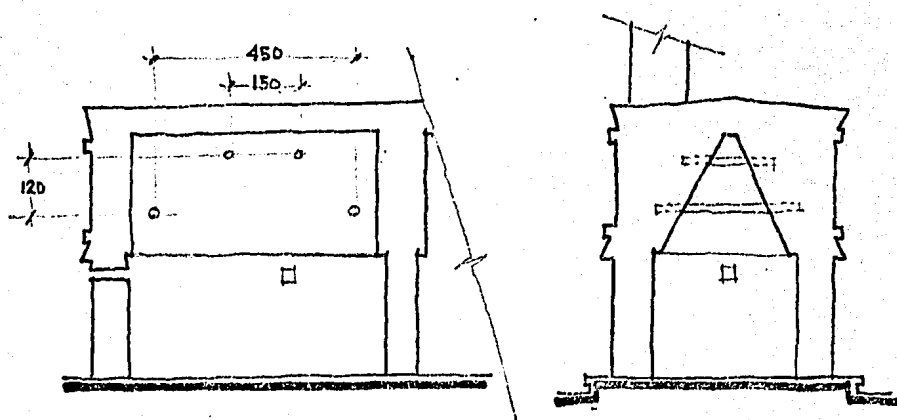
Uxmal, en el Adivino.

Según Lawrence Roys.

The engineering knowledge of the Maya.



La Casa Colorada en Chichen Itzá

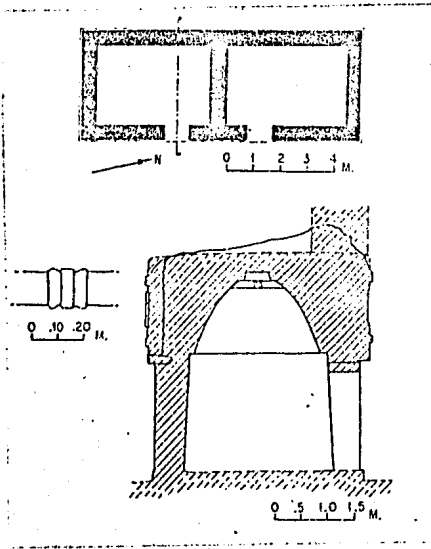


Templo del Venado en Chichen Itzá

Este ejemplo puede ser considerado como característico o típico de la edificación maya.

## CASOS ESPECIALES DE TRABES EN BOVEDAS.

Detalle de traves pétreas utilizadas en lugar de los

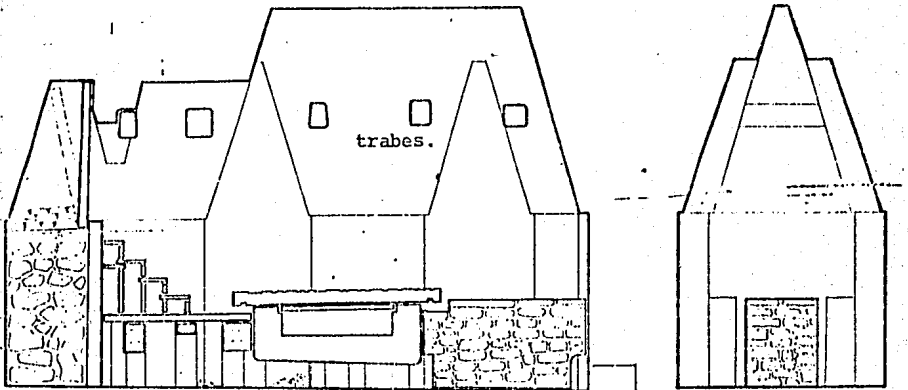


HALTUNCHON  
Grupo Cima  
Edificio Oeste  
Cuarto Sur.

Según H.E.D. Pollock.  
" The Puuc ".

PALENQUE, Tumba.

Traves.



CORTE LONGITUDINAL.

CORTE TRANSVERSAL.

Según Marquina.

## EL TRABAJO DE LA PIEDRA

Es evidente que los arquitectos mayas y los artesanos conocían la técnica de colocación de piedras en el mortero de piedra caliza desde épocas tempranas; y es interesante intentar una clasificación de los diversos tipos de trabajos de piedras que podían realizar.

En los períodos preclásico y clásico se puede establecer que el tipo característico de material utilizado eran piedras planas. Grandes losas o piedras eran colocadas como canteras sobre una mezcla áspera o burda de piedra caliza y con ello formaban muros y bóvedas. Quizá no había la intención de colocar piedras pulidas previamente, pero no obstante su rugosidad, cada piedra a través del mortero descargaba su peso hacia otras.

Aparentemente, el trabajo de las piedras era uniforme en todo lo ancho del muro y las piedras irregulares y de distintos tamaños eran traslapadas propiciando mayor amarre al muro y haciendo su trabajo monolítico.

Con este tipo de mampostería se trabajaban los muros exteriores e interiores forrados con una gruesa capa de estuco, misma que componía los saltos o salientes de algunas piedras y volvía las superficies lisas o pulidas, pero también trabajaban la piedra para que luciera sin deformaciones.

El material usado en Comalcalco fue ladrillo en lugar de piedra pero trabajado en forma semejante.

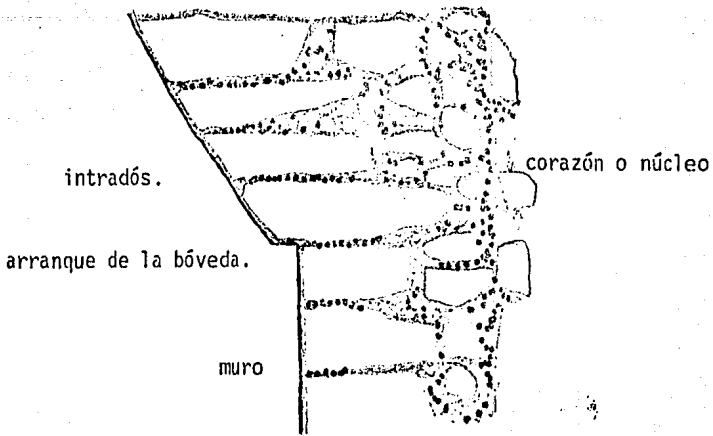


En Palenque existieron grandes piedras que permitían mayores dimensiones pues daban mayor resistencia a la mampostería y entonces usaban menos trabes o vigas en las bóvedas.

En la zona del Petén, existen sitios en los que se usaron bloques rectangulares que tomaron con sus proporciones cúbicas el lugar de las piedras planas. Esta técnica se llama mampostería a base de bloques.

En Copán se encontraron bóvedas y muros con estereotomía existiendo cierta similitud entre este trabajo y el altamente desarrollado en Europa en tiempos modernos. Este tipo de trabajo permitió sentar mejor piedra sobre piedra y unir las con el mortero las caras interiores se dejaban al natural, dicho mortero absorbía las deformaciones.

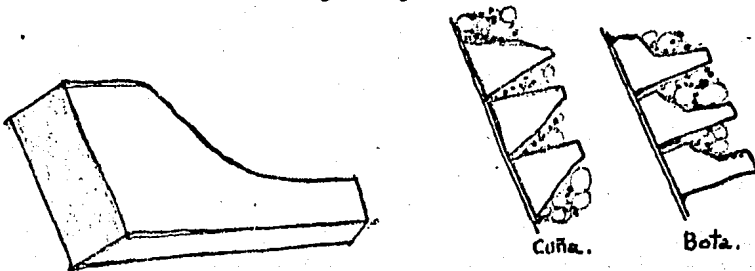
Colocaban en ocasiones en las esquinas de los edificios las piedras con sus juntas cuidadosamente estudiadas y en otros casos no les daban tanta importancia. En la construcción de las bóvedas, las piedras usadas eran más largas que las colocadas en los muros. La figura siguiente muestra este tipo de trabajo.

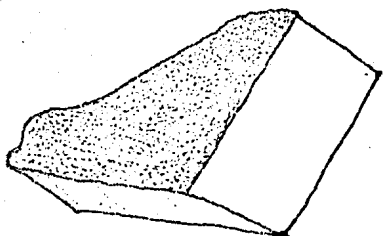


En la zona norte, se encontró que los constructores en el postclásico, en lugar de utilizar piedra como su principal material, usaron un "concreto" hecho con cal quemada, un material inerte y pedacería de piedra caliza en varios tamaños.

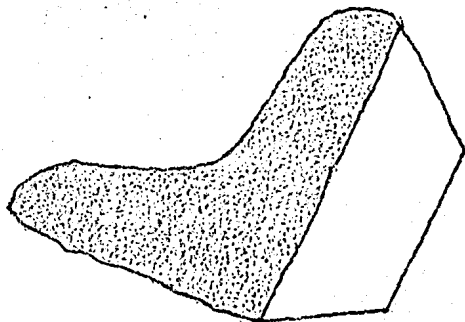
En ocasiones usaron la piedra canteada en las fachadas de los edificios y el interior de los muros las caras de las piedras como fueren, juntas con este concreto haciendo una unidad monolítica. Un ejemplo de este tipo de edificación es el Templo del Adivino en Uxmal.

Llegó a utilizarse en las fases tardías del Puuc, una especie de cuña de piedra como la mostrada en la figura siguiente:

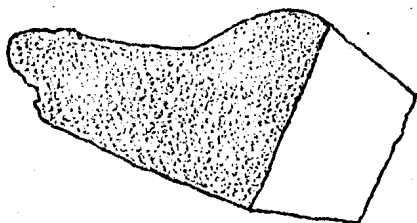




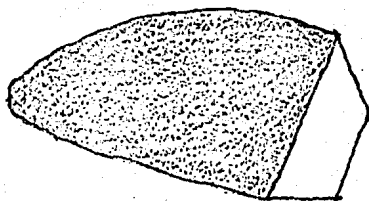
CHICHEN ITZA. - LABNA.



UXMAL.



CHACHMUTUN.



KABAH - LABNA.



MUL-CHIC.

DISTINTOS TIPOS DE CORTE DE PIEDRA  
EN LAS BOVEDAS, FORMANDO EL INTRADOS.

Esta pieza se llama piedra de bóveda, misma que tenía un corte especial. Siguiendo el perfil de la bóveda, se utilizó para dar una cara pulida - hacia el exterior o intradós y por el interior tener una buena unión con el concreto, mismo que era retenido mientras fraguaba y endurecía.

Se usaba como espiga con su cara plana hacia abajo auxiliando en la transmisión de cargas y trabajando con el concreto para evitar el volteo. Cada hilada de estas piedras sirvió como base de las colocadas arriba desarrollándose una técnica especial en la construcción de techumbres.

Podemos resumir tres tipos de trabajos de piedras:

- 1) Piedras planas v.gr. Palenque.
- 2) Mamposterías con bloques de proporción cúbica.
- 3) Piedras canteadas unidas por un concreto y al mismo tiempo chapeo integral.

Observando el primero de los puntos anteriores, se tiene que la extendida presencia de edificios hechos con piedras planas burdamente acomodadas sobre mortero predomina, dando a entender claramente que este trabajo fue utilizado por el pueblo y por los arquitectos mayas en épocas tempranas.

También se puede establecer que les fue relativamente fácil cantear o trabajar la piedra, hacerle pendientes o inclinaciones para que finalmente al ejecutar la bóveda (colocar una piedra saliendo más que la de abajo) se en-

contrara un sistema clásico maya para sus primeras edificaciones.

Concluyendo, hubo una cierta evolución gradual desde la construcción con bloques usado en las Monjas, hasta la construcción concreta del juego de pelota en Chichen Itzá, típico de esa clase de edificación.

Examinando núcleos de edificios de ambos tipos, se ha encontrado lo siguiente:

- 1) La mampostería de bloques rectangulares con un corazón rugoso requería poco mortero.
- 2) Mampostería de bloques con un relleno de piedras y proporción libre de mortero para rellenar los intersticios. V.gr. Monjas, parte alta piso superior.
- 3) Chapeo de piedra en muros y en bóvedas pegadas con concreto hacia un corazón rugoso. V.gr. Templo de los Guerreros en el grupo E del juego de pelota.
- 4) Chapeo de piedra en muros y en bóvedas pegadas con un fino concreto. V.gr. Castillo de Chichen Itzá.

Las combinaciones 1 y 2 se usaron en una época temprana y en diferente arquitectura estilística que la usada en 3 y 4, aún cuando la combinación de un concreto grueso y áspero fue usado en 2 y 3. La liga existente entre los 4 sistemas hace pensar en una secuencia de técnica comenzando en el período de las Monjas y terminando con el alto desarrollo del concreto arcilloso y el chapeo en muros y bóvedas.

Estas adopciones de sistemas ocurrieron simultáneamente con innovaciones radicales y la tradición dice que ocurrieron cambios políticos e innovaciones procedentes del México central, todo al mismo tiempo.

En resumen, hubo una cierta influencia cultural de nuevas ideas con ímpetus suficientes para cambiar el tipo de mampostería de piedras simplemente cortadas en bloques cargando gran porcentaje de la carga total de la estructura, a otra construcción en la que una estructura gruesa pero rellena tomaba las cargas y se recubría con un chapeo; después con avances en la técnica hasta llegar a una bóveda hecha con piedras labradas para tal efecto con sus pendientes integrales y un concreto especial que permitiera su trabajo.

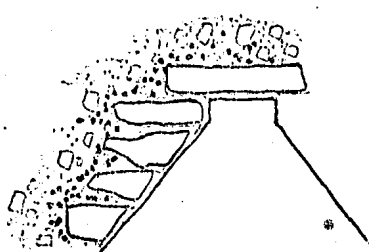
Fue una práctica casi general en el área maya el dejar a manera de cornisa una hilada de piedras en la parte extrema alta de los muros, saliendo de 5 a 12 cm..

También formaban el arranque ----- de la bóveda y era profundamente empotrada en el corazón de la mampostería así como el miembro inferior de la cornisa, reforzando el corazón de la estructura.

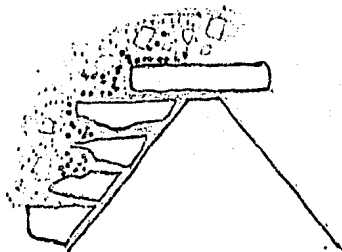
Se ha pensado, nos dice Roys, " que dejaban éste porque construían una obra falsa de madera para iniciar la parte alta, como andamio y despuntaban sobre él la bóveda y al retirar la madera quedaba el volado" pero no existen datos suficientes como para poder asegurarlo:

## CIERRE DE LAS BOVEDAS

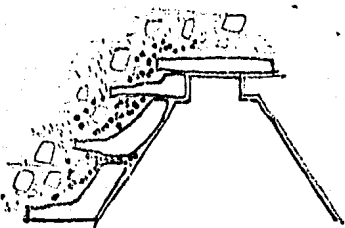
Estos miembros son como dinteles de las bóvedas mayas; se usaron para cubrir la abertura entre ellas. Equivalen a unas piedras-puente sobre la pequeña abertura en las mitades de la bóveda y soportan en parte el material de la techumbre que está sobre ellos.



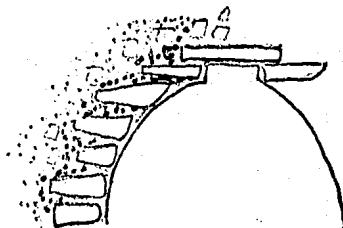
CHICHEN ITZA



UXMAL

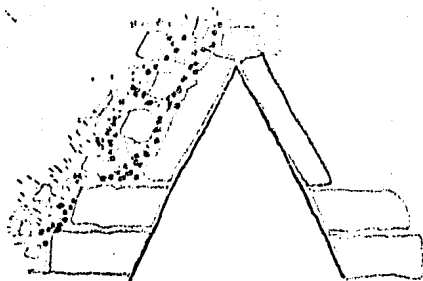


CHICHEN ITZA.

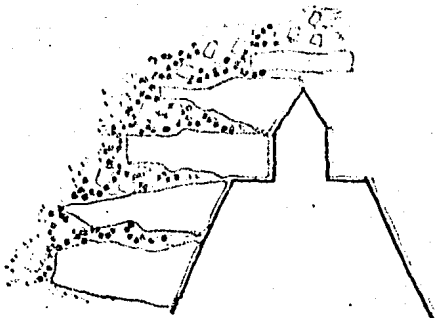


LABNA.

EN ESTOS DETALLES SE PRETENDE ILUSTRAR EL TIPO DE CIERRE DE LAS DISTINTAS FORMAS DE BOVEDAS. EL ANGULO DEL INTRADOS NO CORRESPONDE FIELMENTE CON LA REALIDAD.



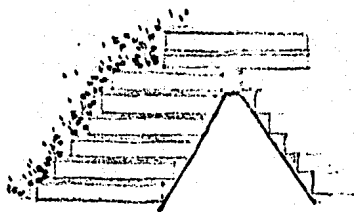
HATZCAP CEEL



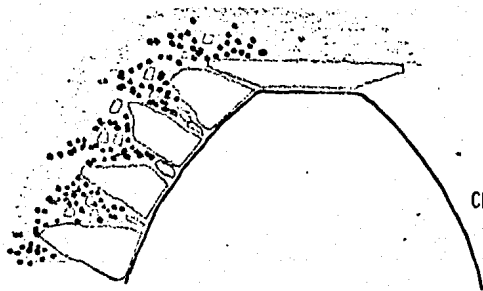
CHICHEN ITZA, EDIFICIO ESTE ANEXO A LAS MONJAS.



OXKINTOK



COMALCALCO

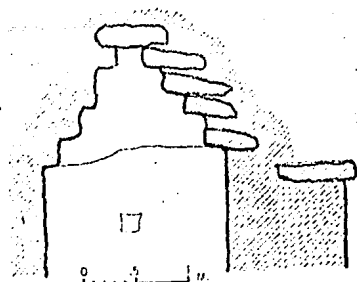


CHACMULTUN.



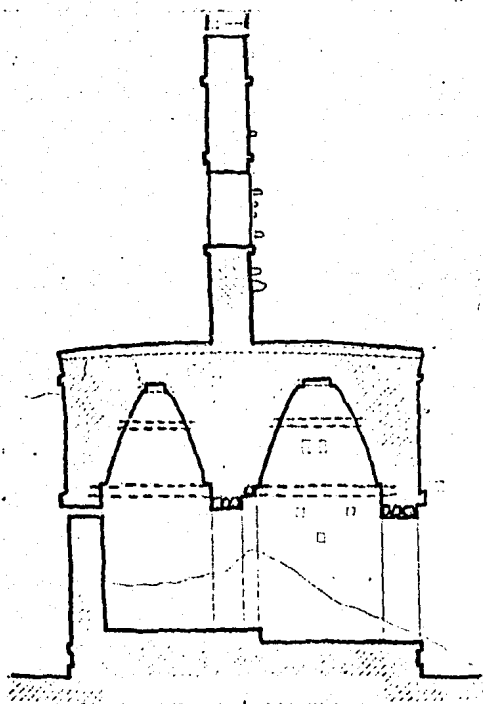
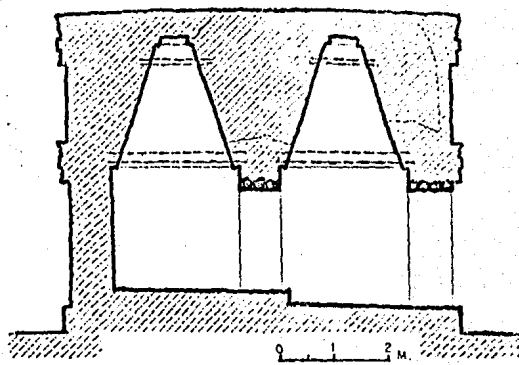
## TIPOLOGIA DE LA BOVEDA MAYA

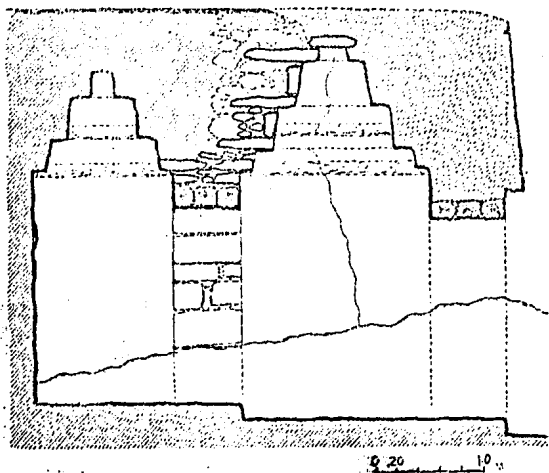
A continuación presento algunos ejemplos sobre los diversos tipos de bóveda maya encontrados aún en pie en algunos lugares de esos asentamientos.



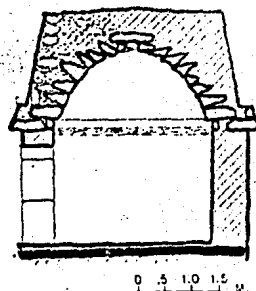
Uxmal

Grupo Norte

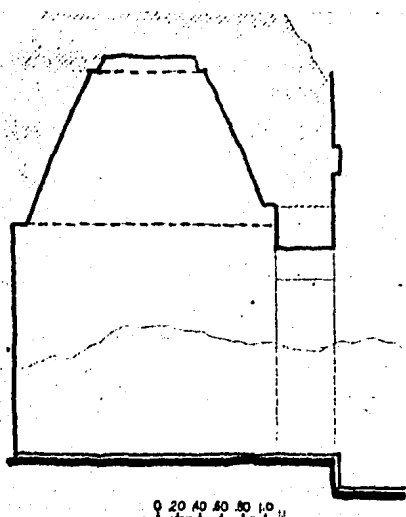
Estructura 7  
Según Pollock.Uxmal  
Grupo 22  
Edificio Norte  
Según Pollock.Uxmal  
Casa de la Vieja  
Templo bajo  
Según H.E.D. Pollock.  
" The Puuc ".



Oxkintok  
Estructura 3BS  
Según Pollock.

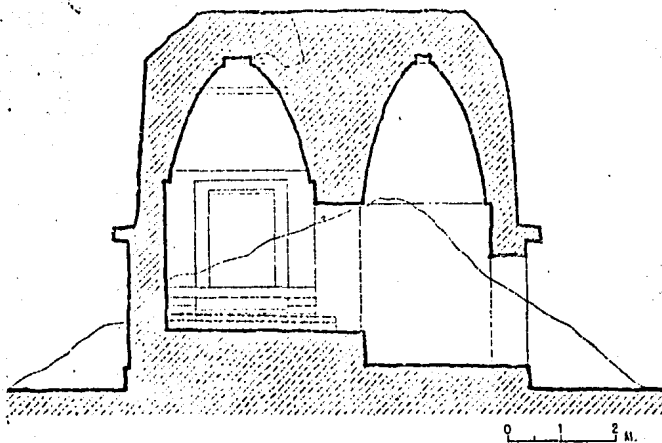


Xochkax  
Según E. Wyllys  
Andrews IV

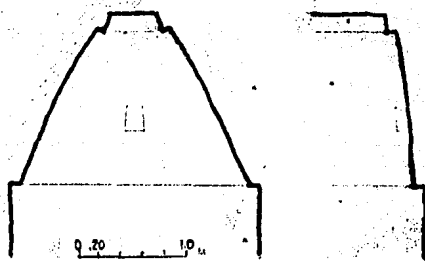


Xcalumkín  
Grupo Principal  
Edificio Norte

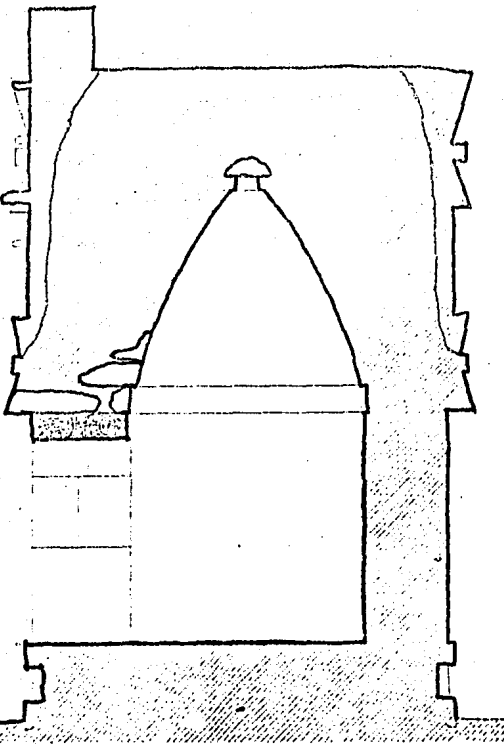
Según H.E.D. Pollock.  
"The Puuc".



Kabáh  
Estructura 2A2  
Según Pollock.

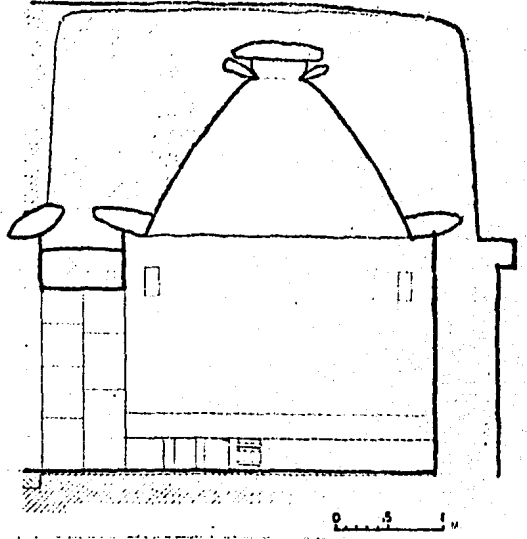


Kabáh Estructura 1AS  
Cortes transversal y longitudinal  
Según H.E.D. Pollock.

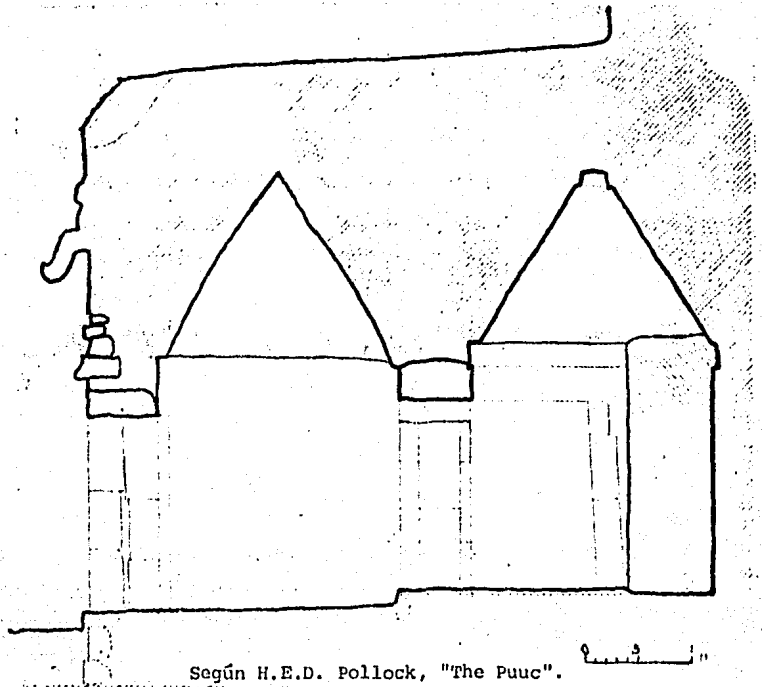


Sayil Estructura 2B1.  
Tercer nivel  
Según Pollock.

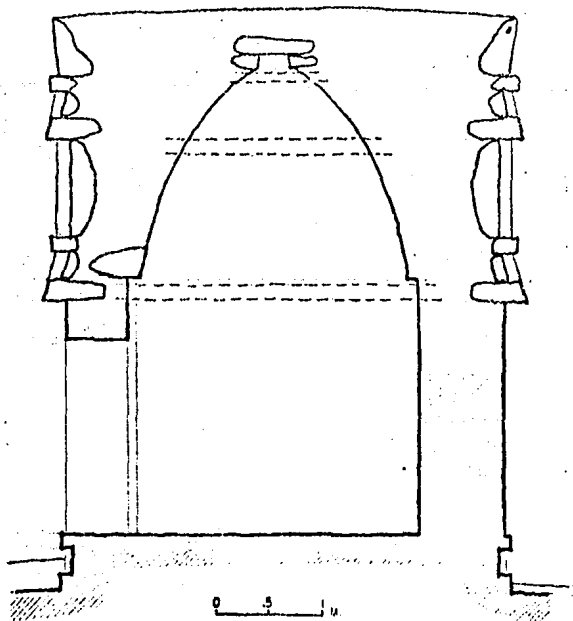
Sayil  
Estructura 3B1  
Según Pollock



Sayil  
Estructura 2B1

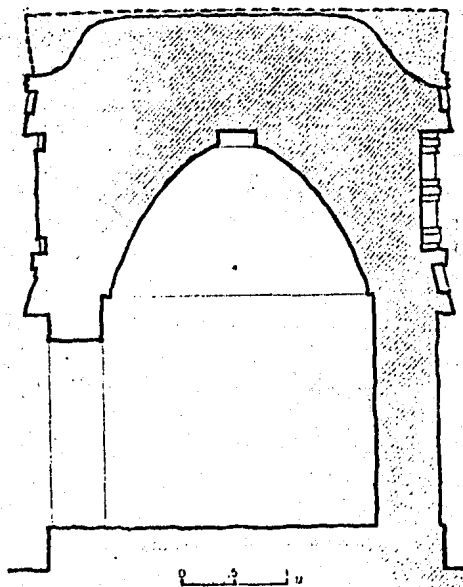


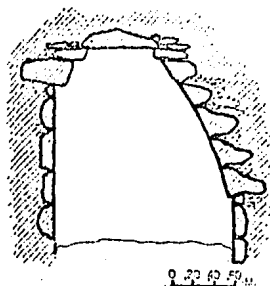
Según H.E.D. Pollock, "The Puuc".



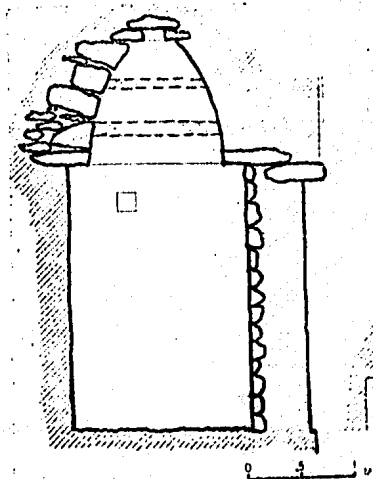
Labná, Estructura 2  
Según Pollock.

Labná  
Estructura S2  
Según Pollock.

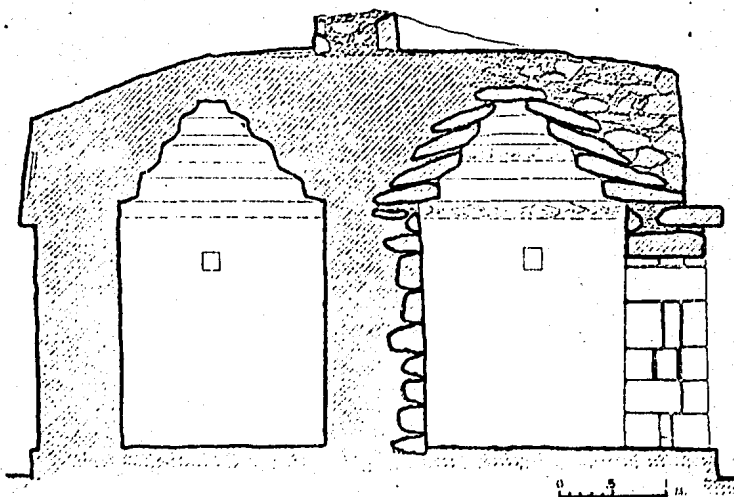




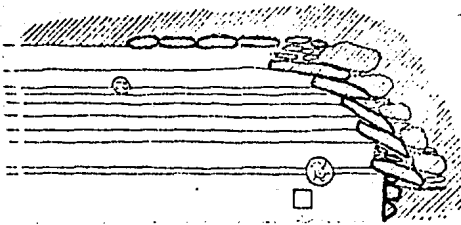
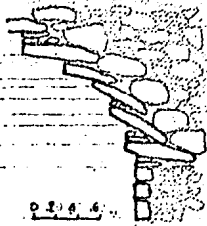
Cacabxuc  
Grupo Sur  
Según Pollock.



Xkalachetzimin  
Edificio Norte  
Según Pollock.

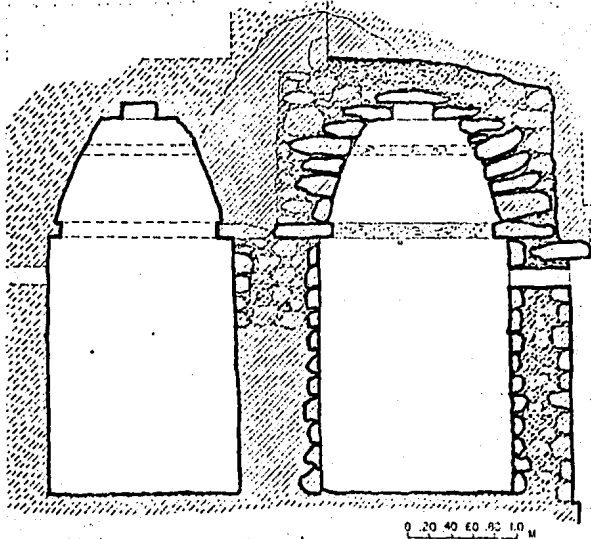


Yakalmai Grupo Norte, Edificio Oeste  
Según Pollock.

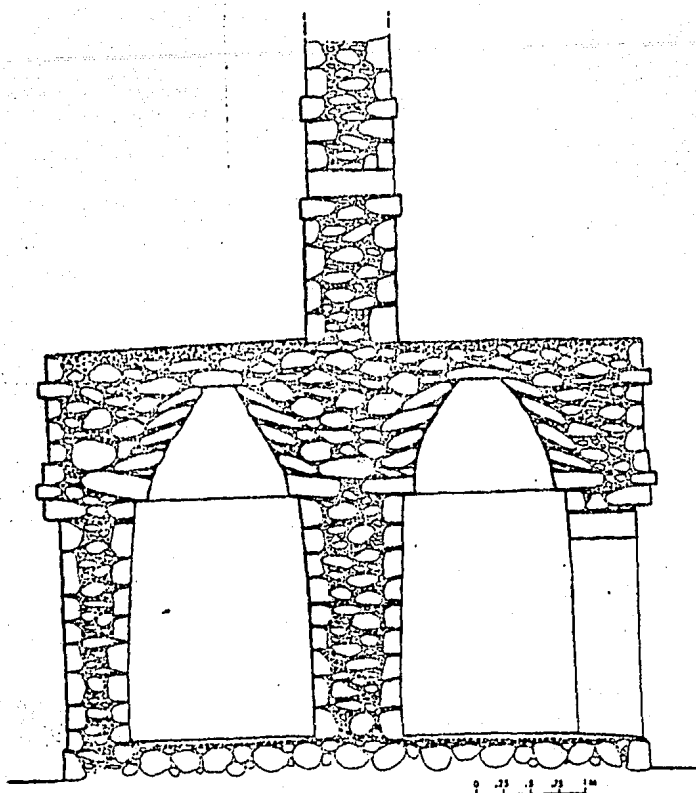


Xkastún  
Grupo Norte  
Edificio Oeste  
Según Pollock.

Xcorralcote  
Grupo Este  
Edificio Central  
Según Pollock.



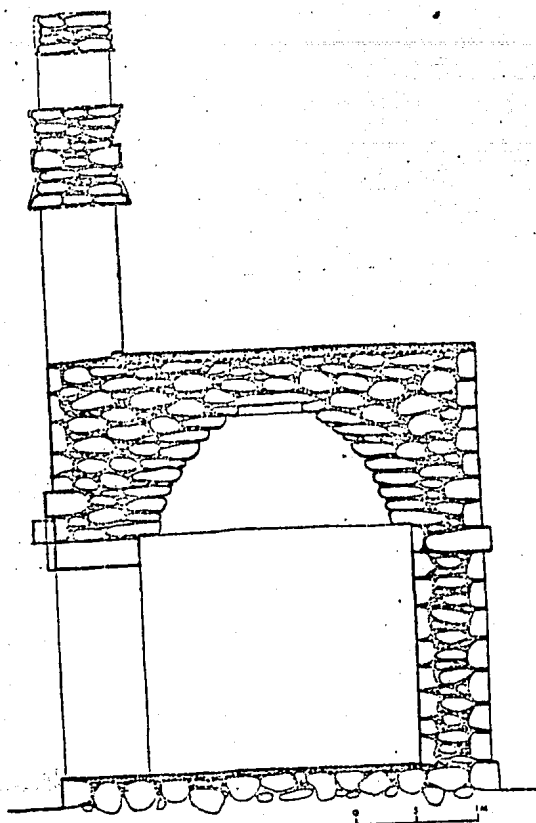




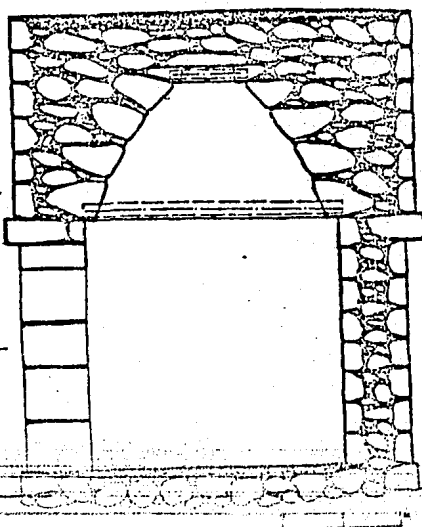
Kupaloma  
Edificio Este

Según George F. Andrews.

Puuc architectural styles a reassessment.

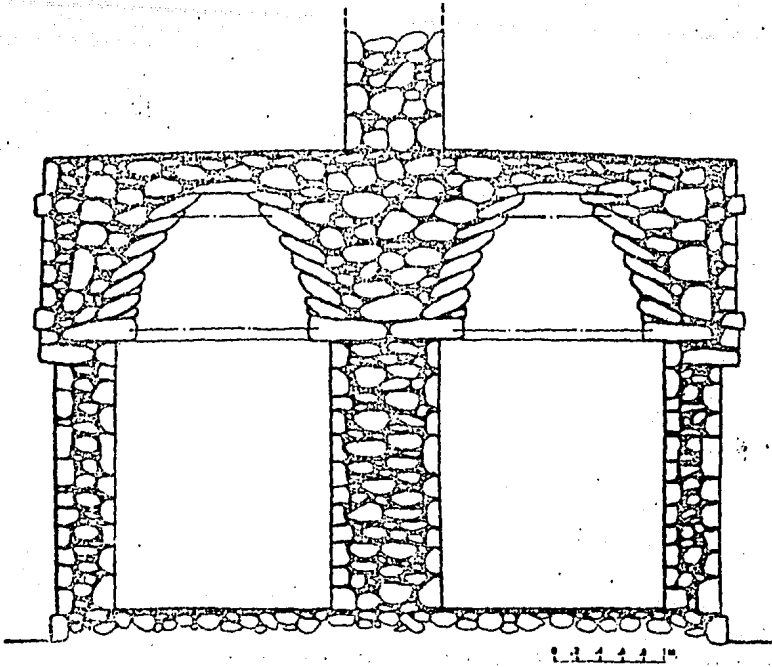


Mul-chic  
Estructura A  
Según George F. Andrews.



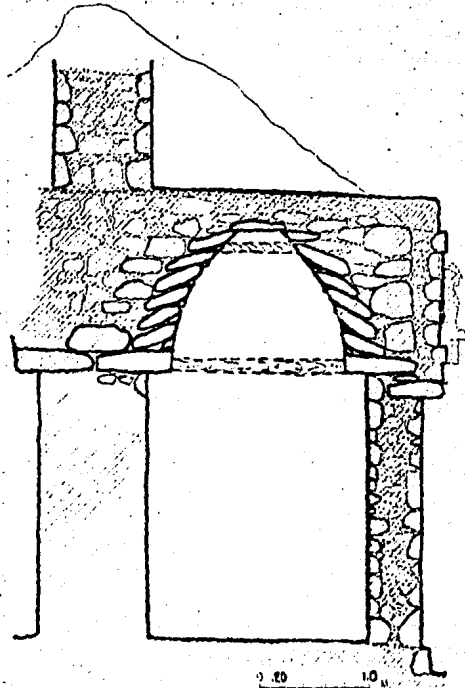
Chacmultún

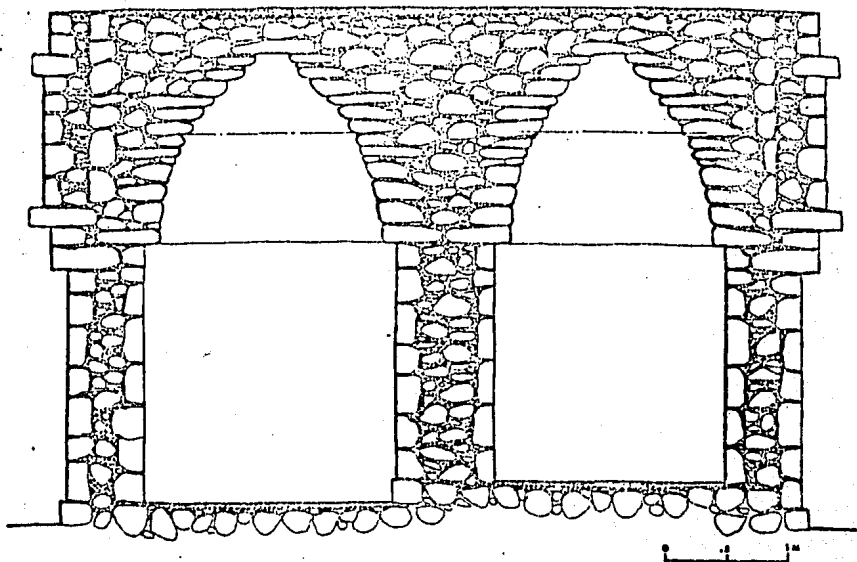
Según George F. Andrews.  
Puuc architectural styles a



Cacabxuc  
Grupo Norte  
Edificio Norte

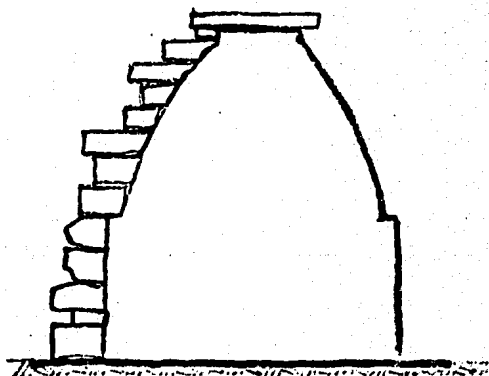
Según George F. Andrews,  
Puuc architectural styles  
a reassessment.



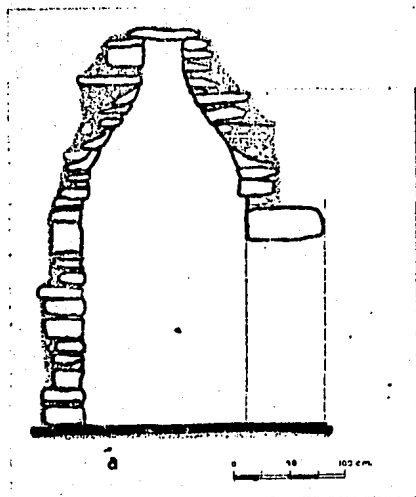


Oxkintok

Según George F. Andrews

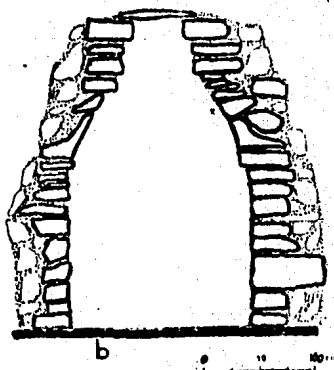


OXKINTOK



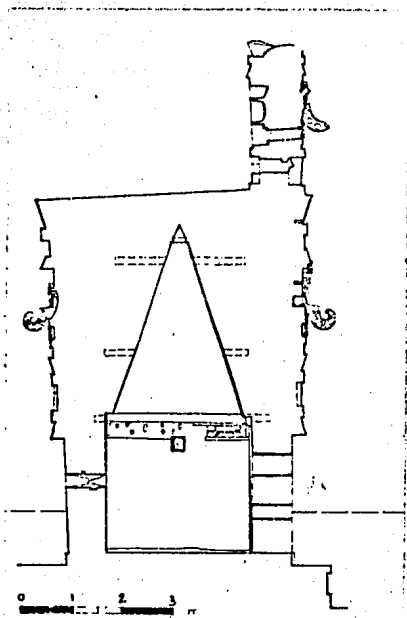
MAYAPAN.

MAYAPAN.



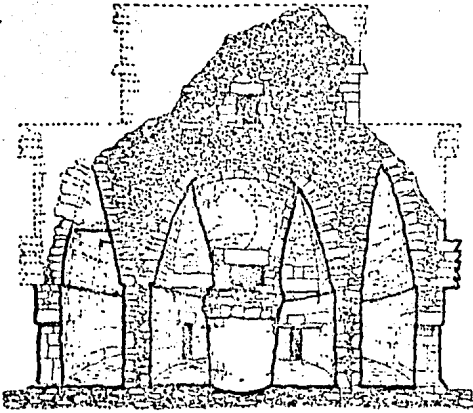
Según Wauchope - Willey  
Archaeology of southern  
Mesoamerica.

Según E. Wyllys Anrews IV

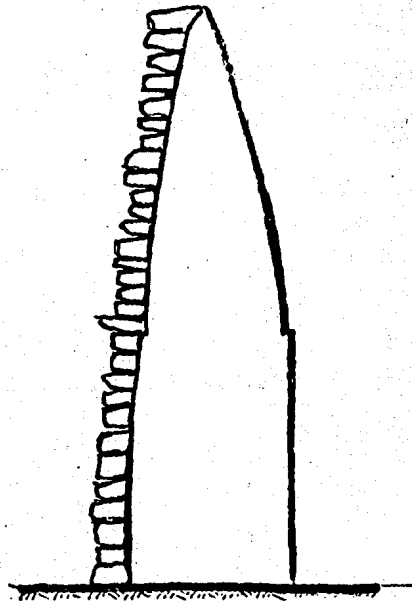


CHICHEN ITZA.  
La Iglesia, Las monjas.

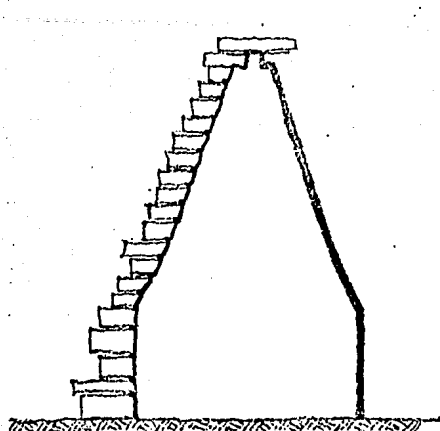
Según J. S. Bolles.



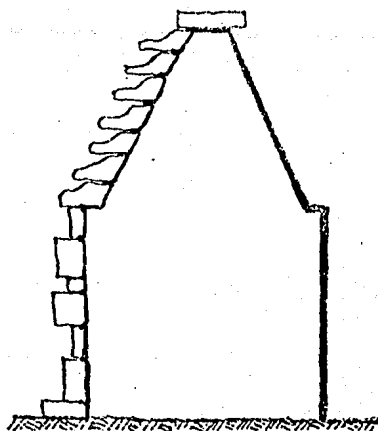
Según Holmes.



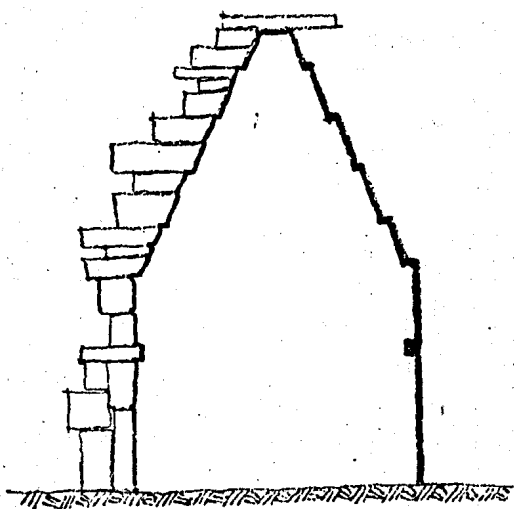
EL CARACOL CHICHEN-ITZA.



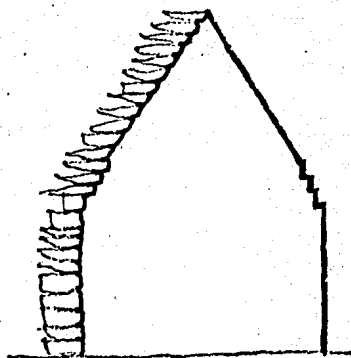
UXMAL Según Paul Gendrop.



UXMAL Según Alberto Amador.



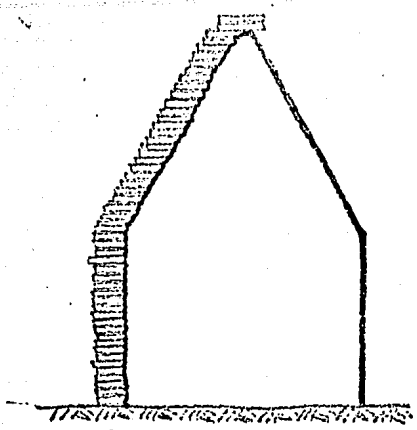
KABAH



COPAN

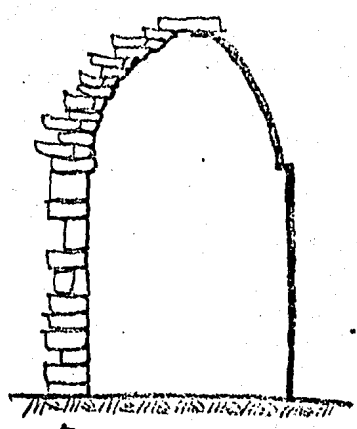
Redibujado por Mario de J. carmona.





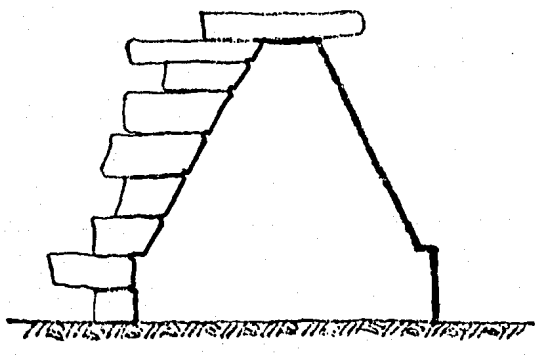
COMALCALCO

Según Alberto Amador.

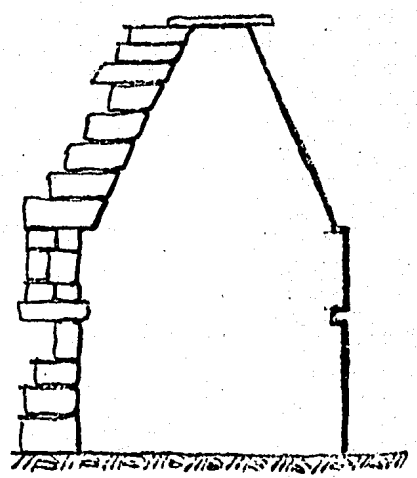


KOHUNLICH

Según Alberto Amador.

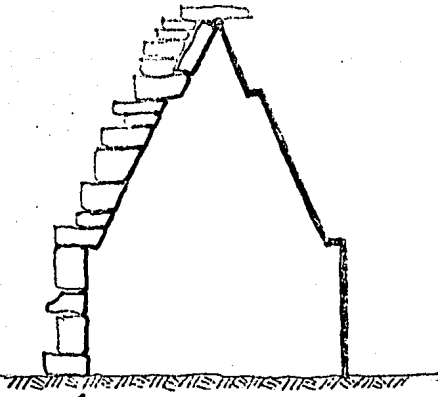


TIKAL

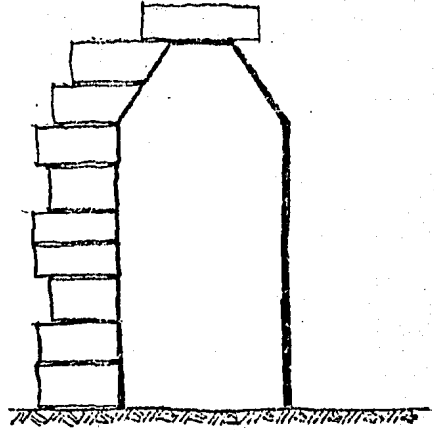


KABAH

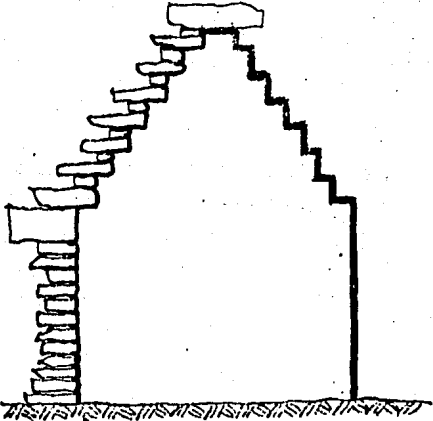
Redibujado por Mario de J. Carmona.



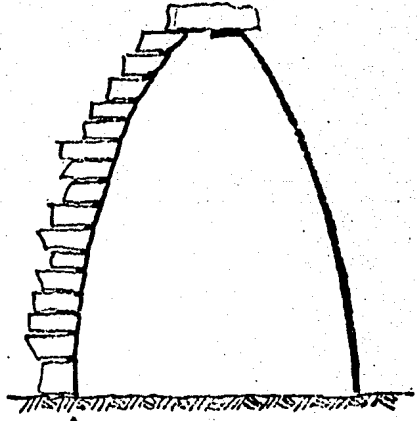
PALENQUE  
Según Alberto Amador.



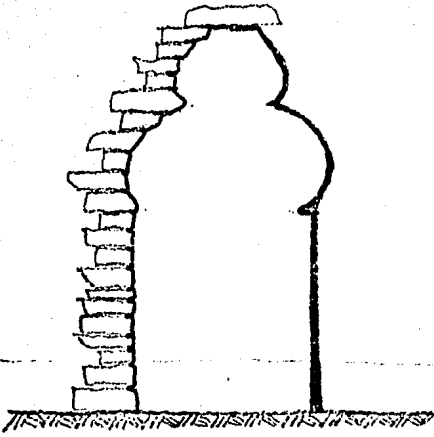
PECHAL



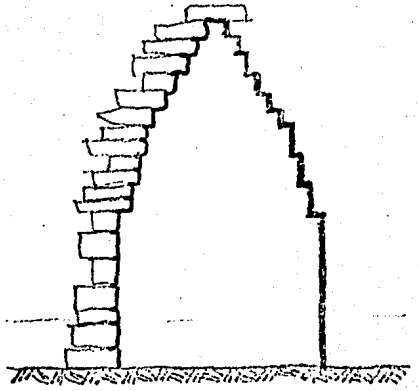
UAXACTUN Edif. E-X  
Según Paul Gendrop.



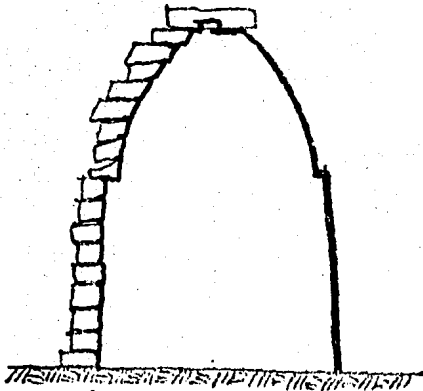
TULUM  
Templo de los Frescos.  
Según Paul Gendrop.



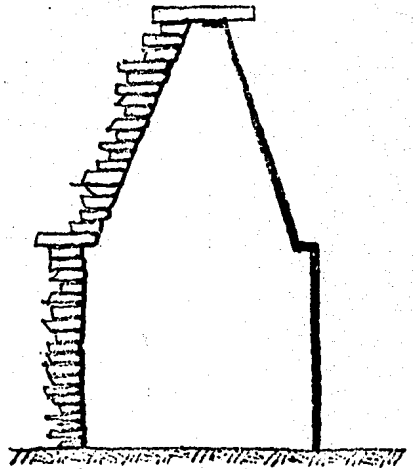
PALENQUE  
Casa A del Palacio  
Según Paul Gendrop.



COPAN  
Edificio anexo al  
Juego de pelota.  
Según Paul Gendrop.



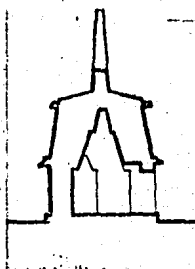
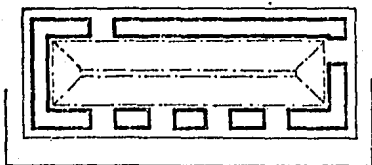
LABNA  
Arco- Según Paul Gendrop



PALENQUE  
Tumba real. Según P.Gendrop

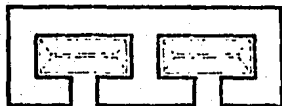
^  
 Todos estos tipos de bóveda fueron combinados en cuanto a sus diseños ,  
 en planta se refiere, en diversos acomodados, dando la siguiente tipolo  
 gía general, a saber;

a) Linealmente



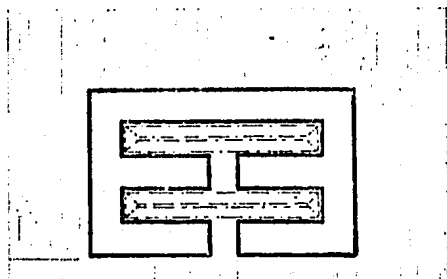
YAXCHILAN, Estructura 22  
 Según Marquina.

b) Linealmente con divisiones intermedias.



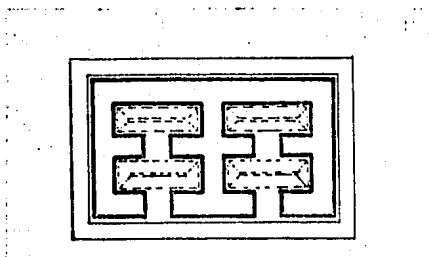
NAKUM, Estructura m  
 según Tozzer.

c) Paralelamente en dos cruñas.



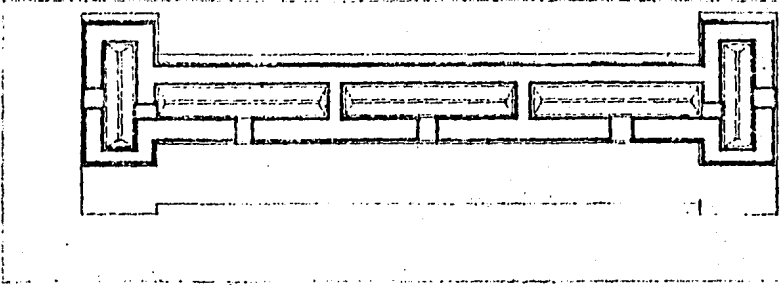
NAKUM, estructura p  
Según Marquina.

d) Paralelamente en dos cruñas con divisiones intermedias.



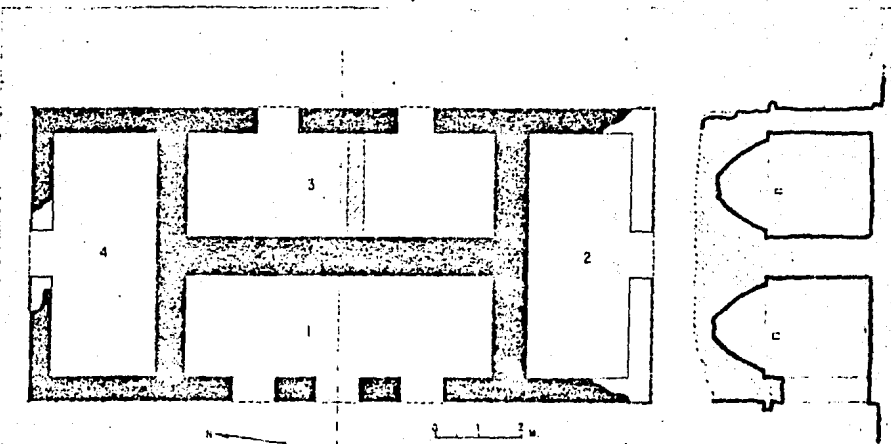
NAKUM, Estructura f.  
Según Marquina.

e) Linealmente con remates perpendiculares en sus extremos,



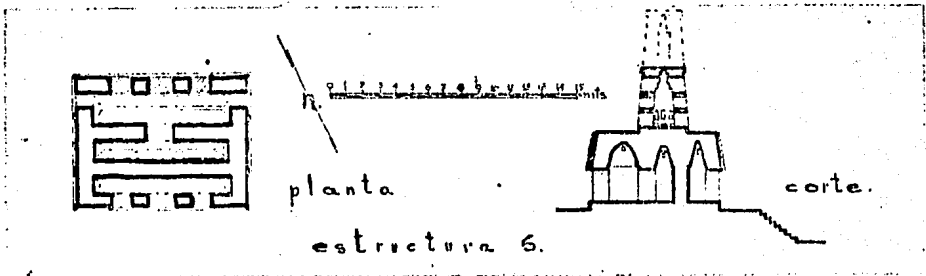
TIKAL, Palacio de dos pisos  
2o. Nivel.  
Según Marquina.

f) Dos crujeas paralelas con remates perpendiculares de una crujía en sus extremos.



SAYIL, Estructura 2C4.  
Según Pollock.

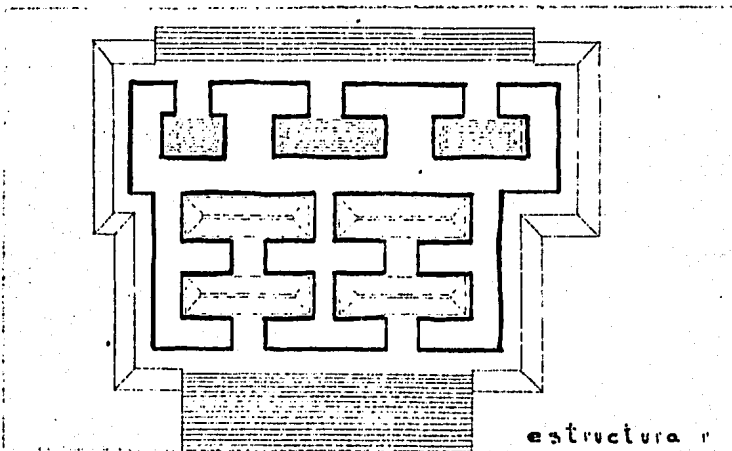
## g) Tres crujeas paralelas



YAXCHILAN.

Según Marquina.

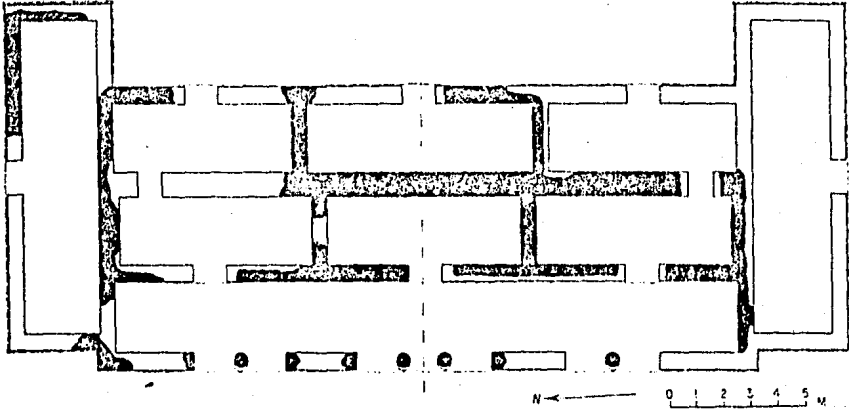
## h) Tres crujeas paralelas con divisiones interiores.



NAKUM.

Según Marquina.

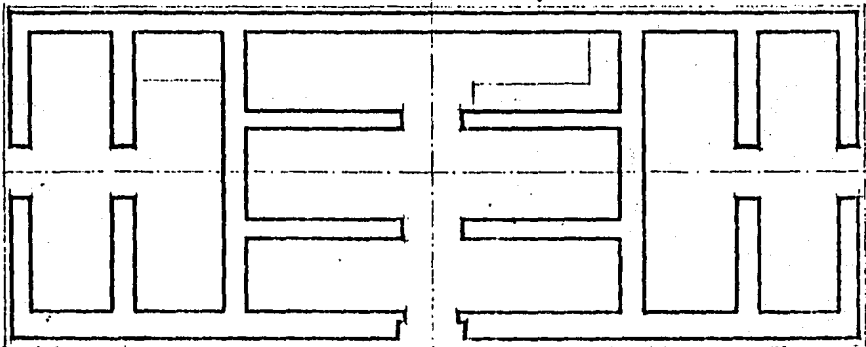
- i) Tres crujeas paralelas con remates perpendiculares en los extremos de una sola crujía.



OXKINTOK, Estructura 3C7

Según H.E. D. Pollock.

- j) Tres crujeas paralelas con remates de dos crujeas también paralelas entre sí pero perpendiculares a las primeras.

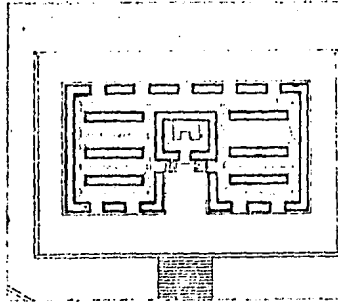


UXMAL, Casa de las Tortugas.

Según Manuel Amabilis D.



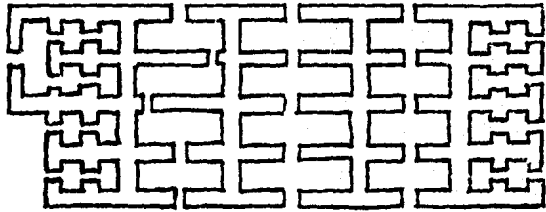
k) Cuatro crujeñas paralelas



PIEDRAS NEGRAS  
Estructura P7.

Según Marquina.

l) Cuádruple crujeña con bóvedas transversales en sus extremos.

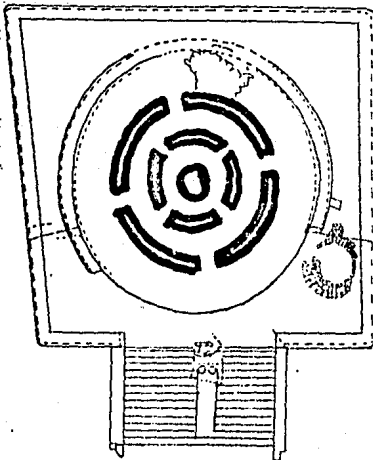


Según Alberto Amador.

Estructura 51  
de la Acrópolis Sur

TIKAL

m) Crujeñas concéntricas de planta circular.

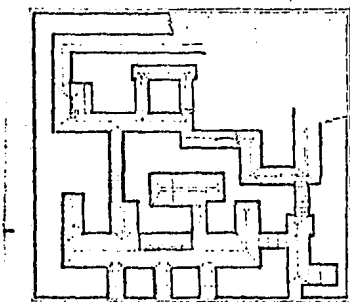


CHICHEN ITZA.

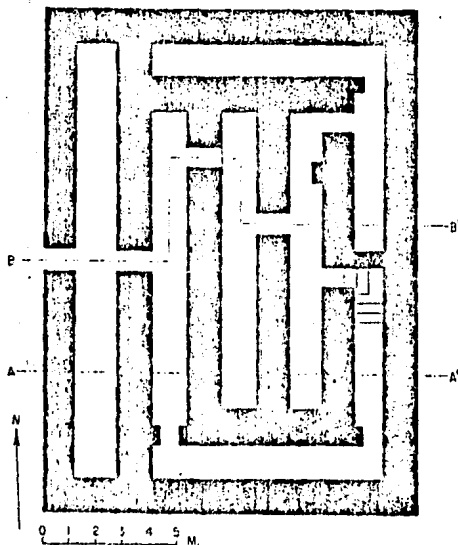
El Caracol.

Según Stierlin.

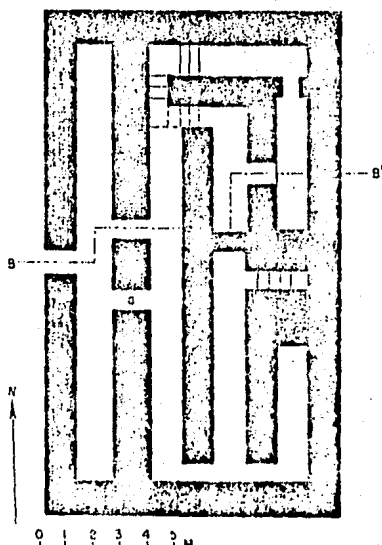
n.) Combinación libre de algunos de los casos anteriores con ejes perpendiculares en dos sentidos.



YAXCHILAN  
Estructura 19  
Según Marquina.



a

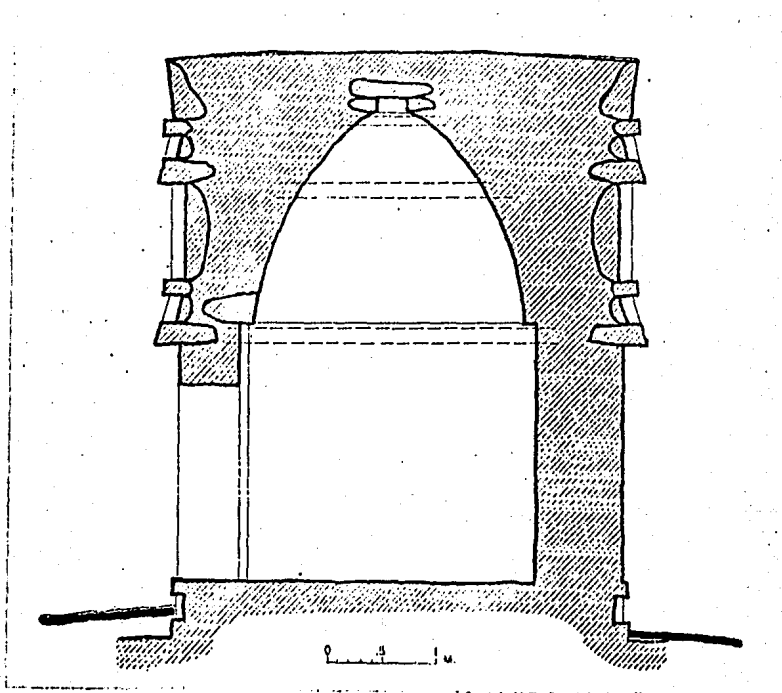


b

OXKINTOK, Estructura 3B1 1o. y 2o. pisos.  
Según Pollock.

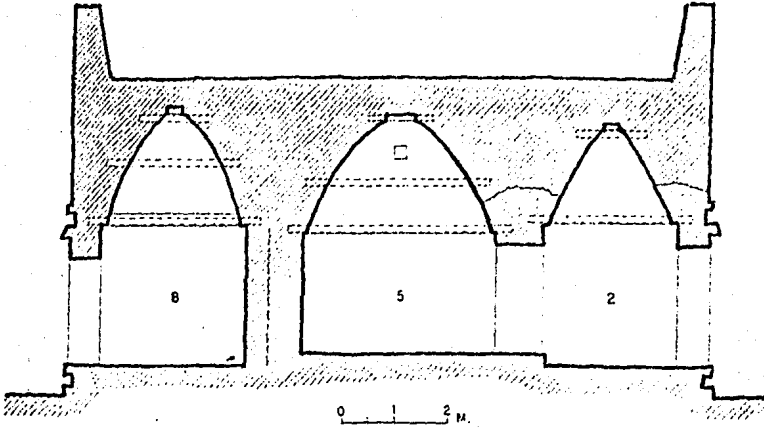
He presentado un análisis desde el punto de vista estructural y de procedimientos constructivos, pero me parece además sumamente interesante estudiar el trazo de las bóvedas.

Existen como he mencionado anteriormente varios tipos de ellas, unas con el intradós recto y otras curvo; y han llamado poderosamente mi atención las bóvedas como las que se encuentran en los sitios de Labná, Xlabpak,-- Almuchil, etc. dado que su trazo es especial.



Según H.E.D. Pollock.

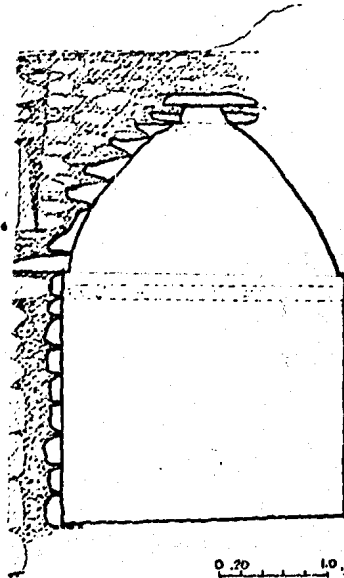
Labná.



Xlabpak

Según H.E.D. Pollock.

Almuchi  
Según Pollock.



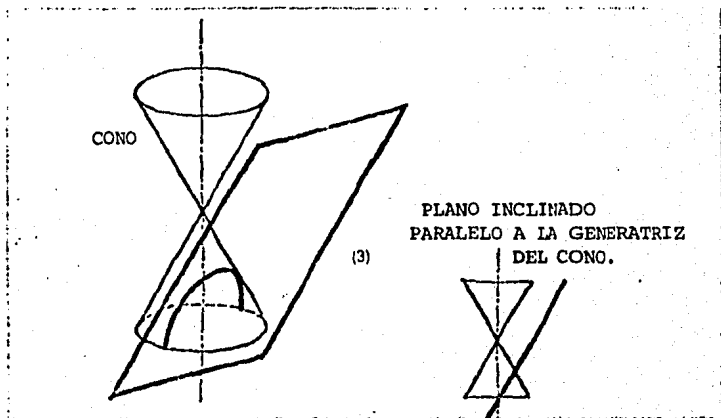
En virtud de lo anterior, a continuación analizo algunas bóvedas de los - sitios mencionados, mismos que después de someterlos a algunas investigaciones matemáticas aportaron lo siguiente:

Describen un trazo parabólico que refleja el talento y el adelanto de ésta magnífica civilización, misma que en este sitio data aproximadamente de los años 770 - 900 de nuestra era.

Para los efectos de comprender esta tecnología maya, entraré en el terreno de la geometría analítica y en particular en el estudio de la parábola.

Desde el punto de vista estricto de la geometría, se define como parábola

la figura que resulta de la intersección de un plano inclinado con uno de los mantos de un cono, siendo el plano paralelo a una de las generatrices del mismo cono, tal y como se aprecia en la figura siguiente.



Ahora bien las matemáticas enlazan a la geometría por medio de la geometría analítica y en función a ella se establece su definición:

" Parábola es el lugar geométrico de todos los puntos de un plano que se mueven de tal manera que las distancias desde un punto cualquiera de la curva hasta un punto fijo llamado Foco y hasta una recta fija llamada Directriz son iguales entre sí."

V = Vértice

F = Foco

LL' = Recta Directriz ( recta fija )

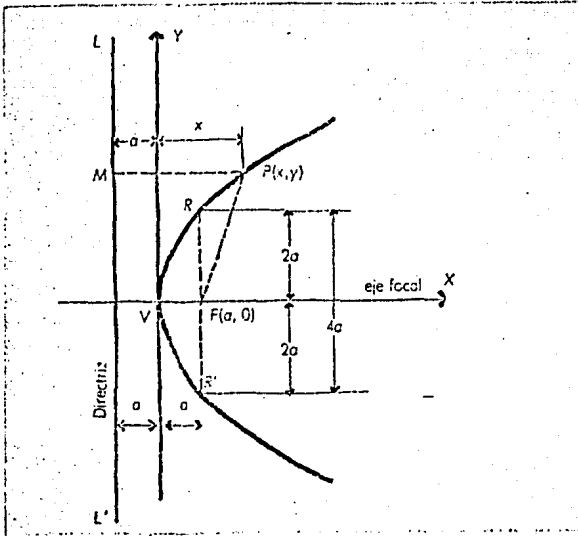
RR' = Lado Recto.

Las condiciones de la figura incluidas en la definición son las siguientes:"

La distancia entre el vértice y el foco y entre el vértice y la directriz es siempre igual y para su estudio se le llama "a" .

La recta perpendicular al eje focal que pasa por el foco y corta a la curva en los puntos R y R' se llama Lado recto y equivale a " 4a " ( cuatro veces a ).

La figura siguiente muestra estas relaciones y la condición general de la curva.



La definición de la parábola nos indica que cualesquiera distancias desde un punto de la curva hasta el foco F y hasta la recta directriz LL', --- ( medida de la perpendicular a la directriz ) son siempre iguales.

Apoyándose en las consideraciones anteriores se tiene que:

$$\overline{PF} = \overline{PM}$$

$\overline{PF}$  es la distancia entre dos puntos cuya expresión analítica es:

$$\sqrt{(x-a)^2 + (y-0)^2}$$

y la distancia  $\overline{PM}$  es igual con  $x + a$ , siendo "x" la distancia horizontal - desde el punto P hasta el eje YY' ( abscisa ) y "a" la distancia entre el eje YY' y la recta directriz.

de donde :

$$\sqrt{(x-a)^2 + (y-0)^2} = x + a$$

elevando ambos términos al cuadrado se tiene,

$$(x-a)^2 + y^2 = (x+a)^2$$

$$x^2 - 2ax + a^2 + y^2 = x^2 + 2ax + a^2$$

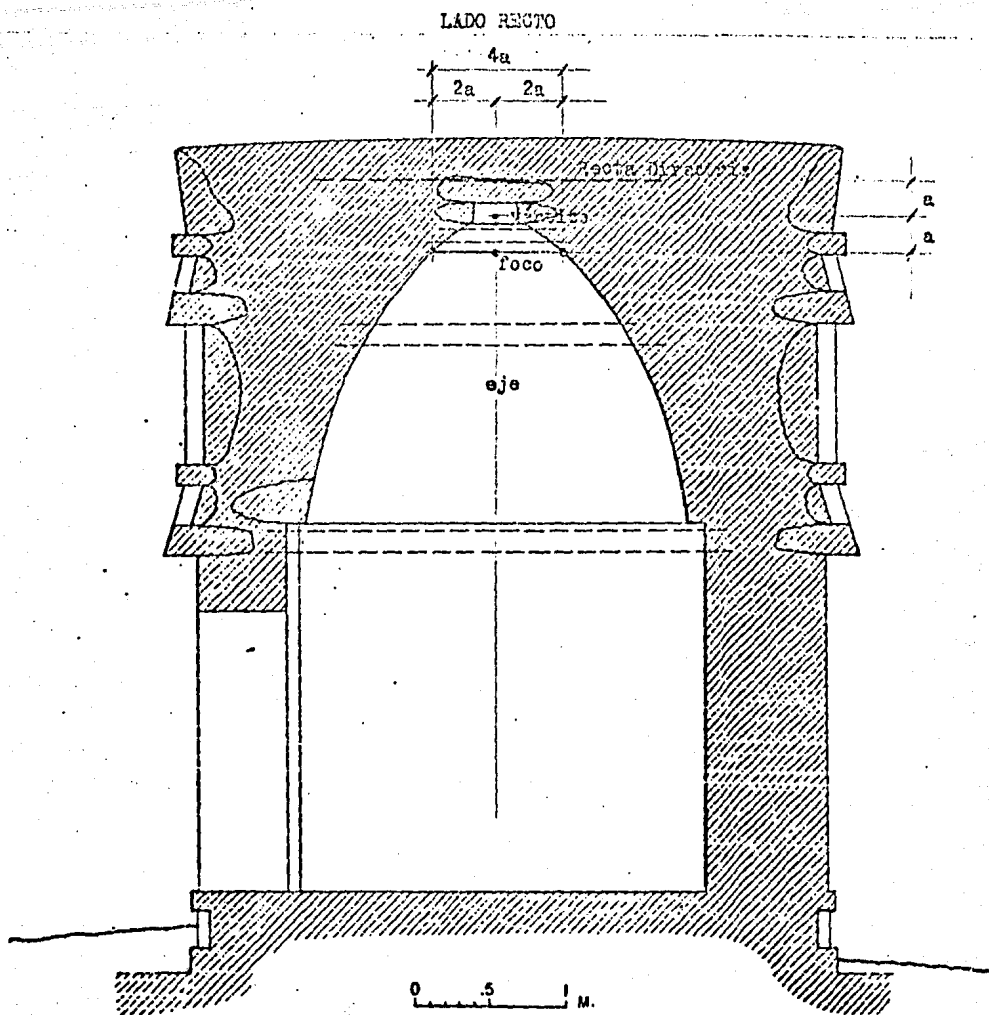
eliminando términos semejantes,

$$y^2 = 4ax$$

que es la ecuación de la parábola cuyo vértice está en el origen de coordenadas y abre hacia la derecha, como lo indica el croquis precedente.

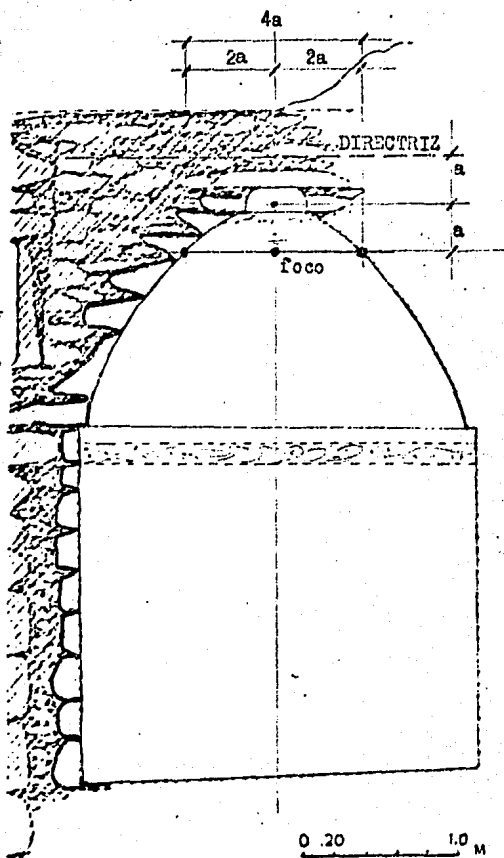
Ahora bien, la bóveda maya en la estructura 2, cuarto 6 de Labná, se puede considerar como una parábola de vértice en el origen abriendo hacia abajo, por lo que, buscando la coincidencia de los puntos con los del croquis - teórico de la curva se tiene lo que se muestra en la página siguiente al igual que muchas otras del Puuc tales como las bóvedas de la Estructura III, Cuartó 1 de Alnuchil y de la Estructura I de Xlabpak en el Cuarto 5, mismas que presento a continuación.



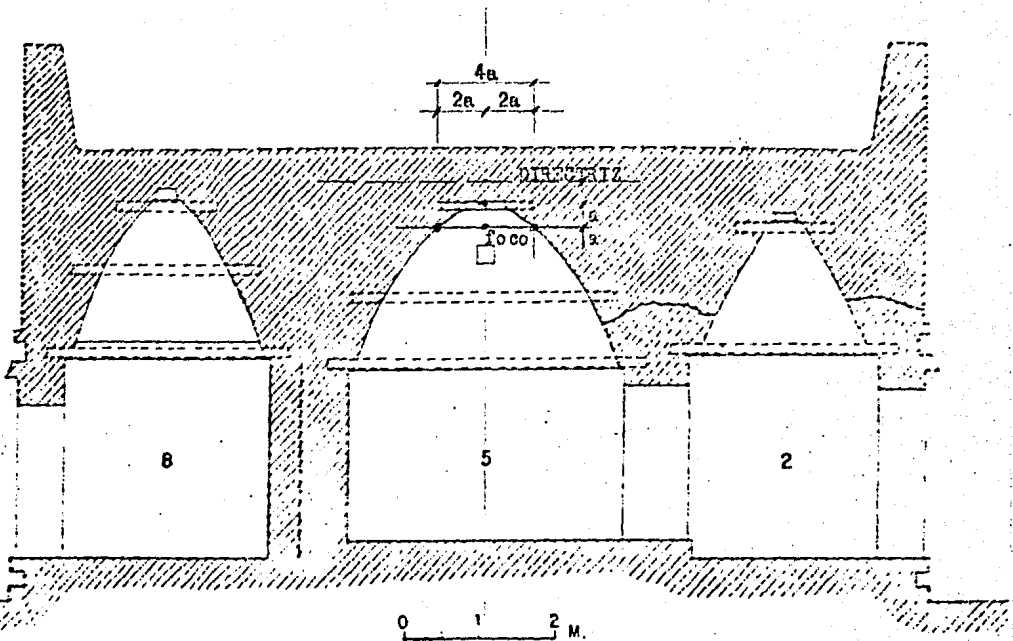


Corte según Pollock.  
(Amplificación).

Labná, Estructura II, Cuarto 6



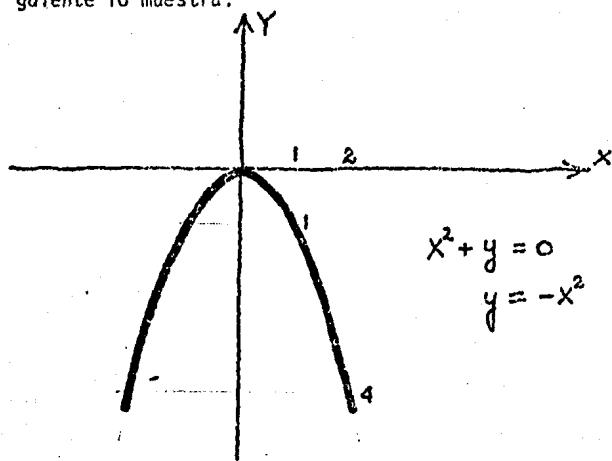
Almuchil, Estructura III, Cuarto 1.  
Corte según Pollock. (Amplificación).



Xlabpak, Estructura 1, Corte de los cuartos 2,5 y 8.

Corte según Pollock. (Amplificación).

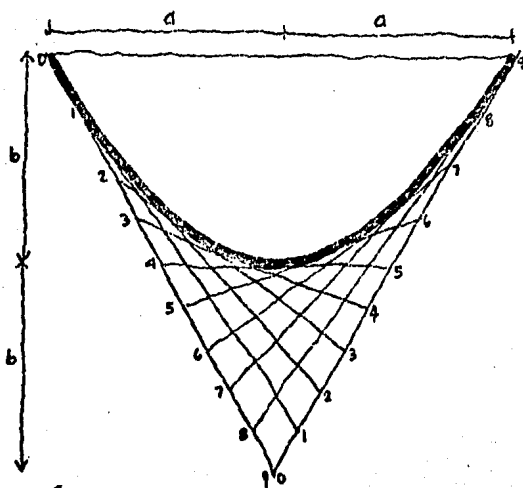
Continuando con el análisis matemático, se puede decir que una parábola con vértice en el origen y que abre hacia abajo, tal y como la figura siguiente lo muestra:



presenta claramente la relación de valores en una curva de este tipo.

Tal y como la ecuación y el croquis lo demuestran, mientras que las abscisas caminan una unidad, las ordenadas avanzan esa unidad al cuadrado.

Ahora bien, esta relación probablemente fue conocida por los mayas de alguna manera, lo que nos permitió crear esta forma en algunas de sus bóvedas, también se puede pensar en que pudieron haber utilizado una cierta forma de trazo en la curva. El más sencillo que se conoce lo describo a continuación: se llama Método de la Envolvente y no proporciona puntos de la curva, sino una serie de rectas tangentes que perfilan directamente a ésta.

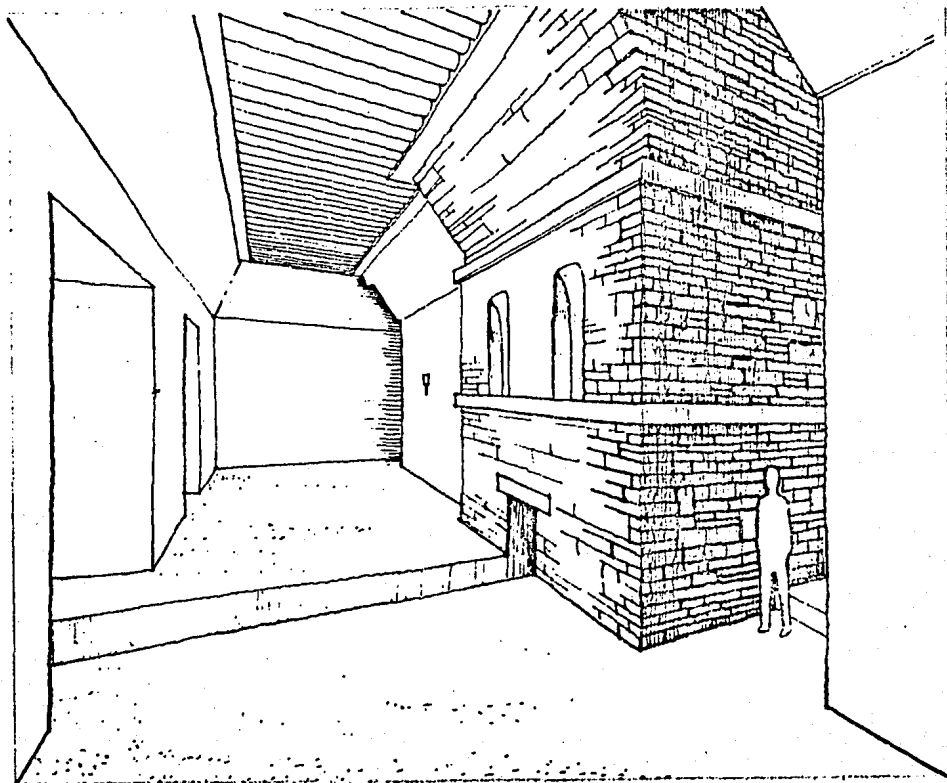


Las rectas generatrices se dividen en cualquier número de partes iguales, se numeran una en un sentido y otra en otro y se unen entre sí los puntos de igual número o igual nombre y se va trazando la silueta de la curva.

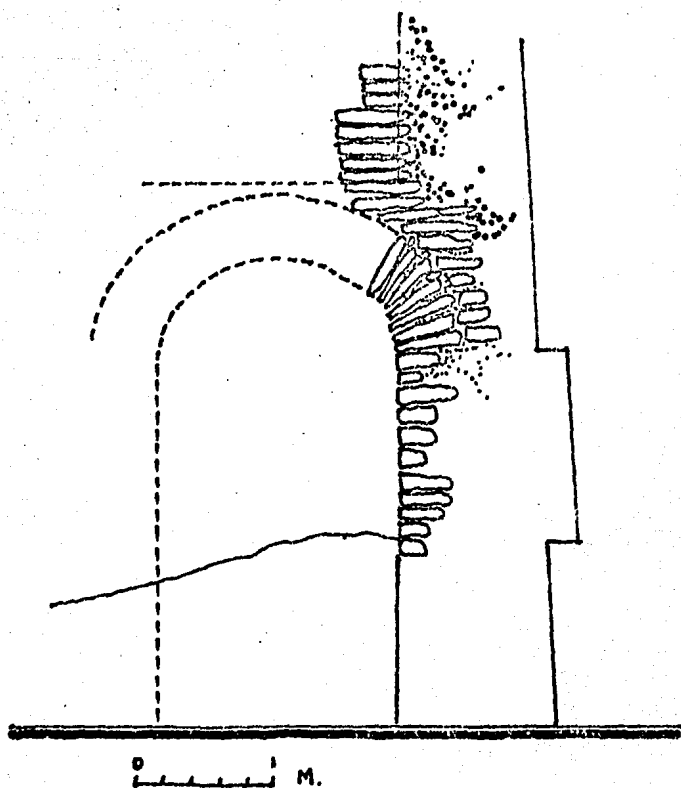
Probablemente alguno de estos criterios fue usado para crear unas cerchas y darle forma a un cierto volumen de tierra y piedras sobre el cual se acomodaron las hiladas formando estas magníficas bóvedas.

## CASOS ESPECIALES

Techumbre con los paños inclinados de las bóvedas  
con cierre de elementos de madera



PIEDRAS NEGRAS, GUAT. Interior del baño de vapor según  
Tatiana Proskouriakoff.



LA MURECA, Estructura XII, Cuarto 2

Este es un caso verdaderamente especial, pues como se aprecia en el corte son los restos de lo que pudo ser probablemente una bóveda de cañón corrido, este hallazgo fué hecho por Ruppert y Denison.

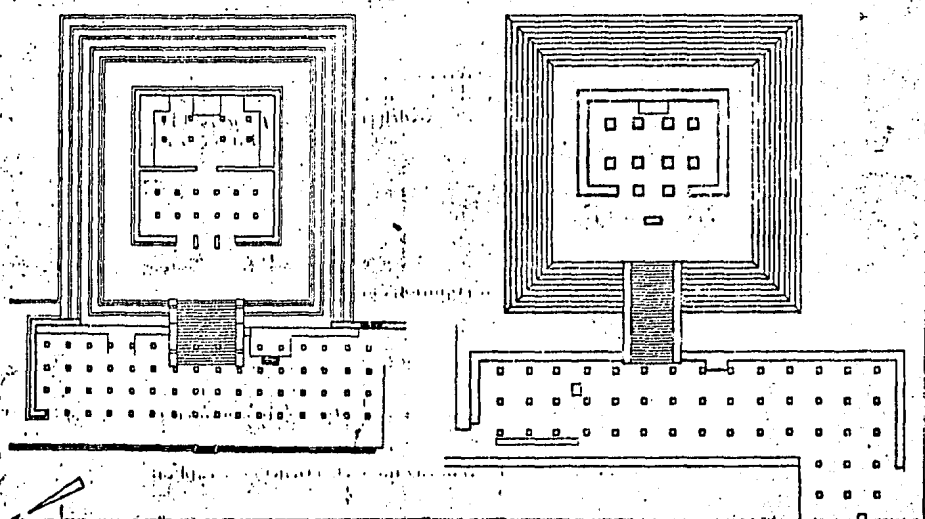
## LA EDIFICACION MAYA - TOLTECA.

Como resultado de la síntesis desarrollada en función de la unión de las técnicas mayas de edificación y el arte constructivo de los itzaes, "los toltecas invasores", se dió en la zona maya aproximadamente en la mitad del siglo X una arquitectura conocida como maya - tolteca, misma que presentó una serie de cambios que podríamos llamar revolucionarios.

Los mayas contribuyeron con su técnica edificatoria, sus procedimientos de construcción en cuanto a muros, apoyos aislados, sistemas de techumbre a base de bóvedas de una gran calidad y los extranjeros provenientes de Tula aportaron varios conceptos arquitectónicos y estructurales, tales como el de la creación de espacios abiertos pero cubiertos, las salas hipóstilas, combinando para estas soluciones a la madera y a la mampostería.

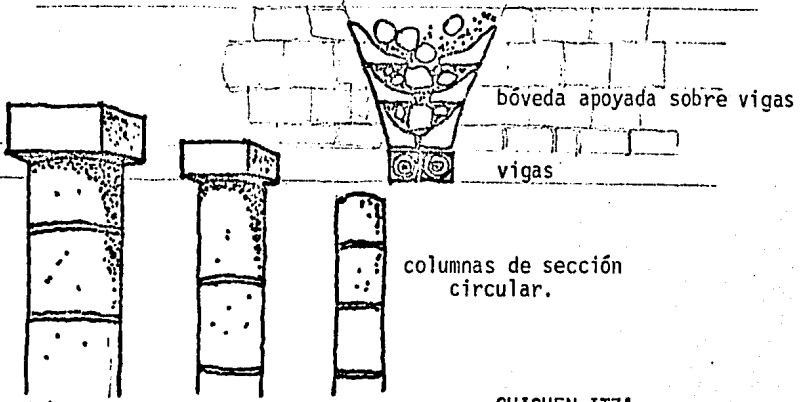
Esta influencia tolteca, la podemos comprobar mediante la comparación entre las plantas arquitectónicas del Templo de los Guerreros en Chichen Itzá y el Templo de Tlahuiscalpantecuhtli de Tula. Ambas edificaciones presentan ciertas características de conceptos, espacios y tratamientos, como se muestra en la página siguiente.



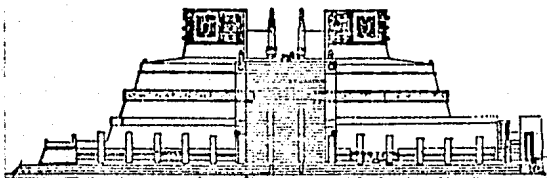
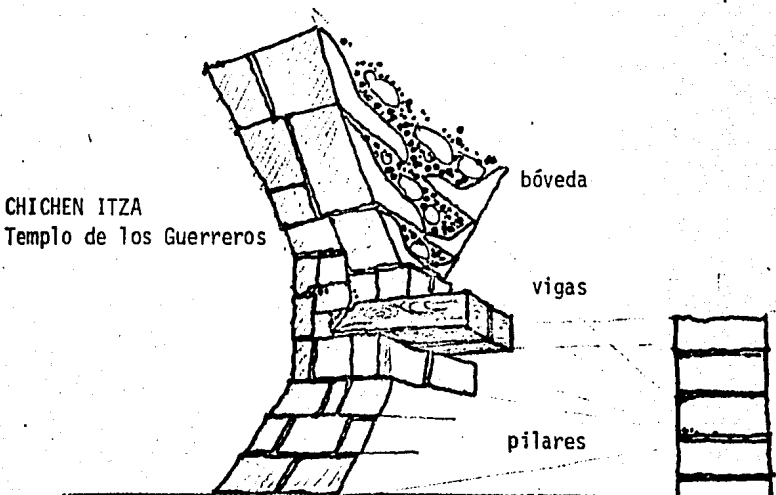


Comparación entre los Templos de " Los Guerreros de Chichen Itzá y de Tula. Dibujos realizados por Henri Stierlin, 1976.

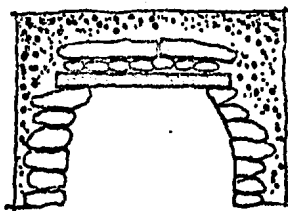
Detalles constructivos que muestran la técnica de edificación en la zona maya tolteca:



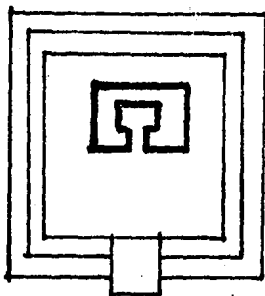
CHICHEN ITZA.  
Templo de los Retablos.  
Anexo al Caracol.



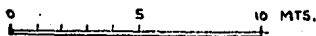
Templo de los Guerreros.



La influencia tolteca llegó hasta las costas del Caribe en las que, como podemos apreciar se combinó la técnica de la bóveda con elementos horizontales de madera para techar los edificios.



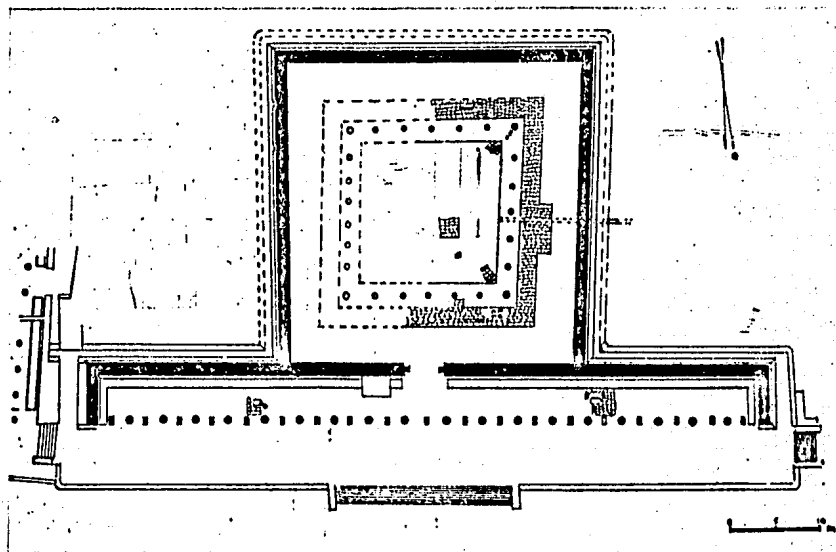
Edificio 1  
TANCAH, Quintana Roo.  
Según Marquina.



Esta combinación de estructuras, podemos considerarla como de media bóveda y medio techo plano, com-

puesto de muchos morillos sobre los que se colocaron piedras de cierre y el relleno final.

Otro ejemplo que podemos citar, muy interesante, es el del edificio conocido como El Mercado de Chichen Itzá. Es un edificio con planta en T y en su parte central un patio rodeado por un corredor de 5 m. de ancho; al no subsistir techos, ni siquiera restos de bóveda, se supone que probablemente este corredor fue techado con vigas que se apoyaban en los muros perimetrales del exterior del edificio y en la trabe o viga que ligaba las columnas. Este techo, dada la diferencia de alturas entre el muro y las columnas, pudo ser inclinado, como lo muestra Karl Ruppert ---- (publicación 546 de la Carnegie Institution of Washington en 1943), teniendo una pendiente hacia el patio para el desagüe pluvial.



Según Marquina.

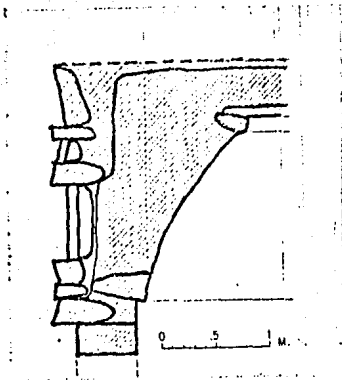
## VOLADOS Y EMPOTRES.

Debemos entender por "volado" en términos arquitectónicos, un elemento estructural que sobresale del plano general de una fachada, es decir, - parte de la edificación que sobresale del paramento de muro que lo sostiene.

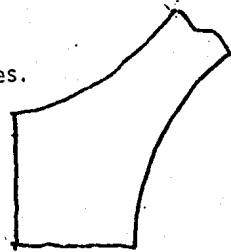
Estos elementos arquitectónicos necesitan, para soportarse y evitar el volteo, de una solución constructiva conocida con el nombre de empotre, ---- esto es, anclar en el corazón o núcleo de la estructura a dicho elemento. Este procedimiento fue utilizado por los constructores mayas para obtener las molduras que aparecen en sus edificaciones.

Las longitudes y dimensiones de las piezas empotradas son variables y están en función de la distancia que sobresalen del paramento de la fachada así como de la carga que han de soportar.

En el ejemplo siguiente se muestra con claridad cómo se construía el corazón de la edificación y posteriormente se colocaban las piezas que formaban las molduras, quedando éstas empotradas en la mezcla general - cuyas características han quedado definidas en capítulos anteriores.



CHUNCATZIM  
Estructura 1  
Detalle de anclajes.  
Según Pollock.

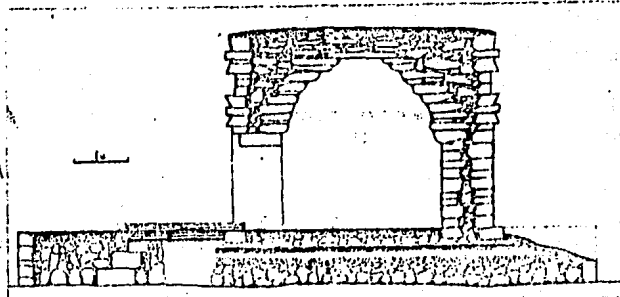


CHUNCATZIM.  
Piedra de esquina  
Según Pollock.

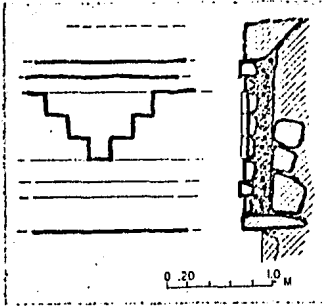
Para los efectos de completar más la idea, muestro a continuación diversos ejemplos de edificaciones mayas que presentan con claridad este procedimiento edificatorio, aclarando que estos elementos constructivos - constituyen las cornisas y como vimos, la técnica de su edificación sugiere una interesante línea de pensamiento, pues denota claramente los - conceptos de amarre, de empotre, de bases para mantener el nivel de las hiladas, etc.,

XCARET, QUINTANA  
ROO.

Según E. Wyllys -  
Andrews IV.

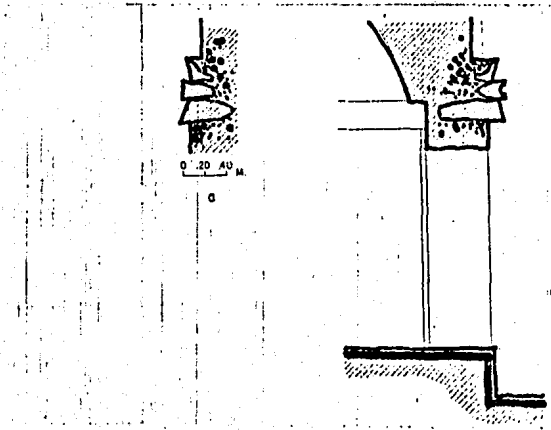
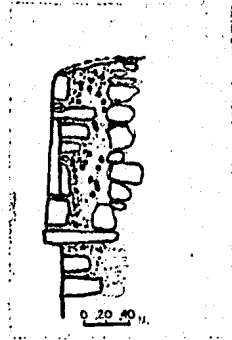


DETALLES DE ANCLAJES.

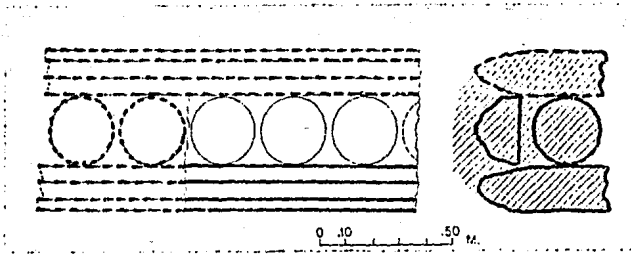


HALTUNCHON  
Grupo Hilltop  
Edificio Oeste.  
Según Pollock.

OXKINTOK  
Estructura 3  
Según Pollock.

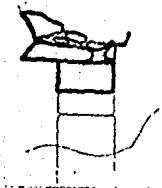
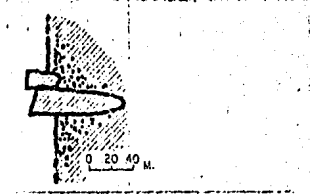


LABNA.  
Estructura S  
Según Pollock.



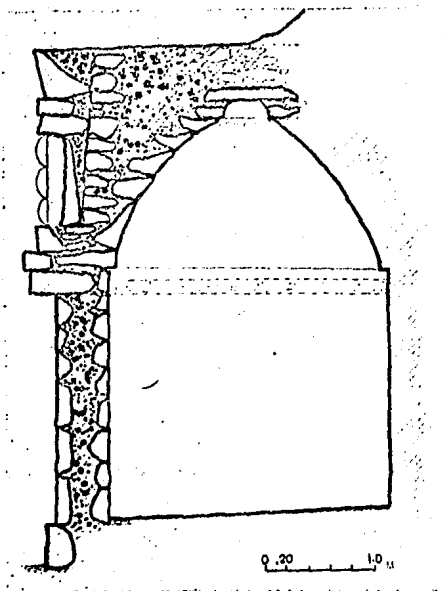
CHUNCATZIM, Estructura 2, Moldura.  
Según Pollock.

CHUNCATZIM  
Estructura 1  
Según Pollock.



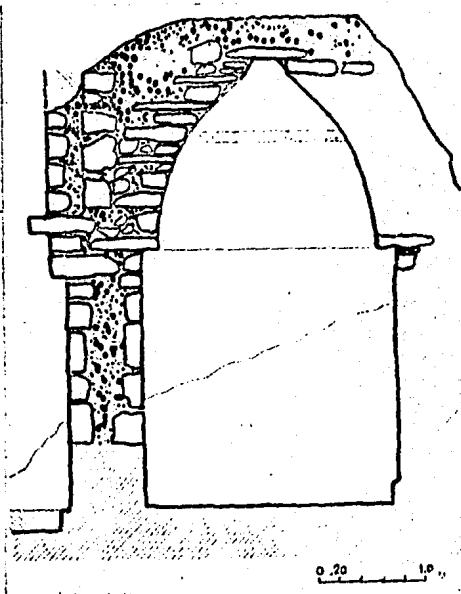
HALAL, Edificio Principal.  
Según Pollock.





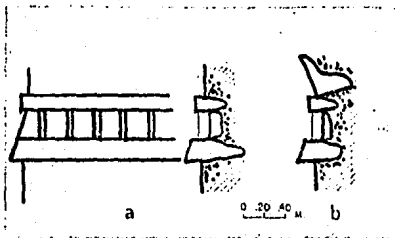
ALMUCHIL  
Estructura 3 cuarto 1  
Según Pollock.

OXKINTOK, Estructura 3C5



Según Pollock.

XLABPAK Estructura 1



a moldura media  
b cornisa.

Según Pollock.

## C R E S T E R I A .

Este elemento característico de la arquitectura maya fue una construcción realizada con piedra, que puede describirse como una serie de emblemas pétreos.

Según la región y el período de que se trate, estas estructuras varían en forma, dimensiones, proporciones, ubicación y técnica edificatoria. Para soportar su enorme peso, los arquitectos mayas las colocaron al principio sobre un muro muy fuerte y sólido y sin aperturas, siendo este apoyo el muro posterior de la edificación.

Estas primeras cresterías fueron superficies lisas y planas, pero se fueron cubriendo poco a poco con relieves y decoraciones mismas que aportaban más dignidad a la construcción.

La crestería cambió en cuanto a su estructura, con el tiempo y según la región fue realizándose en dos capas, es decir en dos estructuras distintas con un espacio intermedio, mismas que se unían en el extremo superior.

Con el avance cronológico y paralelamente a él, la edificación fue cambiando y la crestería llegó a ubicarse sobre el muro intermedio, en el eje central longitudinal del edificio, es decir cuando la tipología de la planta se modificó. El muro intermedio entre las dos cru-

ñas resultó suficiente para los efectos de transmitir la carga a niveles inferiores y a juicio mío, ofreciendo una carga vertical que propiciaba la unión entre las dos bóvedas paralelas, quedando una masa sólida de mampostería en el eje central del edificio, a la cual se adosaron en ambos lados las mitades correspondientes a las bóvedas.

La estructuración de estas cresterías varió también en relación con la necesidad de aligerar su peso al mismo tiempo que ofrecer menos resistencia a la presión del viento, estabilizando mejor la edificación.

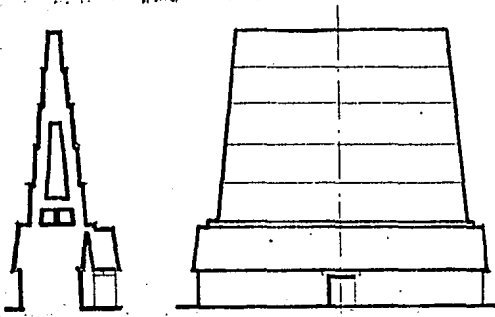
Más adelante, encontramos que la crestería se edificó sobre el muro frontal, cambiando consecuentemente con la proporción de la construcción.

Existen otros ejemplos de cresterías, aunque especiales, como el caso de la doble crestería, una sobre el paramento de la fachada y otra sobre el muro intermedio. (del Chichan Chob de Chichen Itzá).

A medida que seguía transcurriendo el tiempo, las cresterías fueron disminuyendo su tamaño y consecuentemente su peso, así encontramos que en la tipología Puuc van reduciéndose -- después de cierta transición, poco a poco -- aligerándose, haciéndose transparente, podríamos decir irreal hasta desaparecer.

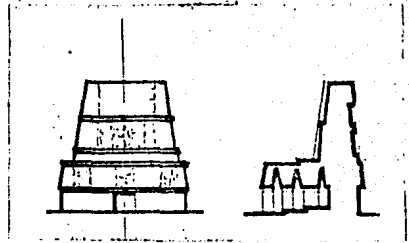
En resumen, en cuanto a su técnica edificatoria se pueden considerar básicamente cinco tipos, a saber:

a) Mampostería voluminosa, sólida o provista de huecos integrales, como lo encontramos en la región del Petén.

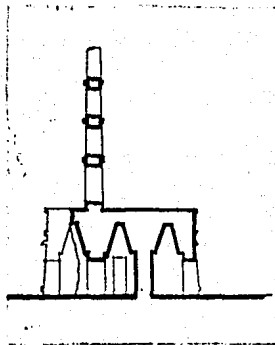


TIKAL  
Templo V  
Según Marquina.

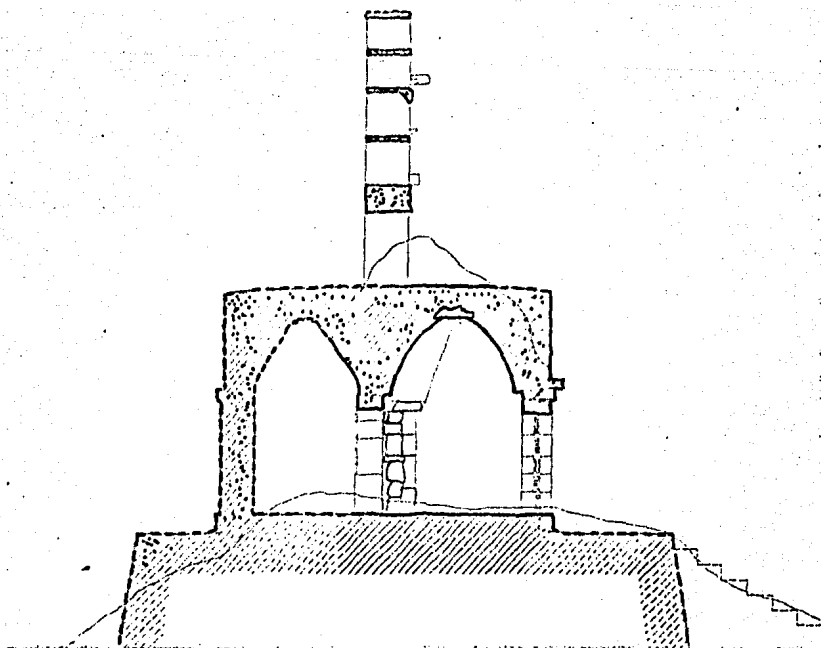
Tikal  
Templo II  
Según Marquina.



b) Muro simple, parcial o totalmente calado, como en Edzná.



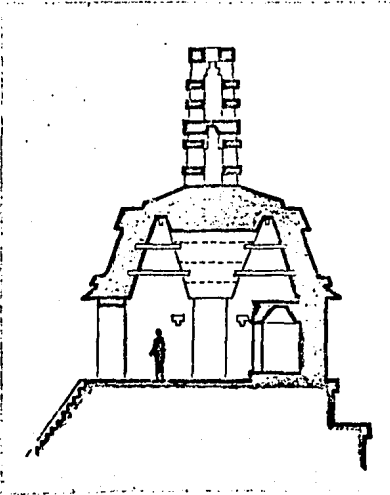
Edzná.  
Según Marquina.



SAYIL, Estructura 3B2, Cuartos 1 y 2.

Según H.E.D. Pollock.

- c) Muro doble o múltiple con amarres y total o parcialmente calado, tal es el caso de la Cuenca del Usumacinta, v.gr. Palenque.

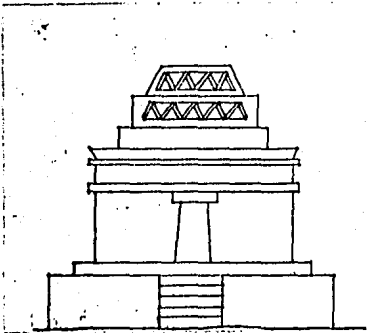


PALENQUE

Templo de la Cruz.

Según Marquina.

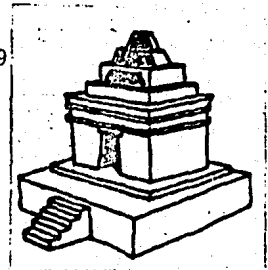
- d) Combinación de los casos anteriores o mixta, como en la costa del Caribe.



Según Marquina.

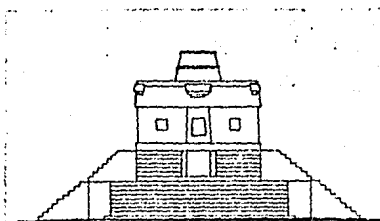
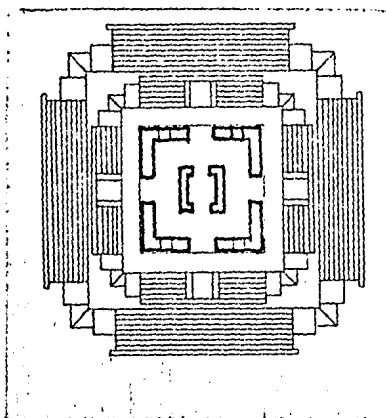
TULUM

Estructura 59



Según Paul Gendrop.

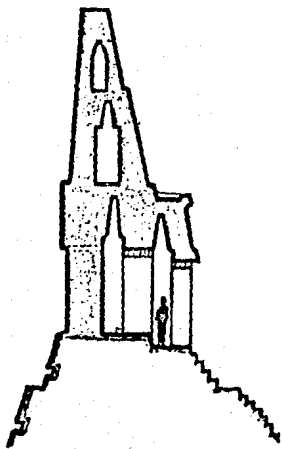
e) Grandes masas huecas como en Dzibilchaltún.



Según Henri Stierlin.

Estas tipologías de crestería tuvieron además una ubicación sobre la techumbre, teniendo como condiciones de apoyo las siguientes:

1) Ubicación en la parte trasera del edificio, es decir sobre el muro posterior, como en Petén.



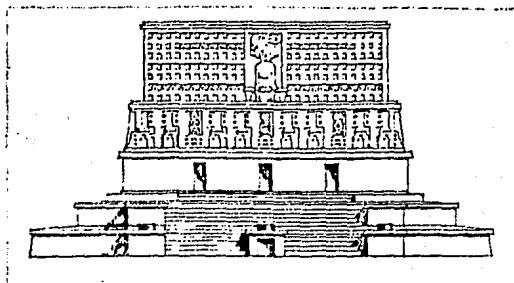
TIKAL

Templo 33.

Según Marquina.

- 2) Apoyada en uno o dos de los muros intermedios, lo que fue abundante en la cuenca del Usumacinta.

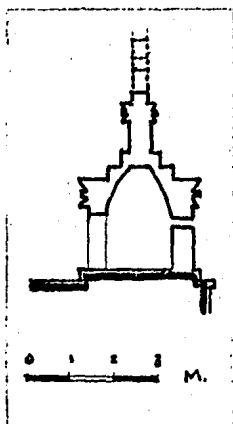
YAXCHILAN.  
Estructura 33



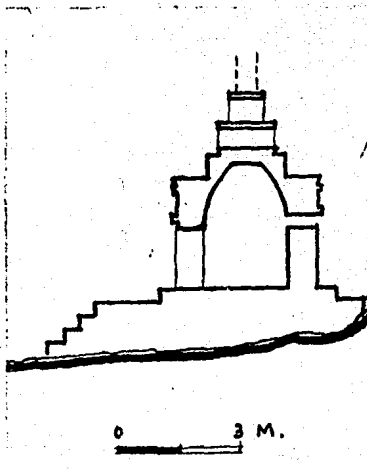
Según Henri Stierlin

- 3) Cargada al centro de -- la bóveda, como por ejemplo en la Costa del Caribe.

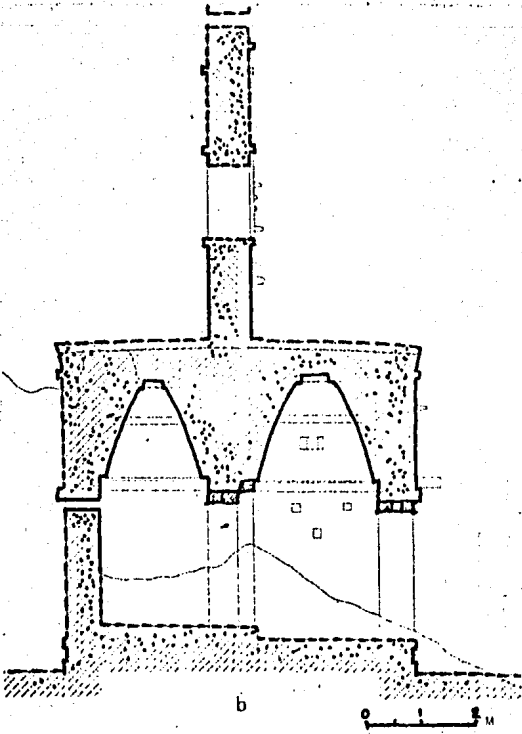
TANCAH, Q. Roo.  
Según Marquina.



TULUM  
Estructura 59  
Según Marquina.







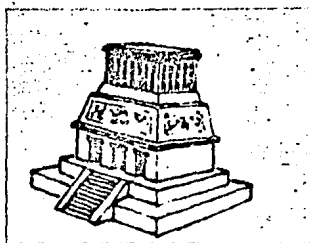
UXMAL

Casa de la Vieja.

Según Pollock.

Apoyo de la crestería en el centro de la edificación, en este caso, parte de la carga se transmite a dinteles de madera.

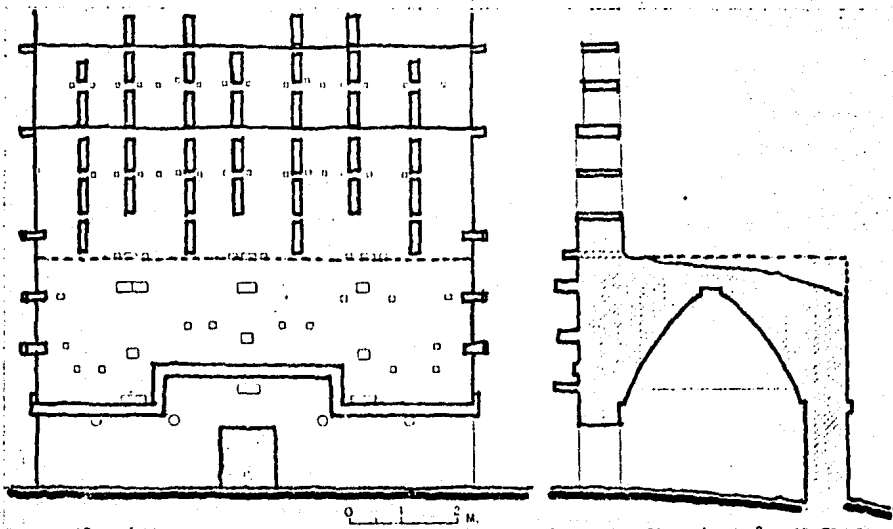
- 4) Apoyada en toda o casi toda la superficie del techo, como en Toniná.



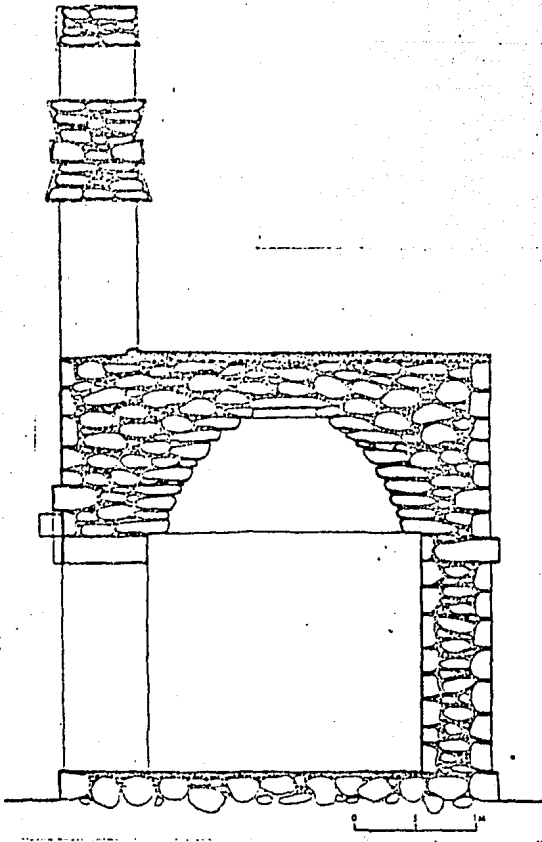
Según Paul Gendrop.

- 5) Crestería "volada", como prolongación o remate de la fachada principal.

SABÁCHE, Estructura 1.



Según. H.E.D. Pollock.

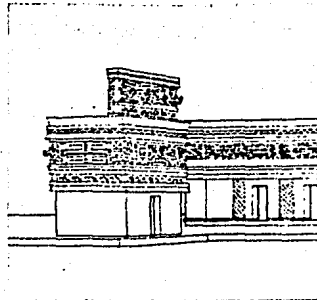


MUL CHIC.

Estructura A.

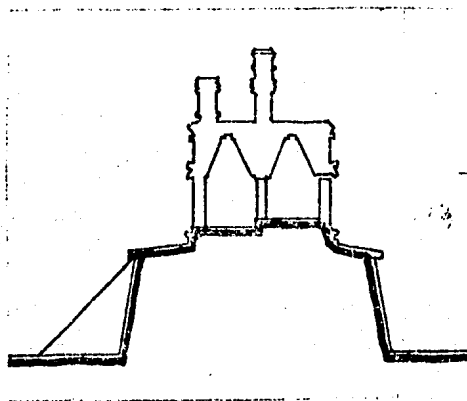
Según George F. Andrews.

CHICHEN - ITZA.  
La Iglesia

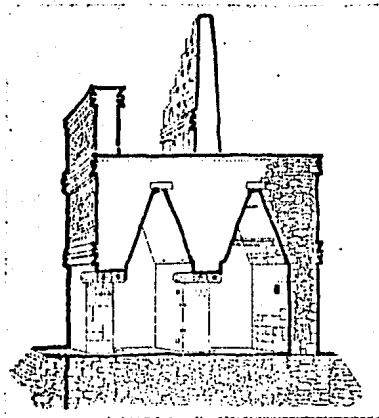


Según George F. Andrews.

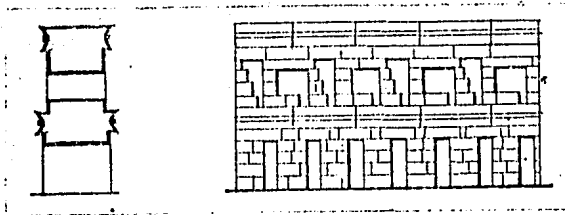
6) Combinación con doble crestería, una central y otra delantera, como en la Casa Colorada de Chi-chan-chob, Chichen Itzá.



Según Marquina.



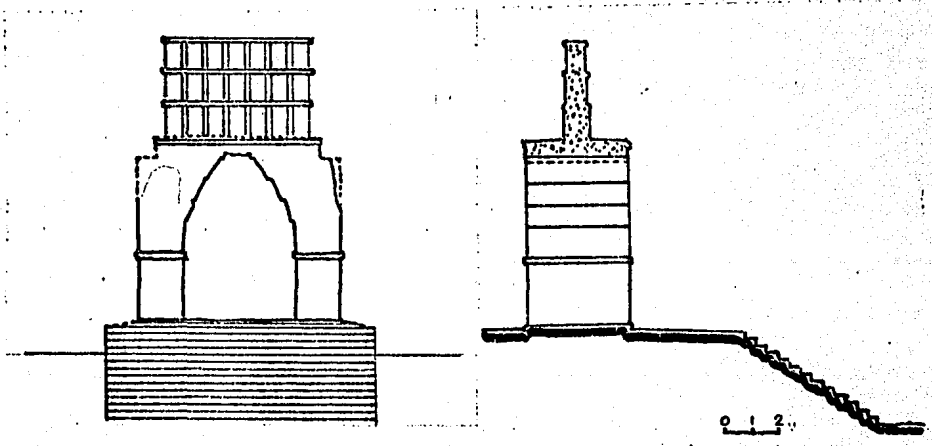
Según Wauchope.



Detalle constructivo, corte y elevación, acomodo de bloques, calados.

KABAH Codz-Poop.  
Según Pollock.

Detalle en corte y alzado de la Estructura 1B1 de Kabah.



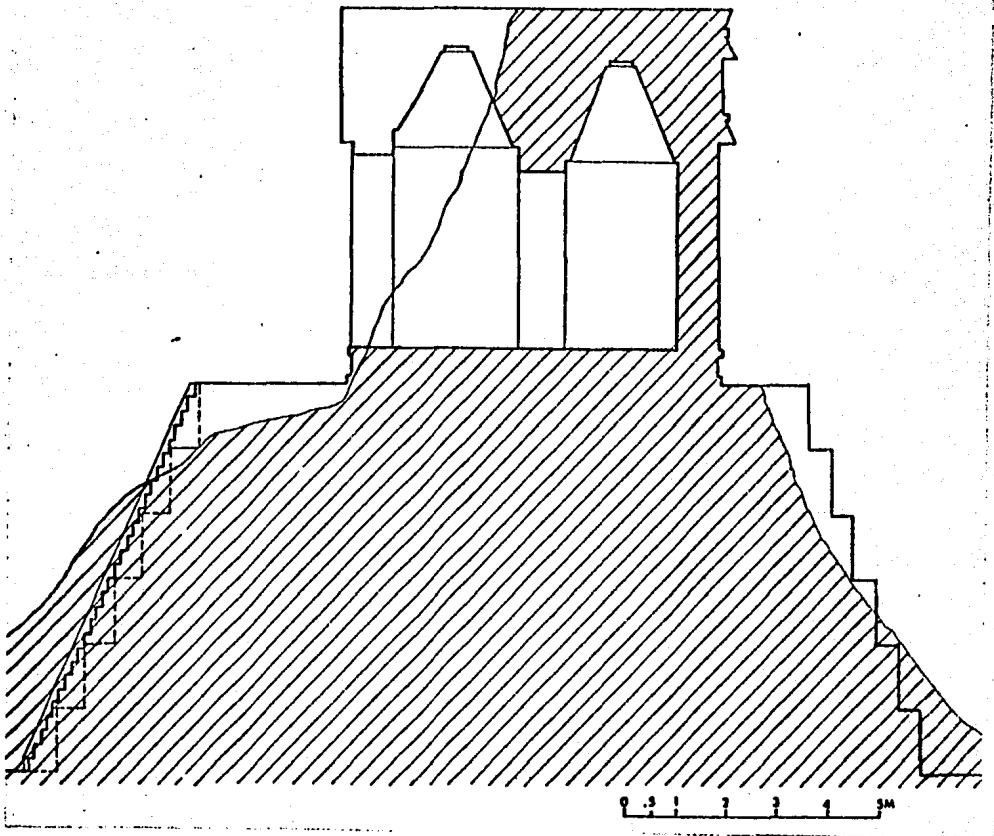
Según Pollock.

## EDIFICIOS DE VARIOS NIVELES.

En la arquitectura maya podemos encontrar ejemplos, en algunos sitios, de edificios de varios niveles, manifestación clara de un orden mental en la concepción estructural y volumétrica de las edificaciones.

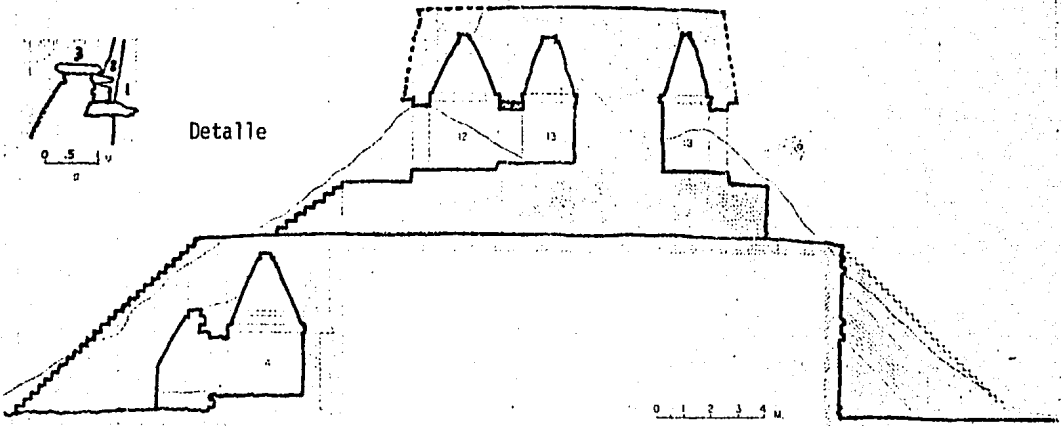
Existieron edificaciones concebidas desde el punto de vista urbano, como centro de la composición de un conjunto determinado, como hitos o mojones que por su gran relevancia tuvieron que realizarse a mucha altura, algunos fueron grandes basamentos de tipo piramidal, sobre los que se edificaron algunas construcciones que funcionaron como templos y otros fueron palacios de varios niveles.

En algunos casos, el método constructivo consistió en edificar una cámara sobre otra, es decir el segundo nivel descansando directamente sobre el primero, como en Tikal en donde encontramos una sucesión de tres niveles. En otros, como en Sayil y Edzná, encontramos una serie de niveles remetidos uno con respecto al otro, es decir, escalonándolos, propiciando que el perfil del edificio fuese piramidal. Este sistema consistió en que un nivel no descansa sobre el primero, sino escalonándolos de suerte que la azotea del pri-



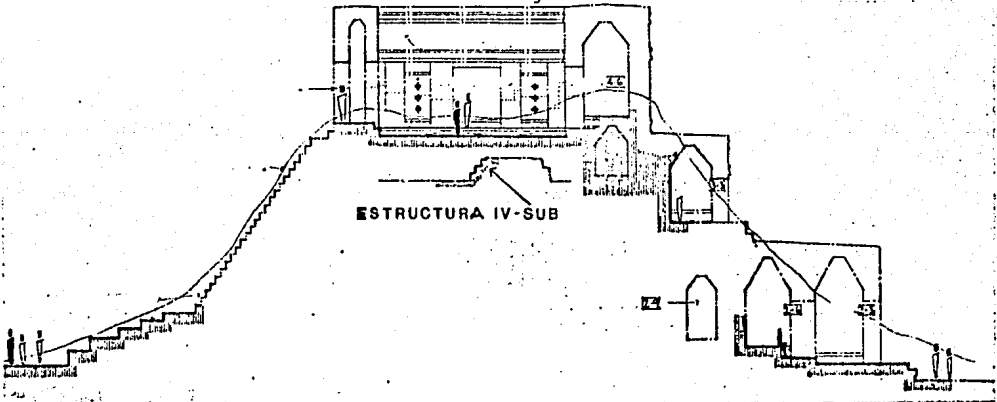
CORTE DE UN EDIFICIO CON RELLENO PARA DAR LA ALTURA.

mer sirva como terraza del segundo, mismo que está reme-  
tido en relación con el primero.



KABAH, Estructura 2A1.

Según H.E.D. Pollock.



BECAN, Estructura IV - Sub.

Según David F. Potter.

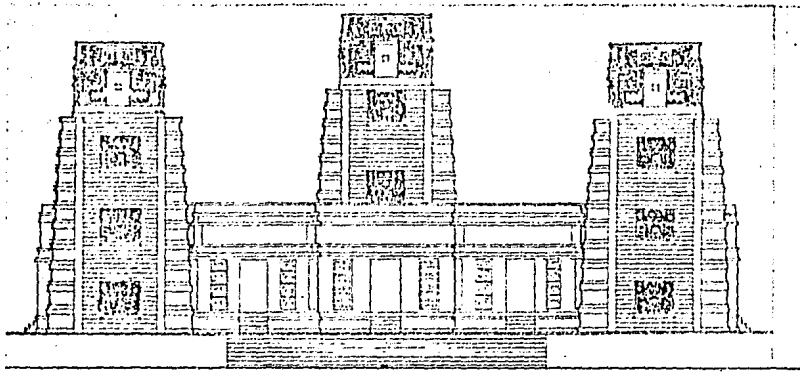


Otros más como los que se encuentran en la zona Río Bec, que se pueden estimar como un paso intermedio entre Palacios y Torres, tal como el Palacio de Xpuhil, un tipo muy especial de edificio.

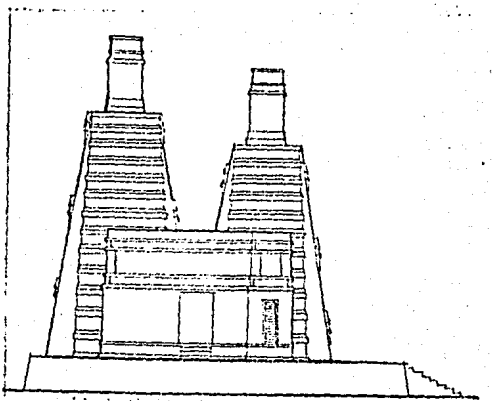
Existe otra clasificación de los edificios altos, - las torres y observatorios, los hay de planta circular y de planta cuadrada cuyo uso fué probablemente para astronomía y para realizar mediciones, determinar ejes y obtener una visión de conjunto del sitio.

El edificio de Chichen Itzá conocido como El Caracol, según Morley fue un observatorio, pues de las troneras que quedan en pie se dirige hacia el Sur geográfico, otra hacia el Este y hacia la salida del sol en el equinoccio de primavera en el 21 de marzo, lo que revela una vez más la virtuosidad de los mayas como constructores.

La torre tiene un diámetro aproximado de 12 mt. y descansa sobre una plataforma cuadrangular. Está formada por dos bóvedas concéntricas con respecto a un corazón cilíndrico, siendo una aportación única de la civilización que estudiamos.

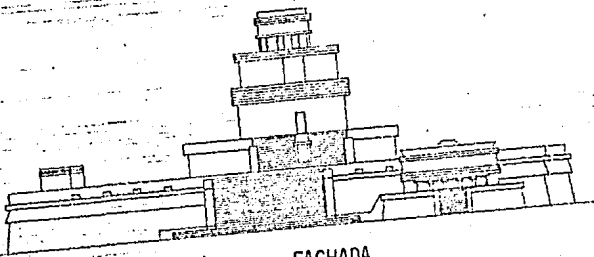


XPUHIL, vista frontal.  
Según Henri Stierlin.

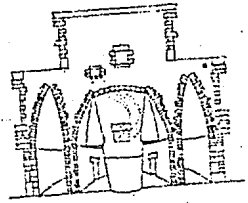


XPUHIL.  
fachada lateral.  
Según Henri Stierlin

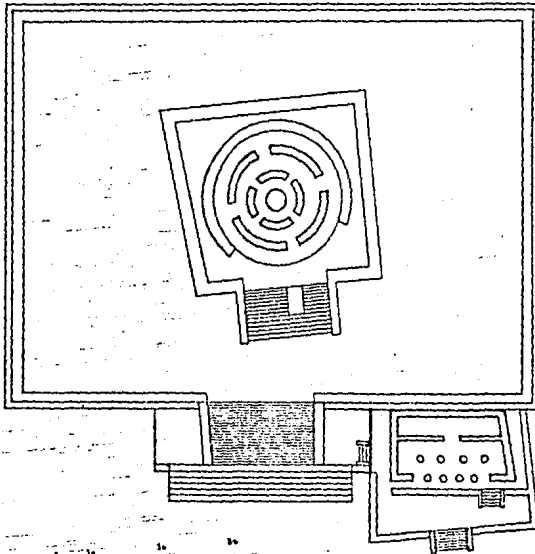
CHICHEN - ITZA, El Caracol.



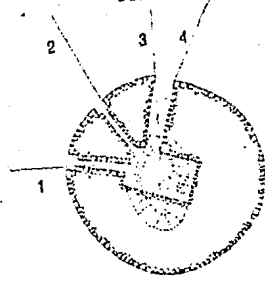
FACHADA



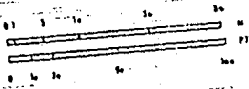
CORTE



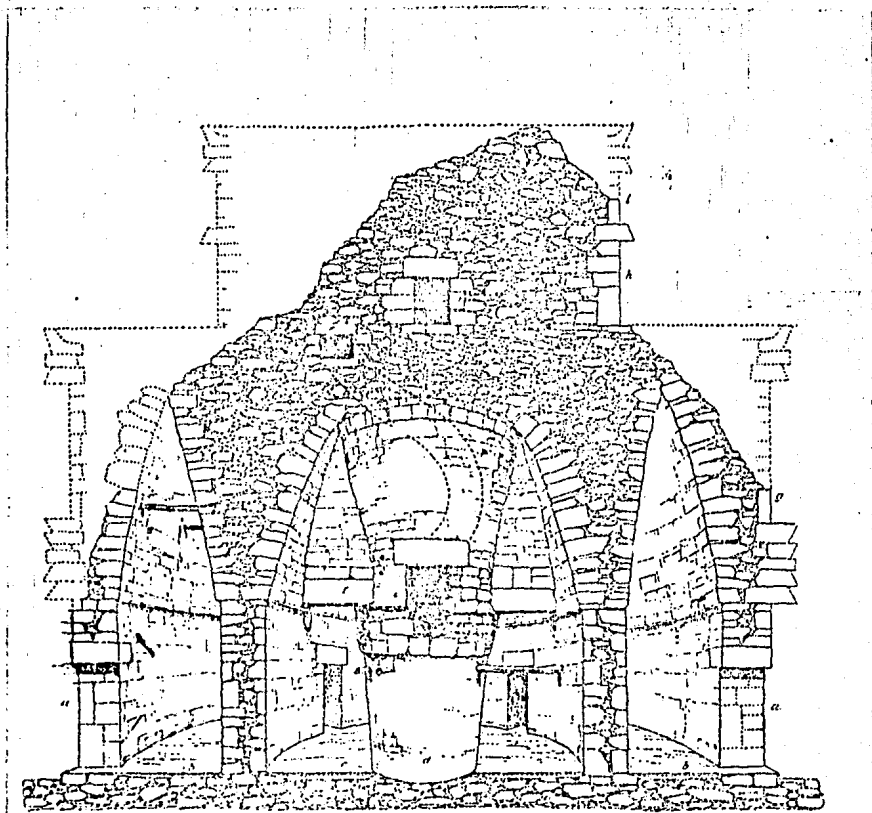
PLANTA DE CONJUNTO.



PLANTA DEL OBSERVATORIO

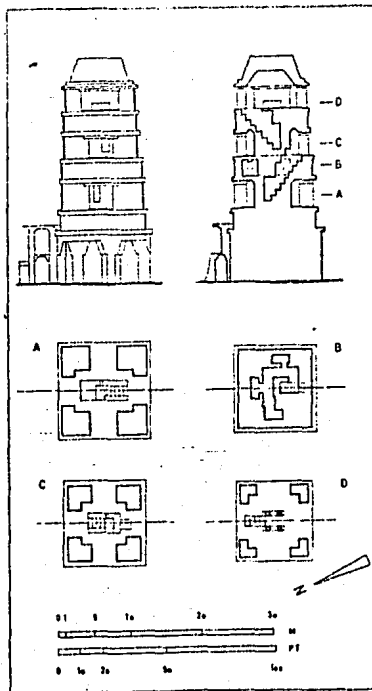


Según Henri Stierlin.



TEMPLO DE EL CARACOL. (Según Holmes.)

La Torre de Palenque es una edificación realizada con todo el concepto arquitectónico de varios niveles. Como se puede apreciar en la figura siguiente, la torre combina un basamento muy fuerte, núcleo interior macizo, con tres pisos superiores estructura da a base de pilares en esquemas como lo indican los cortes A, C y D. además de tener escaleras integradas a la construcción en el núcleo central dando acceso a los niveles superiores.



PALENQUE La Torre.

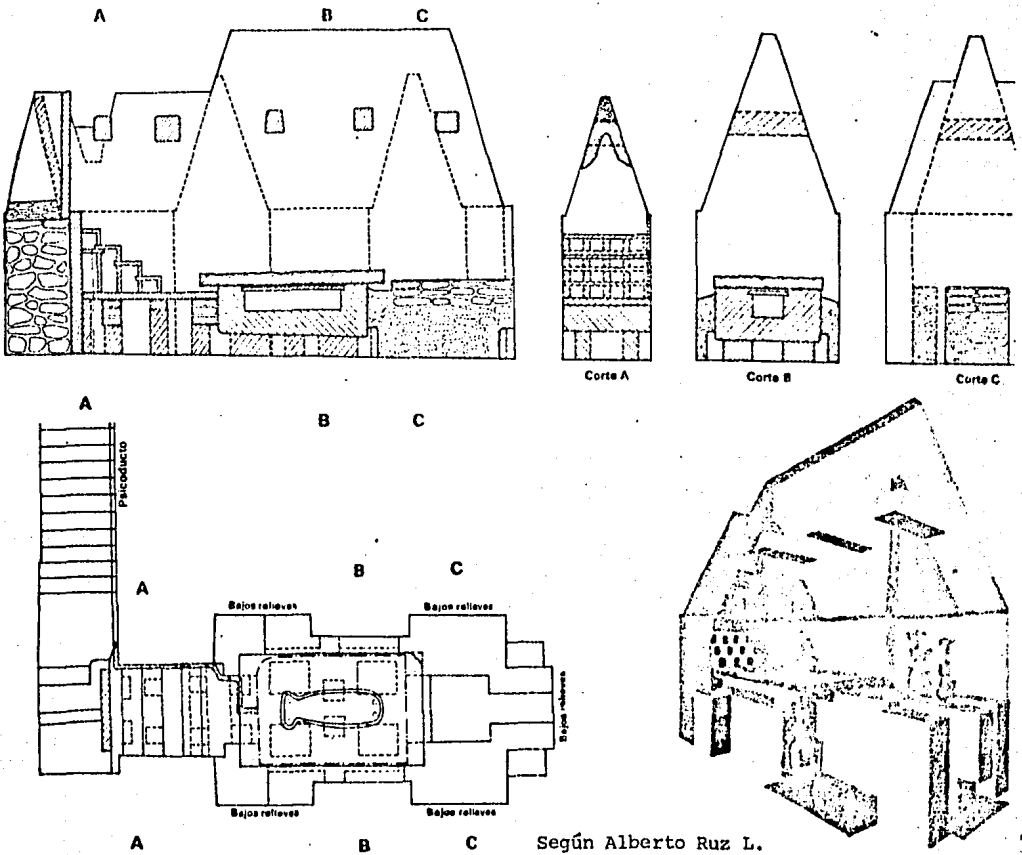
FACHADA Y CORTE

PLANTAS DE DISTINTOS NIVELES MOSTRANDO LA ESTRUCTURA.

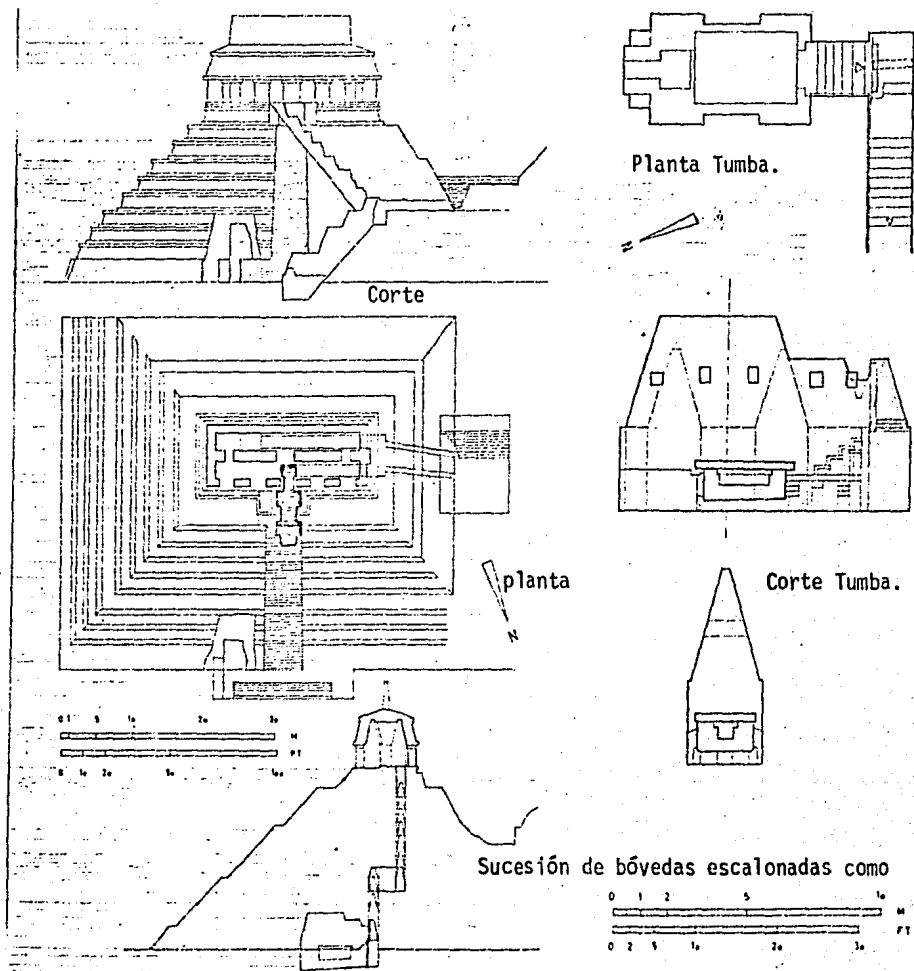
Según Henri Stierlin.

En el mismo sitio de Palenque, existe otro edificio que reviste un aspecto muy relevante en cuanto a la técnica de construcción; es el templo de las Inscripciones, el cual presenta en su interior la Cripta.

La realización de una escalera cubierta con bóvedas escalonadas para el acceso a la tumba, manifiesta el sistema estructural de superposición y transmisión de cargas manejado por el arquitecto maya.



## PALENQUE, Templo de las Inscripciones.

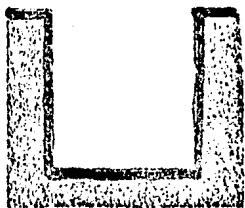


cubierta de la escalera para bajar a la tumba.

Según Henri Stierlin.

En su "GUIDE OF MAYA CITIES", Nicholas Hellmuth y Frank Ducote tratando los templos como monumentos funerarios, plantean su teoría acerca de cómo se realizaba una tumba y el edificio respectivo, misma que describo a continuación.

La primera fase constructiva consistía en una excavación de tres a tres y medio metros sobre una superficie plana, una plaza o quizá una plataforma.



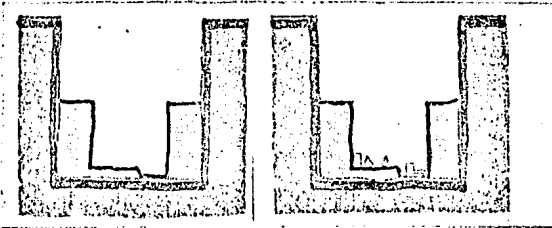
Excavación.

En segundo lugar se edificaban los muros, el piso y la plataforma de la cripta, en donde se depositaban los restos mortales del personaje junto con objetos y ofrendas varias.

Con un tejido se cubría la boca de la tumba mientras se edificaba la bóveda hasta su cierre.

Una vez realizada la tumba se edificaba la pirámide que marcaba el prestigio o el sello de una dinastía.



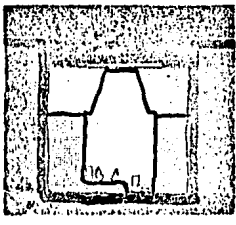
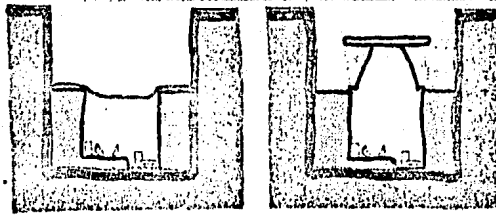


Muros y piso de la cripta.

Depósito de los restos.

Cubierta a la tumba

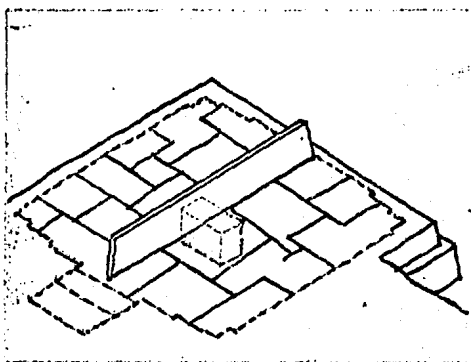
Construcción y  
cierre de la bóveda.



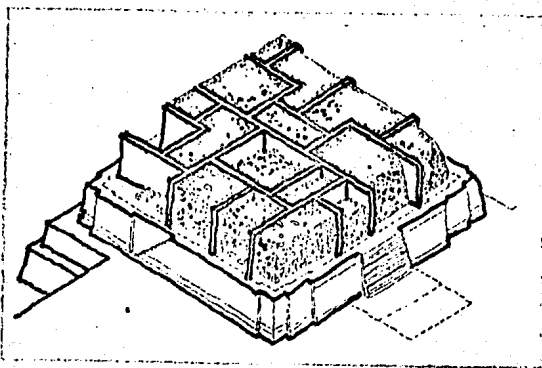
Relleno sobre la tumba y edificación  
del edificio alto.

HELLMUTH NICHOLAS  
" A GUIDE OF MAYA CITIES "

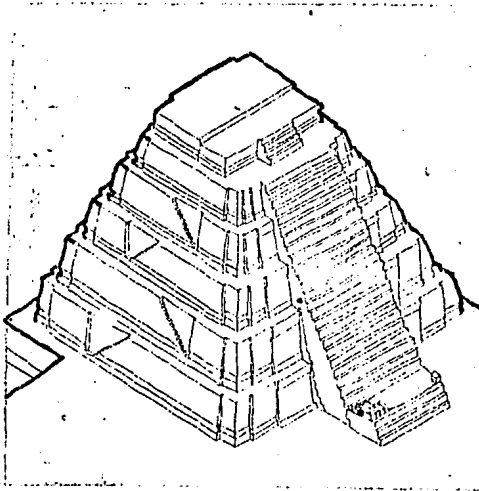
Después de que la tumba ocupaba su puesto y era sellada, se trazaban sobre la terraza o plataforma del basamento lo que podríamos llamar ejes de muros, mismas que marcaban los lugares en donde se levantarían los elementos verticales que servirían de retén al relleno.



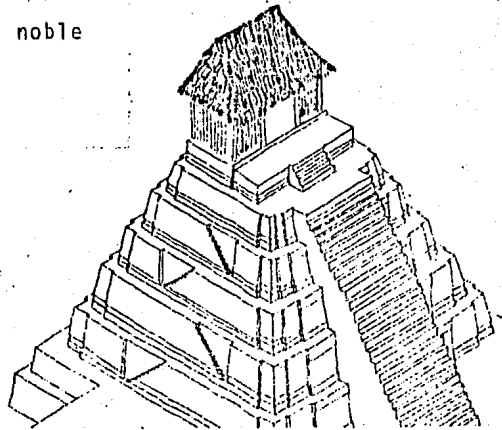
El relleno y los muros se iban realizando en forma simultánea, los muros interiores de mampostería burda en forma de bloques y los perimetrales mejor labrados y recubiertos con estuco.



Después de edificar en la forma descrita anteriormente los niveles necesarios, la escalinata se edificaba sobre los peldaños que los constructores iban dejando durante el procedimiento constructivo. La mampostería de cada tramo de la escalinata se apoyaba sobre las diversas terrazas de cada nivel.



Una vez terminado el edificio y como coronamiento de éste, se edificaba una construcción de madera o de mampostería, como monumento digno para el noble antecesor fallecido.

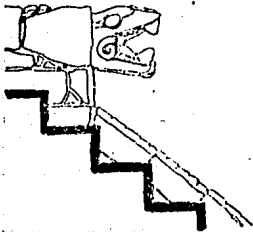


## ESCALINATAS Y ESCALERAS.

Podemos considerar que las escalinatas en general, en la arquitectura maya, quedaron un poco subordinadas a la verticalidad de los edificios, en virtud de que la tendencia a las alturas obligaba a realizar estos elementos de circulación con una pendiente muy fuerte al no extenderse mucho en la base del edificio.

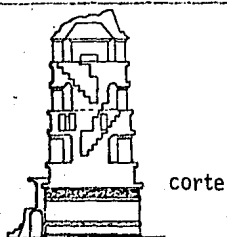
Así encontramos edificaciones cuyas escalinatas ----son, -- en cuanto a las huellas, insuficientes para poner el pie, en tanto que los peraltes son de una considerable altura.

Por otra parte, cuando los basamentos eran bastante extensos, a manera de grandes terrazas, las escalinatas fueron resueltas con una gran generosidad, como se encuentran en Chichen Itzá en el Caracol, en donde las huellas son de 0.35 cm. y los peraltes en promedio de 25 cm.

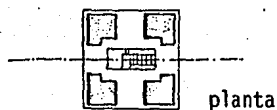


No solamente en la arquitectura maya se utilizaron escalinatas también escaleras en los interiores de algunos edificios para salvar los distintos niveles.

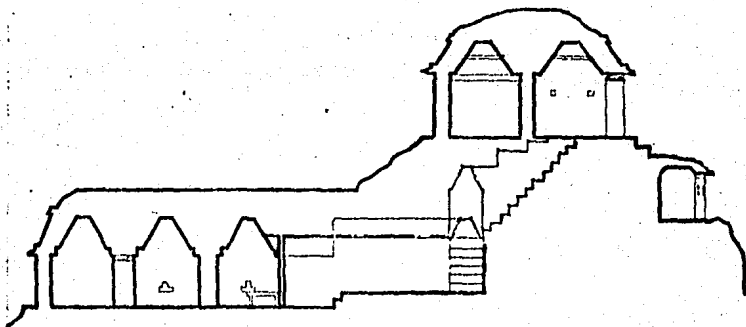
Ejemplos de éstos, lo podemos encontrar en la Torre de Palenque, que da acceso a los tres pisos superiores del edificio.



TORRE DE PALENQUE.  
Según Marquina.

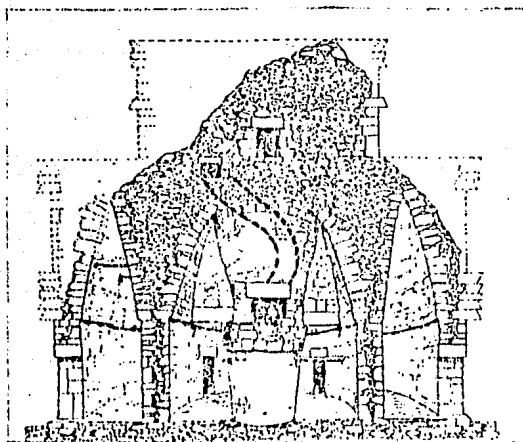
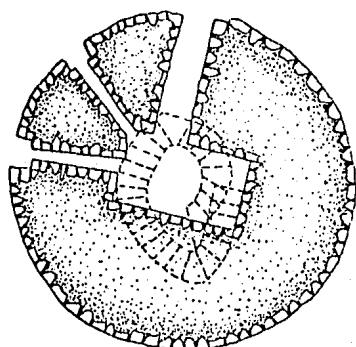


Palenque, Palacio Edif. H  
Según Marquina.



En Chichen Itzá, al edificio del Caracol se le realizó una escalera en forma de espiral, misma que dió nombre a la citada edificación.

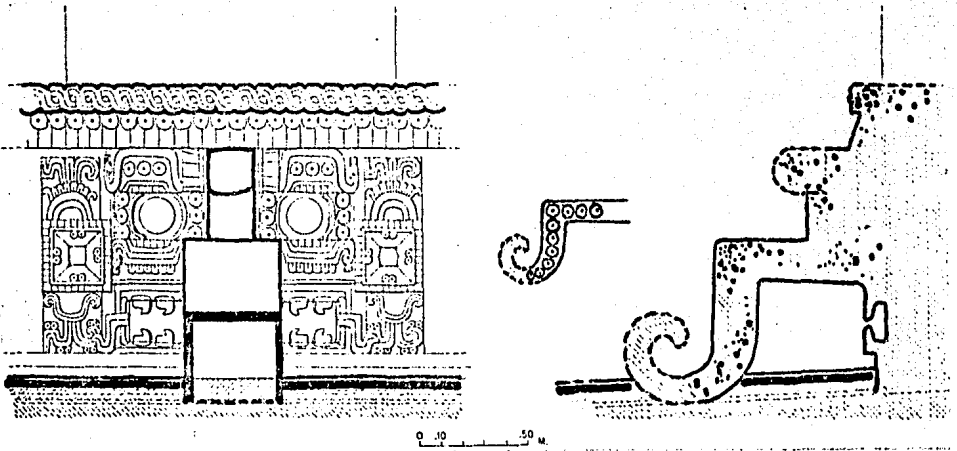
Planta.



CHICHEN ITZA.  
El Caracol

Corte.  
Según Holmes.

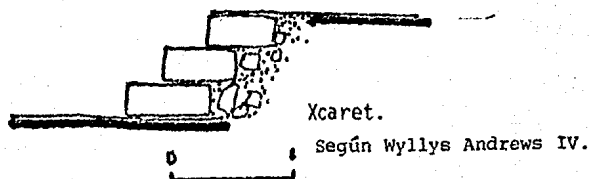
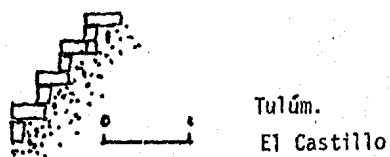
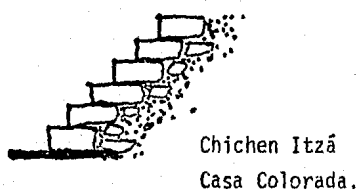
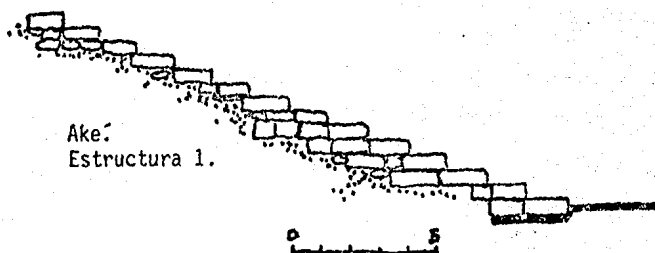
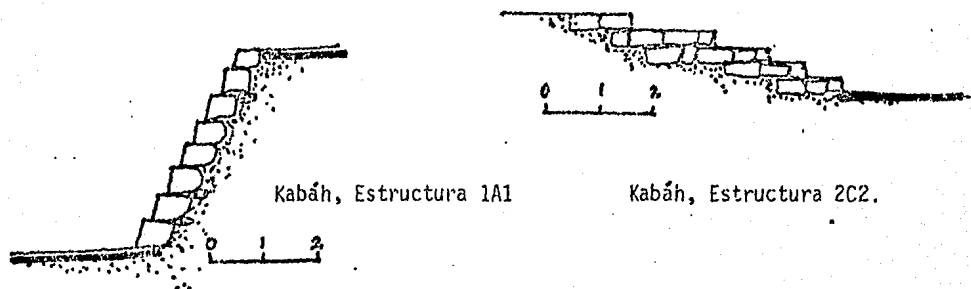
El elemento escalón también fué utilizado para salvar, mediante lo que podríamos decir un peldaño, el desnivel entre dos crujías, tal y como lo vemos en el Codz Poop del sitio de Kabáh, resuelto en una forma muy especial.



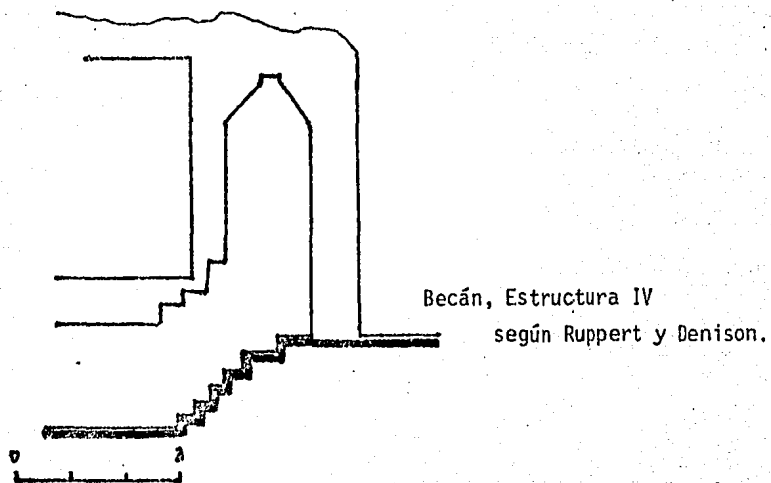
KABAH, Estructura 206

Según. H.E.D. Pollock.

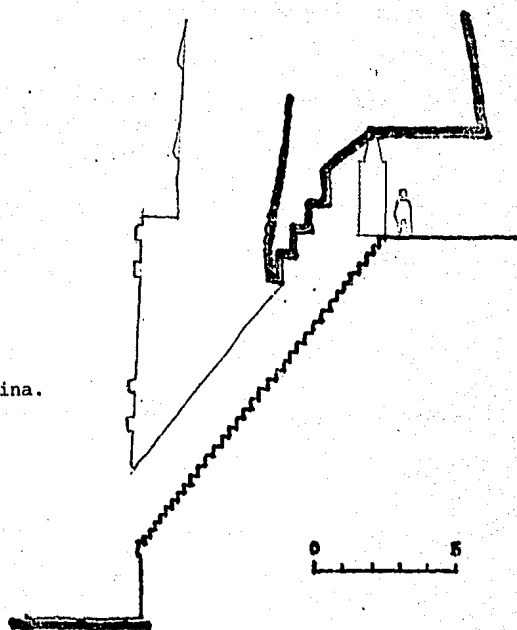
Detalles constructivos de diversos tipos de escalinatas.



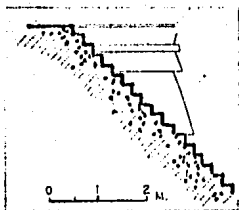




XPUHIL.  
Según Marquina.



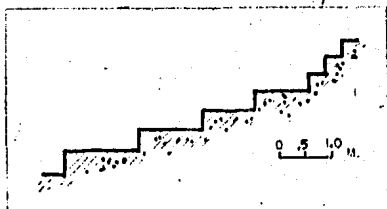
PERFILES DE ESCALINATAS.  
(Relación Huella-Peralte)



CHACMULTUN

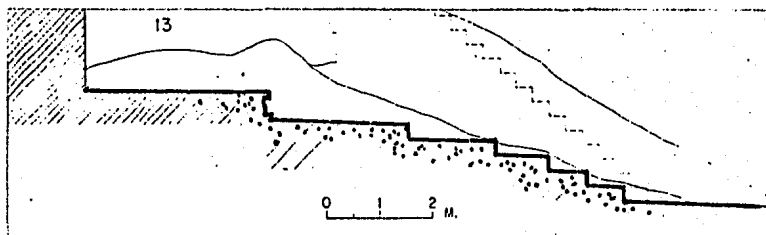
Xtepol.

Según Pollock ( P. 367)



OXKINTOK

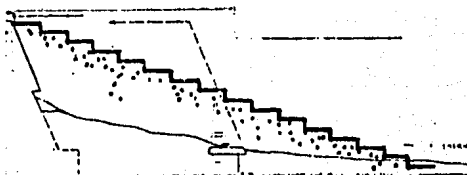
Estructura 2B10



KABAH

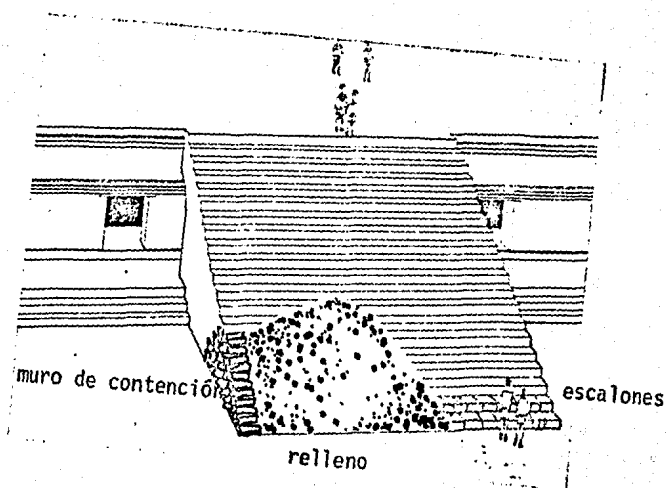
Estructura 2C2

AKE.  
Estructura 1



Para los efectos de realizar las escalinatas, se utilizaba como en los sistemas constructivos ya explicados, un relleno que tenía que ser confinado entre dos muros de contención.

Cuando existieron las escalinatas con alfardas, como por ejemplo en el edificio de Las Monjas de Chichen Itzá, dichas alfardas eran al mismo tiempo muros de contención, que retenían el relleno que servía de base para realizar las huellas y los peraltes que están indicados en la página anterior.



DETALLE DE CONSTRUCCION  
DE ESCALINATAS.

## P I S O S.

En las edificaciones del área maya, el uso de pavimentos fue probablemente muy importante pues todos los edificios estuvieron recubiertos en sus paramentos exteriores, interiores y demás elementos arquitectónicos.

El procedimiento constructivo de los pisos consistía en lo siguiente:

a) Sobre el relleno de los basamentos bien compactado se colocaba una fina cama de grava o arena de sahcab, como relleno suelto con un espesor aproximado de 3 a 4 centímetros.

b) La grava descrita anteriormente, se cubría finalmente con una capa de estuco de aproximadamente 2 centímetros de espesor. Este estuco resultaba de la mezcla de cal con agua y goma extraída de algunos vegetales de la región.



0 .05 .10 M.

Según H.E.D. Pollock.

## CAMINOS

Los caminos entre los mayas, eran calzadas artificiales que corrían por lo general en línea recta, en algunas ocasiones con pequeños cambios de dirección, y unían entre sí a dos sitios.

Su nombre en maya es Sacbé o Sacbeoob, ya sea en singular o en plural respectivamente.

La construcción de estos caminos fue a base de piedra caliza de diferentes dimensiones. Los costados fueron hechos con piedras grandes, labradas toscamente sirviendo como contención del relleno realizado con piedras de menor tamaño y tierra, en ocasiones - compactada.

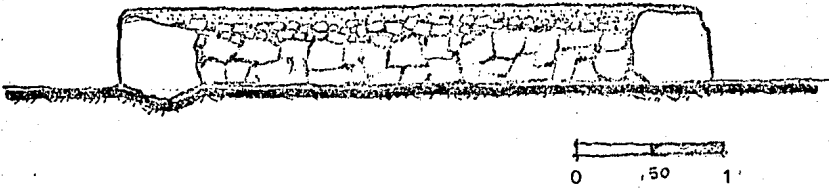
La parte superior está recubierta con grava de caliza y el mortero o cemento utilizado por los mayas.

En el Sacbé que va de Cobá a Yaxuná fue encontrada una aplanadora, que consistía en un cilindro de piedra caliza de 4 metros de longitud y un diámetro de 0.65 metros, y con ----- un peso aproximado de 5 toneladas.

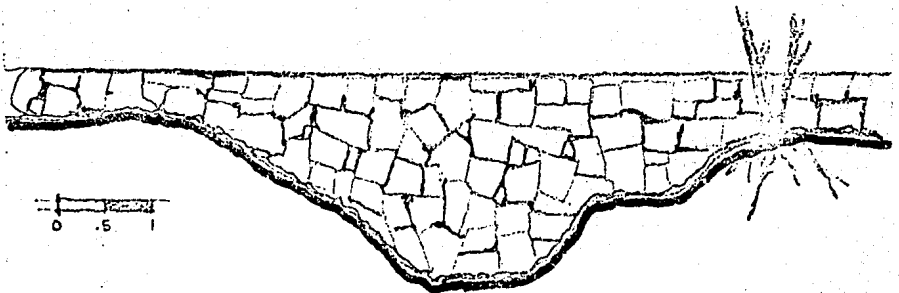
Los 4 metros permitían que varios hombres empujaran en dos sentidos el rodillo, es decir, hacia adelante y hacia atrás a lo largo del camino hasta comprimir la capa de grava y formar una superficie dura, compacta y resistente.

Las calzadas citadas, tenían un ancho aproximado de 4.5 metros y varían en altura desde 0.60 metros hasta 2.5 metros, de acuerdo con la topografía del terreno, en virtud de que se realizaban conservando su mismo nivel.

La superficie del sacbé, era terminada de manera similar a los pisos de los edificios, es decir en estuco con acabado pulido.



Corte transversal del Sacbé de Nohpat.  
Según H.E. D. Pollock.

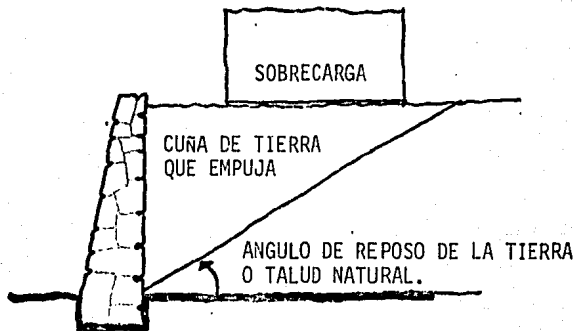


Corte longitudinal del Sacbé de Nohpat.

## MUROS DE CONTENCION.

Atendiendo a su concepto, por muro de contención entendemos un elemento constructivo que se edifica para retener líquidos o sólidos granulados y en el particular estudio que nos ocupa, conviene definir que el muro de contención en la zona maya fue un elemento para retener tierra, ya sea ésta sola o con una sobrecarga en su parte superior.

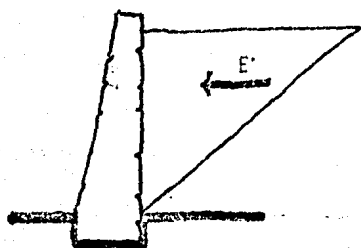
Cualquier muro de contención retiene la tierra que está comprendida -- entre el propio muro y el talud natural o ángulo de reposo de dicha tierra como lo ilustra la figura siguiente:



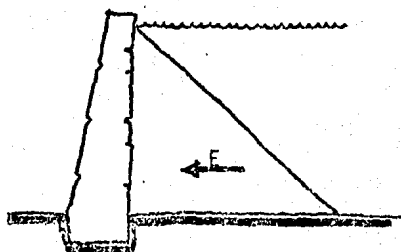
En el caso de materiales granulados, en el interior de su conglomerado, la fricción y sus leyes no se verifican tan exactamente como en los sólidos, significando una ventaja para la edificación maya. Así mismo la humedad, muy frecuente en los terrenos de esa zona, les da cierta cohesión debida a la tensión superficial. Las raíces de los vegetales también los ligan dis-

minuyendo los empujes, con lo que resulta que los citados empujes no responden ni a un constante ángulo de fricción ni se deslizan siendo un plano perfecto y por otra parte, en el momento en que un muro de contención empieza a fallar, el terreno sufre cierto acomodo en sus partículas, lo cual aminora su empuje inicial.

Los empujes de la tierra y del agua son diferentes en virtud de sus características; pues se puede considerar que en caso de la tierra el empuje se concentra en una fuerza ubicada en el tercio medio de la base y de la altura del triángulo que forma la cuña de tierra, mientras que en el agua ocurre en forma inversa, es decir, el agua en la superficie no pesa, pero sí en su fondo o base, por lo que el empuje es distinto que en caso anterior.



EMPUJE DE TIERRAS



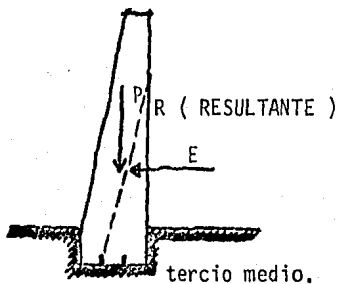
EMPUJE DE LIQUIDOS ( AGUA )

Con base en las consideraciones anteriores, se puede establecer que es de suma importancia evitar que en los terrenos impregnados de agua, ésta sea la que empuje, y esto se puede lograr colocando en la parte baja del muro de contención drenes suficientes y por el paramento interior grava para que escurra el agua.

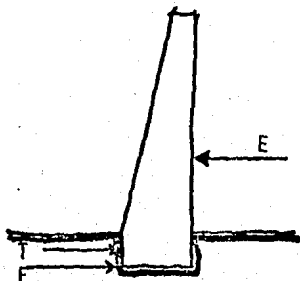


Los mayas con su sistema constructivo dieron solución en parte a este problema, en virtud de que colocaban las piedras más grandes hacia el paramento exterior del muro de contención y los rellenos en el interior eran de piedras pequeñas, lo que propiciaba el escurrimiento.

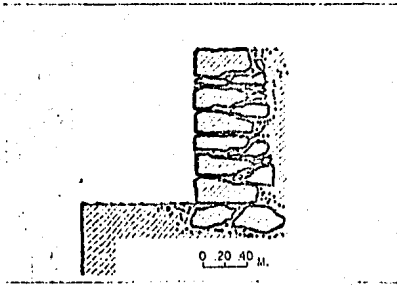
Al proporcionar una sección de muro bastante gruesa, además de la solución anterior, resolvían los problemas de volteo, desalojo horizontal o corrimiento, flexión y cortante; en virtud de que para que no exista volcamiento es indispensable que la resultante de las cargas gravitacionales  $P$  que obran sobre el muro y el empuje  $E$ , ni salga de su base si el terreno es duro, ni del tercio medio si es suave.



Y para que no se desaloje, se requiere que la fricción  $F$  y la reacción de la tierra  $T$  se puedan oponer al empuje.



Un claro ejemplo de lo anteriormente considerado lo encontramos en el sitio de Kabáh, en el llamado Grupo Este o grupo del Palacio, en el cual las grandes terrazas y los distintos niveles artificiales de plataformas se pudieron crear en función de un muro de contención realizado con piedras de 20 centímetros de frente por 50 centímetros de fondo o profundidad, anclados en el núcleo. No se conserva en la actualidad ninguna huella de estuco, pero probablemente se recubrieron con una tosca o burda capa que se ligaba al acabado de los pisos de las terrazas.



KABAH, Grupo Este

Detalle de muro de contención.  
Según H.E.D. Pollock.

CONCLUSIONES.

## CONCLUSIONES.-

Este trabajo ha sido realizado con el objetivo fundamental de analizar la tecnología utilizada por la civilización maya para la edificación y para completar con ello el panorama arquitectónico que nos permita junto con los enfoques artístico, histórico y arqueológico, comprender la grandiosidad de esta cultura.

Por otra parte y en forma paralela al objetivo citado anteriormente, busco proporcionar las bases de análisis suficientes para restaurar y conservar el patrimonio cultural de nuestra nación haciendo hincapié en la fundamental importancia que reviste la interdisciplinariedad para proteger dicho patrimonio y evitar su desaparición.

A lo largo del trabajo he ido exponiendo, desde mi punto de vista como profesional en arquitectura, una serie de técnicas edificatorias, materiales utilizados, principios generales de estabilidad y de resistencia de materiales así como elementos de construcción.

Si nos apoyamos en la historia del arte y en la arqueología, y realizamos una integración entre estas disciplinas y la arquitectura y el diseño urbano, podremos entonces llevar a cabo este rescate del patrimonio cultural respetando cada monumento, en virtud de que la arquitectura, la escultura y el urbanismo en lo prehispánico se entrelazan, dando como resultado de este trinomio una unidad que percibimos a través de los sentidos y del intelecto.

Esta unidad es el espacio, materia prima de la arquitectura, mismo que puede ser considerado como físico, matemático, epistemológico, mítico, etc., pero que para que exista debe manifestarse a través de elementos arquitectónicos vinculados por sistemas edificatorios.

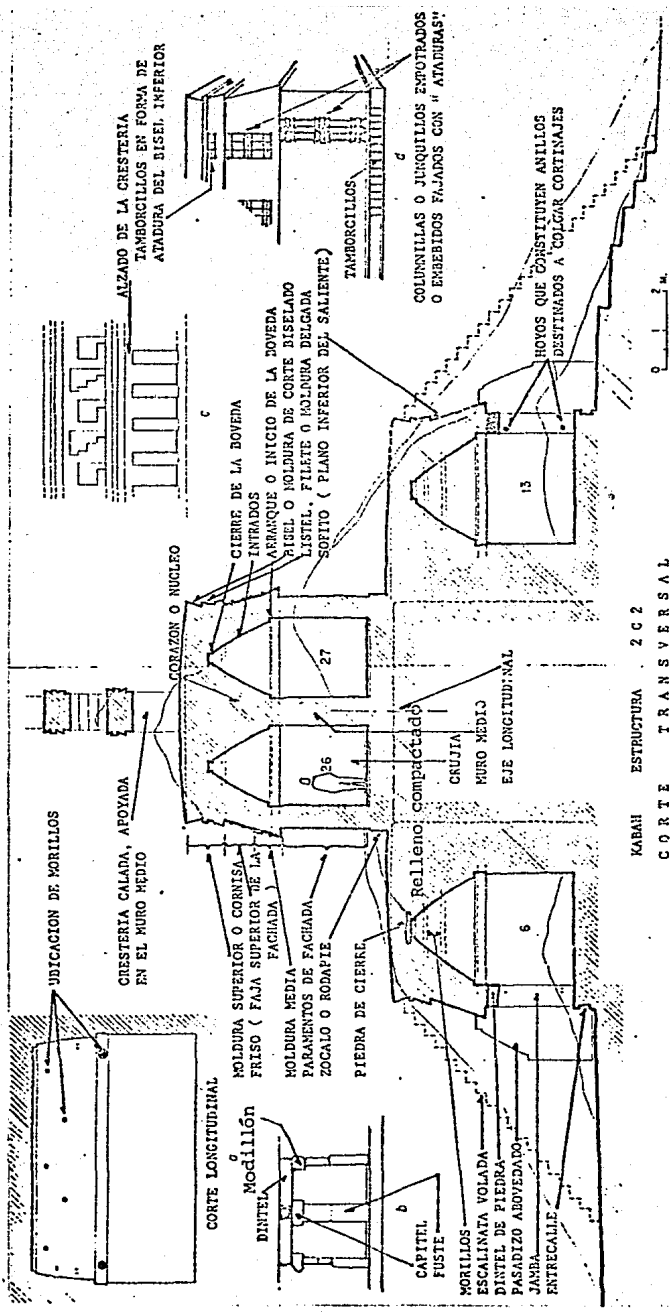
Ante todos estos factores, el arquitecto restaurador deberá estar preparado para llevar a cabo su trabajo en forma profesional, es decir, iniciará su labor realizando una apreciación exacta de las condiciones de estabilidad, tipo de estructuración, materiales, lesiones en los elementos, magnitud de dichas lesiones, causas de falla en la subestructura o en la superestructura; debe compenetrarse de las constantes comunes a los edificios en estudio, tales el sistema constructivo, la época, el contexto urbano, la forma, la proporción y distintos procedimientos de reestructuración y consolidación.

'En suma, debemos estar preparados para asegurar la permanencia de un edificio en su integridad ----- tanto como espacio arquitectónico cuanto como obra de arte, para restablecer una edificación como dijo Violet Le Duc "en un estado completo".

Así mismo que el arquitecto como restaurador no debe perder de vista que su trabajo debe combinarse con el de otros especialistas, formando un equipo interdisciplinario que permita, dentro de un concierto de opiniones, tener el concepto más amplio y más claro posible a fin de preservar y conservar nuestro patrimonio cultural.

Creo firmemente que para evitar la desaparición del patrimonio cultural y protegerlo necesitamos luchar por sacar del abandono - las zonas arqueológicas, despertando en nosotros los mexicanos los " celos por conservar" tratando de buscar soluciones para obtener provecho de los monumentos en forma cultural, educativa, económica, en fin, productiva en el más alto y amplio sentido de la palabra pero buscando al mismo tiempo el respeto y la conservación de la dignidad del monumento y del sitio.

APENDICE I  
NOMENCLATURA.



KABAH ESTRUCTURA 2 C 2  
 CORTE TRANSVERSAL  
 NOVENCLATURA DE ELEMENTOS ARQUITECTONICOS EN LOS EDIFICIOS MAYAS DE ACUERDO CON PAUL GENDROP

MODIFICADO POR MARIO DE JESUS CARSONA.



BIBLIOGRAFIA.

## BIBLIOGRAFIA.

AMABILIS DOMINGUEZ, MANUEL.

- 1956 ARQUITECTURA PRECOLOMBINA DE MEXICO.  
MEXICO.

AMADOR SELLERIER, ALBERTO.

- 1980 VITALIZACION DE LAS CIUDADES PREHISPANICAS.  
TESIS DE MAESTRIA , UNAM, MEXICO.

- 1980 TIPOLOGIAS URBANAS Y ARQUITECTONICAS EN MESOAMERICA.  
TIKAL: UN EJEMPLO.  
TESIS DE DOCTORADO EN HISTORIA (DEL ARTE).  
FACULTAD DE F.L. UNAM, MEXICO.

- 1982 "RASGOS FUNDAMENTALES DE LA ARQUITECTURA PREHISPANICA"  
HISTORIA DEL ARTE MEXICANO VOL. 1  
SALVAT MEXICANA DE EDICIONES Y CONSEJO NACIONAL  
DE FOMENTO EDUCATIVO, MEXICO.

- 1982 "ARQUITECTURA PREHISPANICA EN EL GOLFO DE MEXICO"  
HISTORIA DEL ARTE MEXICANO VOL. 1  
SALVAT MEXICANA DE EDICIONES Y CONSEJO NACIONAL  
DE FOMENTO EDUCATIVO, MEXICO.

ANDREWS IV, E. WYLLYS.

- 1965 ARCHAEOLOGY AND PREHISTORY IN NORTHERN MAYA LOWLANDS,  
AN INTRODUCTION.  
 IN HANDBOOK OF MIDDLE AMERICAN INDIANS, VOL II  
 ED. ROBERT WAUCHOPE, AUSTIN.

ANDREWS, GEORGE F.

- 1977 MAYA CITIES, PLACEMAKING AND URBANIZATION,  
 UNIVERSITY OF OKLAHOMA PRESS, NORMAN.
- 1979 "EARLY PUUC ARCHITECTURE",  
 UNIVERSITY OF OREGON,
- 1984 "PUUC ARCHITECTURAL STYLES A REASSESSMENT",  
AREA MAYA NORTE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 ANTROPOLÓGICAS, UNAM, MEXICO.
- 1984 "XKICHMOOK REVISITED, PUUC VS. CHENES ARCHI-  
 TECTURE", CUADERNOS DE ARQUITECTURA MESOAME-  
 RICANA, No. 1, UNAM, MEXICO.

BARRERA, RIOS, PINA CHAN, POLLOCK.

- 1981 ARTE MAYA, SOCIEDAD DE FOMENTO INDUSTRIAL,  
 EDITORA DEL SURESTE, MEXICO.

BOLLES, JOHN S.

- 1977 LAS MONJAS, A MAJOR PRE-MEXICAN ARCHITECTURAL  
COMPLEX AT CHICHEN ITZA.  
 UNIVERSITY OF OKLAHOMA PRESS, NORMAN.

CALDERON CABRERA, JOSE LUIS.

1979 REESTRUCTURACION Y CONSOLIDACION DE MONUMENTOS.

TESIS DE MAESTRIA, UNAM, MEXICO.

CARMONA Y PARDO, MARIO DE JESUS.

1983 MATEMATICAS PARA ARQUITECTURA.

EDITORIAL TRILLAS, MEXICO.

COVARRUBIAS, MIGUEL.

1961 EL AGUILA, EL JAGUAR Y LA SERPIENTE.

UNAM, MEXICO.

1961 ARTE INDIGENA DE MEXICO Y CENTROAMERICA.

UNAM, MEXICO.

CREIXELL MORAL, JOSE.

1973 ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES.

CECSA, MEXICO.

EATON, JACK D.

1971 CHICANNA, AN ELITE IN THE RIO BEC REGION.

NEW ORLEANS.

ECHENIQUE MANRIQUE, RAMON.

1976 CARACTERISTICAS DE LA MADERA Y SU USO EN

LA CONSTRUCCION.

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, MEXICO.

ECHENIQUE MANRIQUE, RAMON.

- 1976 25 MADERAS TROPICALES MEXICANAS.  
CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, MEXICO.

FONCERRADA DE MOLINA, MARTA.

- 1970 UXMAL, KABAH, SAYIL Y LABNA.  
CAMINOS DE MEXICO, COMPANIA HULERA EUZKADI.  
GALAS-DE MEXICO, MEXICO.

GENDROP, PAUL.

- 1973 "CONSIDERACIONES SOBRE LA ARQUITECTURA DE PALENQUE"  
PRIMERA MESA REDONDA DE PALENQUE.

- 1975 "EVOLUCION DE LA CRESTERIA EN LA ARQUITECTURA MAYA".  
MESA REDONDA DE LA SOC. MEXICANA DE ANTROPOLOGIA,  
MEXICO.

- 1975 PRECOLUMBIAN ARCHITECTURE OF MESOAMERICA.  
HARRY N. ABRAMS, NEW YORK.

- 1979 QUINCE CIUDADES MAYAS.  
UNAM, MEXICO.

"ESTUDIO COMPARATIVO DE RASGOS ARQUITECTONICOS  
EN LOS ESTILOS RIO BEC, CHENES Y PUUC DURANTE  
LA FASE CLASICA TARDIA", Ms. INEDITO.

- 1983 LOS ESTILOS RIO BEC, CHENES Y PUUC EN LA ARQUITECTURA MAYA.  
UNAM, MEXICO.

GONZALEZ BLACKALLER, CIRO Y LUIS GUEVARA RAMIREZ.

1959 SINTESIS DE HISTORIA DE MEXICO.  
EDITORIAL HERRERO, MEXICO.

HELLMUTH, NICHOLAS

"A GUIDE TO MAYA CITIES".

IVANOFF, PIERRE.

1973 MONUMENTS OF MAYA CIVILIZATION.  
GROSSET AND DUNLPA, NEW YORK.

JUAREZ BADILLO, EULALIO.

1967 MECANICA DE SUELOS.  
UNAM, MEXICO.

KUBLER, GEORGE.

SERPENT COLUMN PORTALS IN YUCATAN AND MEXICO.

LANGLEBERT, J.

1897 QUIMICA. PARIS.

LOTEN, H STANLEY.

1982 "TIKAL VAULTING", PAPER DELIVERED AT THE  
SYMPOSIUM" AREA MAYA NORTE, UNAM, MEXICO.

MARGAIN, CARLOS R.

1966 SOBRE SISTEMAS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION  
EN TEOTIHUACAN., ONCEAVA MESA REDONDA SOBRE  
TEOTIHUACAN, MEXICO.

MARISCAL, FEDERICO E.

1928 ESTUDIO ARQUITECTONICO DE LAS RUINAS MAYAS,  
YUCATAN Y CAMPECHE, MEXICO.

MARQUINA, IGNACIO.

1964 ARQUITECTURA PREHISPANICA,  
INAH, MEXICO.

MORLEY, SYLVANUS G.

1965 LA CIVILIZACION MAYA,  
FONDO DE CULTURA ECONOMICA, MEXICO.

PERELMAN, Y.

1982 MATEMATICAS RECREATIVAS,  
MARTINEZ ROCA EDITORIAL, MADRID.

PINA CHAN, ROMAN.

1967 UNA VISION DEL MEXICO PREHISPANICO,  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HISTORICAS,  
UNAM, MEXICO.

POLLOCK, H.E.D.

1980 THE PUUC, AN ARCHITECTURAL SURVEY OF THE HILL  
COUNTRY OF YUCATAN AND NORTHERN CAMPECHE, MEXICO.  
HARVARD UNIVERSITY, CAMBRIDGE.

POTTER, DAVID F.

1977 MAYA ARCHITECTURE OF THE CENTRAL YUCATAN PENINSULA,  
MEXICO, TULANE UNIVERSITY, NEW ORLEANS.

PROUSKOURIAKOFF, TATIANA.

- 1969 ALBUM DE ARQUITECTURA MAYA.  
FONDO DE CULTURA ECONOMICA, MEXICO.

PULESTON, DENNIS E.

- 1976 " THE SEEDS OF STATEHOOD: VARIABILITY IN SUBSISTENCE  
MODES IN THE SOUTHERN MAYA LOWLANDS AND THE RISE OF  
MAYA CIVILIZATION ". PAPER PRESENTED AT THE XLII -  
INTERNATIONAL CONGRESS OF AMERICANISTS, PARIS.

RIOS, MARGAIN, MOLINA MONTES, DE ROBINA, ROMANO, GREENE.

- 1980 PALENQUE, ESPLENDOR DEL ARTE MAYA.  
EDITORIAL DEL SURESTE, MEXICO.

ROYS, LAWRENCE.

- 1934 THE ENGINEERING KNOWLEDGE OF THE MAYA.  
CONTRIBUTIONS TO AMERICAN ARCHAEOLOGY.  
CARNEGIE INSTITUTE OF WASHINGTON, PUB. 436

ROYS, LAWRENCE Y EDWIN SHOOK.

- 1966 PRELIMINARY REPORT OF THE RUINS OF AKE, YUCATAN.  
MEMOIRS OF THE SOCIETY FOR AMERICAN ARCHAEOLOGY,  
SALT LAKE CITY.

RUPPERT, KARL.

- 1940 A SPECIAL ASSEMBLAGE OF MAYA STRUCTURES.  
CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON.



RUPPERT, KARL Y JOHN H. DENISON, JR.

- 1943 ARCHAEOLOGICAL RECONAISSANCE IN CAMPECHE,  
QUINTANA ROO, AND PETEN. PUB. 543,  
CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON.

RUZ LHULLIER, ALBERTO.

- 1979 "ARTE MAYA", HISTORIA DEL ARTE.  
SALVAT EDITORES, MEXICO.

- 1979 CHICHEN ITZA EN LA HISTORIA Y EN EL ARTE.  
EDITORA DEL SURESTE, MEXICO.

SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL.

- 1976 VOCABULARIO ARQUITECTONICO ILUSTRADO.  
MEXICO.

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO.

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA DEL TERRITORIO  
NACIONAL, MEXICO.

CARTA EDATOLOGICA; MERIDA, CARTA GEOLOGICA, MERIDA;  
CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACION MERIDA.

STIERLIN, HENRI.

- 1976 MAYAN, LIVING ARCHITECTURE.  
ED. KENNETH MARTIN LEAKE, BERNA.

TOSCANO, SALVADOR.

- 1952 ARTE PRECOLOMBINO DE MEXICO Y DE LA AMERICA CENTRAL.  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTETICAS, UNAM, MEXICO.

TSCHEBOTAROFF, GREGORY P.

1967 SOIL MECHANICS, FOUNDATIONS AND EARTH STRUCTURES.  
PRINCETON UNIVERSITY.

WAUCHOPE, ROBERT Y GORDON R. WILLEY.

1975 ARCHAEOLOGY OF SOUTHERN MESOAMERICA. PART. ONE,  
AUSTIN.

ZEVI, BRUNO.

1976 SABER VER LA ARQUITECTURA.  
EDITORIAL POSEIDON, BUENOS AIRES.

## LISTA DE SITIOS SEÑALADOS.

AKE	EST. 1	57, 212, 214
ALMUCHIL	EST III, CTO. 1	167,181
BECAH	EST IV- SUB.	196,213
CACABXNUC	GPO. NTE. EDIF. NTE.	80 ,146
CACABXNUC	GPO. SUR	142
CACABBEC	GPO. SUR CTO. 1	81
CHACMULTUN		145,214
CHICHEN ITZA	TEMPLO DE LOS RETABLOS	174
	TEMPLO DE LOS GUERREROS	57, 173 Bis, 174
	EL MERCADO	40, 176
	JUEGO DE PELOTA	52
	TEMPLO DEL VENADO	123
	TEMPLO DE LOS FALOS	122
	CASA COLORADA	123,192,213
	IGLESIA	148,191
	LAS MONJAS	15
	EL CARACOL	141,152,199,200,210
CHELEMI	EDIF. CON PINTURAS	74
CHICANA	EST. II	39
CHUNCATZIM	EST. 1	178,180
CHUNCATZIM	EST. II	180
COPAN		149,152
COMALCALCO		150
DZIBILCHALTUN-CASA DE LAS 7 MUÑECAS		187
EDZNA		184
HALAL	EDIF. PRINCIPAL	82, 180
HALTUNCHON	EDIF. OESTE CTO. SUR	124,179
ITZIMTE		59
KABAH	EST. 2A1	150,196
	CODZ POP	193
	EST. 1B1	193
	EST. 1A1	212
	EST. 2C2	212,214- APÉNDICE
	EST. A15	52
	EST. 1C1	66
	EST. 2A2	72, 138

KABAH	EST. 2C6	79 ,211
	EST. 2A3	79
	EST. 1A5	138
	GRUPO ESTE	222
	EST. A7	86
KAMINALJUYU	EST. A5-A6	87
KANKI	EDIF. SUR	58
KANKI	EDIF. ESTE	75
KIUIC	EST. I	56
KOHUNLICH		150
KUPALOMA	EDIF. ESTE	144
LABNA		152
	EST. I	54, 58, 75, 79, 80
	EST. II	54, 76, 81,140,166
	EST. IV	82
	EST. S-2	140
MAYAPAN		137
MUL-CHIC	EST. A	145,191
MULUTZEKEL	EST. OESTE	76
MUNECA LA	EST. XII CTO.	172
NAKUM	EST. S	47
	EST. M	153
	EST. P	154
	EST. F	154
	EST. R	156
	EST. 1	59
	EST. 1	59
NAOX	EST. 1	59
NOHPAT	SACBÉ	218
OXKINTOK	EST. 2B10	214
	EST. 3C7	61, 157
	EST. 3B5	71, 136,179
	EST. 3B1	159
	EST. 3C5	181
PALENQUE	PALACIO	48, 121,151,152,201,209
	TEMPLO DE LA CRUZ	49, 186
	TEMPLO DEL SOL	49
	TUMBA INSCRIPCIONES	124,202,203,204,205,206,207
PIEDRAS NEGRAS	EST. P7	158
	BAÑO DE VAPOR	171

PECHAL		151
POMUCH		58
SABACCHE	EST. 4	60
	EST. 5	74
	EST. 1	82, 190
SAYIL	EST. 2B1	54, 70, 76, 80, 81, 139
	EST. 1B2	67
	EST. 3B1	139
	EST. 4B2	74
	EST. 2C4	155
	EST. 3B2 CTO. 2	185
SIHUNCHEN		51
TANCAH	EDIF. 1	175-188
TIKAL		121,150.
	PALACIO DE 2 PISOS	155
	TEMPLO V	184
	TEMPLO 11	184
	TEMPLO 33	187
TULA	TEMPLO DE LOS GUERREROS	173 Bis
TULUM	CASTILLO	45, 151,212
	TEMPLO DE LOS FRESCOS	46
	EST. E59	186,188
UAXACTUN		151
UXMAL	CASA DE LAS TORTUGAS	40, 157
	TEMPLO DE LAS MIL COLUMNAS	61
	EST. 22	71
	TEMPLO DEL ADIVINO	122
	GPO. NTE. EDIF. E7	135
	GPO. NTE. EDIF. 22	189
	CASA DE LA VIEJA	189
TONINA		190
XCALUMKIN	GPO. NTE. EDIF. NTE	75, 82
	GPO. PRINCIPAL EDIF. NTE.	136
XCALACHETZIMIN-	EDIF. NTE.	142
XCASTUN	GPO. NTE. EDIF. OESTE	143
XCANACRUZ	EST. 1	64
XCARET		178,212

XCOCHA		59
XCOCHKAX		56, 136
XCORRALCOT	GPO. ESTE EDIF. CENTRAL	143
XLABPAK	EST. 1	161,181
XKICHMOOK	EST. 11	68
XPUHIL	EDIF. PRINCIPAL	198,213
YACALMAI	GPO. NTE. EDIF. OESTE	142
YAXCHE-SLABPAK	EST. 1	66
YAXCHILAN	EST. 22	153
	EST. 6	156
	EST. 19	159
	EST. 33	188
	EST. 39	49

## T A B L A S - Y M A P A S .

CRONOLOGIA MAYA		14
ZONA MAYA		3, 4
MADERA	RESULTADO DE PRUEBAS MECÁNICAS	18,19
MADERA	ESFUERZOS MÁXIMOS PERMISIBLES	20
MADERA	CARACTERÍSTICAS FÍSICO- MECÁNICAS, MANUABILIDAD Y APARIENCIA	21
SITIOS PRINCIPALES DE LA ZONA MAYA		6

## LISTA DE FIGURAS.

ARCO	108
BÓVEDA	109,113,114
CALERA	27
CANTERA	25
CINCELES	29
CIERRE BÓVEDAS	132,133
COLUMNAS EMBEBIDAS	63
CHOZA MAYA	86, 88, 89
ESTRUCTURA TIPO MAYA	91, 93
ETAPAS CONSTRUCTIVAS	120
HERRAMIENTAS	31, 32
HOJAS DE PEDERNAL	30
MEDIA BÓVEDA	95, 98, 99, 100
MORILLOS	105,106,115
MUROS DE CONTENCIÓN	219,220,221
PARÁBOLA	162,164,169,170
PIEDRAS	117,118
PIEDRAS BOLA	127,128
RELLENOS	36