

20164  
12



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**BOVEDAS DE LADRILLO**  
**COMPORTAMIENTO TERMICO Y GEOMETRIA.**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA**

**EN ARQUITECTURA, TECNOLOGIA.**

**LUIS VARGAS ARRIOLA, AÑO MMII.**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**J U R A D O**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. ALVARO SÁNCHEZ GONZÁLEZ**

**SINODALES PROPIETARIOS:**

**M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GOMÉZ.**

**DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ.**

**SINODALES SUPLENTE:**

**M. EN ARQ. JEANINE D'ACOSTA BISCHOFF**

**M. EN ARQ. JORGE RANGEL DÁVALOS**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

A los obreros de la construcción:

Yo soy el que hace la silla...  
yo soy el que hace la mesa... y no tengo donde sentarme,  
yo soy el que hago la casa y no tengo donde vivir...

*Fragmento impreciso de una trova que escuché alguna vez.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



A Josefita:

La función del arte/1

Diego no conocía la mar. El Padre Santiago Kovadloff,  
lo llevo a descubrirla.

Viajaron al sur.

Ella, la mar, estaba más allá de los altos médanos,  
esperando.

Cuando el niño y su padre alcanzaron por fin aquellas  
cumbres de arena, después de mucho caminar, la mar  
estalló ante sus ojos. Y fue tanta la inmensidad de la  
mar, y tanto su fulgor, que el niño quedó mudo de  
hermosura.

Y cuando por fin consiguió hablar, temblando,  
tartamudeando, pidió a su padre:

— ¡Ayúdame a mirar!

*Eduardo Galeano; El libro de los abrazos*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A mis hijos María Gabriela y Luis:

Por la emocionante oportunidad que tuvimos de crecer juntos.

Con mi agradecimiento

Al ing. José Alcazar Vilchis, por su valiosa asesoría.

Al arq. Marcos Javier Ontiveros Hernández, por sus puntuales observaciones

A Antonio Ramírez Castellanos y Olivia Morales Urbina, por su colaboración.

A todos mis amigos y colegas que hicieron posible éste trabajo.

# INDICE

<b>PRÓLOGO</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
Babilonia y Asiria—Arquitectura Romana—Arquitectura Bizantina—Estilo ojival o gótico—Luis Moya Blanco—Hassan Fatty—Una solución real—Universidad Autónoma de Guadalajara y Universidad de Rice, Houston Texas U S A.—Carlos Mijares— José Alfonso Ramírez Ponce—Eladio Dieste.	
<b>OBJETIVOS IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA E HIPÓTESIS DE LA FORMA</b>	<b>44</b>
La forma invención inevitable—En la búsqueda del material aislante— Programa de pruebas.	
<b>EJECUCIÓN DEL FORRO AISLANTE DE LA CUBIERTA</b>	<b>55</b>
<b>RELACIÓN DE TEMPERATURAS Y GRÁFICAS CORRESPONDIENTES A LAS COMPROBACIONES PRELIMINARES</b>	<b>58</b>
primeros días de verano, otoño e invierno de 1997 y primavera de 1998.	
<b>UN NUEVO MATERIAL AISLANTE</b>	<b>69</b>
Comentarios a las gráficas registradas después del segundo tratamiento—Comparativo entre las gráficas del primero y segundo tratamientos.	
<b>CONCLUSIONES RESPECTO AL COMPORTAMIENTO TÉRMICO</b>	<b>79</b>
<b>GEOMETRÍA</b>	<b>81</b>
Comparativo entre varillas de acero dobladas "libremente", cadenas metálicas y cálculo analítico de catenarias—Perfiles de diversas bóvedas sobrepuestos al trazo de catenarias—Perfiles de diversas bóvedas sobrepuestos al trazo de arcos de circunferencia.	
<b>MONTEAS COMPARATIVAS DE LAS CURVAS DE NIVEL</b>	<b>103</b>
Dos cúpulas de planta sensiblemente cuadrada, una ya construida y otra a partir del trazo geométrico preciso—Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas exagonales—Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas rectangulares—Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas triangulares—Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas de "cañón" cilíndricas una ya construida y otra a partir del trazo geométrico preciso.	
<b>CONCLUSIONES RESPECTO A LA GEOMETRÍA DE LAS CÚPULAS DE LADRILLO</b>	<b>108</b>

<b>COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ARCOS BÓVEDAS Y CÚPULAS</b>	<b>109</b>
Arcos y Bóvedas de cañón—Sobreposición de catenaria y semicircunferencia—Cúpulas Método gráfico —Esfuerzos en una cúpula semiesférica.	
<b>CONCLUSIONES SOBRE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO EN ARCOS, BÓVEDAS DE CAÑÓN Y CÚPULAS</b>	<b>116</b>
Arcos y Bóvedas de cañón—Casquete esférico arriba de los 38 184°—Los paralelos—Los meridianos —Cúpulas de planta cuadrada con el 25% de peralte respecto a sus lados—Cúpulas de diversas proporciones al 20 y 25% de peralte.	
<b>EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UNA CÚPULA</b>	<b>127</b>
Sobreposición de arcos de circunferencia a varillas de acero—"Pañuelos, cañones", aparejos — Tablas de esfuerzos en diversas cúpulas de varias medidas y peraltes del 25%, 20% y 15%.	
<b>RECAPITULANDO</b>	<b>134</b>
Comportamiento térmico, Geometría, Los esfuerzos de trabajo de arcos, bóvedas y cúpulas, Homenaje.	
<b>ÍNICE DE ILUSTRACIONES Y SINTESIS.</b>	<b>138</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>162</b>

## PRÓLOGO

En nuestro país, como en casi toda la América Latina y aún en otras regiones del mundo, el material más importante que se ha usado, y se sigue usando es el ladrillo de barro o también llamado de cerámica, en este trabajo se pretende establecer la vigencia que este material tiene no sólo en la construcción de muros de carga, sino en la fabricación de cubiertas abovedadas o en forma de cúpula (\*), con una técnica que todavía se conserva en varias regiones del país.

Alrededor del año 1961, realizamos un viaje a la zona del Bajío, y en uno de los paraderos en que nos detuvimos, descubrimos unas sorprendentes bóvedas de planta triangular construidas a base de un ladrillo de la región llamado cuña; el viaje lo realizábamos un grupo de egresados de la Escuela Nacional de Arquitectura, este encuentro nos pareció un hallazgo, sin embargo supusimos que aquella técnica se había perdido en el tiempo y no quedaban más artesanos que pudieran construir dichas formas.

Durante muchos años y solamente de manera casual volví a tener contacto con éste sistema constructivo, por lo que pude enterarme que se había realizado con ciertas variables en los Estados de: México, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí y hasta Durango. A través del cambio de impresiones con diversos colegas alguno de ellos me comentó, que había localizado un grupo de albañiles constructores de bóvedas y que rápidamente se había aprestado a contratarlos para construir algún proyecto que tenía en ciernes, más tarde y durante el proceso, visité la obra y encontré que el sistema era muy simple, noble, muy rápido, más barato y con interiores mucho más interesantes que el que presentan las losas planas a las que estábamos acostumbrados a construir.

Fue tan importante el impacto que el sistema me causó, que el proyecto largamente acariciado de mi propia casa decidí construirlo con este sistema, y después de haber habitado este lugar durante varios años me he convertido en un entusiasta promotor de él.

(\*) En este trabajo le llamaremos "Bóvedas de ladrillo" sin que necesariamente sean ni bóvedas ni cúpulas, ya que la definición clásica de una bóveda corresponde a una obra que cubre un espacio entre dos muros o varias pilastras, o la cúpula, que tiene un desarrollo semiesférico y consta de varios cuerpos: anillo, tambor, media naranja, linterna etc.

Estas bóvedas de ladrillo pueden estar apoyadas en dos, en tres o en más lados pudiendo ser de planta circular o eventualmente elipsoidal o de cualquier otra geometría y con apoyos en diferentes planos, además los hacedores de estas cubiertas se nombran a sí mismos como bovederos.

Creo en la arquitectura propuesta como resultado de resolver de una forma congruente sus propósitos, con las técnicas que se tengan a la mano y el vigor resultante de la inocencia con que halla sido concebida

Las razones que me llevan a estudiar el tema de las cubiertas de ladrillo en ésta investigación, es retomar los sistemas tradicionales de fabricación de bóvedas y cúpulas e incorporarlo con otras variables de nuevos planteamientos, aprovechar lo económico del precio de construcción, el buen tiempo de ejecución, la supresión de cimbras, rellenos, armados y acabados a cambio de una bella apariencia.

## INTRODUCCIÓN

La producción en serie, la gran industria y las máquinas son extraordinarias conquistas técnicas puestas al servicio del hombre, sin embargo, este proceso se produjo en algunos países con graves visos de dolor e injusticia por lo que no tenemos que copiar a la letra dicho proceso suponiendo que todo lo que representa una gran industria es de por sí mucho mejor. También para nuestro desarrollo deberemos tomar nuestra propia alternativa, y es de esperar que por un buen trecho subsistan entre nosotros las dos formas de producción, la gran industria automatizada y otras formas de producción con algunos caracteres artesanales.

La técnica con que contamos es ancestral, enriquecida ahora por diversas alternativas que favorecen los procesos tales como el postensado, la fabricación de ladrillos prensados de gran dureza, algunas veces mayor que el concreto. Los ejemplos están a la vista en varios países latinoamericanos, inclusive con un avance tecnológico menor al nuestro.

*Dice Eladio Dieste que "la arquitectura que llamamos moderna, surgió en países de desarrollo social, cultural e industrial completamente distinto a los nuestros. La respuesta a los problemas de esas sociedades me parece casi siempre incompleta, suele ser más adecuada desde el punto de vista tecnológico, pero adecuada para ellos, no siempre para nosotros".*

Sin embargo la arquitectura deberá tomar en cuenta hábitos, gustos y tradiciones de nuestras gentes, nuestros climas tan característicos, lo templado y lo extremo, la estructura y la construcción unido a nuestras posibilidades, a las capacidades de nuestros obreros, y al integrarse con el paisaje deberá formar una arquitectura más regional.

No se puede proponer como postulado el hacer arquitectura mexicana, pues no tiene sentido. Una arquitectura de gran personalidad no ha sido nunca propuesta por una determinada sociedad, sino que es el resultado de solucionar en forma congruente sus propósitos y sueños utilizando las técnicas que se tengan a la mano. Es peligroso hacer arquitectura que pretenda lo folklórico.

*"Toda tradición requiere de creaciones para seguir siéndolo y toda creación necesita de una tradición que la enmarque" (Carlos Fuentes).*

La revolución industrial se produjo en un momento determinado en las sociedades más desarrolladas de la civilización que formamos parte, pero me resisto a creer en la totalidad de lo que se produjo en éste enorme paso adelante, y es importante resaltar, que dicho gran movimiento perdió de vista al hombre.



Es un hecho que esa revolución no podrá volver atrás, y que por sí misma debiera engendrar una sociedad cada vez más perfecta, sin embargo no la creó, ya que éste logro es el coronamiento de la revolución técnica y científica y es esa evolución, con sus procedimientos, su moral y su escala de valores. Una vez producida ésta, el perfeccionamiento no es inmediato y si se pierden de vista los propósitos del hombre se puede caer en el primitivismo. La productividad y la eficiencia no son fines en sí mismos, el pleno logro del hombre es el objetivo.

*“La modernidad no consiste renegar de la tradición sino en usarla de un modo creador, ya que se puede perder el pasado y también el futuro” (Octavio Paz).*

*Acerca de estos sistemas constructivos: sus materiales y sus correspondientes técnicas que han sido y siguen siendo, a pesar de su antigüedad, modernos. Su modernidad no proviene de su edad sino de su vigencia*

*Cuando menos, resulta paradójico y equívoco, que a las técnicas constructivas de nuestros propios materiales tradicionales, “nosotros los llamemos tecnologías alternativas”.*

*“No son tecnologías” sino técnicas, ni tampoco pueden ser opcionales o “alternativas”, pues siempre nos han sido propias. Es decir, lo que nos pertenece, lo que siempre nos ha pertenecido, lo que nos debe ser obligado, necesario; no puede tener el carácter de opción alternativa*

*Puede ser que las técnicas citadas puedan ser opcionales o “alternativas” para los países desarrollados, - por el alto costo de la mano de obra entre otros factores - pero lo que es un hecho, es que no lo son para nosotros. Esto es una muestra evidente de que muchas veces, acostumbrados a menospreciarnos, nos vemos a nosotros mismos desde afuera, con los ojos de los otros, desde una perspectiva que no es la nuestra. (\*)*

(\*) Revista Arquitectura Mexicana No. 3, Ramírez Ponce J. A. “Una Quimera sobre alas de papel” ...

## ANTECEDENTES

En la evolución de la historia de la arquitectura que empieza por formas sencillas y uniformes en Egipto y continúa desarrollándose en la construcción de los templos griegos, pasando a través de la complejidad de los templos de Roma, para posteriormente desembocar en la era cristiana donde se levantaron magníficas catedrales y castillos, haremos aquí una breve crónica de los estilos que en ésta época utilizaron la bóveda, la cúpula o el arco.

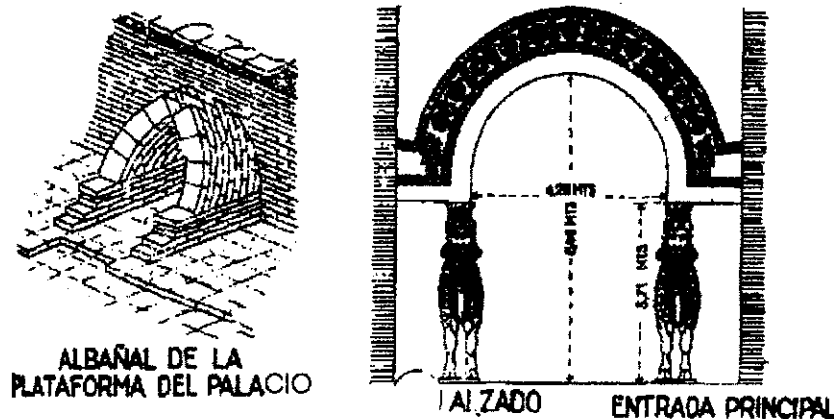
Primeramente en la arquitectura Babilónica hace aproximadamente cuatro mil años en el Asia menor, en el valle que forma los ríos Tigris y Eufrates, escaseaba la madera y la piedra, elementos fundamentales en la construcción, a cambio de esto abundaba la arcilla, que vaciada en moldes y secada al sol era una importante materia prima que después fué cocida en horno.

En **Babilonia y Asiria** el arco y la bóveda formado por dovelas quizás fué descubierto ocasionalmente por los constructores forzados a cubrir claros de salas con materiales de tamaño pequeño, como lo son los ladrillos, que hacían las veces de una coraza de revestimiento para las temporadas de lluvias, ya que las formaciones del suelo de la localidad no suministraban piedras del tamaño suficiente para cubrir claros de gran tamaño, tal vez se adoptó entonces, la bóveda por primera vez; sin embargo, existen las bóvedas llamadas núbicas, con una antigüedad de más de tres mil años a orillas del río Nilo, en el Valle de los Reyes.

Es importante considerar también a la Dinastía persa de los Sasánidas (224-651 D.C) al norte de la antigua mesopotamia dónde también se han encontrado vestigios de éste tipo de construcciones.

Así pues arcos y bóvedas son importantes características de ésta arquitectura, usándose en las puertas de los palacios, en el alcantarillado y en cubrir salas, llegando hasta nuestros días como algunas de las culturas que primeramente se sirvieron del arco y la bóveda a manera de sistema constructivo.

### PALACIO DE SARGON : KORSABAD



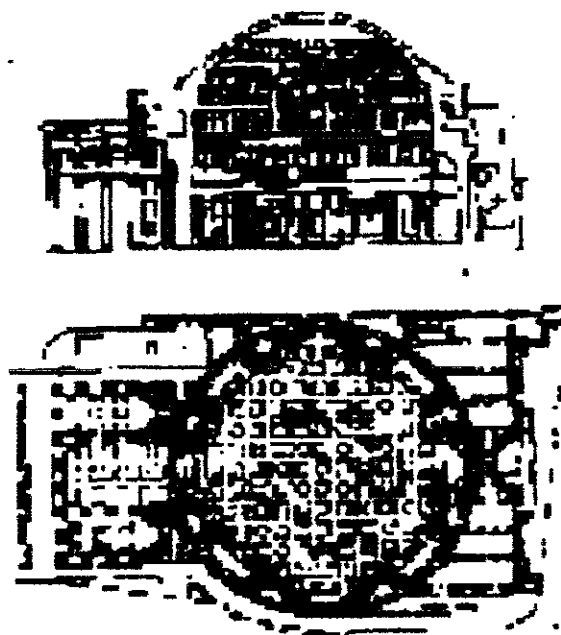
Historia de la arquitectura, Banister Fletcher, lámina 7

Alrededor de quinientos años Antes de Cristo la **arquitectura Romana** surge como resultado de una situación histórica compleja a partir de la arquitectura en Grecia, y el continuo desarrollo de los factores políticos, sociales y económicos.

Los romanos usaron una argamasa a partir de un nuevo material para la edificación, la misma que tomó forma casi por casualidad como sustituto económico y muy eficiente de los materiales tradicionales en la Italia central. Entre muchas cosas se encontró que ésta argamasa servía para sustituir los techos planos de madera con diferentes techos de bóvedas sencillas, para las que la piedra resultaba difícil de trabajar y cara. Como se ve a partir de este simple descubrimiento, la historia de la arquitectura Romana cambiará definitivamente su aspecto formal original. Todo parece indicar que en ésta etapa primaria fué la comodidad y la economía del nuevo material, lo que interesó a los arquitectos.

Los romanos no inventaron ni la bóveda ni el arco ya que ambos tenían una historia muy antigua en la arquitectura de ladrillo del antiguo oriente, la creciente utilización de las formas de las bóvedas de argamasa debió de ser un elemento que por sí mismo contribuyó a disipar prejuicios, y cuando la estructura de madera dejó de ser el material aceptable de los nuevos edificios públicos, el arco dió la solución a éste problema planteado en la construcción.

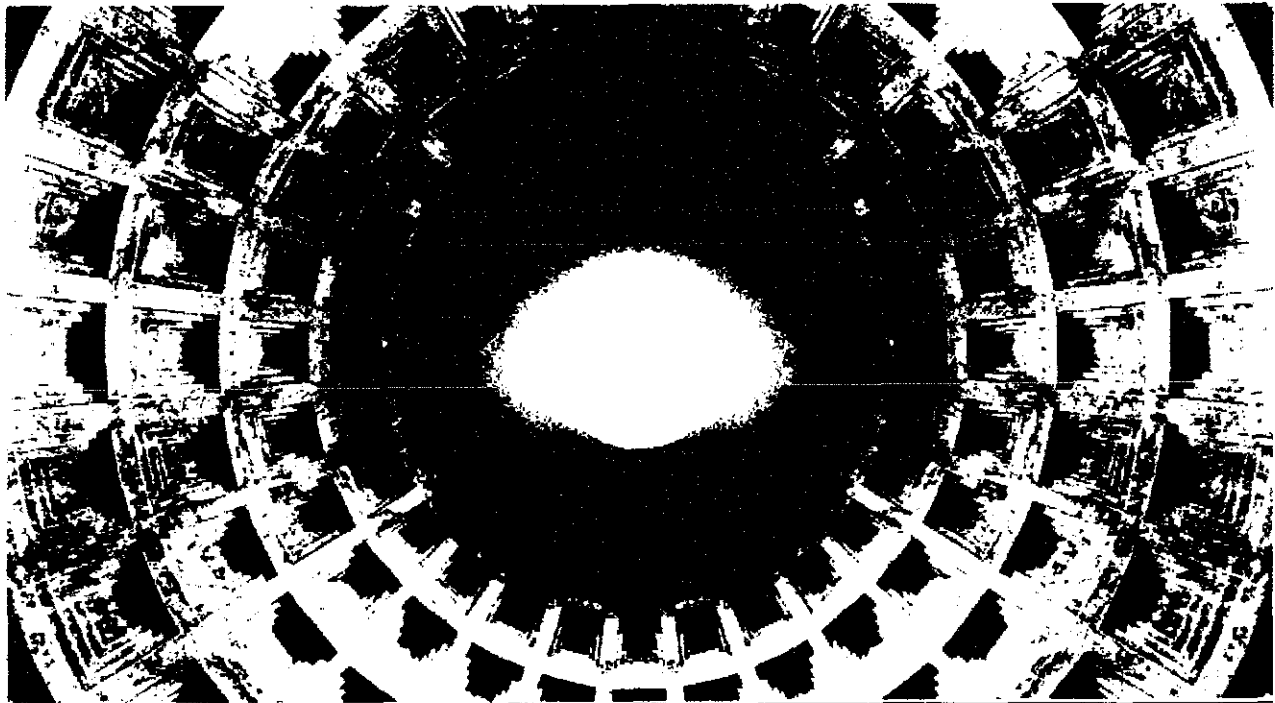
Uno de los edificios más importante con este sistema constructivo es el llamado el Panteón, que consiste en un tambor cilíndrico cubierto con una cúpula semiesférica de 43.20 mts. de claro y cuya altura desde el piso es la misma que el diámetro interior del edificio.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La construcción de una cúpula de este tamaño en cualquier época es una importante empresa de ingeniería civil, lo que demuestra la gran confianza que tuvieron sus constructores en los materiales y en su propia habilidad, entre los elementos que contribuyeron al éxito de esta estructura podemos señalar, que en aquél momento podía darse por conocida la resistencia del mortero de argamasa (puzolana), un segundo factor podría ser la resistencia de los cimientos, otro fué la selección graduada de la argamasa según su peso y resistencia a la compresión, los más densos en los cimientos, y los más ligeros en la cúpula.

Por último otra razón importante son las cavidades cuidadosamente dispuestas en el cuerpo del tambor, ya que aligeraran de una manera considerable el peso de la cúpula.



La construcción de una cúpula de este tamaño en cualquier época es una importante empresa de ingeniería civil, . .

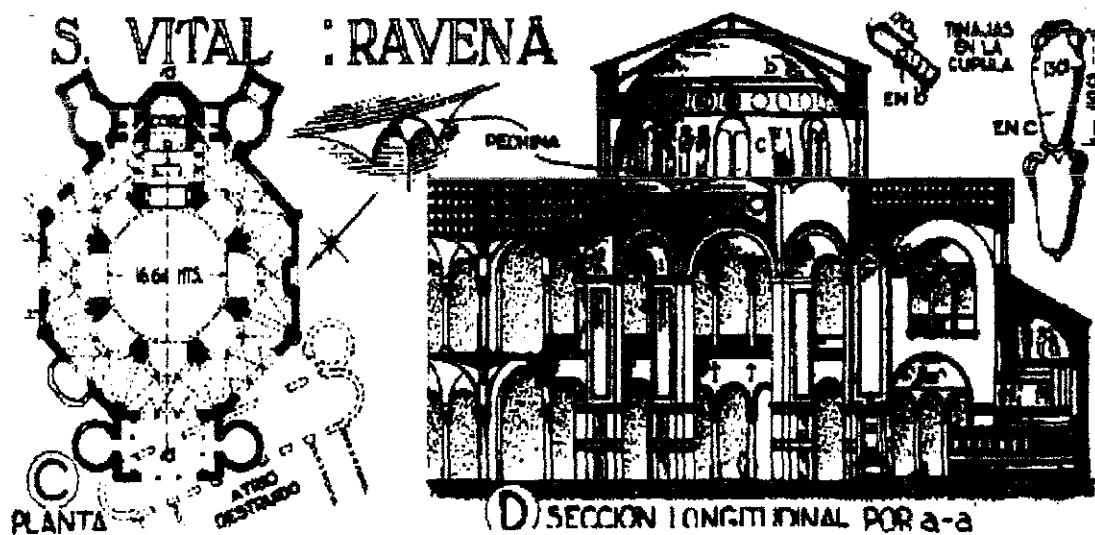
Arquitectura Romana Ward-Perkins , Roma, Cúpula del Panteón; Páginas 135-136.

La **arquitectura Bizantina** se determina por el desarrollo de la cúpula para cubrir iglesias, tumbas y baptisterios de todo tipo de plantas. La tendencia a hacer varias cúpulas en un sólo edificio contrasta con el sistema de cúpulas de los romanos.

En Bizancio se construía primero la estructura o esqueleto, dejándose fraguar antes de sobreponer los revestimientos de mármol, esta ladrillería necesitó un mortero muy cuidado, elaborado a base de cal procedente de la calcinación del mármol y arena a la que se le aumentaba el polvo de vasijas trituradas y ladrillos molidos.

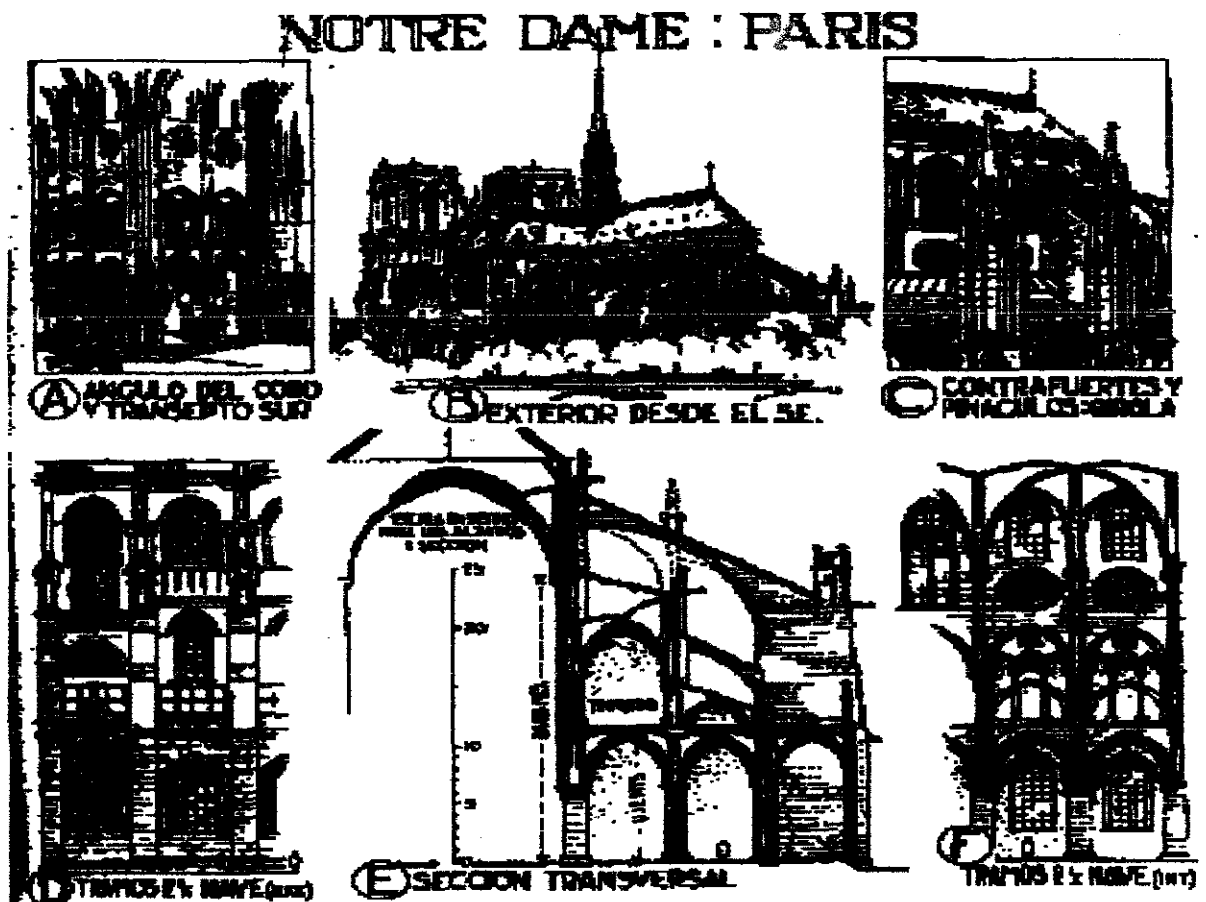
La cúpula fué siempre característica en la arquitectura tradicional del oriente, más adelante se convirtió en el motivo principal de la arquitectura bizantina.

Las cúpulas circulares se trasladaban por medio de pechinas a las plantas cuadradas. Éstas cúpulas se construían con frecuencia de ladrillo o de piedra ligera y muy porosa, como la piedra pómez y hasta de alfarería, como la de San Vital en Ravena. Se cree que las bóvedas bizantinas se construían sin apoyos o cimbras, simplemente utilizando grandes ladrillos, las cuáles podrían considerarse hoy como los sistemas precursores de las losas aligeradas.



Estas cúpulas se construían con frecuencia de ladrillo o de piedra ligera y muy porosa, como piedra pómez y hasta rellenas de alfarería...

El estilo ojival o gótico así llamado en Francia duró desde 1150 hasta 1500, se caracteriza por sus arcos apuntados, su ventanería de trazo geométrico, grandes rosetones en las fachadas y bóvedas ojivales. El fervor religioso del siglo XIII que uniera a la cristiandad contra los mahometanos, se manifestó en Francia especialmente en la tercera cruzada, en la séptima y en la octava, señalándose estos acontecimientos por la edificación de magnas catedrales, obra de las comunidades libres y laicas así cómo de los municipios. El clero había logrado su máximo poderío principalmente por su sentido de justicia y adhesión a la corona. El espíritu religioso de la época se manifestó dedicando cultos de santos especiales en diversas localidades; esto dió fama a capillas y santuarios que consiguieron importancia y riqueza como centros de peregrinación, reflejándose ésto en la arquitectura y decoración de las iglesias. La tendencia a la esbeltez y el predominio de la verticalidad se acentuó en el norte por elevadas bóvedas sobre las que se disponían altas techumbres inclinadas, por agudos piñones y agujas, contrafuertes, pináculos, altos ventanales y arbotantes, síntomas todos que indican el conocimiento de las funciones del empuje y como contrarrestarlo. Debe notarse que este estilo en Francia se adelanta unos cincuenta años a Inglaterra y al resto de Europa.

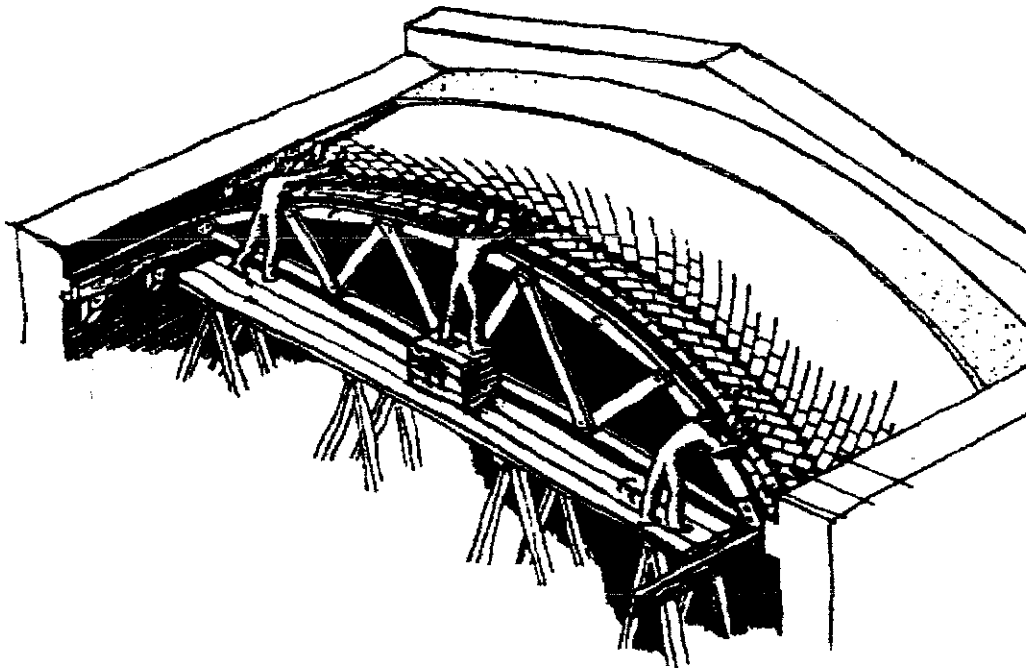


Historia de la arquitectura, Fletcher Banister., Lámina 151

Los conquistadores españoles muchos oriundos de extremadura y más tarde los catalanes, fueron por excelencia constructores de bóvedas, cúpulas y arcos, y seguramente dentro de los conquistadores y más tarde entre los inmigrantes debió haber habido excelentes albañiles que siguieron ejerciendo el oficio en América.

**Luis Moya Blanco** en su libro **Bóvedas Tabicadas**. Editorial Textos Dispersos, Madrid España, Junio 1993., expone distintas maneras de bóvedas tabicadas que nos permiten comprobar las posibilidades y las limitaciones del sistema. Se analiza primero la bóveda en sí; a continuación los empujes, después las diferentes cargas que son capaces de soportar, y, al final los conjuntos resultantes de las combinaciones.

En general los arcos, las cúpulas y bóvedas que se analizan en este tratado, requieren de una cimbra para su construcción y están hechas de tres o más capas de ladrillo delgado (2 cms. cada una), la primera de ellas pegada con yeso y las siguientes pegadas con mezcla en forma de petatillos encontrados..



En general éstos arcos, cúpulas y bóvedas requieren cimbra para su construcción .

Bóvedas tabicadas; Moya Blanco L, Ed Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. España 1993. Pág. 20 Fig. 13.

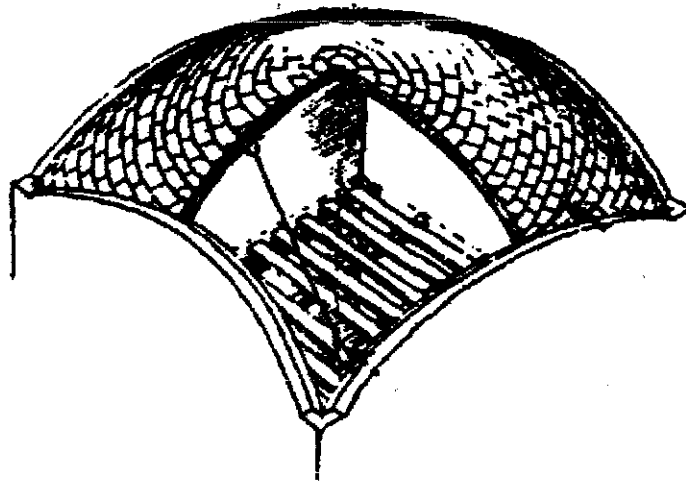
Las bóvedas que se analizan son las clásicas:

- a) Esférica
- b) De arista
- c) Bóvedas de lunetos
- d) Cañón
- e) Vaídas o de pañuelo
- f) Bóvedas nervadas a base de arcos
- g) De rincón de claustro
- h) Bóvedas rellenas a manera de terrazas o jardín y drenes en estos casos
- i) Escaleras a la catalana
- j) Bóvedas multiboladas

Todos los cuáles son bien conocidos para los arquitectos.

Cabe aclarar que en España durante el periodo de las guerras de 1914-1918 y nuevamente durante la guerra civil, hubo una gran escasez de hierro, no solamente en España sino en todo Europa, por lo cuál, las escasas construcciones realizadas en ese tiempo se construían a base de arcos, bóvedas y cúpulas de ladrillo.

Éste sistema constructivo que requiere de cimbra para su ejecución se conserva todavía en México fundamentalmente en el estado de Oaxaca, donde tiene gran vigencia.



Bóveda Vaída o de pañuelo...

Bóvedas tabicadas, Moya Blanco L; Ed. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid España 1993.



**Hassan Fathy** nació en 1900 en Alejandría de padre sahídi (Yemen, Arabia) y de madre turca. En una familia de clase media; su padre descendía de una familia pobre y llegó a ser propietario de tierras convirtiéndose en granjero. Desde la edad de 6 años hasta su adolescencia asistió a escuelas británicas en el Cairo.

Se puede considerar cuatro etapas fundamentales en su hacer como arquitecto:

La carrera temprana de 1928 a 1945.

El diseño y la construcción de conjunto Nuevo Gourná de 1945-1947.

Los testimonios adicionales de sus nuevas ideas 1948-1967.

Y de 1968 -1989 la llamada carrera tardía.

Su trabajo refleja una dualidad compleja de influencia del este y del oeste junto con sus contradicciones; Fathy respeta y admira todas las tradiciones europeas y por otra reciente el legado colonial que ha amenazado la identidad de Egipto. Fathy, en un principio estaba ansioso de imitar a una cultura que se le había presentado como superior y sus primeros trabajos lo reflejan así, después dejó de lado ésta cultura para inventarse un estilo propio que se convertiría en parte de su patrimonio.

Como resultado Fathy estuvo inevitablemente afectado por la metodología del orientalismo revelándose contra ella. En un extremo, podría decirse que sus diseños ofrecían una vista oriental que él interpretaba con sus propios ojos, a través de la cultura occidental, de ésta forma, los representaba como él pensaba que el orientalismo debía ser.

Egipto tiene una historia particularmente triste y llega a ser, dentro de su propio territorio, modelo de una cultura confusa por los efectos negativos que las invasiones extranjeras y las explotaciones coloniales le causaron.

La mayor parte de las ganancias de Egipto eran utilizadas para pagar su deuda externa y solamente se le permitía quedarse con la cantidad necesaria para la administración de sus gastos primarios.

Algunos empresarios tuvieron una influencia directa o indirecta sobre Hassan Fathy durante los tempranos años del desarrollo de su Arquitectura, quienes empezaron a emerger en ésta fértil atmósfera intelectual. Uno de ellos fue Taha Husayn quien asistió a la "Al Ashar University", años antes de ingresar a la Universidad del Cairo en 1912, y finalmente continuó en la Sorbona de París

Su enseñanza del antiguo Egipto en la Universidad del Cairo después de haber regresado en 1919, y la publicación de su estudio de filosofía que tituló "Qadat al- Fikr", ambos haciendo contraste entre los dos valores occidentales y orientales de inmediato produjeron un gran impacto entre sus contemporáneos. Husayn cristalizó el atropello que los egipcios sentían por las injusticias que la ocupación colonial les había causado, también influyó en la política y en la difusión de la arquitectura de Fathy.

El premio Nóbel ganado por Naguib Mahfouz ,quién fue producto del mismo renacimiento intelectual y que se graduó en la Universidad del Cairo en 1934, ocho años después que Fathy con grado en filosofía escribió su primera novela basada en el tema de los faraones y la utilizó asentando un estilo de velada alegoría de comentarios políticos acerca de la ocupación británica en su país. Su escritura resuena en la creencia de Fathy de que Egipto no puede ser construido tecnológicamente por sí solo, que todo el progreso futuro debe tener como base la fe y los valores sociales.

Hamed Said un artista que era amigo muy cercano de Fathy y también su cliente, recuerda lo que éste había descrito como la inminente catástrofe que prevalecía dentro del círculo intelectual en Egipto, previa a la Segunda Guerra Mundial.

Decía que Fathy percibía como una crisis cultural y un declive general del nivel de la civilización dentro del país. Él menciona éste temor de crisis como la principal razón escondida tras la búsqueda cultural que caracteriza el trabajo de Fathy en ese tiempo.

*Por lo menos mil millones de personas morirán a temprana edad y vivirán vidas atrofiadas debido a que habitarán en viviendas insalubres, antieconómicas y feas. . (\*)*

Así empieza Hassan Fathy la introducción de su libro Arquitectura para los Pobres.

Aseguran que un tercio de la humanidad ganará en lo que falta del siglo XX (1969), menos que en un año un trabajador estadounidense. En los Estados Unidos la inversión que se necesita para proveer una vivienda mínima a una familia de escasos recursos, es de aproximadamente 20 mil dólares, lo que significa que los pobres de los países de las naciones de moneda débil, no podrán procurarse un techo; ya que en las aldeas asiáticas el ingreso por persona es tan reducido que no tiene ningún objeto estadístico, ya que tiende a un nivel de sólo subsistencia.

(1) "Arquitectura para los pobres". Fathy H; Ed México Extemporáneos, 2a ed., 1982.

Al pensar en la habitación, el acero estructural es un gusto inalcanzable. Cuando llega a usarse éste material a través del concreto armado, necesariamente su costo implica un uso limitado. Esto tiene un resultado definitivo sobre la construcción, de tal manera que los proyectos promovidos por los gobiernos con estos materiales, *"a menudo semejan hileras regimentadas de gallineros de concreto"*.(1)

A partir de éstas ideas y observando el medio rural Hassan Fathy se da cuenta que los campesinos egipcios construyen sus casas de adobes o tabiques de adobe que sacan de la tierra y secan al sol, a partir del año 1937 (carrera temprana) diseña una casa campestre la cual se promueve a través de conferencias. Poco después estalló la guerra lo cuál hizo que se suspendiera toda la construcción, ante tal escasés sólo quedaban los tabiques de adobe, lo cuál dejaba a Fathy en la misma situación que la de sus ancestros, es decir podría construir paredes pero no tenía con que techarlas, la pregunta era, ¿se podrían usar tabiques de adobe para cubrir las casas? Seguramente alguna bóveda.

Generalmente para techar un local con una bóveda es necesario construir una cimbra de madera que guíe la geometría de la cubierta y que pueda ser retirada posteriormente, ésta cimbra es ya pues una bóveda completa de madera, lo cuál duplica el trabajo, es complicado y el sistema constructivo estaba fuera del alcance de los campesinos.

Recordó entonces que las generaciones anteriores habían construido bóvedas sin cimbra y procedió a intentarlo. Por aquél tiempo la Asociación Real de Agricultura de su país le pide algunos diseños a los que incorpora estas ideas, después de explicar el nuevo sistema constructivo a los albañiles quienes trataron de erigir las bóvedas sin cimbra, éstas se derrumbaron.

La reflexión era:

*...si los antiguos habían sabido construir bóvedas sin usar  
cimbres, se habían llevado su secreto a la tumba (1)*

Después de ésta experiencia Hassan Fathy se dedica a investigar quién podría realizar la construcción de bóvedas a partir del ladrillo de adobe, y por fin en Aswan conoce a un grupo de albañiles residentes de éste lugar. De aquí emprende una verdadera cacería de bóvedas de tabique de adobe en Luxor y en Touna el Gebel.

(1) "Arquitectura para los pobres". Fathy H; Ed México Extemporáneos, 2a ed , 1982.

*Es curioso que en una pequeña gira hubiese yo visto la prueba viviente del predominio del abovedado a lo largo de toda la historia de Egipto, a pesar de que, por las enseñanzas recibidas en la escuela de arquitectura podría haber sospechado que nadie sabría construir una bóveda antes de los romanos . el primer tabique se colocó de punta sobre la pared lateral, con la cara acanalada fija contra la argamasa de barro de la pared terminal y bien aplanada sobre esta argamasa. Luego el albañil tomó un poco de barro y formó un empaque en forma de cuña sobre la base del primer ladrillo, de modo que la siguiente hilada se inclinara un poco hacia la pared terminal, en lugar de subir sobre una vertical. Para interrumpir la línea de las uniones entre los ladrillos, la segunda hilada se comienza con un medio tabique, sobre el cuál viene un tabique entero.*

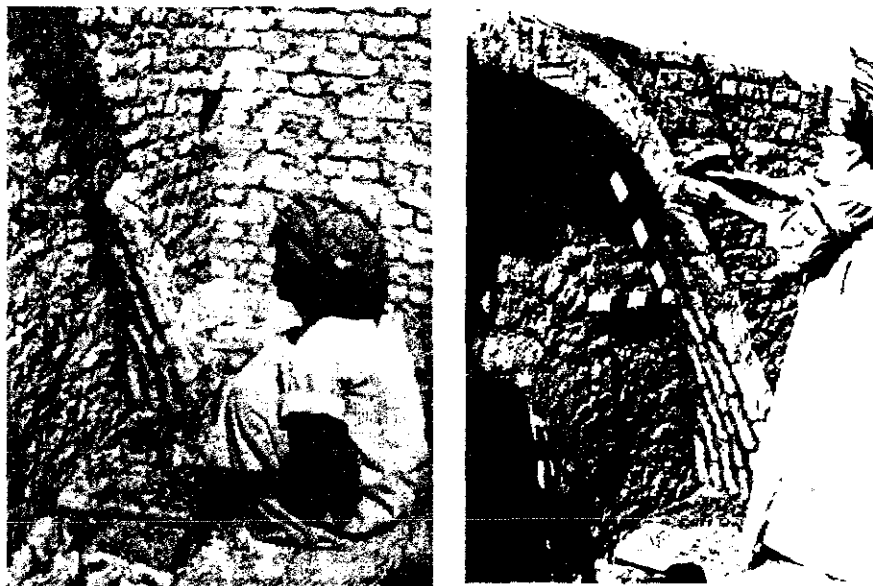


*El primer tabique se colocó de punta sobre la pared lateral,...*  
Arquitectura para los pobres, Fathy Hassan láminas 9 y 10

*Si las uniones de los tabiques están en línea recta, reduce la resistencia de la bóveda y puede derrumbarse. El albañil puso otro empaque sobre esta segunda hilada, de modo que la tercera hilada se desviara aún más de la vertical. De este modo los dos albañiles fueron levantando las hiladas inclinadas, cada una de las cuáles se elevaba un poco más alrededor del trazo del arco, hasta que las dos líneas curvas de tabiques se encontraron en el vértice.*

*A medida que terminaban cada hilada, los albañiles tomaban la precaución de insertar empaque seco, como piedras o vasijas rotas, en los intersticios entre los tabiques que formaban la hilada (en los extrados de las dovelas).*

*En esta etapa la bóveda naciente tenía el ancho de seis tabiques en la base y sólo uno en el vértice, y parecía estar recargada formando un ángulo bastante grande contra la pared terminal. Presentaba así una cara inclinada para colocar las hiladas sucesivas, de modo que los tabiques tuvieran suficiente sopote. Esta inclinación, aún sin contar con las canales, evitaba que los tabiques se resbalaran, como sucedería si se usaran tabiques lisos sobre una superficie vertical.*



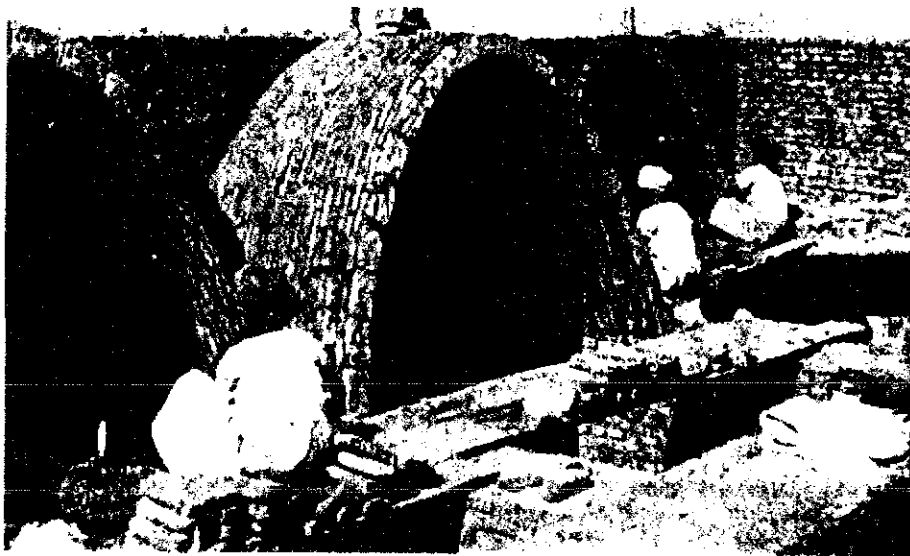
*El albañil puso otro empaque sobre esta segunda hilada, de modo que la tercer hilada se desviaría aún más de la vertical.*

Arquitectura para los pobres, Hassan Fathy láminas 12 y 16

*De éste modo toda la bóveda podía construirse en el aire, sin soportes ni cimbras, sin instrumentos, sin planos; sólo había dos albañiles parados sobre una viga y un muchacho debajo de ellos tirándoles los tabiques, que los albañiles atrapaba hábilmente en el aire y colocaban con aparente descuido sobre el barro y fijaban con un leve golpe de sus azuelas. Era tan increíblemente sencillo. Trabajaban con rapidez y sin preocupación, sin ponerse a pensar que lo que hacían era una notable obra de ingeniería, pues éstos albañiles trabajaban de acuerdo con las leyes de la estática y la ciencia de la resistencia de materiales con una extraordinaria comprensión intuitiva.*

*Los tabiques de barro no soportan la flexión ni la torsión, la bóveda se construye, pues, siguiendo la forma de una parábola que se ajusta a la forma de los diagramas de momentos de flexión, eliminando así toda flexión y permitiendo que del material surja sólo compresión. De éste modo se logró construir el techo con los mismos tabiques de barro que se usaron para las paredes.*

*En realidad, cubrir un claro de tres metros con tabiques de adobe es una proeza técnica que puede equiparse a cubrir un claro de treinta metros con concreto, y produce la misma satisfacción (\*)*



*Cubrir un claro de tres metros con tabique de adobe es una proeza técnica . . .*

Arquitectura para los pobres, Hassan Fathy lámina 18

Respecto al carácter arquitectónico, Hassan Fathy nos dice que en cada pueblo que haya elaborado arquitectura también desarrollará sus propias formas, que le son tan propias como su hablar, su vestir o su folklore. Nos dice que hasta el siglo pasado y al derrumbe de las fronteras de la cultura existían por el mundo formas locales y distintas de la arquitectura propias del lugar, de tal modo que las edificaciones en cada lugar constituían una producción creada por la imaginación del pueblo al resolver la diversa problemática para el vivir. Simplemente le gusta imaginar...

*... "que ciertas formas son del agrado especial de una pueblo en particular, y que llegan a usarlas en una gran variedad de contextos, quizás rechazando las aplicaciones inadecuadas, pero desarrollando un lenguaje visual propio" (\*\*).*

(\*)(\*\*)Arquitectura para los pobres, Fathy Hassan., Editorial Exporáneos, S A. 1957, México, D F.

También hay tradiciones que surgen desde los inicios de la humanidad, y que sin embargo aún persisten y existirán tanto como la sociedad humana. Algunos ejemplos podrían ser:

*... el horneado del pan y la manufactura de ladrillos (\*)*

Una obra arquitectónica tiene como finalidad el ser usada, su forma está relacionada de una manera directa con su precedente y determinará seguramente a la siguiente, se expone ante el público que la mira cotidianamente. El arquitecto debe respetar la obra de sus predecesores y no utilizar sus propias obras como medio de publicidad personal. Si los diseños son fieles a los materiales, al ambiente y al trabajo diario, serán bellos por necesidad.

El sistema constructivo que este arquitecto propone con un costo realmente mínimo podría darle oportunidad a los gobiernos de poder proporcionar vivienda a una buena parte, sino es que a toda la población. Si el gobierno mirara el problema de la vivienda con nuevos ojos.

Al observar la casa árabe como expresión cultural trataremos de entender la forma en la que el medio ha modelado el carácter árabe y ha también influido en la arquitectura doméstica.

El árabe viene del desierto. El mismo que ha dado forma a su cultura, a sus costumbres y al modo de ver las cosas.

Le debe al desierto su afición por las matemáticas y por la astronomía, su hospitalidad y su sencillez.

La experiencia de un árabe respecto a la naturaleza es amarga, ya que la tierra y el horizonte son un enemigo cruel, ardiente, deslumbrante y estéril, por lo que no encuentra ningún atractivo en abrir su casa a este panorama. Para el árabe la naturaleza amable consiste en el cielo puro, en el agua que prometen las blancas nubes y la infinidad de estrellas del universo, por eso no hay que extrañarse de que el pueblo árabe haciendo metáforas de su cosmología consideraba el cielo como una bóveda.

Otra forma de aislarse del entorno es la casa con un patio central y paredes cerradas al exterior en el que todos los cuartos miran hacia este patio desde donde sólo puede verse la bóveda del cielo.

Más que la gente pudiera actuar en forma condicionada por el espacio arquitectónico, Fathy sentía que los humanos, naturaleza y arquitectura debían coexistir en un balance armonioso.

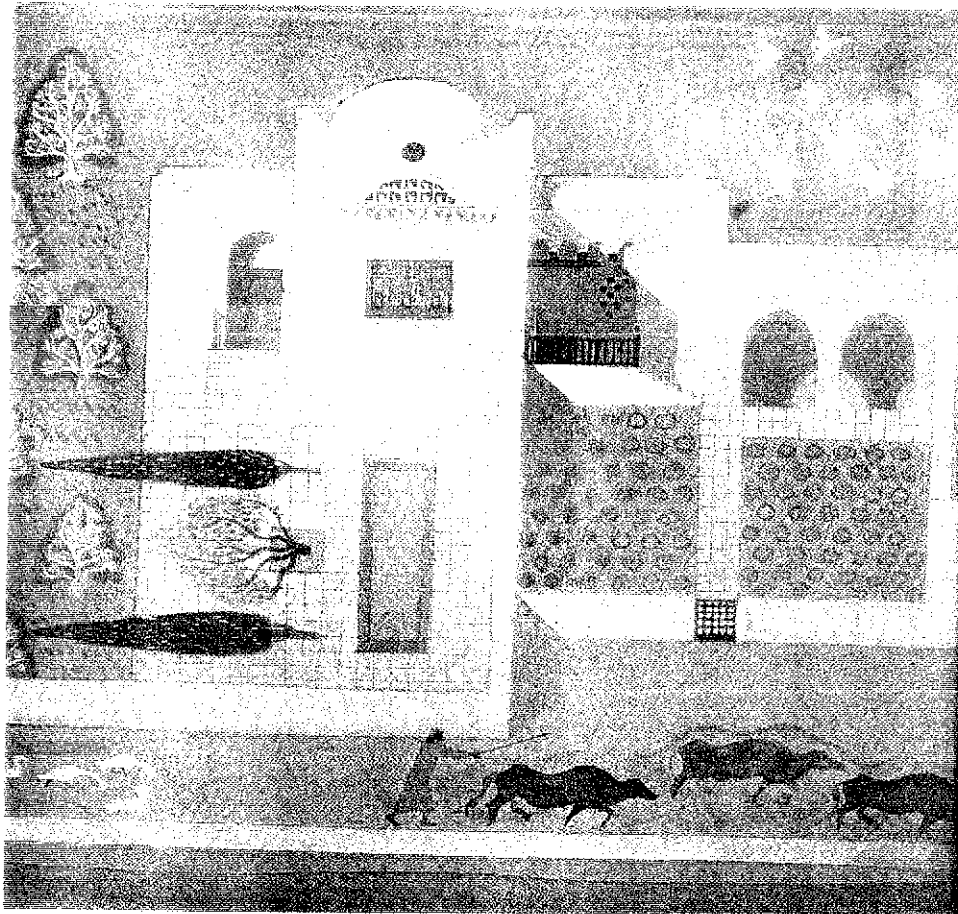
Para él la arquitectura era un arte público que debía reflejar los hábitos personales y las tradiciones de una comunidad más que reformarlos o erradicarlos. Mientras que él no se oponía a la renovación, sentía que la tecnología debería estar subordinada a los valores sociales y adaptarse a las necesidades populares.

(\*)Arquitectura para los pobres, Fathy Hassan., Editorial Exporáneos, S.A. 1957, México, D.F.

Debemos encontrar una solución al insoluble problema del choque entre los productos de la industria y las demandas de la naturaleza y de la sociedad. Sería beneficioso someter la tecnología a la disposición de los materiales y a la economía de la región en particular.

De ésta manera la calidad y los valores inherentes a la respuesta tradicional humana al medio ambiente podrían estar preservados sin perder los avances de la ciencia. La ciencia puede ser aplicada a varios aspectos de nuestro trabajo mientras es sometida.

Por ejemplo en una entrevista Yorick Blumenfeld que fue publicada en el "Architectural Association Quarterly" en 1974 bajo el título de "Beyond the Human Scale" (más allá de la escala humana) dijo que "la arquitectura Árabe comienza en el interior y va hacia el exterior". La función del espacio es primordial. Las formas exteriores deben expresar la firmeza del interior, esto parece colocarlo en el campo funcionalista, en la misma entrevista dijo: que el espacio tiene su propia lógica.



Dibujo al "gouache" de la casa de Abd al-razik (1941) exhibida en Masuriya en 1937.

An Architecture for people. Steele James. pág. 22.



Que la arquitectura islámica es un espacio sin muros y que tenemos la necesidad de adentrarnos en la era del no-funcionalismo. Necesitamos calidad con toque humano su interés intelectual por el Cairo en el tiempo en que Fathy inició su carrera entre los 20 y 30 mostraba al mismo tiempo una profunda nostalgia por el pasado y un deseo por el cambio. Constantemente aparecían temas que le inquietaban. El primero de éstos temas concernía a la separación y protección de la familia y el uso de la privacidad que es un requerimiento básico en la sociedad islamita, lo cual es particularmente importante en la arquitectura residencial donde el mundo de la familia y los invitados están perfectamente definidos.

El segundo tema se tituló "tesis sobre el espacio" en el cual Fathy creó una serie de tipologías estudiando la arquitectura islámica en general y particularmente en el Cairo.

Él notó en forma especial que los espacios cerrados entre muros que habían sido usados en el medio oriente por miles de años funcionaban como reguladores de la temperatura en cada una de las casas que había estudiado, también notó que servía para filtrar el aire que provenía de la ciudad; en el transcurso de éstos cambios Fathy añadió una fuente para refrescar el aire que penetraba. En su forma final en Fatimid, Cairo, el "qa'a" se colocó francamente adentro y tomo un nuevo significado como una área residencial formal de recepción que colocó completamente dentro a causa del incremento de la densidad del ruido de la ciudad.

Es sabido que Fathy se impresionó favorablemente por las investigaciones del arqueólogo R.A. Schwaller a quién conoció en Luxor mientras que el Nuevo Gourná se estaba construyendo.

Fathy se aventuró a extender más el contenido histórico de su arquitectura, más allá del reciente pasado remontándose al principio de la civilización de su país que hoy representa un extraordinario legado de influencia histórica. Fathy fué influenciado por la arquitectura nativa de los "Nubians" quienes le abrieron un nuevo mundo de posibilidades ya que se convenció de la permanencia histórica y cultural del uso del adobe, así como su precio accesible y las ventajas que representaba para el medio. Fathy no vió razón alguna para no utilizarlo en grandes escalas, pero no pudo prever la gran resistencia que se desató a su uso por la asociación que la gente hacía entre éste tipo de ladrillo y la pobreza.

Otro tema que le inquietaba era la necesidad de unir a la gente más que separarla de su mundo natural, ésta creencia de unión con la naturaleza es expresada por Fathy en forma gráfica, ya que en cada uno de éstos proyectos llamaba a la naturaleza como "el medio hecho por Dios". Éste empeño se caracteriza en todos sus trabajos y en todos sus niveles, y se puede percibir en el proyecto para una modesta granja tradicional como es la casa de al-Sabah, uno de sus últimos trabajos.



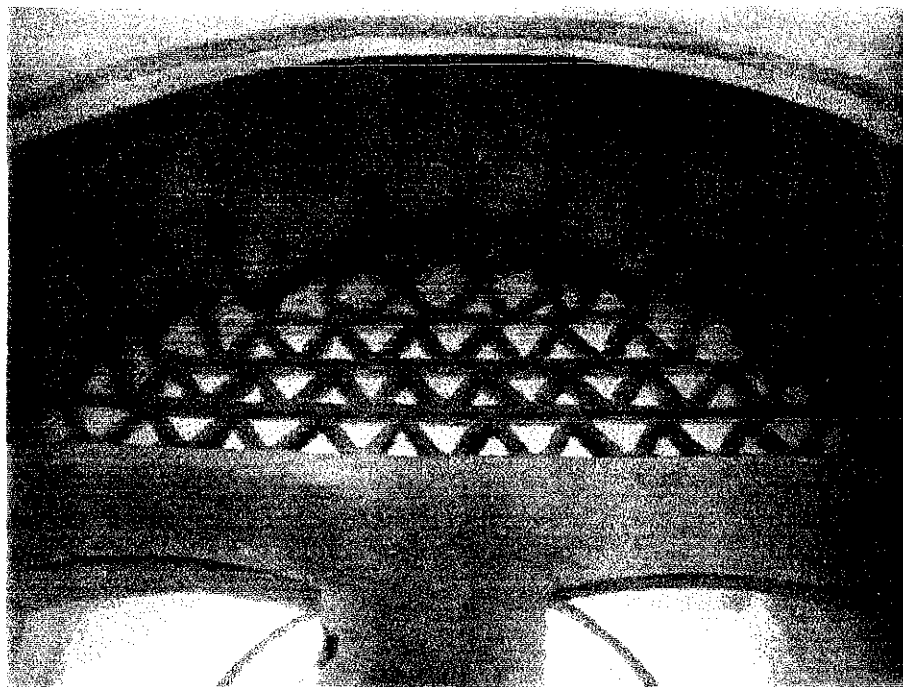
La chimenea encima del patio al frente del domo es una evidencia de que se necesita calentar el "qa'a" durante las noches muy frías. Casa de campo de Fathy en Nuevo Gourma.

An Architecture for people. Steele James. pág 65

Desde el principio hasta el final usó la orientación y ventilación natural, materiales regionales, métodos de construcción tradicional inclusive en las técnicas de conservación de energía.

Este afán alcanzó su expresión más refinada en el proyecto para la villa de "Baris" que se encuentra en el desierto central de Egipto. En forma diferente al Nuevo Gourna el proyecto de comunidad mejor conocido de Fathy, en Baris tuvo que adaptarlo a una población agraria no determinada y en un ambiente mas hostil. El Suq (mercado abierto) que fué el área que tenía que ser terminada primeramente se consideró como el área central de distribución para una comunidad agrícola apartada que debería contar con almacenamiento en frío para los perecederos que tuvieran que guardarse ahí previo para su embarque y venta sin contar con aire acondicionado . El arquitecto llevó a cabo estudios de patrones de temperatura y viento de esa área y de las respuestas arquitectónicas tradicionales a este severo medio.

El "suq" fué orientado para maximizar el movimiento del aire por dentro mientras las partes más altas del edificio fueron puestas en forma tal que proporcionaban sombra a las partes mas bajas y así disminuir la radiación solar, embudos recolectores fueron diseñados para capturar los vientos del desierto y enviarlos hacia abajo con ayuda de deflectores que incrementaban la velocidad del aire hacia los niveles del basamento donde los vegetales y las frutas estaban almacenados. Éste diseño muestra que la aplicación del conocimiento científico no necesita deshumanizar y que ésta tecnología con aspecto humano puede existir. Otro tema que caracteriza el trabajo que hemos descrito es el uso de la estética, armonía y proporción por Fathy que revelan la fina mano de un músico por el sentido de ritmo que son evidentes en la composición de la vista del plano de "Nuevo Gourna" y el proyecto para la villa de Harraniya y más aún en la versión de la casa de descanso Isma'il Abd al -Razik o en la elevación de la casa "Riad".



*Captador de viento en Nuevo Baris.*

An Architecture for people. Steele James. pág.124.

Se puede decir que hay seis principios que guiaron a Hassan Fathy a través de su carrera:

- 1.-Su creencia en la primacía de los valores humanos en la arquitectura.
- 2.-La importancia de un aprovechamiento universal más que uno limitado.
- 3.-El uso de la tecnología apropiada.
- 4.-La necesidad de cooperación en las técnicas de construcción orientadas en forma social.
- 5.-El rol esencial de la tradición.
- 6.-Y el restablecimiento del orgullo cultural nacional en el arte de construir.

El primero de éstos principios, el humanismo fundamental de Fathy, ha despertado preocupaciones acerca de la destrucción del medio del que tanto se ha hablado, causado por el incremento de presiones de la actualidad.

Con su diseño de la villa "Nuevo Gourna" asombró por su insistencia en que éstas casas, de estilo tradicional fueran destinadas a siete mil personas. Al comparar éste gran interés con otros proyectos de diseño de casas de ésta época, tales como "La unidad de habitación en Marsella Francia por Le Corbusier, la inclinación de Fathy es obvia. El proyecto de "Nuevo Gourna" muestra el interés de Fathy por comprometerse con la gente de todo el mundo que no tenga hogar.



Mezquita del Nuevo Gourna mostrando el techo de la sala de oración con domos contruídos sobre una columnata .

An Architecture for people. Steele James. pág. 73.

Fathy no estuvo limitado por un panorama estrecho o técnico en la arquitectura sino que lo vió como un arte que envolvía todos los aspectos del esfuerzo humano. Éste segundo principio muestra en su trabajo un agudo estado de implicaciones en teología, filosofía, historia, sociología, ciencia y física, tanto como en música, literatura arte y danza. Por ejemplo en la búsqueda de la arquitectura islámica, él no se limitó a las fronteras, sino que tuvo perspectivas más allá.

Los voluminosos escritos de Fathy acerca de la planeación y solución de los problemas de la ciudad y sus dibujos y fotografías de la arquitectura "Nubian" y "Cycladic" están dentro de las multifacéticas manifestaciones de su intelecto.

El tercer principio general y el que más distingue su trabajo en el movimiento moderno fue la necesidad del uso apropiado de la tecnología en la arquitectura. Como explicaba Ludwing Mies Van der Rhoe, la meta principal de ésta filosofía era "expresar la tecnología del momento".

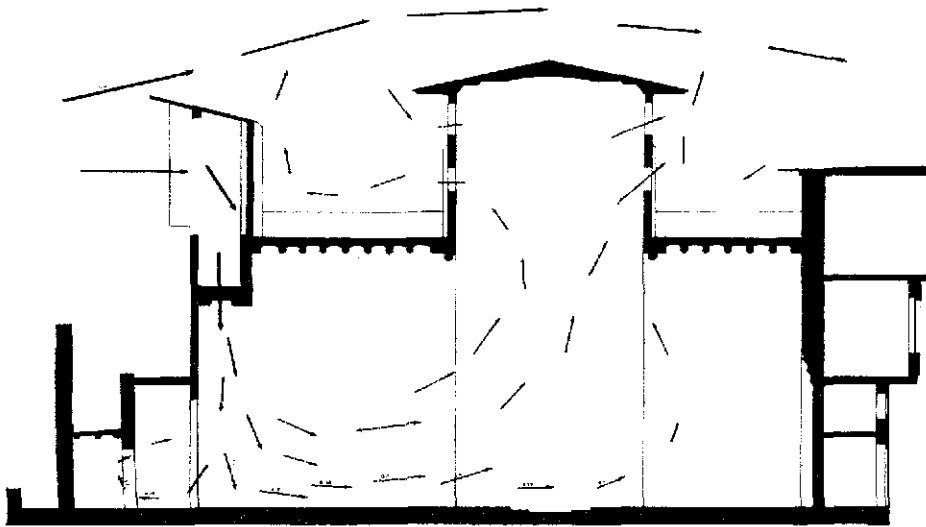
Lo que Fathy compartía con Mies Van der Rhoe era la apreciación del trabajo del filósofo alemán Immanuel Kant, pero particularmente difería en el entendimiento de esa filosofía. En donde Mies reaccionaba positivamente era a la concepción de la verdad por Kant "untouched by human experience" (no palpado por la experiencia humana). Fathy se refería más a lo que Kant llamaba "representations of imaginations" (representaciones de la imaginación.)

Éste concepto aplicado en forma apropiada entre los usuarios y su contexto, y lo que él alguna vez describió como el conocimiento innato que proviene directamente de las emociones sin estudio o sin análisis, que es lo que la psicología humana llama subconsciente.

Su acercamiento a la tecnología estaba estrechamente relacionada con la palabra en griego "techne" que quiere decir "habilidad" o "astucia" más que la oculta aplicación de la ciencia. Fathy siempre creyó que la arquitectura moderna falló al ejecutar el mandato de Mies para expresar la tecnología del momento". Así lo dijo en la Universidad de Essex, en una lectura titulada "La Casa Árabe en el Medio Urbano" en 1970:

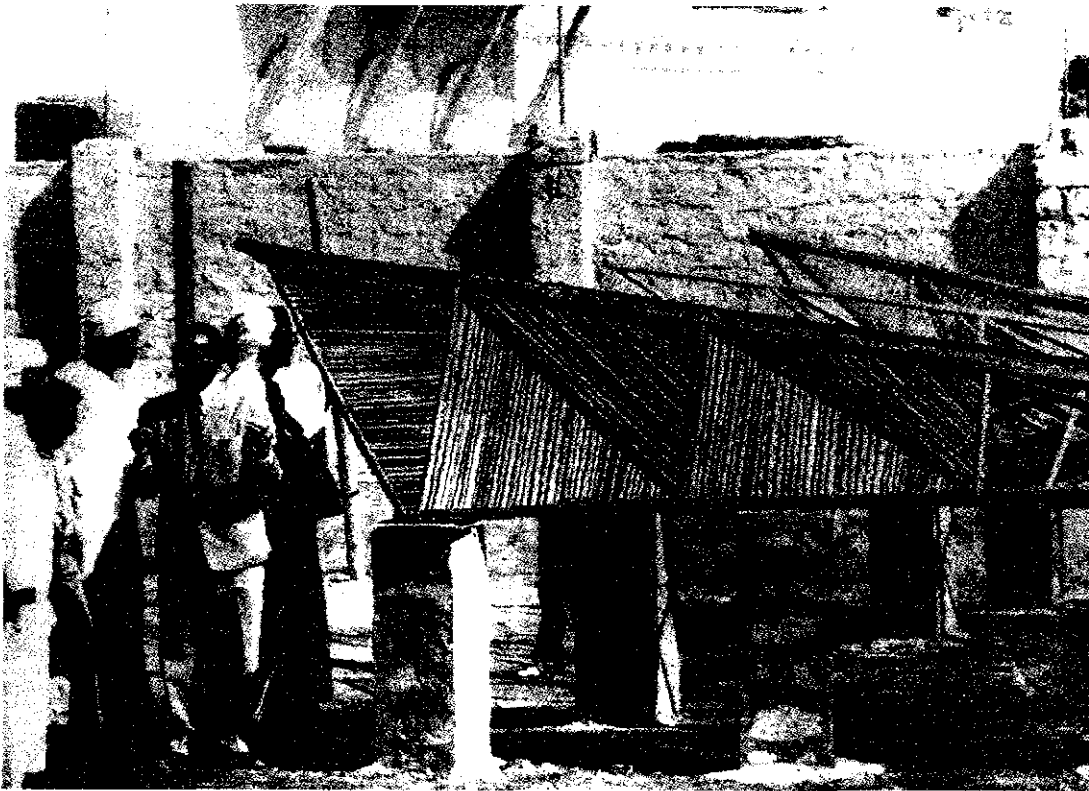
*"El rumbo de cada uno de los avances de la tecnología ha sido dirigido para el control humano del medio. De cualquier manera muy recientemente los humanos han mantenido un cierto balance entre su estado físico, espiritual y el mundo externo. El rompimiento de este balance pudiera tener efectos genéticos, psicológicos, fisiológicos nocivos para nosotros, a pesar de los rápidos avances tecnológicos todo cambio debe estar relacionado en proporción a los cambios en nosotros como especie".*

El cuarto principio que se ve constantemente en el trabajo de Fathy es la idea de un edificio cooperante, o "self help" (ayuda propia). Habiendo puesto en práctica ésta idea en la construcción del "Nuevo Gourna", cerca de 50 años antes, finalmente él pudo ver que su idea fue aceptada en principio en todo el mundo.



Estudio del movimiento del aire a través de Bait Cathoda Mohid Al Din por un equipo de la asociación de arquitectos de Londres, dónde se observa cómo el viento entra por el malkaf y enfría el interior del espacio. El aire caliente se eleva y se dispersa a través del "shukshaykha" (ventilándose por la linternilla del domo sobre el qa'a). An Architecture for people. Steele James. pág. 176.

Fathy no buscó teorizar la profesión, pero vio el trabajo del arquitecto como una relación con la gente y la oportunidad de una guía en la estética y sus usos, más adelante formalizó éste concepto en su instituto de tecnología apropiada, a través del cual buscó difundir la idea empezada en el Nuevo Gourna cuando fue comisionado para apoyar al diseño de la reconstrucción de Sohar en el Sultanato de Omán entre 1970 -1973, por ejemplo, donde el fuego había consumido una importante sección del área comercial de la ciudad, él trabajó con los artesanos locales, para desarrollar un elemento ligero de uso rápido con materiales accesibles de bajo precio que llamo "baratsi" que no es más que un alambre tejido con caña que resultó ser muy ligero, estructuralmente estable y protector del clima.



Fathy describe el uso del techo de Baratsi en Sohar, Omán. Una opción donde los ladrillos de lodo no estaban disponibles. An Architecture for people Steele James. pág. 129

Fathy alentó una consideración más profunda para el uso de la tradición en la arquitectura como quinto punto haciendo notar que la palabra tradición viene del latín "tradere" que significa avanzar o transferir de tal modo que implica la renovación cíclica de la vida. Él fue más lejos definiendo tradición como "la analogía social del hábito personal". por medio de esto él insinuó que era responsabilidad de cada arquitecto desarrollar una mayor conciencia de tales hábitos para incorporarlos con entusiasmo a cada diseño. También resaltó que la tradición debería ser parte de la enseñanza de cada arquitecto ya que representa el resultado de la acumulación en el ir de la evolución, y está totalmente ligada a los ciclos de cada cultura. Él enfatiza que la creatividad individual no necesita ser sacrificada por las subsecuentes tradiciones, ya que la raíz de la arquitectura está en las continuas experiencias obtenidas a través del tiempo. Para Fathy el reencuentro con la forma tradicional también envuelve la búsqueda del eslabón perdido de una cadena cultural que ha sido rota por la intromisión de la era industrial, especialmente en su país.

El sexto principio del trabajo de Fathy es su determinación para reavivar un orgulloso sentido cultural en sus compatriotas y sensibilizarlos de su rica herencia arquitectónica como resultado de éstos esfuerzos, mucha gente joven está más informada a cerca de la arquitectura islámica.



*Bóvedas de las bodegas de Ramesseum, primera centuria D C.  
Fathy se impresionó por la durabilidad y resistencia de los arcos  
hechos de ladrillos de lodo. Después de casi 2000 años las marcas  
de los dedos de los albañiles eran visibles todavía sobre los ladrillos.*

An Architecture for people Steele James. pág 28



Es también ilustrativo considerar el trabajo de Fathy en conjunción con el orientalismo, un estudio de la objetividad ideológica de una cultura, escrita por Edward W. Said en 1978.

Tomó más de una década llegar al punto difícil coincidente, tomando en cuenta la muerte de Fathy en 1989, para que los argumentos de Said obtuvieran aceptación internacional y que continuaran en el debate entre antropólogos, etnólogos, historiadores y sociólogos. Ellos toman una relevancia particular en el caso de Hassan Fathy, quizá por su singular posición de intérprete de la tradición.

Said define al orientalismo como "el sistema que introdujo al oriente en el aprendizaje y la conciencia del occidente, y más tarde al imperio occidental". La primera suposición de Said es que ese aprendizaje estaba sujeto a los apremios sociales y culturales, tradiciones y aspiraciones y en su última manifestación se convirtió en "a racist" (racista e imperialista y casi totalmente etnocéntrica) sistema utilizado por los europeos para suprimir otras culturas durante la época colonial.

Los principales recursos y metodología de Fathy fueron irrevocablemente influenciados por el fenómeno que Said describe. Fathy fue el producto de un sistema de educación colonial británico basado en el "french école des beaux-arts"; y los recursos literarios en los que inicialmente se apoyó con más firmeza fueron aquellos que sostuvo en el "institut français archéologique orientale" en el Cairo, el primer ejemplo de la representación institucional que Said describe, ya que éstos representan las actitudes y filtran su visión estética, por lo que deben ser objetivamente revisados y atendidos.

J.M. Richards causó una tormenta de protestas entre los seguidores de Hassan Fathy, sugiriendo que el funcionalismo y la clara expresión de la forma, estructura y materiales colocaba a éste en el camino paralelo al Modernismo, sin importar los elementos históricos que haya escogido para reinterpretarlos.

Los seguidores de Fathy estaban, y aún lo están, furiosos con tal concepto desde el momento en que le respondieron a estas declaraciones. Como lo expresa en sus escritos, enseñanzas y discursos, en lugar de analizar la metodología sin apasionamientos, Fathy se pone en contra de la aceptación tácita de un estilo culturalmente internacional anónimo por el progreso tecnológico y, particularmente en contra de lo que él señaló "la arrogante insistencia" de Le Corbusier en el uso de materiales industriales caros desarrollando contextos técnica, financiera y ambientalmente inapropiados.

Fathy fue víctima del síndrome, más claramente definido como “marginación” (estando entre la cultura occidental y la árabe) esto dicho por Jacques Berque, uno de sus escritores favoritos, un síndrome creciente, identificado como una epidemia global en nuestro mundo intercomunicándose cada vez más. Él estaba orgulloso de su herencia árabe y quería preservarla y defenderla contra las intromisiones extranjeras posteriores y aún así, él admiraba la cultura extranjera a la cuál culpaba de ésta corrupción.

## Una solución real.

Tengo verdadero interés en hablar sobre un competente maestro constructor de nombre Gabriel Jaramillo González a quién conocí aproximadamente en el año de 1971, siendo ambos muy jóvenes él diez años menor, nos conocimos durante la ejecución de un contrato para la construcción de una parte del reclusorio oriente del Distrito Federal. Este hombre desempeñaba el papel de segundo del maestro general.

Por diversos motivos existieron discrepancias con dicho maestro y hubo que prescindir de sus servicios quedando éste joven al frente de una obra de cierta importancia la cuál llevó a feliz término.

Años adelante, seguimos trabajando juntos hasta que de manera casual nos encontramos con el mutuo interés por las bóvedas de ladrillo recargado.

Aquí hago un paréntesis para contar una historia que me parece interesante dar a conocer por la semejanza que tiene con las sociedades esparcidas por diversas partes del mundo y cuyo origen parecen remontarse a una cofradía de constructores del siglo VIII en Inglaterra y cuyos emblemas son: "mandil, compás y escuadra".

A la cofradía que me estoy refiriendo es a los llamados masones ya que la palabra proviene del inglés "masonry" que significa aquél que construye con piedra y ladrillo y que pasa al francés como maçon que significa albañil.

Como es bien sabido dichas asociaciones originalmente tuvieron la finalidad de preservar para núcleos muy cerrados de albañiles los trazos reguladores de iglesias y catedrales éstos de gran complejidad, así como los secretos de construcción y estabilidad de dichas estructuras.

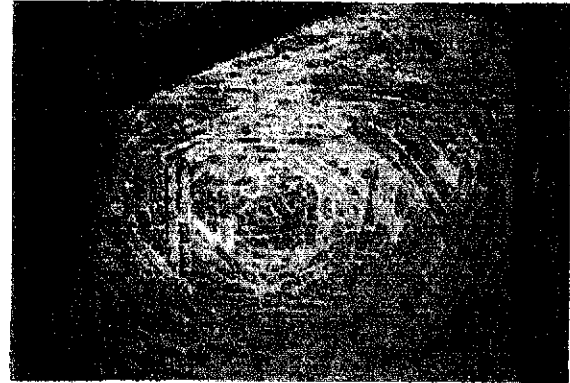
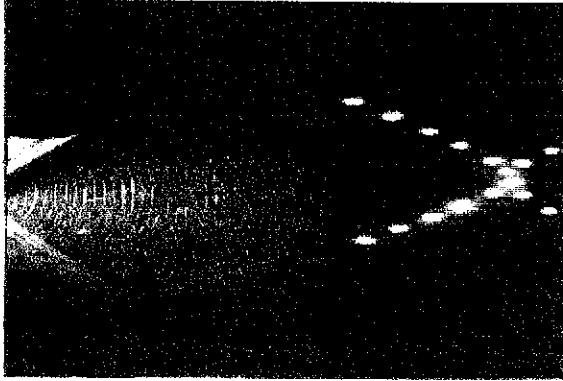
Dichas sociedades, seguramente pretendieron en su origen controlar y difundir solamente a una parte del gremio los conocimientos más avanzados de la época correspondientes al proyecto y construcción de iglesias y catedrales.

Así también, los constructores de bóvedas de la zona del bajío protegen celosamente de la vista de otros la ejecución y los secretos de la construcción de las bóvedas que ellos edifican.

Notamos también que el maestro bovedero no laboraba durante la jornada habitual de trabajo sino que esperaba hasta al rededor de las seis de la tarde para empezar a laborar a una gran velocidad y siempre auxiliado de la luz eléctrica.

Al interrogarlo del porqué de éste extraño proceder la respuesta fué siempre con evasivas de lo cuál se deduce la inquietud que éstos artesanos sienten de la posibilidad de nuevos competidores en el gremio, sin embargo se puede decir que están razonablemente a salvo de que el grueso de los albañiles que laboran en cualquier obra pudieran aprender dicho secreto ya que, aunque uno observe cuidadosamente como se realiza el trabajo no es fácil repetirlo por una mano que no sea muy diestra y que conozca los secretos de la construcción de éstas bóvedas desde su origen.

Sin embargo, para un avezado maestro en albañilería como lo es Gabriel, no hubo grandes secretos en la construcción de dichas bóvedas salvo en una primera parte en la cuál no podía dominar la geometría problema que fué fácilmente superado con el tiempo.



(obra maestro Gabriel Jaramillo)

Hoy el maestro Jaramillo ha construido diversas bóvedas empezando por las que cubre su propia casa ésto en los fines de semana con la ayuda de los hijos y los compadres el cuál es todavía hoy en México un sistema tradicional de reciprocidad (tequio, korima o faena) ya que él mejor que nadie, se ha dado cuenta de la generosidad del sistema constructivo.

*Si recordara que una casa es el símbolo viviente de la identidad familiar, la posesión material más importante que cualquier hombre pueda jamás poseer, el testigo perdurable de su existencia, siendo la falta de ella una de las causas más poderosas del descontento humano, y su posesión inversamente, una de las más efectivas garantías de la estabilidad social, entonces reconocerá el hecho de que sólo los óptimos esfuerzos de pensamiento, cuidado, tiempo y trabajo que se desarrollen en la construcción de la casa en que un hombre vivirá, satisfará esa necesidad primordial.*  
(Fathy Hassan, Arquitectura para los pobres.)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Hoy el maestro Jaramillo ha construido diversas bóvedas empezando por las que cubren su propia casa...

(obra maestro Gabriel Jaramillo)

**La Universidad Autónoma de Guadalajara en cooperación con la Universidad de Rice Houston, Texas U.S.A.,** realizó una investigación sobre la vieja costumbre local (en el Estado de Jalisco) de construir sistemas de techumbre con bóvedas de ladrillo.

Pruebas y análisis estructurales tuvieron éxito al demostrar la gran resistencia propia del sistema de bóvedas de ladrillo convencionales. Una serie de pruebas hechas con construcciones al tamaño natural, determinaron con éxito las dimensiones de la trama estructural que pudiese permitir la construcción de bóvedas de ladrillo de doble curvatura y sin uso de moldes, y que como resultado final, se consiguió un método más sofisticado de construcción, una vez más sin cimbra. El resultado fué un método práctico, que permite una rápida construcción de las bóvedas soportadas por una trama de vigas y pilares de concreto armados. Además, se demostró, que no es únicamente un proceso relativamente barato sino que su resultado es estéticamente agradable, esto se debe en parte a que el cielo de la bóveda puede ser dejado a la vista dando un extraordinario color naranja y una interesante textura.

Las conclusiones a las que llega dicha investigación a través de las pruebas de campo y los análisis matemáticos de una gran cantidad de bóvedas hechas a mano con ladrillo y pegadas con yeso o mezcla, y que cuando estas están construidas con las proporciones y los materiales de la región pueden ser usados con un alto factor de seguridad para soportar su propio peso y una carga uniformemente repartida por encima de los 350 kgs./m<sup>2</sup>.

Sin embargo las bóvedas analizadas en éste estudio se refieren a las llamadas bóvedas a la catalana, soportadas sobre viguetas "I" de fierro y alguna bóveda de doble curvatura de la región llamadas, "pañuelos" y "cañones" (el entrecomillado se debe a que es la forma de reconocer a estas por los artesanos, sin que necesariamente se apeguen a la geometría clásica).

La particularidad que presenta la construcción de bóvedas en el estado de Jalisco, es la presencia en la mezcla con la que se pegan y se fabrican los ladrillos de una arena llamada "jal" de origen volcánico y que probablemente da origen al nombre del estado.

Aparentemente la única crítica que los arquitectos e ingenieros de la localidad hacen a los edificios construídos con este sistema, es que los entrepisos vibran de una manera importante cuando algún factor como el tráfico de camiones circulan en las cercanías o alguna persona brinca sobre el piso.

Las bóvedas más frecuentes en la región cubren claros de 0.80 m. a 1.30 m., apoyadas sobre viguetas de entre 10 - 20 cms. de peralte y de una longitud entre 4.00 m. y 6.00 m. Las más de la veces, las viguetas están soportadas por columnas de acero. Ocasionalmente se usan pequeñas viguetas preesforzadas de concreto de sección en "I" o en "T" inversa, que soportan directamente los ladrillos de la bóveda.

### Las pruebas.

Se realizó un programa de pruebas que fué clasificado en dos grupos:

- 1o. Las pruebas de los materiales usados en el sistema.
- 2o. La prueba plena sobre las bóvedas.

### Las pruebas de los materiales.

El ladrillo usado en Guadalajara para la construcción de bóvedas es hecho a mano en las orillas de la ciudad y es transportado en camiones a ésta. El primer ingrediente es lodo hecho de agua y "jal" el cual es muy abundante en el área circundante, añadiéndole cierta cantidad de estiercol y fibras de magüey. El lodo se vacía en moldes de madera secados a la intemperie, se acomodan en grandes pilas y se hornean con troncos de mesquite. El resultado es un ladrillo ligero, muy poroso y con bellas variantes en el color, las cuales dependen de la temperatura a la que fué horneado. Predominan los colores desde el amarillo, naranja, ocre, rojo y café.

El reporte del análisis del material efectuado en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería U.A.G. es el siguiente:

- Ladrillo de lama hecho a mano.  
(promedio de 5 muestras ensayadas)

Peso volumétrico seco (kg./m <sup>3</sup> .)	1259
Módulo de ruptura (kg./cm <sup>2</sup> .)	16.42
Resistencia a la compresión (kg./cm <sup>2</sup> .)	65.47
Primera Grieta (kg./cm <sup>2</sup> )	20.78
Absorción (24 hrs.)	30.3%
Absorción (5 hrs. ebullicion)	35.68%
Coefficiente de Saturación	0.854

**NOTA:** Temperatura del Agua para saturación en 24 hrs., 17.5 °C.

Fórmula Módulo de ruptura  $3/2 PL/bd^2$

Fórmula compresión  $P/A=f$

Absorción  $Ph-Ps/Ps 100=w$

Coefficiente de saturación  $=Ph^2Ps/Ph-Ps$

Siendo:

P= Peso

L= Longitud

b= Base

d= Peralte efectivo

A= Area

f= Fatiga

W= Absorción

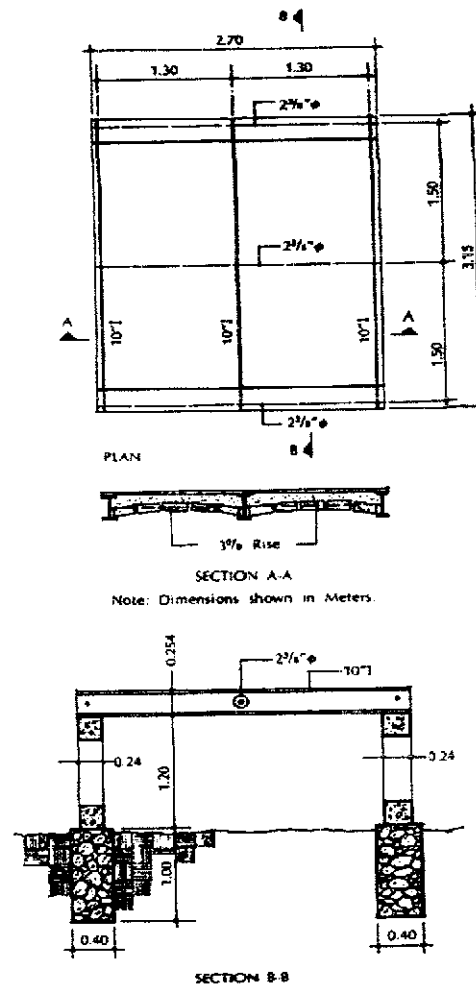
Ps= Peso Seco.

Ph= Peso Hidratado.

## La prueba sobre las bóvedas.

El laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería de la U.A.G., realizó un informe de las pruebas de resistencias de la bóveda de ladrillo apoyada en vigas de fierro

Datos de Construcción.- La bóveda se construyó con ladrillo procedente de la ladrillera Tatepozco Con una claro de 1.30 mts. y una contraflecha de 3.9 cms. (3% del claro), sobre la bóveda se colocó un entortado de cal hidratada y "jal" con un espesor promedio de 7 cms., y por último se colocó en la parte superior un enladrillado construido con ladrillo de barro cocido de dimensiones 20x20x1 cms. Las dimensiones totales de las bóvedas fueron 3.15x2.69 mts. dando una superficie de 8.4735 m<sup>2</sup>. Se usó mortero de cal y arena amarilla en proporciones comunes.



Cortes transversal y longitudinal del modelo experimental.  
*Architecture at Rice University reporte número 18, pág. 23*

La prueba. - Se lastró la bóveda con bultos de arena que se fueron pesando independientemente y colocando sobre la bóveda para dar una carga uniformemente repartida en toda la superficie; se midieron las deformaciones de los arcos de la bóveda, así como las de las viguetas de apoyo, llegando a tener una carga total de 16,033 kgs. y una deformación de 3.98 mm. sin tener fallas en los elementos estructurales.

Resultados:

Resistencia de la bóveda sin llegar a la ruptura.

1892.92 kgs./m<sup>2</sup>.

Deformación de toda la estructura

6.98 milímetros.

No hubo fallas de consideración.

Resistencia del mortero 8.8 kgs./cm<sup>2</sup>. a la compresión.

Con esto concluimos que el sistema es de sobra resistente a la compresión, pero habrá que poner cuidado al usarse en zonas sísmicas buscando la rigidez necesaria en las trabes, columnas y muros de la estructura sin que participen las bóvedas como diafragma ya que éstas no presentan ninguna rigidez.



Se lastró la bóveda con bultos de arena.  
*Architecture at Rice University reporte número 18.*



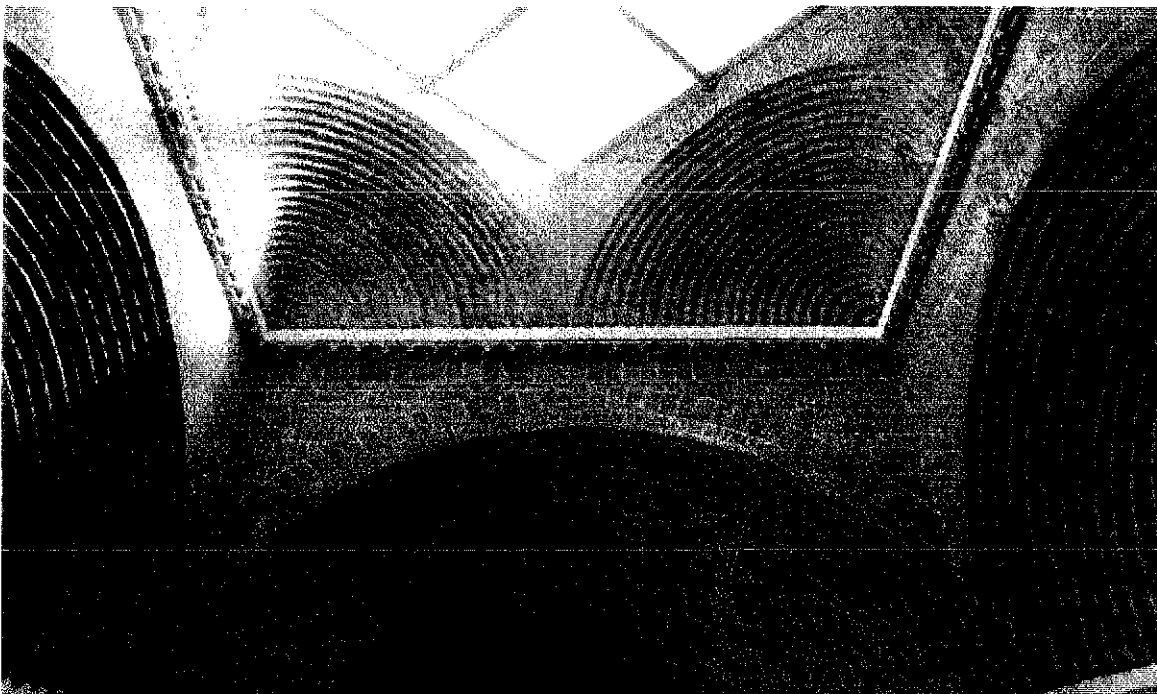
Un Arquitecto muy inquieto e inquietante sobre éstos sistemas constructivos es **Carlos Mijares**, aunque de producción escasa encontramos un primer período en que se manifiesta como arquitecto preocupado por el material de barro, al cual incorpora sus formas diversos sistemas constructivos vigentes en ese momento, sin embargo a partir de la parroquia de Ciudad Hidalgo Michoacán (1968-1983) se revela con una producción fundamentalmente artesanal tanto en los materiales (ladrillo), como en la mano de obra de la cual podemos decir que a partir de éste momento la obra de Mijares está completamente hecha a mano.

La arquitectura que realiza consta de arcos, bóvedas, cúpulas, lucernarios, trompas, crucerías y otras grandes estructuras.

*...recupera ritmos de una América Latina que se resiste al compromiso con el angustioso devenir de una civilización tecnológica que no siempre nos ha traído el progreso" (\*).*

La arquitectura de Mijares tiene un gusto lúdico por el acomodo de los ladrillos y la luz, recuerda la arquitectura mudéjar (estilo arquitectónico en que entran elementos del arte cristiano y de la ornamentación árabe) o quizás la arquitectura de los persas con sus múltiples secciones cónicas escalonadas, quizás también el arco falso maya, es casi nula la producción de otras bóvedas que no sean las antes citadas, teniendo un anhelo exquisito por el acabado.

(\*)Tiempo y otras construcciones tomo IV, Mijares.



Arquitectura Latinoamericana, pensamiento y propuesta. Instituto Argentino de Investigaciones de Historia de la Arquitectura y del Urbanismo, Universidad Autónoma Metropolitana; Ed. Summa S.A. Buenos Aires Argentina, 1991; Capilla del cementerio, Jungapeo Michoacan; Portada

El sistema constructivo de Carlos Mijares es el del "ladrillo armado", es decir hay una estructura de concreto y acero dentro de los dobles muros, lo cuál le permite audacias notables.

El problema radica en comprender que no se trata de generar nuevas formas, sino de encontrar nuevas relaciones entre las cosas, que lo excepcional no es sinónimo de lo extraño ó de lo insólito, sino que se presenta en cuanto lo cotidiano y lo reconocible se logra transformar, aflorando así otras lecturas, experiencias enriquecedoras o sensaciones preexistentes:

*... Traté de conquistar ésta problemática ofreciendo en Christ Church algunas evocaciones pertenecientes a la tradición religiosa y arquitectónica expresa Mijares- así cómo ciertas condiciones distinguibles respecto a las predominantes en el contexto -la escala, el perfil estructurando el espacio con un orden múltiple que propicie la experiencia de detectar relaciones claramente perceptibles con otras que no lo son tanto incitando así a participar en su lectura e interpretación.*

*Intenté que la obra manifieste su expresividad por medios que, a mi juicio, tengan más que ver con los procesos de descubrimiento y la síntesis de una revelación que con los del análisis racional y la evidencia directa.*

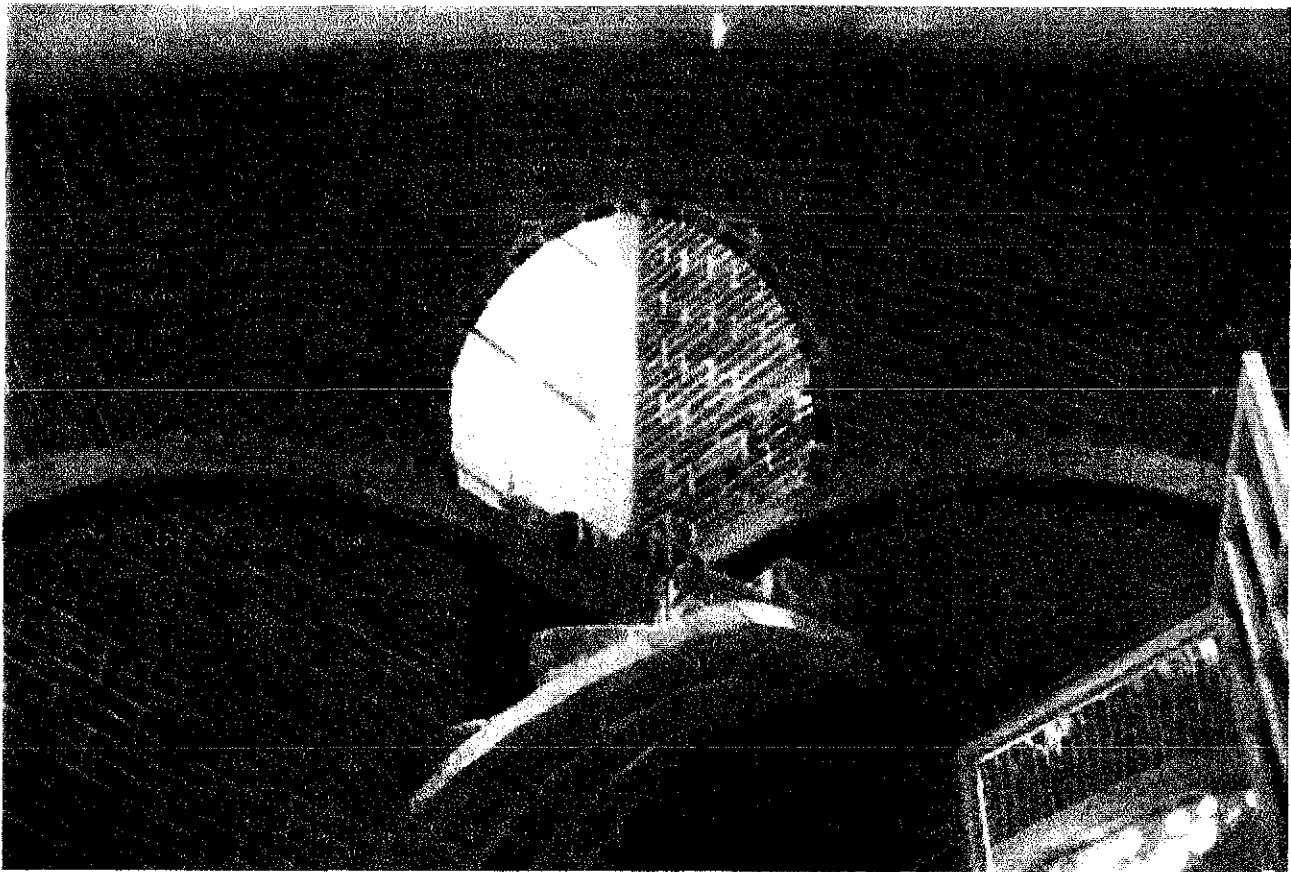
*Concebí la presencia de una luz derramada y envolvente como instrumento primordial que hace resonar el espacio. Confiné el recinto para generar la intimidad y eludir el disturbio del tráfico urbano.*

*Provoqué secuencias graduales de acceso para preludiar el rito y la liturgia. Utilicé en forma predominante un material artesanal, producto de la tierra, el agua y el fuego: el tabique de barro cocido. Quise que la mano del hombre se mostrara en la fábrica del edificio, en la textura de sus aparejos, en el claroscuro de sus relieves y en el trazo y perfil de sus bóvedas.*

*Procuré un procedimiento cuya tecnología resultara accesible y transparente para los artesanos, permitiendo su fácil aprendizaje y su ejercicio eficiente, lo que da lugar a la posibilidad de expresarse personalmente en su trabajo y así lograr que su rutina se pueda transformar en homenaje (\*).*

(\*) Revista Obras, Editorial Expansión, Mijares Carlos; Octubre 1992.

Curvas de suspiro y barro.- Les llama poéticamente a éstas bóvedas realizadas por los artesanos de la región del bajo mexicano, construídas tradicionalmente como "pañuelos" o "cañones" pero que a través de las inquietudes de **Alfonso Ramírez Ponce**, ha conseguido formas inauditas exagerando el peralte, o modificando el desplante sobre directrices curvas o bóvedas continuas de diversas geometrías. El proceso constructivo de éste sistema consiste en un ladrillo llamado cuña de 5 cms. X10 cms. X20 cms. (también lo hay de menor tamaño), pegados estos secos, y con una mezcla de cal y arena de gran revenimiento, iniciando generalmente por las esquinas a manera de **recargar** una hilada sobre la anterior de tal manera que esto permita el desarrollo de la cúpula o bóveda sin ninguna cimbra, llegando al centro de ésta, en un nudo u ombligo que puede seguir en la misma dirección de las hiladas o girar 90 grados, o colocar un tragaluz, o soportar una linternilla. Éstas bóvedas se pueden construir a partir de plantas cuadradas, rectangulares, triangulares, poligonales, circulares, o en plantas amorfas, los resultados son diversos y de gran espontaneidad.



Modificando el desplante sobre directrices curvas....  
(obra Alfonso Ramírez Ponce)

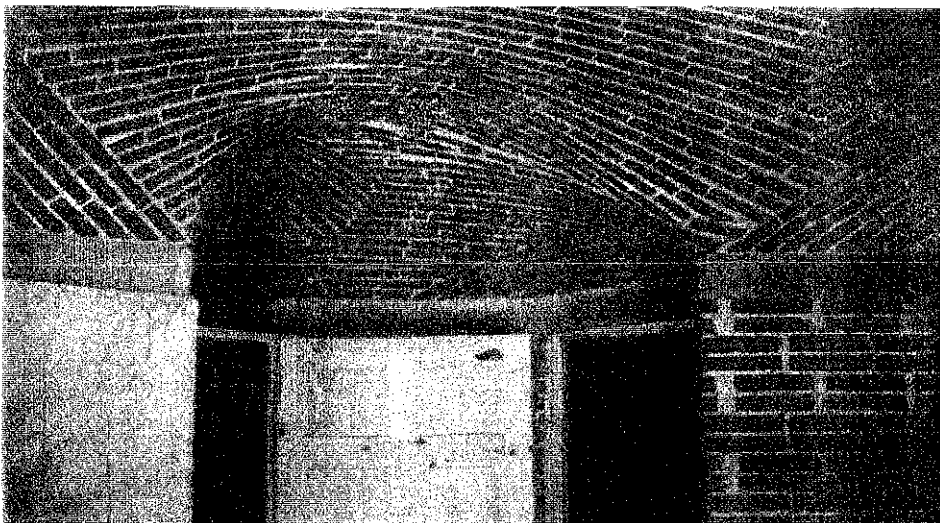
A continuación se transcriben algunas citas de Ramírez Ponce que son importantes por la vigencia que le participan a este sistema constructivo.

*"Nuestra Arquitectura debe ser una Arquitectura que corresponda a las condiciones económicas de nuestros países pobres, no en vías de desarrollo como se nos dice dolosamente, sino desviados del desarrollo. Construir con el menor costo necesario, hacer lo más con lo menos, Nuestra Arquitectura no puede ser la arquitectura del derroche y del despilfarro, de la falsedad y la prepotencia, sino su contrario, la arquitectura de la realidad, del talento y de la imaginación acrecentadas aún más por las limitaciones económicas. Las obras arquitectónicas no son obras aisladas ni independientes del paisaje natural y artificial, como suelen presentarse reiterativa y equivocadamente en revistas y exposiciones especializadas. El respeto al medio implica la integración a la naturaleza.*

*Las obras arquitectónicas, dadas nuestras condiciones económicas, deben utilizar predominantemente sistemas constructivos que en vez de desplazar nuestra mano de obra, abundante, barata y subempleada, hagan uso intensivo de ella.*

*Nuestras escuelas deben pasar del olvido conciente o inconciente de nuestra tradición a la adicción a ella. Deben propiciar el no rechazo a nuestras raíces, sino lo contrario, el amor a ellas.*

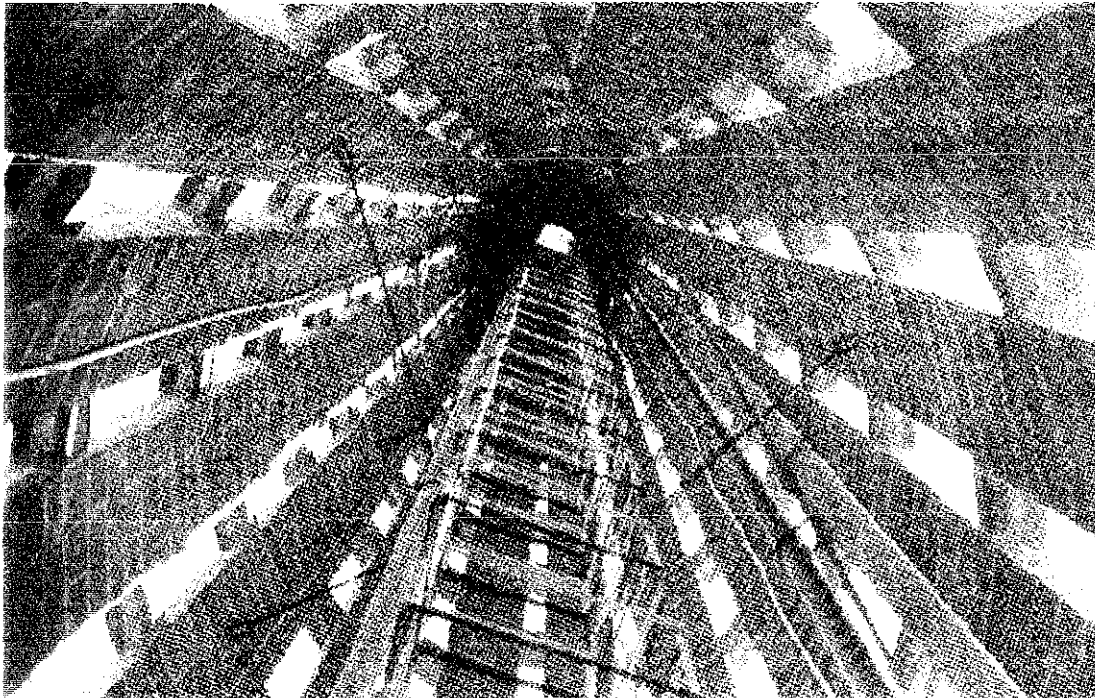
*Una técnica muy inteligente y sabia no inventada por arquitectos o ingenieros. Fruto del saber popular y con demasiada frecuencia ignorada o cuando menos soslayada por los profesionales y académicos. Por tal razón es una técnica que no se enseña en las escuelas y tiende a su desaparición."*



Bóvedas continuas de diversas geometrías...  
(obra Alfonso Ramírez Ponce)

**Eladio Dieste.** (Ingeniero Civil por la Facultad de Ingeniería de Montevideo Uruguay, Arquitecto y Humanista por vocación.) Comenta que en los últimos cuarenta años (1987) se han desarrollado varias técnicas que se sirven del ladrillo como material estructural y resistente. De éstas, se han conformado un grupo de tipos constructivos para resolver los problemas más variados: Iglesias, silos horizontales o verticales, tanques de agua, torres de televisión, cubiertas para fábricas, depósitos o gimnasios.

Afirma Dieste que estamos al principio de un nuevo camino prolífico técnica e industrialmente, pero también arquitectónicamente. La arquitectura moderna fué fundamentalmente la del acero y la del concreto, lo que ha marcado históricamente un predominio de la cubierta plana; sin embargo, al llevar a la obra la forma del ladrillo nos lleva a que la forma estructural no sea el prisma con sus entramados planos y sus nervaduras, sino una diversidad de superficies: muros, diafragmas, bóvedas y cúpulas, cúpulas poliédricas, estructuras plegadas, ésta nueva técnica tiene de por sí sus propias consecuencias formales y por consiguiente arquitectónicas, la construcción cuya razón es confinar el espacio es el fin de la arquitectura, el cual se limita y se define con formas, colores y texturas, porque además hay una relación muy sutil en los diferentes aspectos que concurren en la creación arquitectónica, el espacio que es su fin no estará sólo condicionado por el material y por las formas con él posibles, sino porque el material nos satura interiormente durante el proceso creativo.



Tanques de agua y torres.  
Eladio Dieste, la estructura cerámica pág. 51.

Por lo que,

*...el uso sabio, humano e imaginativamente rico del espacio produce una intensa felicidad; si se logra es arte, y, como todo arte, nos vuelve inteligibles, como en un relámpago, el inexpressable en palabras misterio del mundo. Y también es un hecho, que sin esa comunión contemplativa todo se nos vuelve árido y aburrido. (\*)*

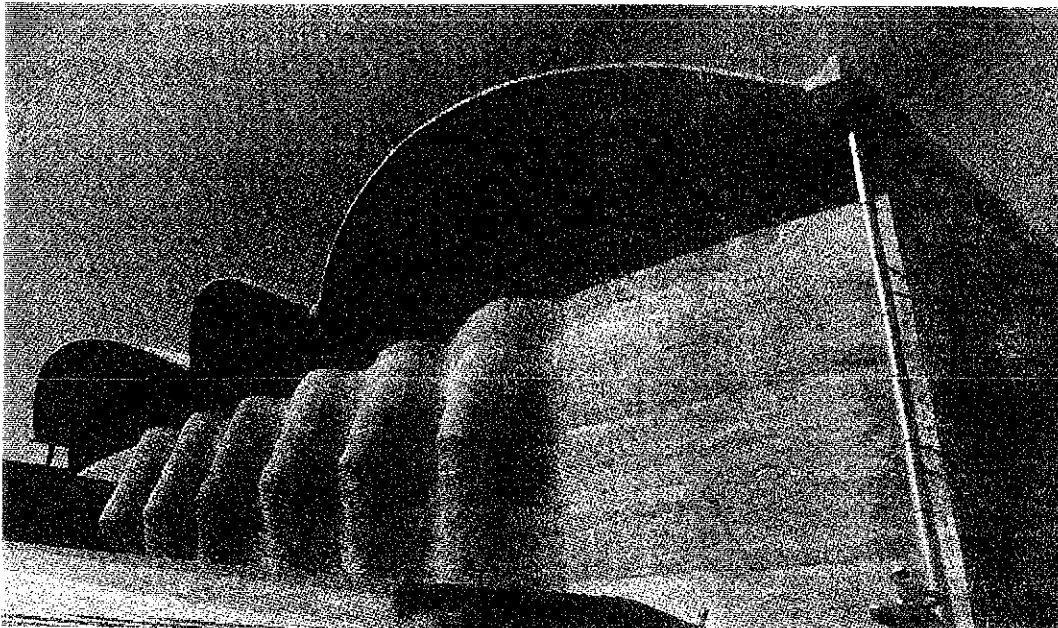
Quando Dieste empezó a estudiar y a utilizar el ladrillo estructuralmente, descubrió un material de posibilidades ilimitadas, casi por completo olvidado por la técnica moderna ya que, lo que se ha hecho estructuralmente con el ladrillo hasta ahora es poco y mal orientado. En los EE.UU. la tecnología para la producción de ladrillo es extremadamente refinada, pero a este se le usa solamente como material de recubrimiento.

No puede generarse una arquitectura sana sin el uso económico y racional de los materiales de construcción. Dice estar convencido de que la cerámica estructural (ladrillo, acero, mortero) es una técnica con posibilidades tan grandes como la del concreto armado.

*"En materia estructural solemos proceder como si el campo de conocimiento estuviera completamente definido y bastara profundizar lo ya conocido". (\*\*)*

Actitud que tenemos al observar siempre lo extranjero, dando por hecho que todo debe venir de las sociedades desarrolladas, a las que provincianamente solemos admirar.

(\*)(\*\*) Dieste Hilario "La estructura cerámica". Ed Galdor Carbonell, Colombia, 1987.



Estructura para un mercado

Eladio Dieste, la estructura cerámica pág.63 fig. 5

**La elección del material.** - No es una manía personal, el que Dieste haya construido estructuras laminares de gran claro a base de ladrillo a pesar de la supuesta complejidad de las técnicas y métodos de cálculo utilizados, a la vez que la inevitable evolución hacia una civilización industrial de alta tecnología que borrarán los vestigios de técnicas que se piensan superadas.

Sin embargo, las técnicas son económicas, y simples los métodos de cálculo (*"una vez superada la atadura que supone una tradición en la materia no siempre feliz"*).

No se podría negar que en cada una de las estructuras de Dieste, hay un importante cúmulo de trabajo técnico, sin embargo los métodos de cálculo, la técnica de ejecución y el diseño de los equipos necesarios, están íntimamente relacionados *"a una especie de fidelidad vigilante a los fundamentos de la mecánica teórica y a la resistencia de los materiales"*. Las estructuras que ilustra y describe se han hecho con ladrillos, sin embargo el material no es lo fundamental, podían haber sido construidos con cualquier otro material; se eligió el ladrillo por una serie de características que conviene comentar ya que no siempre estas características son bien conocidas.

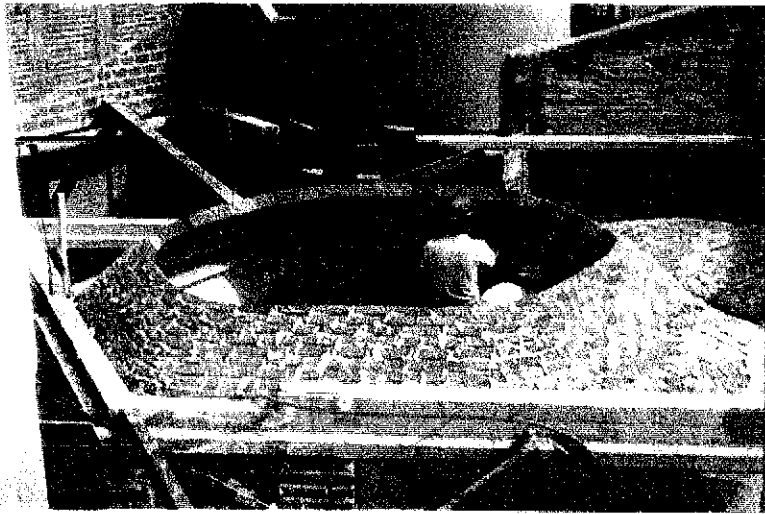
1. Su gran resistencia mecánica. En países industrializados una gran cantidad del material producido tiene resistencias a la compresión entre 500 y 1000 kg/cm<sup>2</sup>, aún hay ladrillos que por un poco más de precio alcanzan resistencias de 1500 kg/cm<sup>2</sup>, resistencias que igualan o superan a la de los concretos de mejor calidad.
2. Con el barro cocido es posible manejar hiladas de una gran ligereza lo cual no es posible con el concreto y esa ligereza permanece al unirlos para construir estructuras de dimensiones comparables a las de concreto armado.
3. Un ladrillo con la misma resistencia que el concreto tiene un módulo de elasticidad menor, lo cual es una gran ventaja porque proporciona a la estructura una mayor flexibilidad a las deformaciones.
4. Con un mínimo de mantenimiento la estructura de ladrillo envejece mejor que las de concreto y resiste mejor los cambios de temperatura.
5. Las reparaciones agregados o cambios, se notan menos que en otras estructuras sobre todo si se tiene la mano de obra idónea.
6. Buen aislamiento térmico el cual se podría aumentar con los ladrillos huecos conocidos por todos por las piezas hechas por extrusión.

7. Comportamiento acústico debido a la facilidad con que se pueden hacer con éste formas acústicamente convenientes.
8. La inercia térmica que el barro posee, permite a quién conoce esta propiedad manejarla convenientemente.
9. Con las actuales técnicas de fabricación artesanal y aún con las técnicas de fabricación industrial se obtiene un precio por metro cúbico de material mucho más económico a otro de calidad parecida.
10. Hay que hacer notar que ésta economía no es independiente de una facilidad natural y muy extendida en latinoamérica que tienen los operarios para aprender las técnicas de la obra de mano; ya sea porque vienen de pueblos con tradición constructiva en este material, o por que el nivel económico en el que se encuentran nuestros países propicia que estas actitudes se desarrollen.



**OBJETIVOS :**  
**IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**  
**E HIPÓTESIS DE LA FORMA**

Como se dijo anteriormente de éste sistema constructivo presenta grandes ventajas como son: el no usar cimbra, la exclusión total del acero de refuerzo, nula participación del concreto, también se reducen los rellenos para dar pendientes y el acabado de la azotea es solamente un aplanado de cemento, cal, arena; Para realizar un metro cuadrado de bóveda se requiere 0.25 de jornal de una parada o pareja (oficial-peón) a diferencia de la losa de concreto dónde se requieren de 0.75 a 1.0 de jornal por un metro cuadrado y habrá que tomar en cuenta que faltan los acabados, la diferencia también es que la bóveda al construirse queda ya terminada por el lecho inferior contrastando con los sistemas constructivos de concreto y que al depurar los detalles podríamos llamar a este sistema constructivo como "el construir - demoliendo".



El no usar cimbra, la exclusión total del acero de refuerzo, nula participación del concreto....  
(Obra Luis Vargas Arriola)



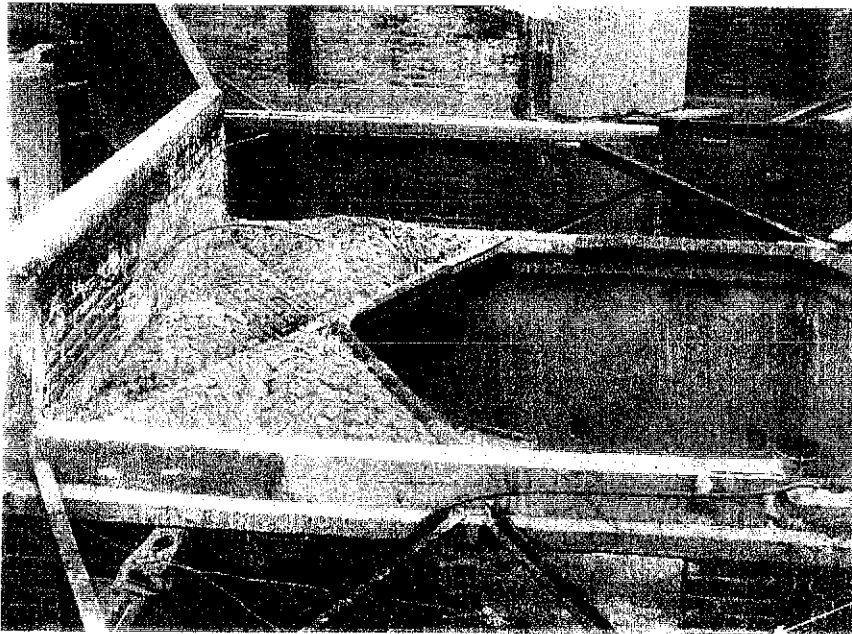
...La bóveda a construir se queda ya terminada por el lecho inferior...  
(Obra Luis Vargas Arriola)

Sin embargo existe alguna problemática en estas cúpulas que valdría la pena tratar de analizar y que podrían ser algunos de los objetivos de éste trabajo, como son:

1o.- Mejorar la climatización del espacio interior cubierto por una bóveda o cúpula, ya que las experiencias actuales señalan rangos muy distantes entre las temperaturas extremas del verano y el invierno (aproximadamente 15 grados centígrados.)

2o.- En el acabado superior de las bóvedas con mucha frecuencia aparecen grietas capilares que se abren a pesar del tratamiento de impermeabilizantes elásticos; ¿Cómo se podrá controlar esto?

Estas son algunas de las características que presentan éstas estructuras y que trataremos de proponer las soluciones correspondientes.



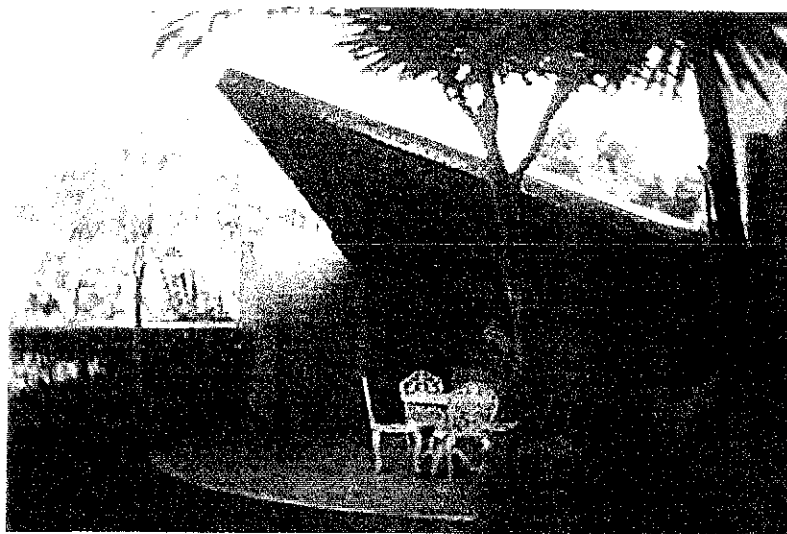
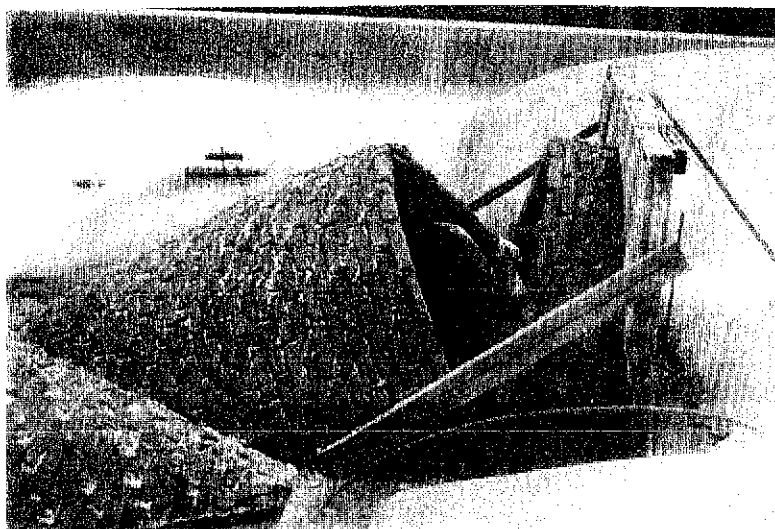
Para realizar un metro cuadrado de bóveda se requiere 0.25 de jornal de una parada o pareja (oficial - peón)...  
(Obra Luis Vargas Arriola)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### La forma invención inevitable.

En este procedimiento constructivo hay también varias hipótesis que valdría la pena verificar:

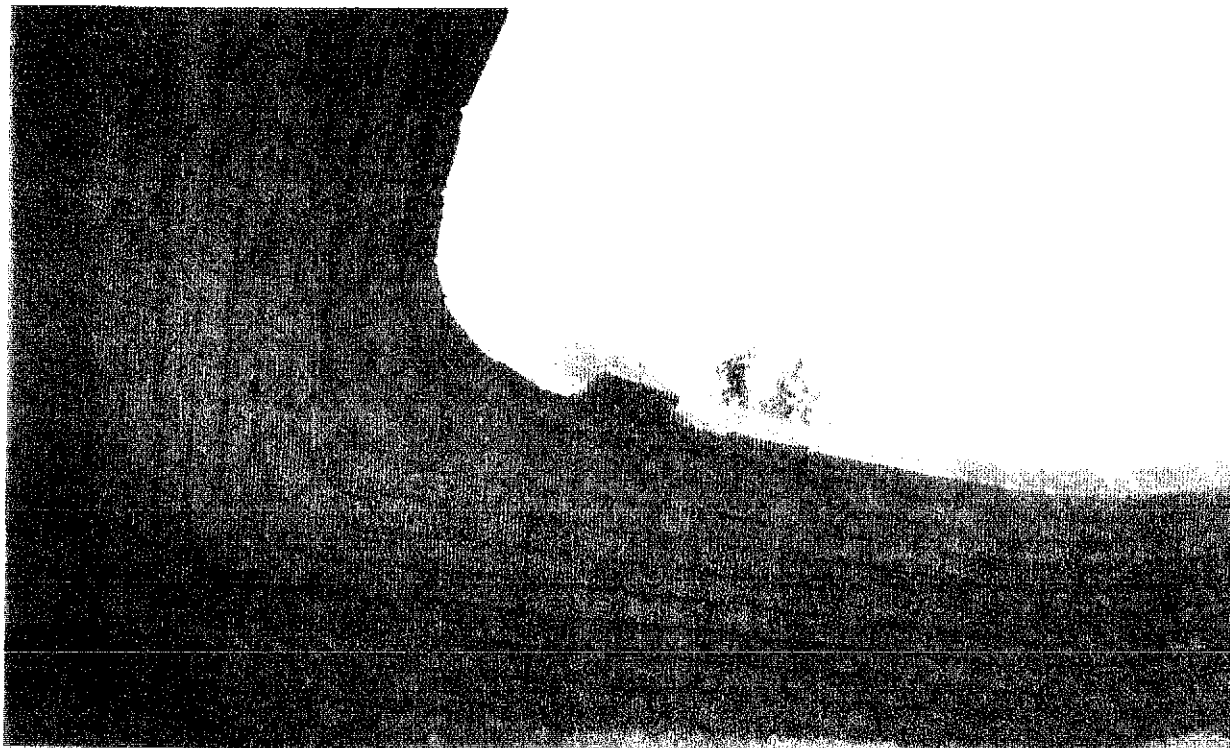
- a) ¿Es la geometría involuntaria que realiza el artesano cercana o parecida a una catenaria?, de ser cierto lo anterior concluiríamos que ésta es la razón por la cuál estas bóvedas se mantienen en estabilidad, ya que sólo trabajarían a compresión.
- b) A partir del punto anterior, al construir bóvedas de gran claro y suponiendo sólo esfuerzos a compresión, ¿se podría reducir la fatiga unitaria en el ladrillo, construyendo las bóvedas con las piezas habituales para la fabricación de muros de 6x12x24 cms.?(con un espesor de la bóveda de 12 cms.), o inclusive usando cuñas de 5x10x20 cms. (con un espesor de la bóveda de 20 cms.).
- c) ¿Qué posibilidad existe de hacer cubiertas post-tensadas con ladrillos de barro cocidos a muy altas temperaturas, como los que existen en la industria nacional?



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

¿Que posibilidad existe de hacer cubiertas post-tensadas...  
(obra Luis Vargas Arriola)

Como se ve hay varias conjeturas por confirmar, es decir, hay respuestas tentativas que pueden validarse mediante pruebas y datos estadísticos, por lo tanto podemos establecer una hipótesis cuando el conocimiento existente en el área nos permite formular predicciones razonables.



¿Es la geometría involuntaria que realiza el artesano cercana o parecida a una catenaria? .  
(obra Luis Vargas Arriola)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### En la búsqueda del material aislante.

Primeramente uno de los objetivos de ésta investigación es tratar de encontrar una solución constructiva, económica y adecuada a la técnica de la obra de mano habitual en cualquier parte del país a la condición extremosa en las temperaturas que presenta un sistema constructivo de bóvedas de ladrillo cuña de 5 x 10 x 20 cms.

Otro objetivo sería el tratar de combinar la solución resultante y conseguir una permanente impermeabilización en dichas bóvedas, ya que como se dijo anteriormente se ha observado con alguna frecuencia la presencia de fisuras capilares que permiten el paso del agua.

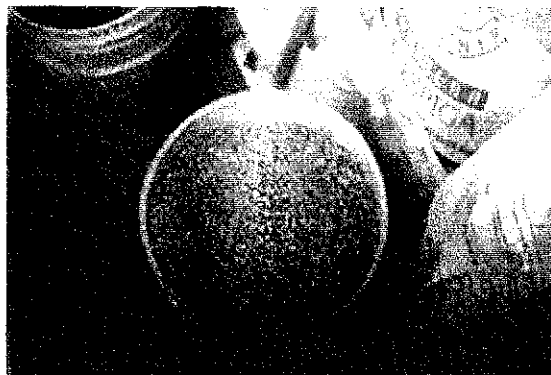
El material aislante deberá reunir las siguientes características:

- 1.- Ligereza
- 2.- De aplicación sencilla y al alcance de la mano de obra de la albañilería tradicional.
- 3.- Resistencia mecánica que permita la circulación ocasional sin deterioro de la capa aislante.
- 4.- Flexibilidad del material con el objeto de seguir la curvatura de la bóveda.
- 5.- Nula absorción de agua.
- 6.- Incombustible.
- 7.- Que tenga estabilidad dimensional.
- 8.- Que sea un material inorgánico.
- 9.- Que sea económico.
- 10.- Que tenga una buena unión con el material de la cubierta.

Los materiales investigados fueron los siguientes:

- a) Aislamiento esparado de poliuretano.
- b) Placas de poliestireno expandido.
- c) Placas de fibra de vidrio.
- d) Colchoneta de fibra de vidrio armada.
- e) Esferas de betostireno

Al comparar los materiales antes citados contra las características necesarias se desprende que de ser un material suficientemente aislante, como lo promueve su proveedor, la opción mas eficiente serían las esferas de betostirene, siendo un material conocido en el mercado como BST-BETOSTIRENE, el cuál es un agregado para fabricar concreto **ligero / aislante térmico** a base de esferas de poliestireno expandidas, recubiertas con un aditivo para lograr la adherencia entre el poliestireno y la pasta de concreto, logrando de ésta manera que éste no se segregue en la mezcla y exista una uniformidad en cuanto a la resistencia deseada a lo largo del vaciado del concreto.



Según lo promueve su proveedor las esferas de BST-BETOSTIRENE es un agregado para fabricar concreto ligero/aislante térmico a base de esferas de poliestireno....

Las resistencias que se pueden obtener en el concreto van desde 5 kgs./cm<sup>2</sup>. hasta 200 kgs./cm<sup>2</sup>. y con pesos volumétricos desde 300 hasta 1,550 kgs./m<sup>3</sup>.

El BST-BETOSTIRENE se mezcla en diferentes proporciones con cemento arena y agua produciendo un concreto ligero, aislante térmico, casi impermeable, el cuál no trasmite vibraciones, incombustible, no tóxico y con una gran elasticidad y resistencia al impacto. (\*)

El fabricante declara que este material absorbe dilataciones y contracciones ocasionadas por cambios en la temperatura, por lo cuál no requiere de malla de refuerzo.

Por otro lado conviene mencionar que para la elaboración de la mezcla no se requiere de técnicas ni herramientas especiales, por lo que puede mezclarse a mano o con revolvedora.



EL BST-BETOSTIRENE se mezcla en diferentes proporciones con cemento arena y agua...

(\*) Datos del catálogo del proveedor

Más adelante se procederá a comprobar la conductividad térmica de las bóvedas con y sin recubrimiento y de acuerdo con la fórmula:

$$U=1/R= \frac{1}{1/f_e + 1/f_i + e_1/k_1 + e_2/k_2 \dots e_n/k_n} = w/m^2 \text{ } ^\circ C$$

Siendo:

U= Conductividad Térmica.

R=Resistencia Térmica.

$f_e$ =Coeficiente de convección exterior (factor vectorial exterior).

$f_i$ = Coeficiente de convección interior (factor vectorial interior).

K=Coeficiente térmico del material.

$w/m^2 \text{ } ^\circ C$ = Watts/metro cuadrado en grados centígrados.

Finalmente lo que se pretende es:

Poder reducir la temperatura máxima al interior en los meses de verano evitando ganancias por radiación (\*) solar .

Poder aumentar la temperatura mínima al interior en el invierno evitando pérdidas por conducción (\*\*) a través de la bóveda.

(\*) La radiación es la transferencia de calor que se establece por la conversión de la energía térmica en radiante. La energía radiante viaja desde un objeto emisor y conserva su identidad, hasta que es absorbida y reconvertida en energía térmica por un objeto emisor.

(\*\*) La conducción es la transferencia de calor por actividad molecular que ocurre básicamente entre materia sólida.

Cuando las primeras moléculas se calientan su energía se transfiere a las moléculas adyacentes.

El grado en que se transmite el calor a través de un material depende de: la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el material que es calentado, o entre dos partes del mismo material, de la conductividad térmica de éste, de su espesor, y del área expuesta.

Es decir, que el calor se transmite directamente de un objeto a otro por conducción, el flujo del calor se detendrá cuando ambos objetos alcancen la misma temperatura interna.



### Programa de pruebas.

Se realizará medición térmica cotidiana en dos bóvedas iguales que cubren locales dispuestos en la misma orientación y del mismo tamaño con el objeto de conocer que tan semejantes son los registros de la temperatura entre sí, a su vez se registrará también la temperatura del exterior, para lo antes mencionado se requerirá de termómetros idénticos los cuáles deberán verificarse para comprobar que no tengan variantes.

Al incluir un refuerzo de fibra de polipropileno se espera suprimir las fisuras capilares descritas anteriormente que además del impermeabilizante integral, podrían resolver los problemas antes citados.

Con respecto a la hipótesis de que una capa de 5 cms. de espesor de una mezcla fabricada a base de cemento, mortero, arena, esferas de bst-betostirene, pelo de polipropileno y aditivo impermeabilizante, podrían formar un aislante e impermeabilizante que resolviera en primer lugar los extremos térmicos (15 grados de gradiente) de un local cubierto con una bóveda de ladrillo de cuña de 5x10x20 cms. (espesor de la bóveda 10 cms.), ya que el betostirene por el alto contenido de aire que presenta debería funcionar como un buen aislante térmico. Haciendo una analogía recordemos que la radiación solar promedio que llega a la tierra fuera de la atmósfera es de 1,370 watts/m<sup>2</sup>.; y a través de la atmósfera sólo pasarán alrededor de 930 watts/m<sup>2</sup>. algo así como el 68% de la radiación original.

En la experiencia que tratamos de reproducir, el espacio de aire esta contenido en las esferas de bst-betostirene (aproximadamente 600 lts./m<sup>3</sup> de concreto.) el cemento, el mortero, la arena y el agua usados como aglutinantes (400 lts./m<sup>3</sup> de concreto). El pelo de polipropileno se usará como cohesión mecánica en substitución de malla por resultar mas económica, el impermeabilizante integral por razones obvias.

Antes de realizar la experiencia se recurrió a comprobar la conductibilidad térmica de las bóvedas con y sin recubrimiento de acuerdo con la fórmula para la conductividad térmica citada anteriormente, encontrándose los siguientes valores:

$$\text{sin recubrimiento} = \frac{1}{1/29.1 + 1/7.0 + 0.10/0.87 + 0.02/0.70} = 3.11 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{con recubrimiento} = \frac{1}{1/29.1 + 1/7.0 + 0.10/0.87 + 0.02/0.70 + 0.05/0.13} = 1.41 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se considera que para que un material tenga razonables condiciones aislantes, el resultado de la aplicación de la fórmula debe ser uno o menor de uno.

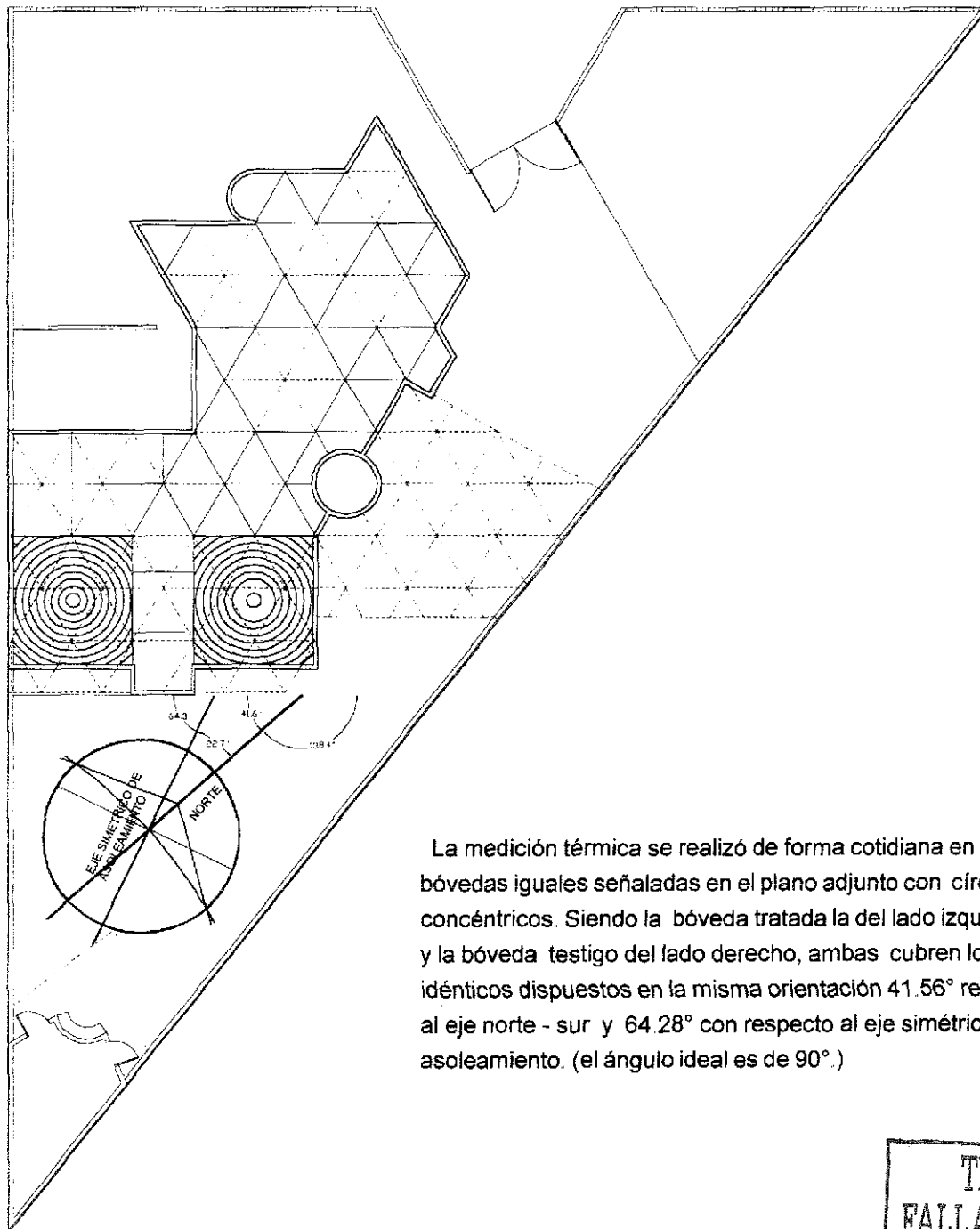
Como se ve en los resultados anteriores la aplicación del recubrimiento sugiere expectativas interesantes, poder reducir la temperatura máxima en los meses de verano evitando ganancias por radiación solar, y poder conservar una temperatura de confort en el interior durante el invierno, evitando pérdidas por conducción.

**Los instrumentos.**- Se usaron tres termómetros marca F. Mantey.B de fabricación nacional con el objeto de colocar uno en la bóveda sin tratamiento (bóveda testigo), otro en la bóveda con tratamiento y otro para registrar la temperatura exterior, previamente a su instalación se tuvieron en observación durante varios días para comprobar que sus escalas eran correspondientes e iguales entre sí en las mismas circunstancias, una vez verificado lo anterior se procedió a la colocación de cada uno de estos en los sitios antes señalados, procurando que los que estén colocados dentro de las bóvedas se localicen sensiblemente en el mismo sitio con respecto a ésta y a la misma altura, en lo que se refiere al termómetro colocado al exterior se escogió simplemente un local cubierto que no estuviera expuesto al sol de una manera directa.

**Los registros preliminares** .- Se estableció una rutina para efectuar lecturas a cada hora desde las seis hasta las veinticuatro horas, dando por hecho la omisión de datos de la una a las cinco de la mañana en virtud de que seguramente se manifestarían de una manera lineal.

**Las gráficas.**- Al realizar las gráficas con los datos anteriores durante cuatro días se pudo comprobar que la temperatura dentro de los locales cubiertos con las bóvedas antes señaladas, mantuvieron una gran similitud durante las 24 horas del día, lo cual animó a seguir con la experiencia en virtud de que era evidente que una de las bóvedas serviría como testigo a los cambios que en la otra pudiera efectuarse.

Al iniciar de las lecturas del termómetro expuesto al exterior se observó, que éstas eran muy por abajo de las temperaturas expresadas por el Observatorio Nacional ubicado en Tacubaya Distrito Federal, al analizar las condiciones de éste fenómeno se encontró que nuestro termómetro estaba localizado en un local con ventilación cruzada lo cual produjo el fenómeno de viento e indujo la temperatura hacia abajo. Posteriormente se localizó un nuevo sitio en el que no estuvieran presentes las condiciones que modificaron la temperatura, y al comparar nuevamente con el observatorio se encontró una diferencia discreta.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## EJECUCION DEL FORRO AISLANTE DE LA CUBIERTA

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de BST-BETOSTIRENE, se determinó una mezcla en las siguientes proporciones:

- Cemento 50 kgs. (2 botes).
- Arena 11 litros (0.58 de bote).
- Esferas de BST-BETOSTIRENE 128 litros (6.73 botes).
- Agua 22 litros (1.15 de bote).
- Aditivo impermeabilizante liquido 400 cm<sup>3</sup>. (1).
- Fibra de polipropileno 110 grs. (2).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

(1) se decidió dosificar un impermeabilizante integral (Impercon "L", 400 cm<sup>3</sup>. por cada 50 kgs. de cemento).

(2) la fibra de polipropileno se dosifica en 900 grs. por cada m<sup>3</sup>. de concreto fabricado (aproximadamente 8 sacos de 50 kgs.).

Esta fibra se aplicó con el objeto de evitar posibles cuarteaduras en la cáscara, sustituyendo al tradicional armado de tela de gallinero o malla electrosoldada, ésta fibra ha demostrado ser muy eficiente y de muy bajo costo.

Se procedió a revolver los agregados anteriores dentro de una revolvedora con motor Kohler de 12 h.p. y para un volúmen de un saco de cemento. Al producir el primer vaciado de material se observó que la consistencia de la mezcla tenía muy poca cohesión segregandose con mucha facilidad los materiales, por lo que se decidió aumentar a la proporción anterior en media palada de mortero con lo que se tuvo la suficiente plasticidad en la mezcla, se vigiló con mucho cuidado la dosificación de los diferentes materiales a lo largo del proceso.



Esta fibra se aplicó con el objeto de evitar posibles cuarteaduras en la cáscara...



Al producir el primer vaciado de material se observó que la consistencia de la mezcla tenía muy poca cohesión.

Por fin se inició el vaciado de la mezcla sobre la bóveda con un espesor de 5 cms. y habiendo aplicado anteriormente sobre ésta una mano de Adhecon con el objeto de unirla al material por aplicar. En general el proceso resultó como se esperaba, con suficiente plasticidad, sin embargo, notamos que en las uniones entre los lotes de fabricación (una olla de revoladora), aparecieron fisuras capilares en virtud de la unión de los bordes a 90 grados, así que se concluyó el recubrimiento aplicando el material no como vaciado de concreto, sino como aplanado lanzado con la cuchara del albañil, para no perder el trenzado en las fibras de polipropileno.

Finalmente se procedió a dar un acabado con plana de madera y cemento/arena/aditivo expansor (al 12% del peso del cemento), con el objeto de cerrar al máximo la superficie expuesta a la intemperie.



Iniciamos el vaciado de la mezcla sobre la bóveda con un espesor de 5 cms...

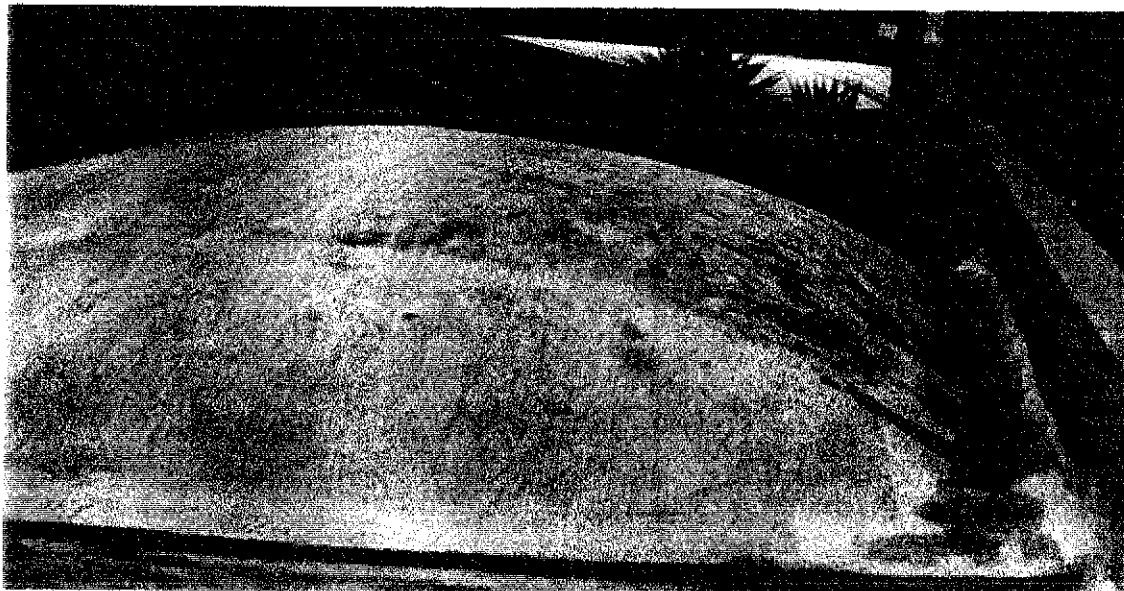


Se procedió a dar un acabado con plana de madera..

A continuación se procedió a cubrir con un forro de polietileno color negro calibre 400 en tramos de 2 metros de ancho y traslapando éste para producir un curado de alta temperatura.

Con el proceso anterior hemos encontrado que en días soleados se pueden obtener fatigas de trabajo, (f<sub>c</sub>) del 100% a las 48 hrs. de haber realizado el vaciado de concreto, según pruebas de laboratorio efectuadas. Bajo el forro de polietileno antes dicho con objeto de verificar la temperatura de fraguado se colocó un termómetro entre la cascara y éste, teniéndose a las dos de la tarde una temperatura de 53 °C con una mínima pérdida de humedad, ya que el material que se aplica como protección no permite la evaporación del agua.

Se mantuvo en éstas condiciones durante 96 hrs. (4 días) retirándose el polietileno el día 17 de junio 1997 y quedando preparados para realizar las primeras lecturas comparativas correspondientes al verano de ese mismo año.



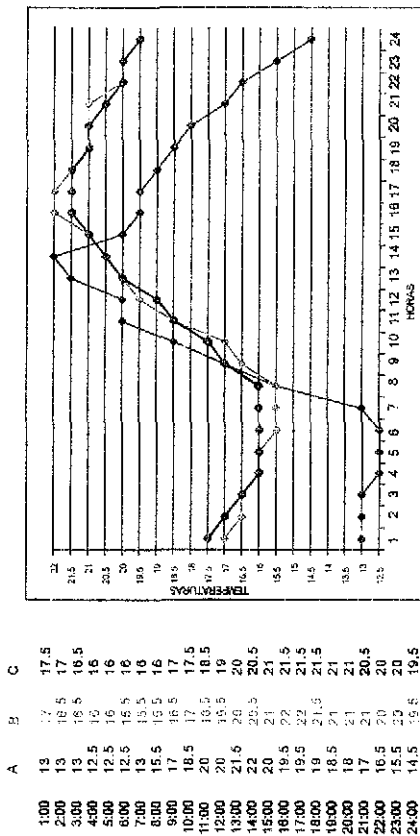
Posteriormente se dio un acabado con plana de madera y cemento/arena/aditivo expansor...  
(Obra Luis Vargas Arriola).



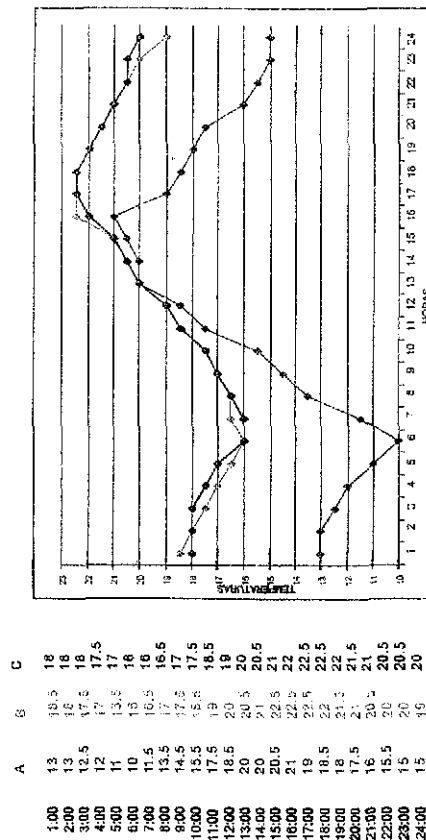
A continuación se procedió a cubrir con un forro de polietileno color negro...  
(Obra Luis Vargas Arriola).

**RELACION DE TEMPERATURAS Y GRÁFICAS**  
**CORRESPONDIENTES A LAS COMPROBACIONES**  
**PRELIMINARES; primeros días de verano, otoño e invierno de 1997**  
**y primavera de 1998.**

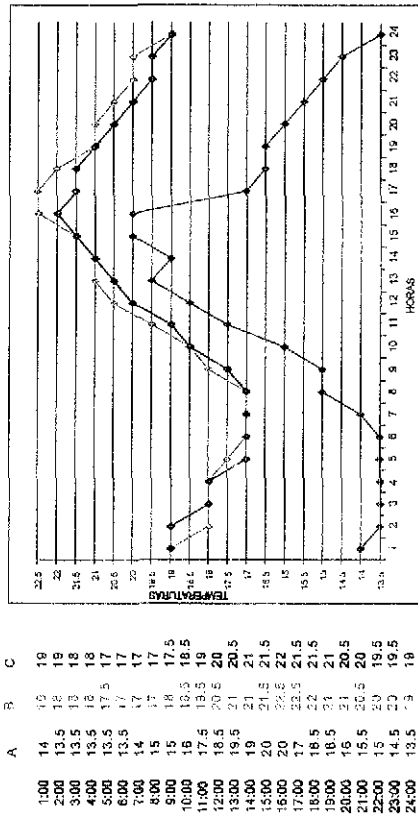
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA POR TRATAR (C).  
FECHA 27 DE MAYO '97.  
PRELIMINAR 1/4



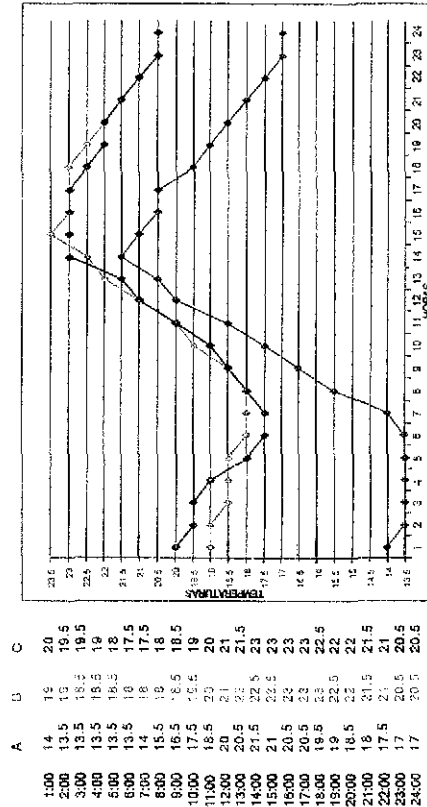
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA POR TRATAR (C).  
FECHA 29 DE MAYO '97.  
PRELIMINAR 3/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA POR TRATAR (C).  
FECHA 28 DE MAYO '97.  
PRELIMINAR 2/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA POR TRATAR (C).  
FECHA 30 DE MAYO '97.  
PRELIMINAR 4/4

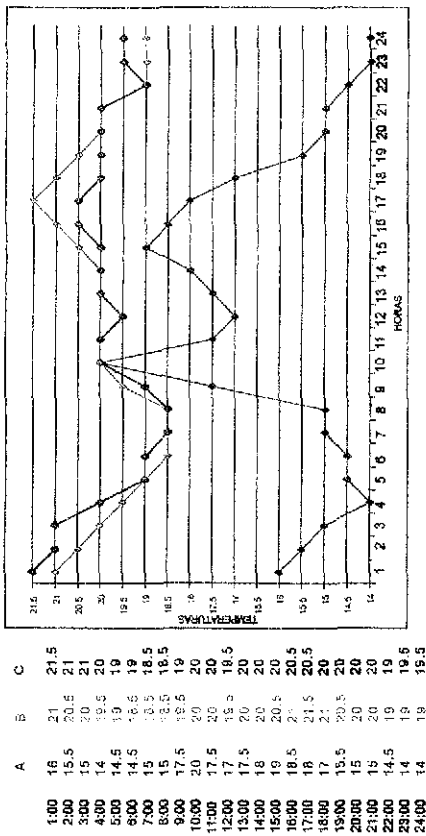


Las temperaturas dentro de los locales cubiertos con las bóvedas antes señaladas mantuvieron una gran similitud durante las 24 horas del día...

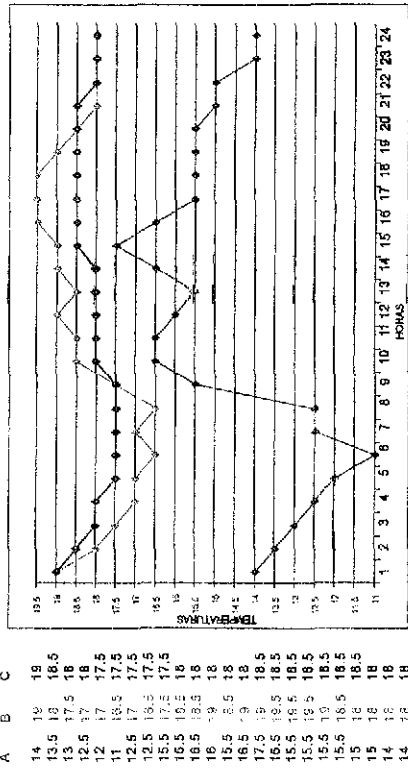
TESIS CON FALLA DE ORIGEN



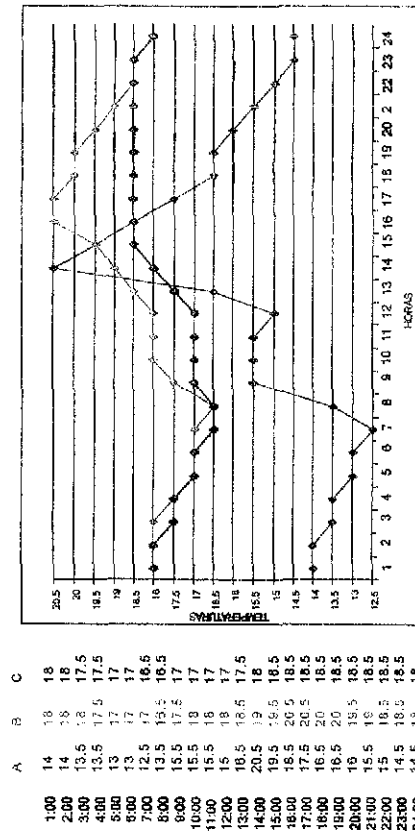
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 23 DE JUNIO '97. VERANO 1/4



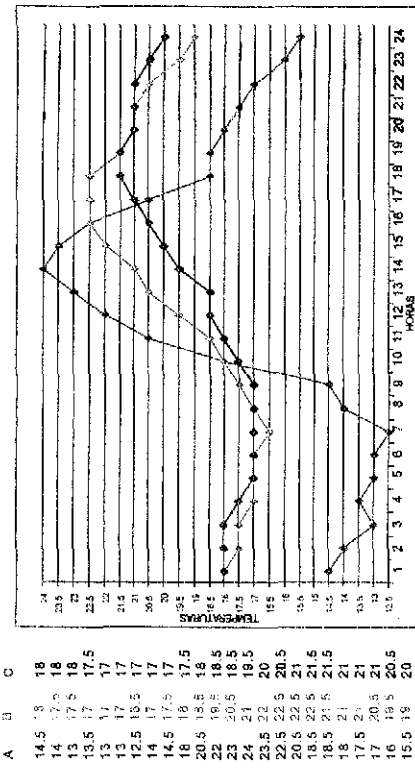
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 24 DE JUNIO '97. VERANO 2/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 25 DE JUNIO '97. VERANO 3/4



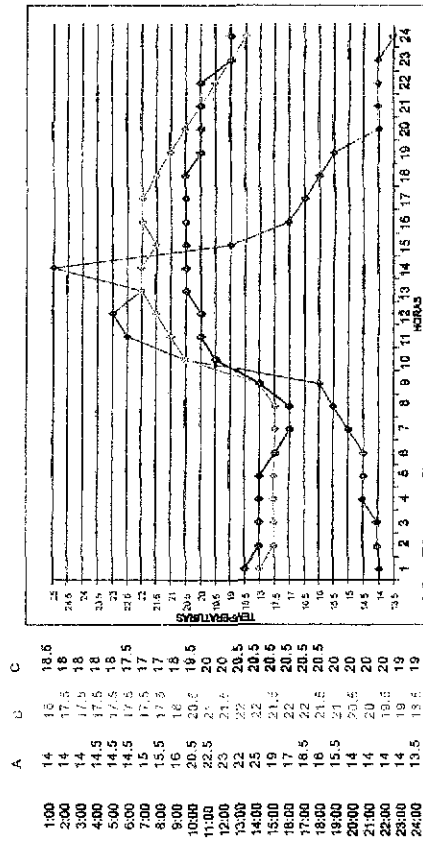
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 26 DE JUNIO '97. VERANO 4/4



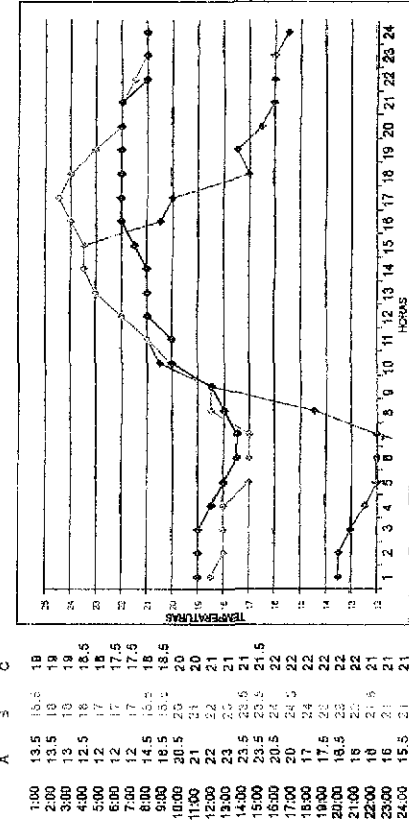
Como se puede observar en estas gráficas, la diferencia en las temperaturas superiores durante el verano de 1997, la bóveda tratada se conservó hasta 2° C por abajo de la bóveda testigo en las horas del día más calurosas, alrededor de las 16:00 hrs, también se observa, que eventualmente la bóveda tratada mantiene una temperatura ligeramente superior durante las horas más frescas de la mañana como lo son entre las 6:00 y 7:00 hrs.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

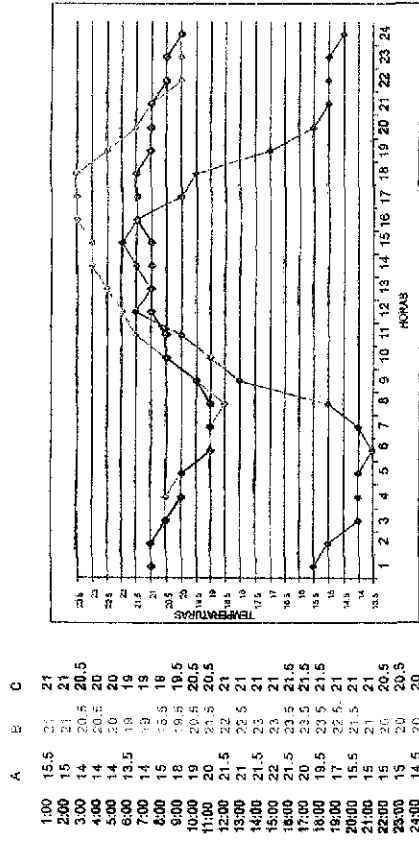
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B),  
BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 22 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 1/A



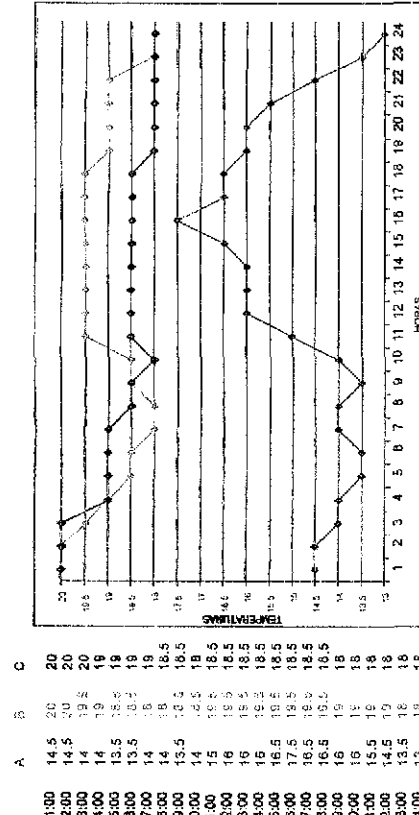
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 23 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 2/A



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B),  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 24 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 3/A



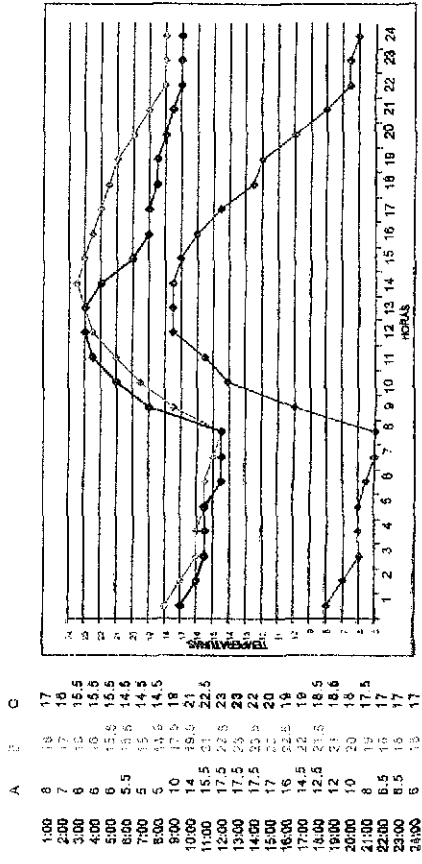
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 25 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 4/A



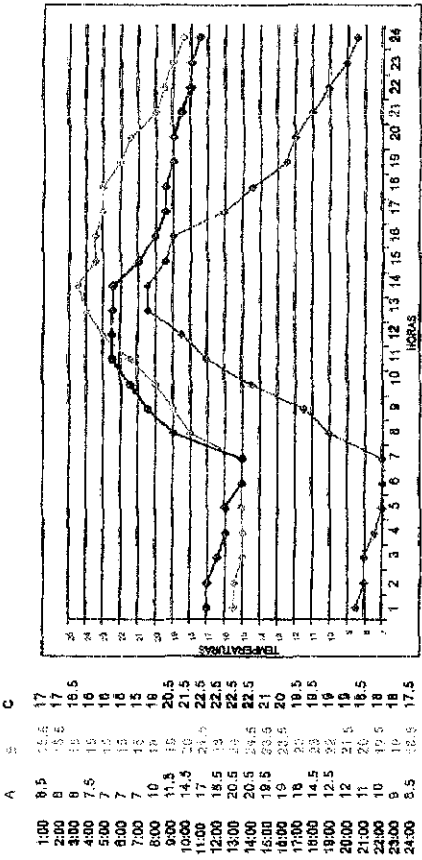
Durante el otoño de 1997 en el mes de septiembre cuando la precipitación pluvial en la Ciudad de México es ya cotidiana se observa la caída que sufre la temperatura exterior generalmente por las tardes. La comparación entre la bóveda tratada y la bóveda testigo refiere una diferencia de hasta 2.5°C.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

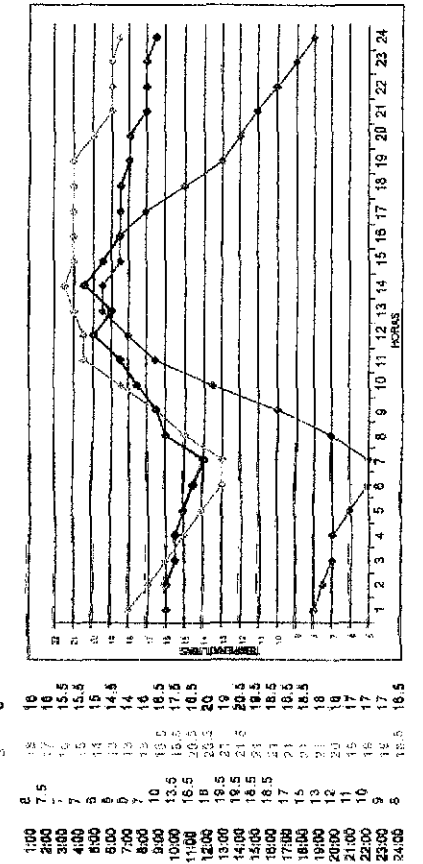
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 7 DE ENERO '98. INVIERNO 2/4



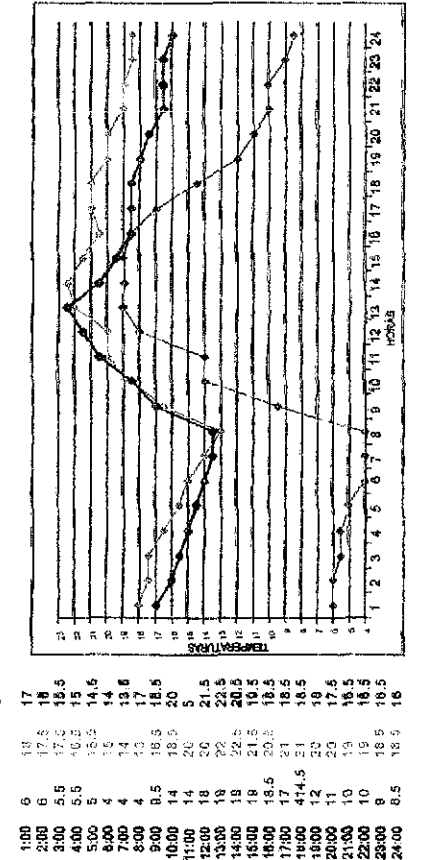
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 6 DE ENERO '98. INVIERNO 1/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 9 DE ENERO '98. INVIERNO 4/4



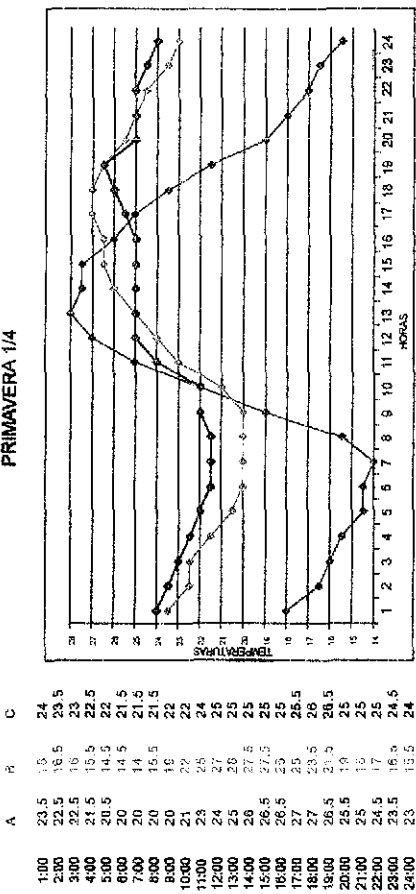
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C) FECHA 8 DE ENERO '98. INVIERNO 3/4



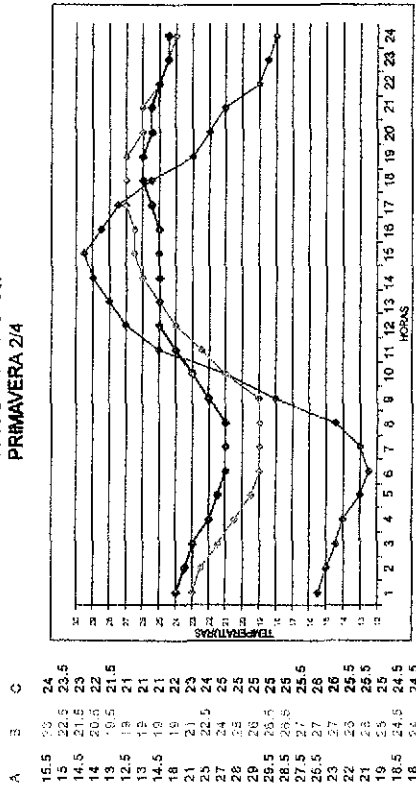
En el invierno de 1998 se pudo observar a través de estas gráficas que la temperatura en la bóveda tratada era casi siempre inferior a la bóveda testigo o eventualmente coincidían hacia las 14:00 hrs., por otro lado también se muestra que la bóveda tratada se iguala sensiblemente al rededor de las 7:00 a las 8:00 hrs. con el testigo en las temperaturas más bajas extremas.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

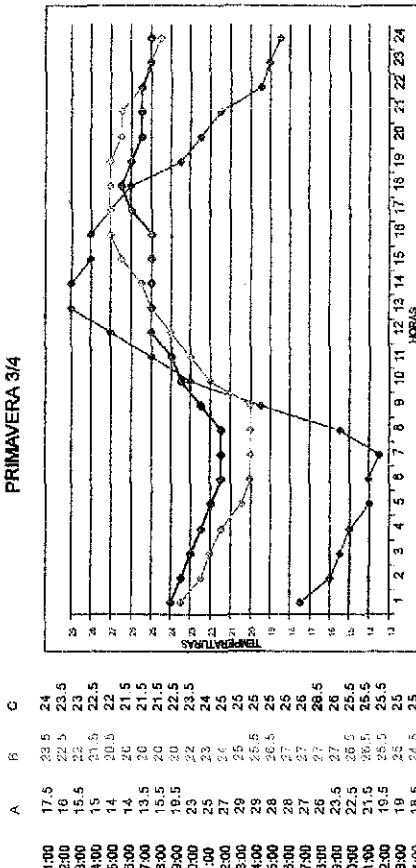
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 30 DE MARZO '98.  
PRIMAVERA 1/4



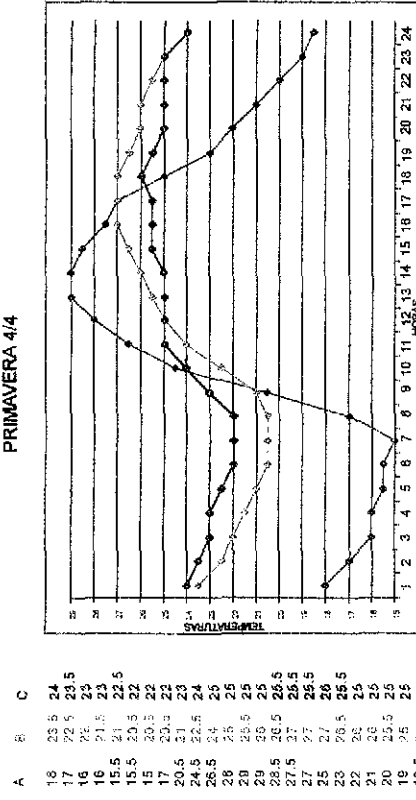
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 31 DE MARZO '98.  
PRIMAVERA 2/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 10. DE ABRIL '98.  
PRIMAVERA 3/4



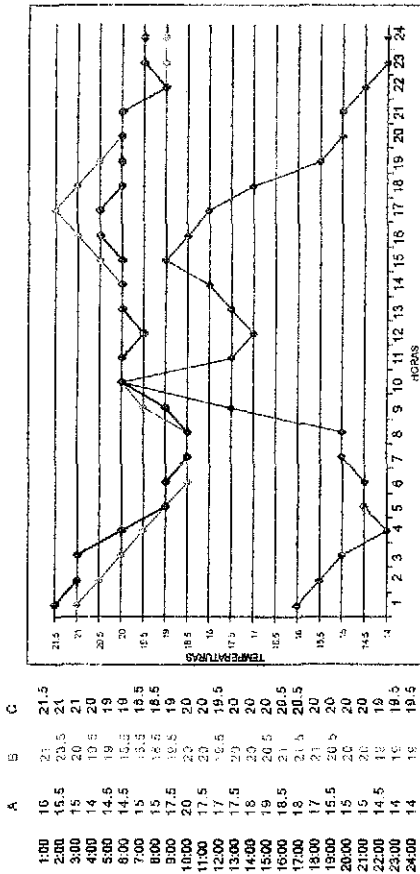
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 2 DE ABRIL '98.  
PRIMAVERA 4/4



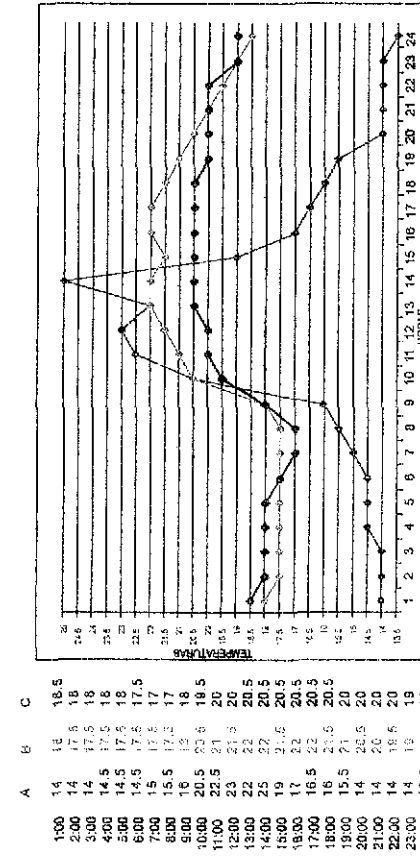
En la primavera de 1996, las graficas resultantes de los registros de temperatura fueron probablemente las más elocuentes, ya que presentaron los perfiles que nos hubieran gustado registrar en otras estaciones. Aquí se puede observar que en las temperaturas más calidas del día, la bóveda tratada se conserva entre 1° y 1.5° C más fresca que en la testigo, además se mantiene el mismo diferencial de temperatura por arriba de las horas más frescas de la mañana.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

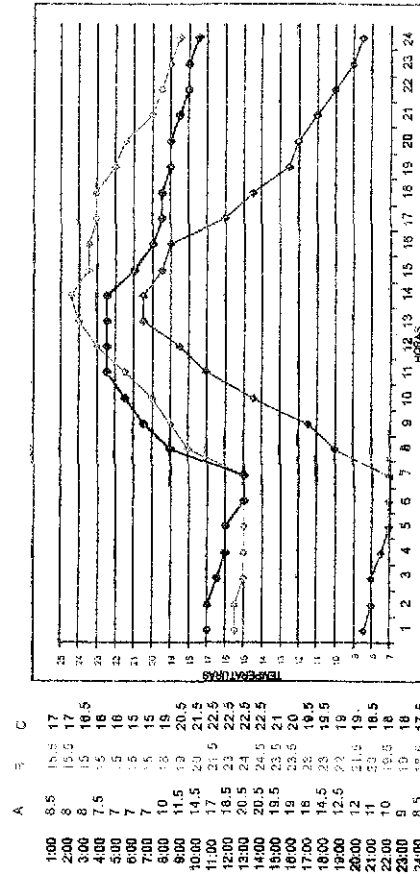
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 23 DE JUNIO '97.  
VERANO 1/4



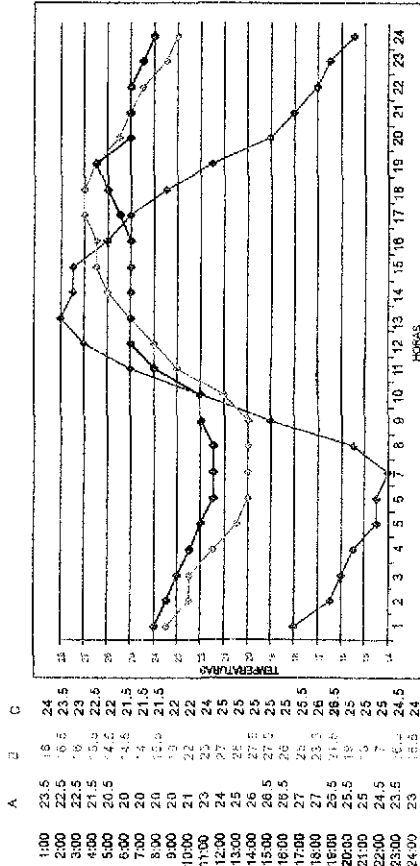
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 22 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 1/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 6 DE ENERO '98.  
INVIERNO 1/4



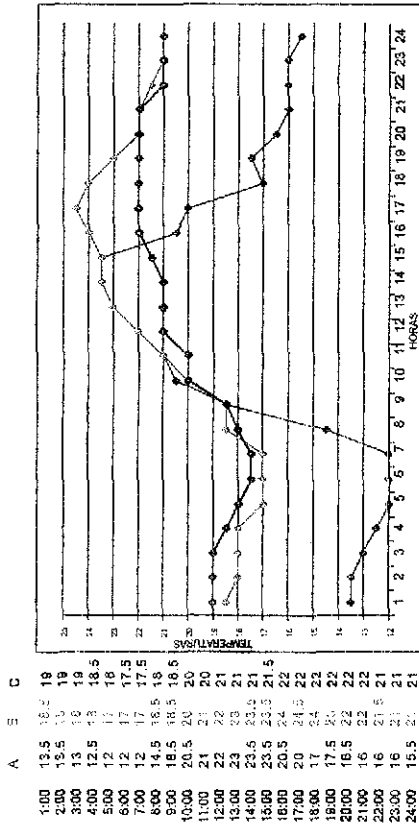
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 30 DE MARZO '98.  
PRIMAVERA 1/4



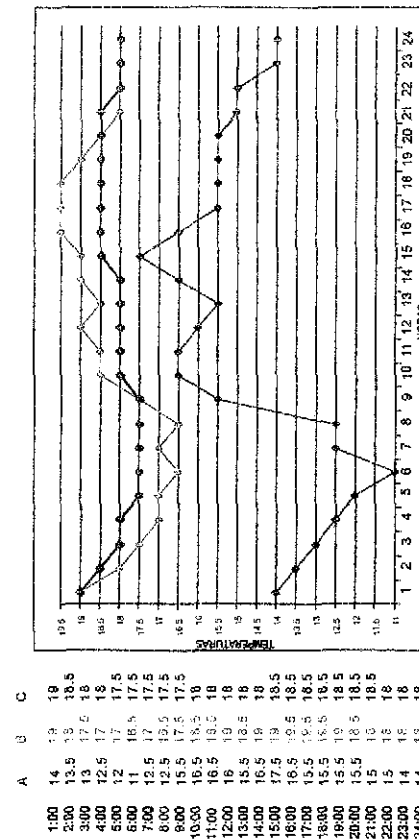
Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (1/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '97 y primavera del '98.



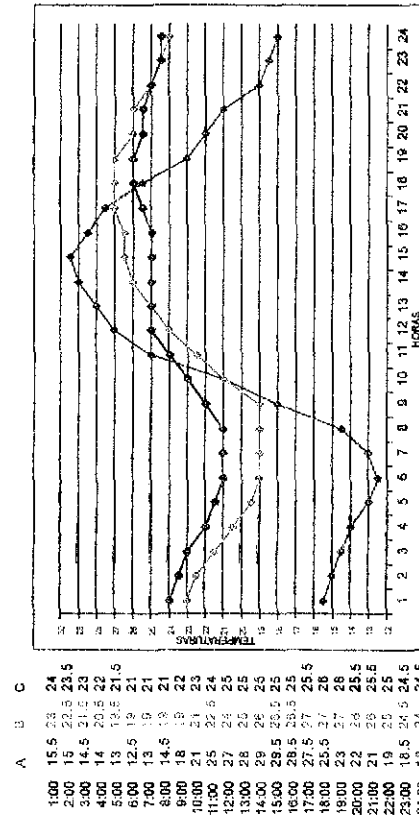
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 23 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 2/4



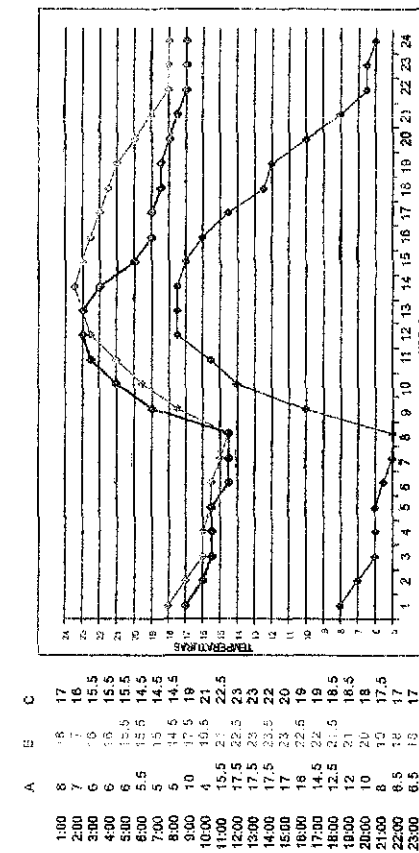
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 24 DE JUNIO '97.  
VERANO 2/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 31 DE MARZO '98.  
PRIMAVERA 2/4



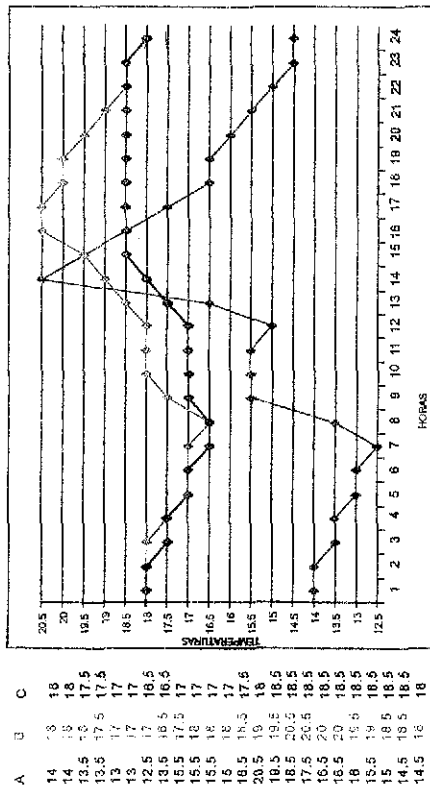
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 7 DE ENERO '98.  
INVIERNO 2/4



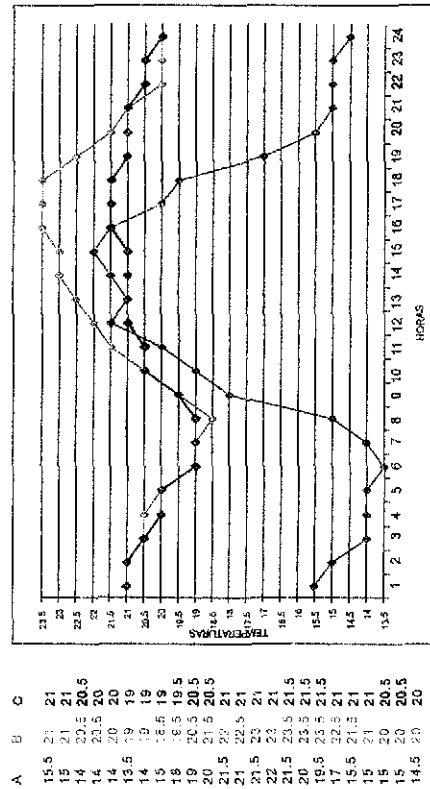
Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (2/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '98 y primavera del '98.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

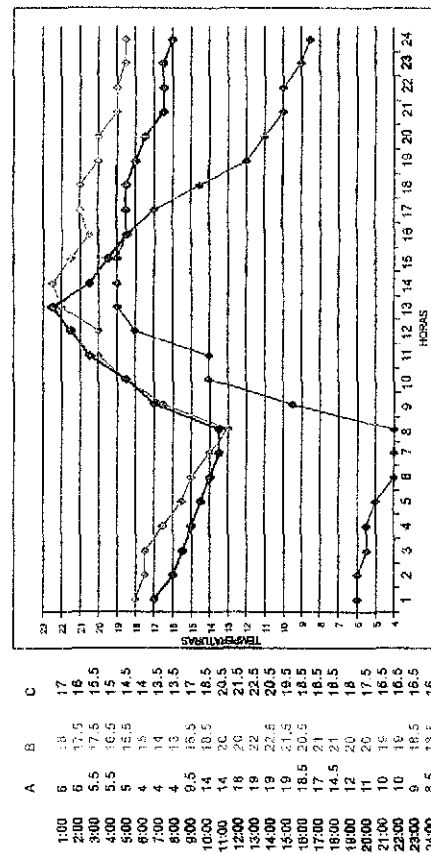
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 25 DE JUNIO '97.  
VERANO 3/4



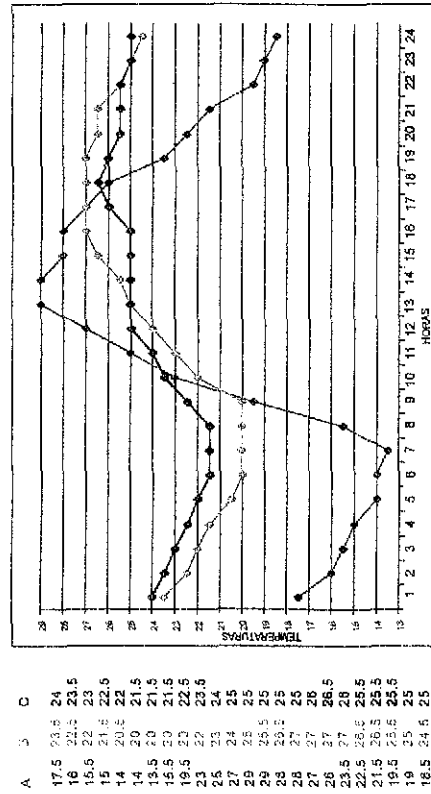
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 24 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 3/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 8 DE ENERO '98.  
INVIERNO 3/4



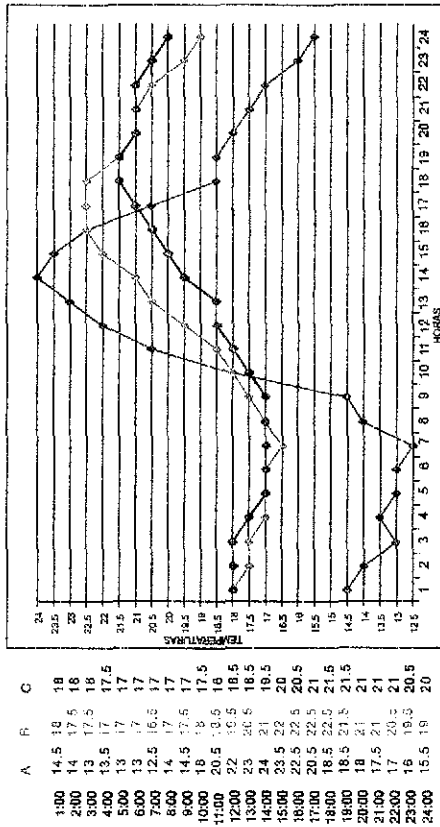
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 10 DE ABRIL '98.  
PRIMAVERA 3/4



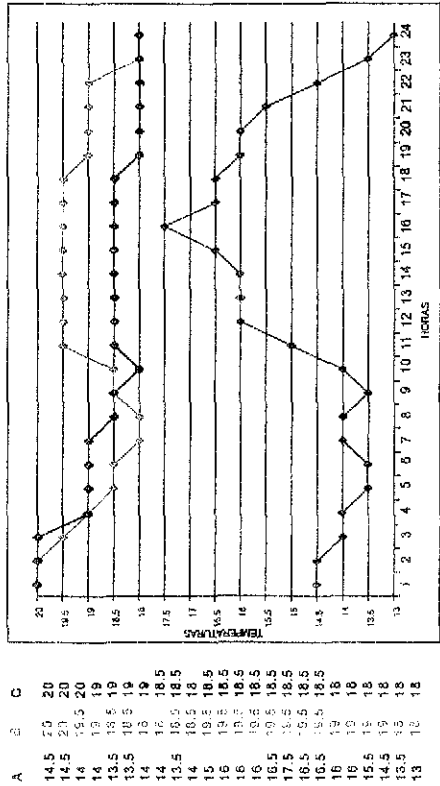
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (3/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '97 y primavera del '98.

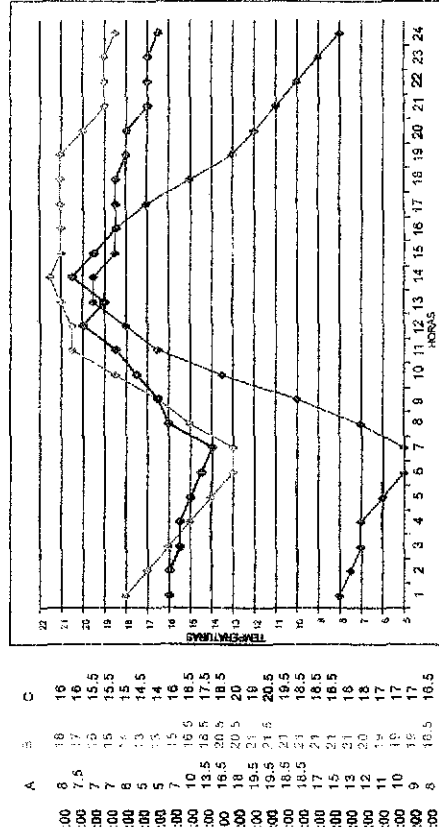
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 26 DE JUNIO '97.  
VERANO 4/4



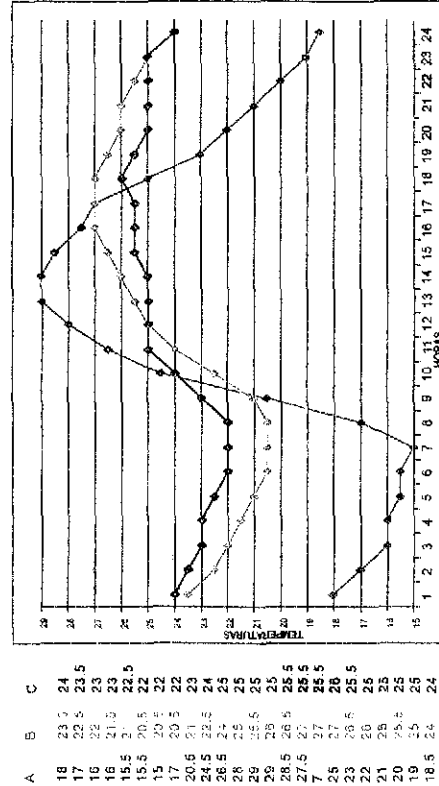
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 25 DE SEPTIEMBRE '97.  
OTOÑO 4/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 9 DE ENERO '98.  
INVIERNO 4/4



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 2 DE ABRIL '98.  
PRIMAVERA 4/4



Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (4/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '98 y primavera del '98.





Como las pruebas anteriores no representaron una respuesta contundente a las expectativas de esta investigación, se decidió iniciar una nueva batería de pruebas en la bóveda tratada adicionando otro material de acuerdo a las consideraciones planteadas en el capítulo "En la búsqueda del material aislante" quedando cuatro opciones que analizaremos brevemente para tratar de seleccionar otro material:

**a). aislamiento espreado poliuretano.**

Al considerar este material se observa que debe ser aplicado por un operador especializado y con una maquinaria específica, que impide la aplicación de una muestra del tamaño de la prueba ya que para conseguir la aplicación seguramente habría que pagar un alto costo por ésta. El precio de este material por metro cuadrado es de un salario mínimo en el mes de mayo del año de 2001. (incluye colocación)

**b). placas de poliestireno expandido.**

Se pueden conseguir de cualquier tamaño y sección casi en cualquier lado, no se requiere maquinaria específica y la habilidad de los albañiles es de sobra capacitada para trabajarla, éste material se une muy bien a los acabados como el aplanado de cemento-arena. El precio de éste material es el 15.2 % de un salario mínimo en el mes de mayo del año del 2001 (\$6.75 /m<sup>2</sup>), la colocación de este material se puede estimar en aproximadamente el 10 % del salario mínimo (\$4.45/m<sup>2</sup>).

**c). placas fibra de vidrio.**

El material se comprime con el peso del aplanado que debiera llevar encima con lo cual pierde sus condiciones aislantes.

**d). colchoneta fibra de vidrio armada.**

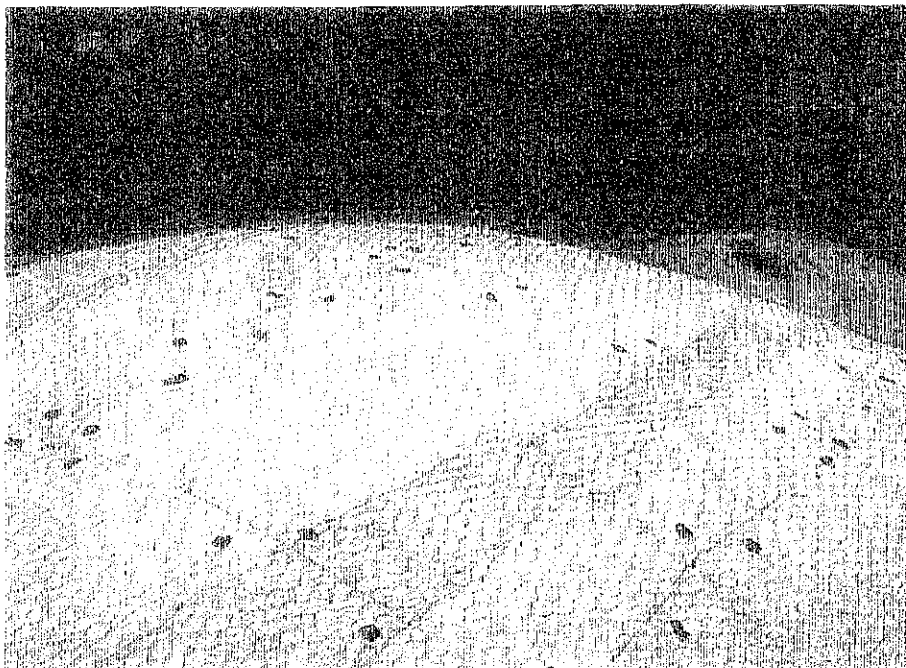
Presenta las mismas características que la anterior.

Ante estas consideraciones, el nuevo material aislante que hemos seleccionado son las placas de poliestireno expandido las cuales además de las características señaladas anteriormente son de precio muy accesible.

## **UN NUEVO MATERIAL AISLANTE**

Es bien sabido, que el material llamado poliestireno expandido presenta buenas características aislantes que se confirmaron después de verificar en las tablas que para el cálculo térmico existen (coeficiente térmico  $K(W/M^2^{\circ}C) = 0.04$ ). Se decidió forrar la bóveda ya tratada por la parte exterior, sobreponiendo placas de dicho material de 2.5 cms. de espesor en tramos de 1.22 m x 1.22 m de lado, esto para conseguir una curvatura ligera en cada pieza y así evitar la probable fractura de las placas. Para sujetar éstas momentáneamente a la bóveda se utilizaron clavos de 7.5 cms. y una rondana de cartón con el objeto de que la cabeza del clavo no perforara el material.

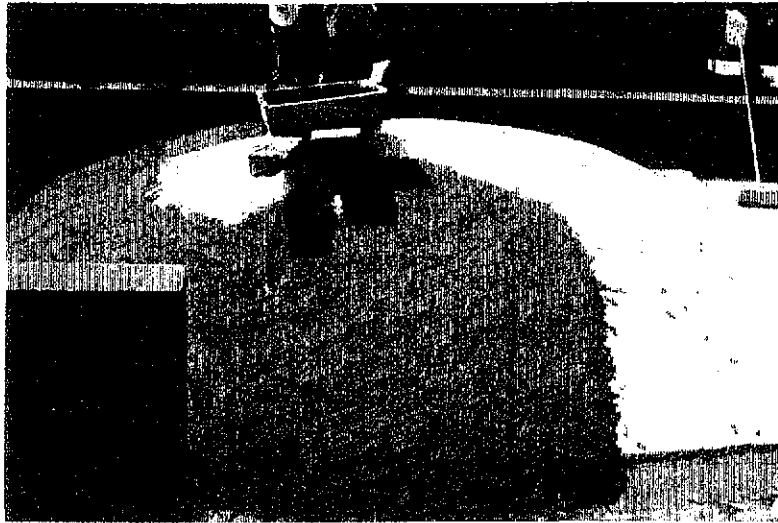
Una vez sujeto el recubrimiento momentáneamente con el método antes descrito se procedió a envolverlo con una malla de gallinero con lo cual quedó plenamente asegurada la colocación del poliestireno expandido a la bóveda, ésta malla también fué clavada al aplanado anterior, a continuación se aplicó un aplanado a base de mortero-cemento-arena proporción 1:5 al cual se le adicionó aproximadamente medio volumen de calhidra con el objeto de hacerlo más plástico, al agregar el agua se incluyeron cuatrocientos centímetros cúbicos por bulto de cemento de impercon "L" con el objeto de tener un acabado impermeable.



Se procedió a envolverlo con una malla de gallinero ...

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Inmediatamente después se efectuó un aplanado común de aproximadamente 2 cms. de espesor, acabado cerrado y terminado con llana de madera, una vez concluido esto, se cubrió la bóveda con un lienzo de plástico negro buscando un curado de buena calidad sobre el aplanado.



se efectuó un aplanado común de aproximadamente 2 cms.

Una semana después se descubrió el aplanado de la bóveda la cual se encontraba en un buen nivel de humedad, sin embargo aproximadamente diez días más tarde se presentaron pequeñas fisuras que más tarde se estabilizaron como francas grietas.

Lo anterior se atribuye a que la malla de gallinero quedó apretada contra la lámina de poliestireno expandido por lo cual no participó como armado del aplanado antes citado.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

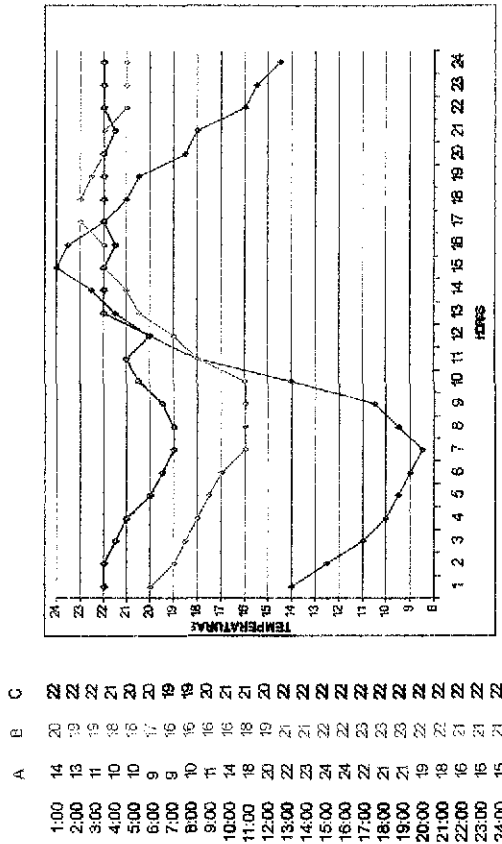
... pequeñas fisuras que más tarde se estabilizaron como francas grietas...

### **Comentarios a las gráficas registradas después del segundo tratamiento**

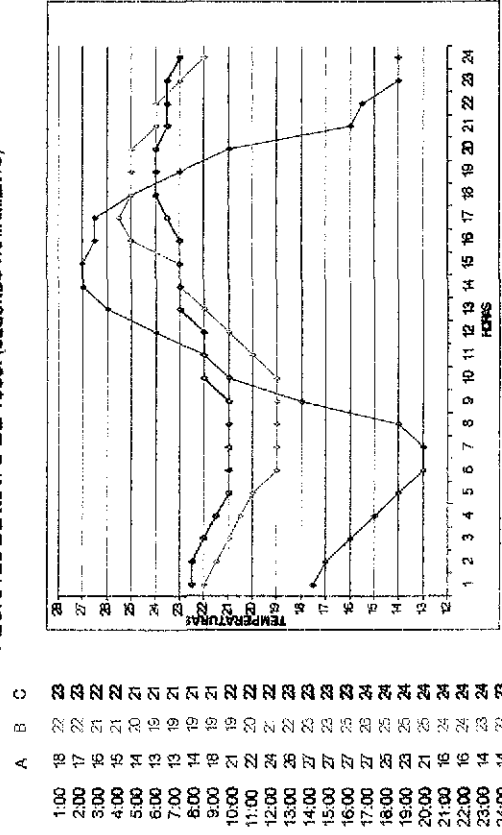
Se realizó un nuevo grupo de mediciones, en fechas un tanto arbitrarias en los meses de abril y mayo de 1999 y enero del 2000, los resultados fueron un poco más cercanos a lo esperado sin embargo, las diferencias no llegaron a ser de una importancia tal que modificaran fundamentalmente la temperatura interior, en tres de las fechas se observó que la bóveda tratada había mejorado las temperaturas más frescas de la mañana con respecto con la bóveda testigo, en algunos casos hasta tres grados por arriba, en el caso de las temperaturas de las primeras horas de la tarde ( 14.00-16.00 hrs) el comportamiento fué sensiblemente igual a las gráficas obtenidas con el primer tratamiento.

Cabe hacer notar que en la gráfica del 14 de enero del 2000, día particularmente frío en que la temperatura exterior fué solamente de seis grados como mínimo y nueve grados como máximo a lo largo del día, las temperaturas de las bóvedas se conservaron paralelas con la particularidad de que la bóveda tratada estuvo siempre 1° C por arriba de la bóveda testigo.

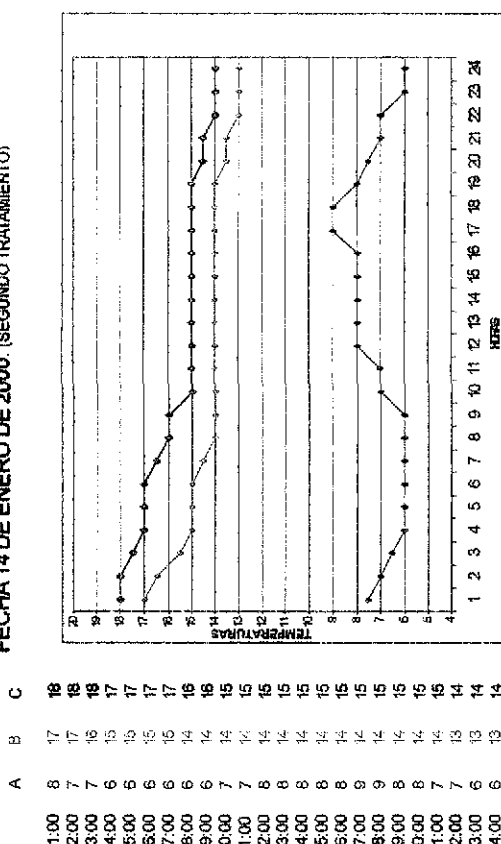
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 30 DE ABRIL DE 1999. (SEGUNDO TRATAMIENTO)



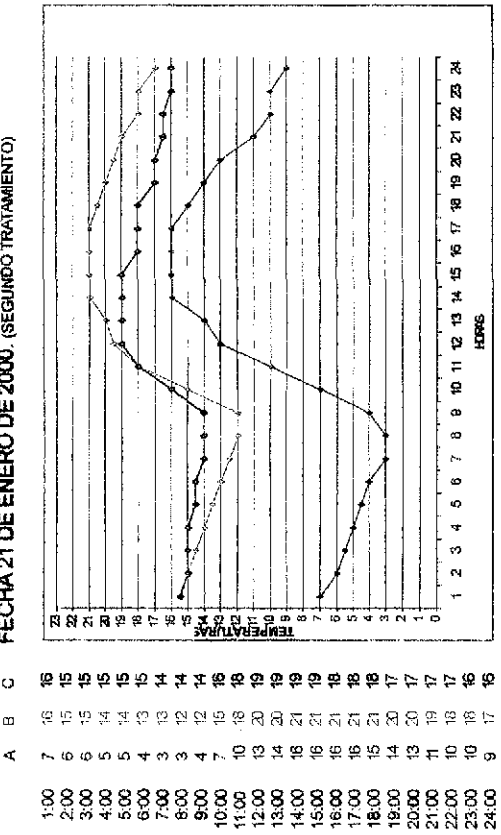
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 26 DE MAYO DE 1999. (SEGUNDO TRATAMIENTO)



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 14 DE ENERO DE 2000. (SEGUNDO TRATAMIENTO)



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 21 DE ENERO DE 2000. (SEGUNDO TRATAMIENTO)



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

...los resultados fueron un poco más cercanos a lo esperado, las diferencias no llegaron a ser de una importancia tal que modificaran fundamentalmente la temperatura interior...

### **Comparativo entre las gráficas del primero y segundo tratamientos.**

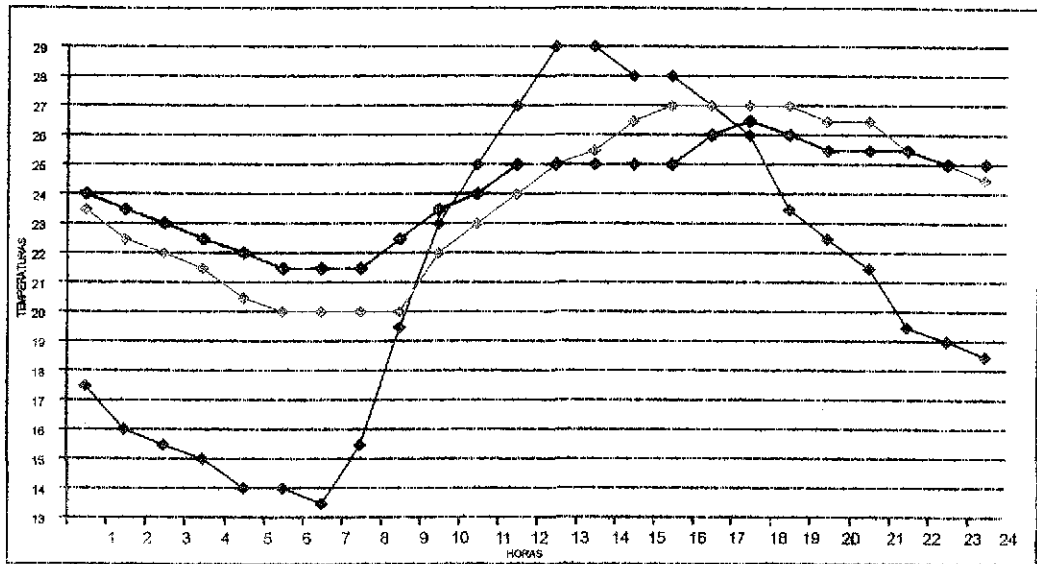
A continuación, se muestran un grupo de gráficas (8) que comparan los datos de las temperaturas registrados en el primer y en el segundo material aislante, sin embargo ésta información deja mucho que desear, debido a que en condiciones de investigación rigurosa se debieron haber medido las temperaturas los mismos días en cada caso, lo cual resultó imposible con los recursos con que se contaba.

En general, al estudiar las ocho gráficas antes citadas, se observa que la temperatura de la bóveda tratada tiene un gradiente más corto que las temperaturas de la bóveda testigo, lo cual nos indica que aunque de una manera incipiente los tratamientos aplicados tuvieron cierta importancia en el resultado de la experiencia, sin embargo, consideramos que de acuerdo con las expectativas creadas por la información que los fabricantes de los materiales aislantes difunden a través de la publicidad, si no es falsa, es relativamente poco efectiva.

COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO

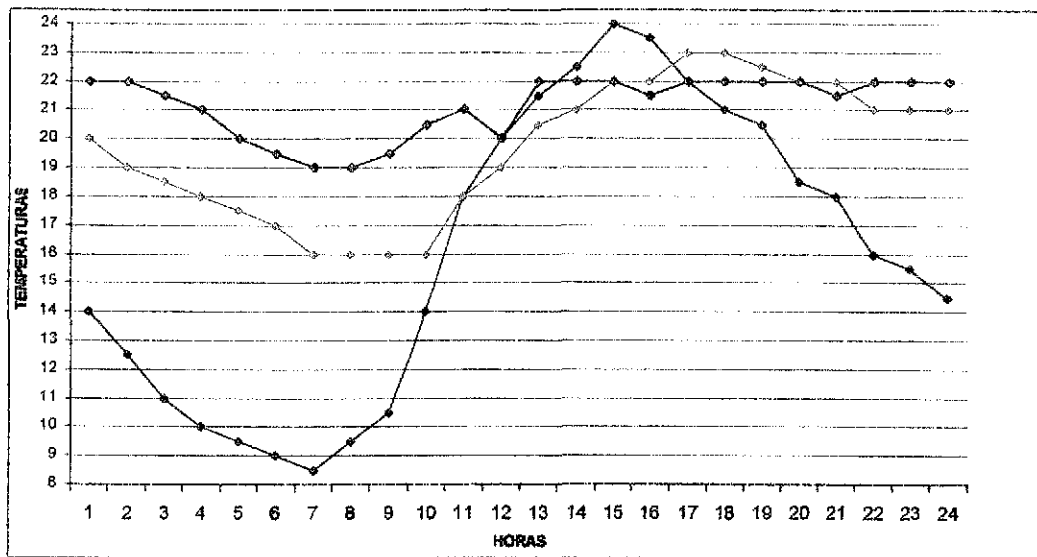
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 1o. DE ABRIL '98.  
PRIMAVERA 3/4 (PRIMER TRATAMIENTO)

	A	B	C
1:00	17.5	23.5	24
2:00	16	22.5	23.5
3:00	15.5	22	23
4:00	15	21.5	22.5
5:00	14	20.5	22
6:00	14	20	21.5
7:00	13.5	20	21.5
8:00	15.5	20	21.5
9:00	19.5	20	22.5
10:00	23	22	23.5
11:00	25	23	24
12:00	27	24	25
13:00	29	25	25
14:00	29	25.5	25
15:00	28	26.5	25
16:00	28	27	25
17:00	27	27	25
18:00	26	27	25.5
19:00	23.5	27	25
20:00	22.5	25.5	25.5
21:00	21.5	25.5	25.5
22:00	19.5	25.5	25.5
23:00	19	25	25
24:00	18.5	24.5	25



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 30 DE ABRIL DE 1999. (SEGUNDO TRATAMIENTO)

	A	B	C
1:00	14	20	22
2:00	13	19	22
3:00	11	19	22
4:00	10	18	21
5:00	10	18	20
6:00	9	17	20
7:00	9	16	19
8:00	10	16	19
9:00	11	16	20
10:00	14	16	21
11:00	18	18	21
12:00	20	19	20
13:00	22	21	22
14:00	23	21	22
15:00	24	22	22
16:00	24	22	22
17:00	22	23	22
18:00	21	23	22
19:00	21	23	22
20:00	19	22	22
21:00	18	22	22
22:00	16	21	22
23:00	16	21	22
24:00	15	21	22



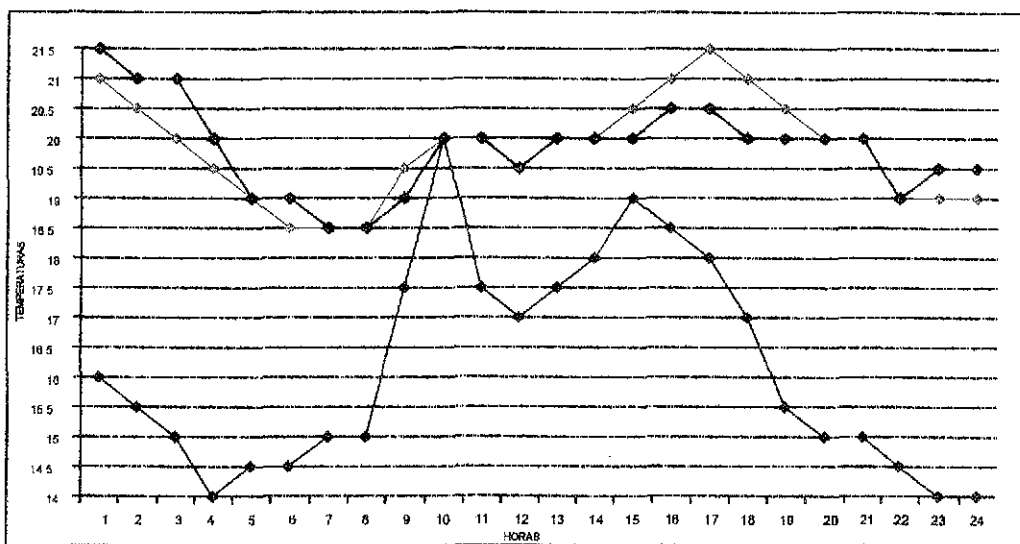
TESIS CON FALLA DE ORIGEN



COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO

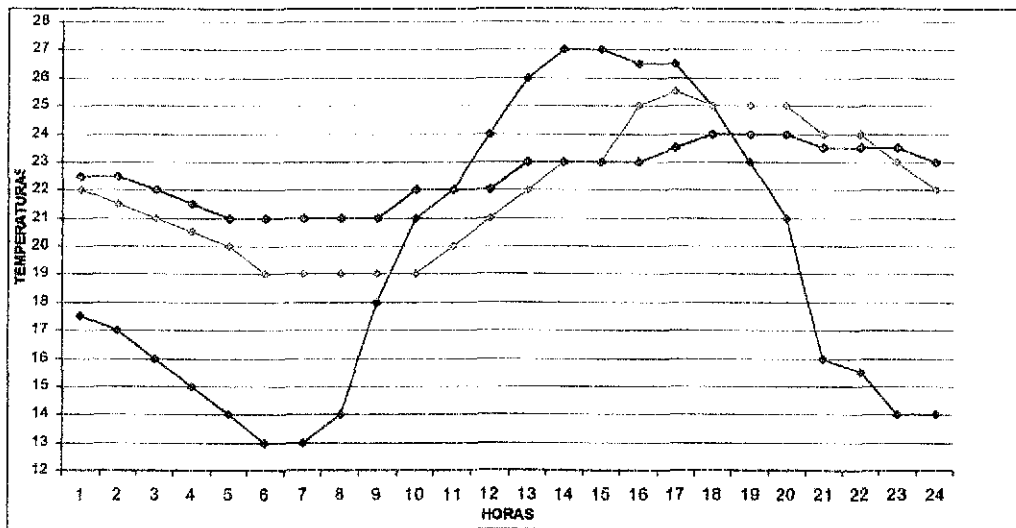
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 23 DE JUNIO DE '97. (PRIMER TRATAMIENTO)  
VERANO 1/4

	A	B	C
1:00	16	21	21.5
2:00	15.5	20.5	21
3:00	15	20	21
4:00	14	19.5	20
5:00	14.5	19	19
6:00	14.5	18.5	19
7:00	15	18.5	18.5
8:00	15	18.5	18.5
9:00	17.5	19.5	19
10:00	20	20	20
11:00	17.5	20	20
12:00	17	19.5	19.5
13:00	17.5	20	20
14:00	18	20	20
15:00	19	20.5	20
16:00	18.5	21	20.5
17:00	18	21.5	20.5
18:00	17	21	20
19:00	15.5	20.5	20
20:00	15	20	20
21:00	15	20	20
22:00	14.5	19	19
23:00	14	19	19.5
24:00	14	19	19.5



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 26 DE MAYO DE 1999. (SEGUNDO TRATAMIENTO)

	A	B	C
1:00	18	22	23
2:00	17	22	23
3:00	16	21	22
4:00	15	21	22
5:00	14	20	21
6:00	13	19	21
7:00	13	19	21
8:00	14	19	21
9:00	18	19	21
10:00	21	19	22
11:00	22	20	22
12:00	24	21	22
13:00	23	22	23
14:00	27	23	23
15:00	27	23	23
16:00	27	25	23
17:00	27	25	24
18:00	25	25	24
19:00	23	25	24
20:00	21	25	24
21:00	16	21	24
22:00	16	21	24
23:00	14	23	24
24:00	14	22	23

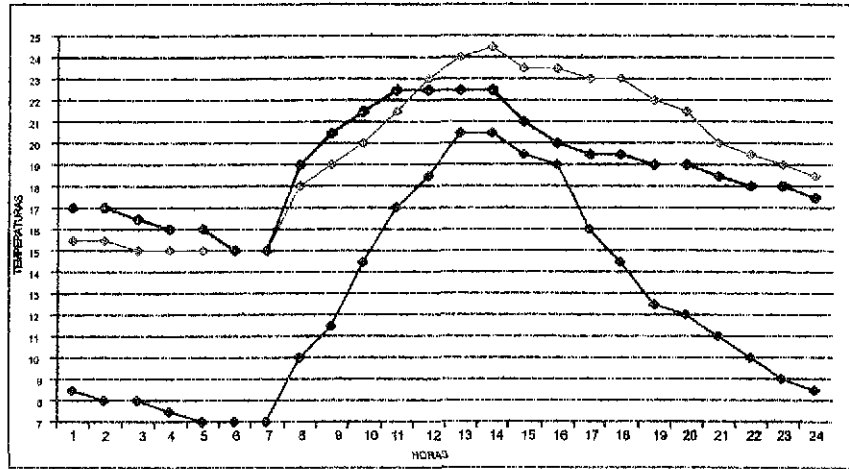


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO

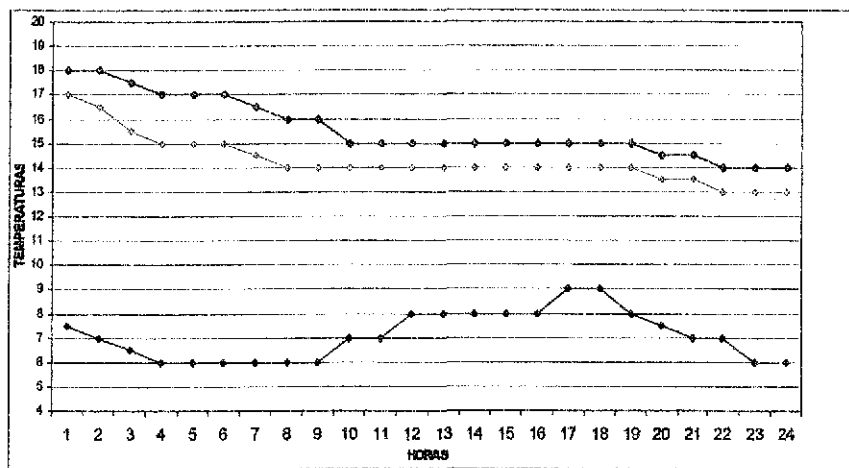
GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 6 DE ENERO '98.  
INVIERNO 1/4 (PRIMER TRATAMIENTO)

	A	B	C
1:00	8.5	15.5	17
2:00	8	15.5	17
3:00	8	15	16.5
4:00	7.5	15	16
5:00	7	15	16
6:00	7	15	15
7:00	7	15	15
8:00	10	16	19
9:00	11.5	19	20.5
10:00	14.5	20	21.5
11:00	17	21.5	22.5
12:00	18.5	22	22.5
13:00	20.5	24	22.5
14:00	20.5	24.5	22.5
15:00	19.5	23.5	21
16:00	19	23.5	20
17:00	16	23	19.5
18:00	14.5	23	18.5
19:00	12.5	22	19
20:00	12	21.5	19
21:00	11	20	18.5
22:00	10	19.5	18
23:00	9	19	18
24:00	8.5	18.5	17.5



GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 14 DE ENERO DE 2000. (SEGUNDO TRATAMIENTO)

	A	B	C
1:00	8	17	16
2:00	7	17	16
3:00	7	16	16
4:00	6	15	17
5:00	6	15	17
6:00	6	15	17
7:00	6	15	17
8:00	6	14	16
9:00	6	14	16
10:00	7	14	15
11:00	7	14	15
12:00	8	14	15
13:00	8	14	15
14:00	8	14	15
15:00	8	14	15
16:00	8	14	15
17:00	9	14	15
18:00	9	14	15
19:00	8	14	15
20:00	8	14	15
21:00	7	14	15
22:00	7	13	14
23:00	6	13	14
24:00	6	13	14

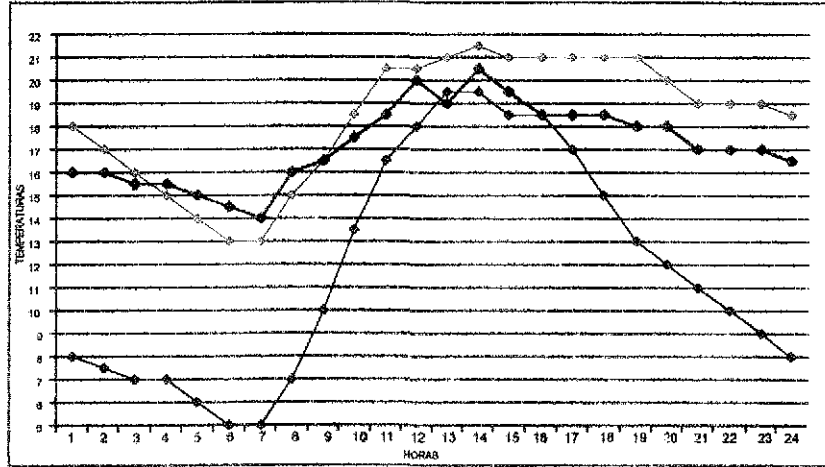


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO**

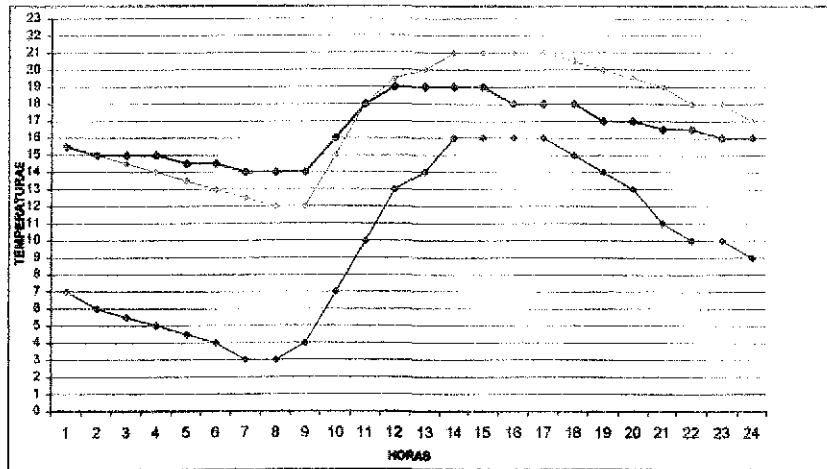
**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 9 DE ENERO '98.  
INVIERNO 4/4 (PRIMER TRATAMIENTO)**

	A	B	C
1:00	8	13	16
2:00	7.5	13	16
3:00	7	13	15.5
4:00	7	13	15.5
5:00	6	13	15
6:00	5	13	14.5
7:00	5	13	14
8:00	7	13	13
9:00	10	13.5	16.5
10:00	13.5	13.5	17.5
11:00	16.5	13.5	18.5
12:00	18	13.5	20
13:00	19.5	13	19
14:00	19.5	13	20.5
15:00	18.5	13	19.5
16:00	18.5	21	18.5
17:00	17	21	18.5
18:00	15	21	18.5
19:00	13	21	18
20:00	12	20	18
21:00	11	19	17
22:00	10	19	17
23:00	9	19	17
24:00	8	18.5	16.5



**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B)  
Y BOVEDA TRATADA (C)  
FECHA 21 DE ENERO DE 2000 (SEGUNDO TRATAMIENTO)**

	A	B	C
1:00	7	15	16
2:00	6	15	15
3:00	6	15	15
4:00	5	14	15
5:00	5	14	15
6:00	4	13	15
7:00	3	13	14
8:00	3	12	14
9:00	4	12	14
10:00	7	15	16
11:00	10	18	18
12:00	13	20	19
13:00	14	20	19
14:00	16	21	19
15:00	16	21	19
16:00	16	21	18
17:00	16	21	18
18:00	15	21	18
19:00	14	20	17
20:00	13	20	17
21:00	11	19	17
22:00	10	18	17
23:00	10	18	16
24:00	9	17	16



## CONCLUSIONES RESPECTO AL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

En el primer material aislante experimentado llamado comercialmente BST-BETOSTIRENE, sí muestra algunas propiedades aislantes pero éstas no corresponden a las expectativas que en los catálogos de publicidad se presentan, ya que sólo se pudo reducir el gradiente en aproximadamente  $2^{\circ}\text{C}$  por lo que se estima que para que éste material pudiera considerarse eficiente debería construirse un recubrimiento de aproximadamente 10-15 cms de espesor lo cual encarecería excesivamente el tratamiento en virtud de los volúmenes necesarios de betostirene, cemento, arena, acero por temperatura y mano de obra, quedando en este caso relegado el proceso constructivo de bóvedas de ladrillo al de cimbra - plafón desvirtuando completamente el concepto de estructura-acabado-precio que el sistema presenta.

### Un nuevo material aislante

Las placas de poliestireno expandido de 2.5 cms. de espesor representaron aproximadamente otro tanto en la reducción del gradiente de las temperaturas (hasta cinco grados entre la máxima y la mínima, aprox. 30%) sin embargo, hay que considerar que las placas antes dichas son de un medio de la sección del aplanado de BST-BETOSTIRENE. Por otra parte el precio resulta muy atractivo y para evitar cuarteaduras en la cáscara se podría conseguir colocando una primera capa de aplanado lanzado sobre las placas ya colocadas y fijas, dicho aplanado deberá quedar con un acabado denominado "zarpeado", es decir salpicar de mezcla, una vez seca ésta base, fijar la malla de gallinero y terminar el aplanado incluyendo pelo de polipropileno el cuál es muy barato y reforzar así la trama que evite el agrietamiento, por descontado será colocar un impermeabilizante integral a éste recubrimiento.

Para conseguir un aislamiento que resultara más eficiente podríamos considerar en duplicar el espesor de la placa de poliestireno expandido a 5 cms. ya que el precio del material es muy accesible y el costo de la mano de obra no sufriría ninguna modificación

### La solución vernácula

No hay que despreciar la solución que históricamente la arquitectura vernácula ha puesto en práctica en diversas regiones de la cuáles analizaremos someramente las poblaciones aledañas a la Ciudad de Durango en el Estado del mismo nombre donde también se construyen bóvedas de ladrillo recargado.

La ciudad de Durango tiene unas coordenadas de  $24^{\circ} 01' 31''$  de latitud norte y  $104^{\circ} 39' 11''$  de longitud oeste y 1880 mts. sobre el nivel del mar, está aproximadamente  $3^{\circ}$  al sur del trópico de cáncer y su clima es semiseco templado con una temperatura media anual de  $17.8^{\circ}\text{C}$  con una precipitación pluvial anual de entre 400-600 mm. manifestándose la temperatura mínima del mes de diciembre hasta  $-5^{\circ}\text{C}$  y de  $39^{\circ}\text{C}$  la temperatura máxima en el mes de Junio con un diferencial de aproximadamente  $45^{\circ}\text{C}$ .

En ésta región donde se hacen bóvedas de ladrillo se colocan rellenos de tierra de la misma con que se fabrica el adobe, cubriendo totalmente la cubierta y nivelando la azotea a unos 20 cms por encima de la clave, sobre el relleno un entortado de cal y arena y adherido a éste un petatillo de ladrillo, como impermeabilizante una solución de agua y jabón y que una vez saturada la azotea se precipita por medio de alumbre disuelto en agua.

En ésta región y con un clima de las características descritas basta en invierno con un "calentón" de fierro colado o de barro de la región que usa por combustible leña para conservar el interior de las casas a la temperatura de confort.

En el verano las casas se conservan muy frescas sin necesidad de ningún acondicionamiento de aire o ventilación mecánica.

De ésta enseñanza podemos concluir que quizás la solución más eficaz en relación al control térmico consistiría en la aplicación de rellenos de tezontle, seleccionando el material a través de comparar el peso en diferentes diámetros con una constante de volumen para poder seleccionar cuál es la granulometría que menos peso represente, con lo cuál estaríamos seguros que la más ligera representará la de mayores contenidos de aire, llegando así a la solución más eficiente, sin embargo eso sería motivo de otra investigación.

A continuación presentamos el segundo tema que se enuncia como título de este trabajo, es decir un estudio sobre la geometría de éste sistema constructivo.

## **GEOMETRÍA**

**Comparativo entre varillas de acero dobladas “libremente”,  
cadenas metálicas y cálculo analítico de catenarias—  
Perfiles de diversas bóvedas sobrepuestos al trazo  
de catenarias—Perfiles de diversas bóvedas  
sobrepuestos con arcos de circunferencia.**

En un capítulo llamado "la forma invención inevitable", se plantean varias hipótesis las cuales trataremos de comprobar en los siguientes planteamientos:

¿Es la geometría involuntaria que realiza el artesano cercana o parecida a una catenaria o a cualquier otra figura geométrica? A partir de esta premisa, se ideó un procedimiento práctico para poder comparar los perfiles de diversas bóvedas y sobreponerlos a la catenaria que correspondiera a tres puntos de ésta. Los puntos a coincidir fueron los dos puntos bajos y el punto más peraltado de ambas:

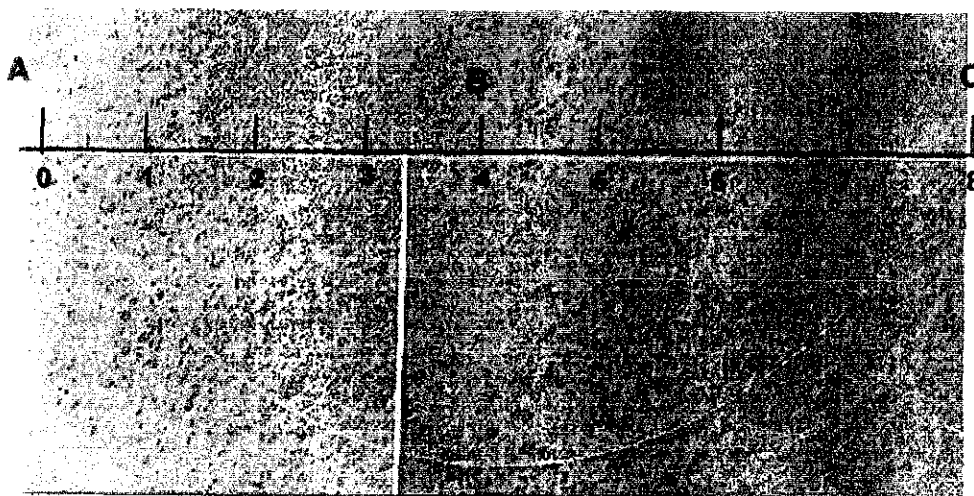
punto A  
(X=0, Y=0)

punto B  
(X=4, Y=max.)

punto C  
(X=8, Y=0)

Se colocó un hilo bajo la bóveda en el sentido corto, largo y diagonal a manera del eje de las "X", se dividió en cada caso en ocho partes y se midió la altura entre el hilo y la bóveda en cada uno de los ocho puntos, con lo anterior tenemos un perfil razonablemente preciso de la bóveda en tres cortes.

**Las catenarias.** Sobre un muro se puso un hilo a nivel (eje de las "X") y se colgó una cadena formando una catenaria ( Del lat. *Catenaria*, propio de la cadena) que sabemos es una curva formada por una cadena o un cable suspendidos por dos puntos fijos y sometida a su propio peso. La tracción del cable en la catenaria es la misma en cada punto de ésta. Por lo que, si consideramos a dicha curva a manera de cúpula, tendremos que todos los esfuerzos de compresión que se generen en la bóveda serán los mismos en cada punto de ésta (?) (anticatenaria).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

posteriormente se puso un hilo a nivel (eje de las "x") y se colgó una cadena formando una catenaria...

Para comprobar lo anterior, se procedió a calcular analíticamente un grupo de cuatro catenarias de dos, cuatro, seis, y ocho metros de claro, con flechas del 20 y el 25 %.

Otra inquietud que surgió en ésta parte del trabajo fue investigar como se curva "libremente" una varilla de acero de 9mm. de diámetro y comparar el arco de ésta con catenarias y arcos de circunferencia.

A continuación se muestra una tabla comparativa y las gráficas de las curvas con los valores obtenidos entre cadenas metálicas, catenarias calculadas analíticamente y varillas de acero. Para el cálculo analítico de las catenarias se aplicó la siguiente fórmula:

$$y = f - [ a \cdot (\cos h ( x/a ) - 1 ) ]$$

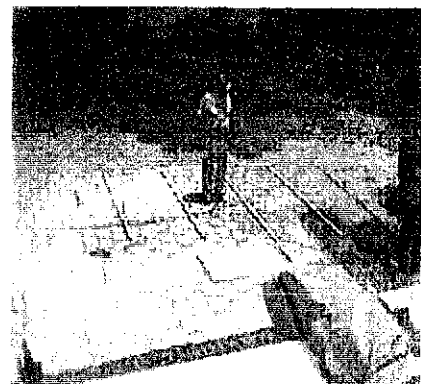
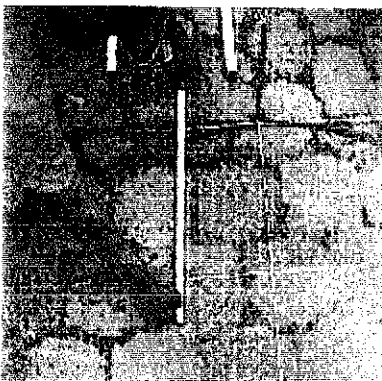
siendo:

y= valor de la ordenada

x= valor de la absisa

f= flecha

a= constante de la curva

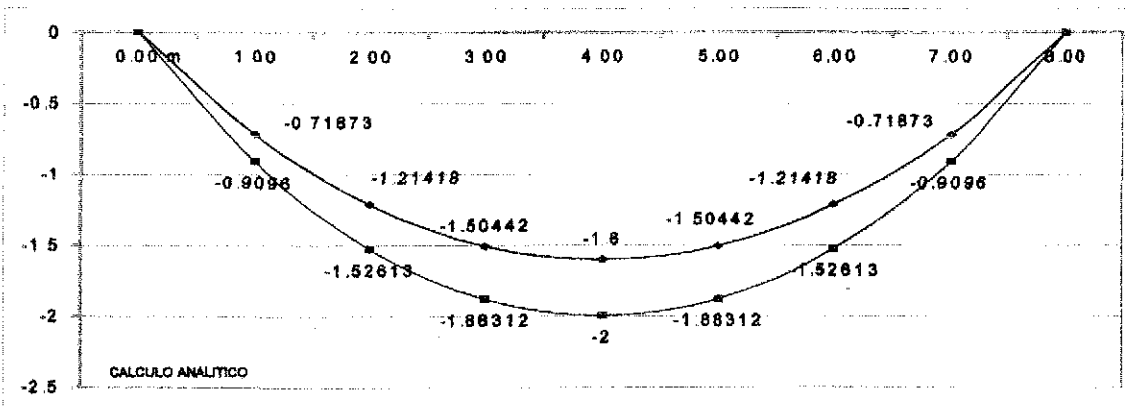
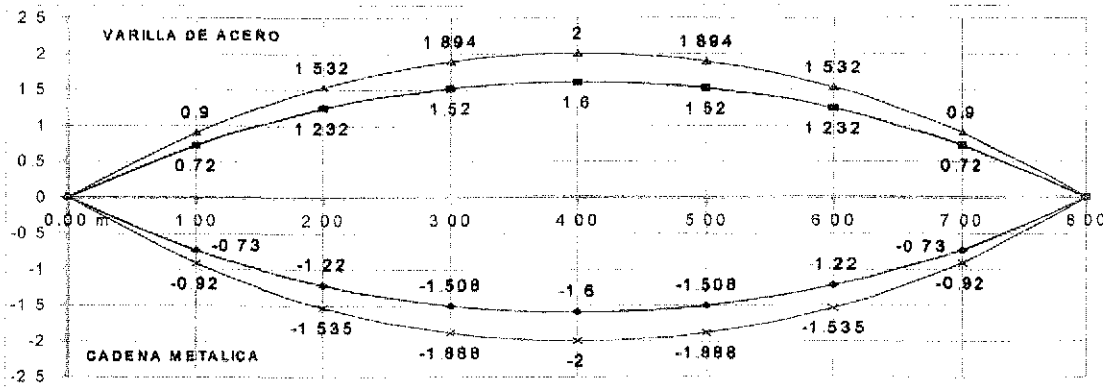


Uno de los principales problemas para los principiantes consiste en como regir la geometría de la cúpula por realizar ...



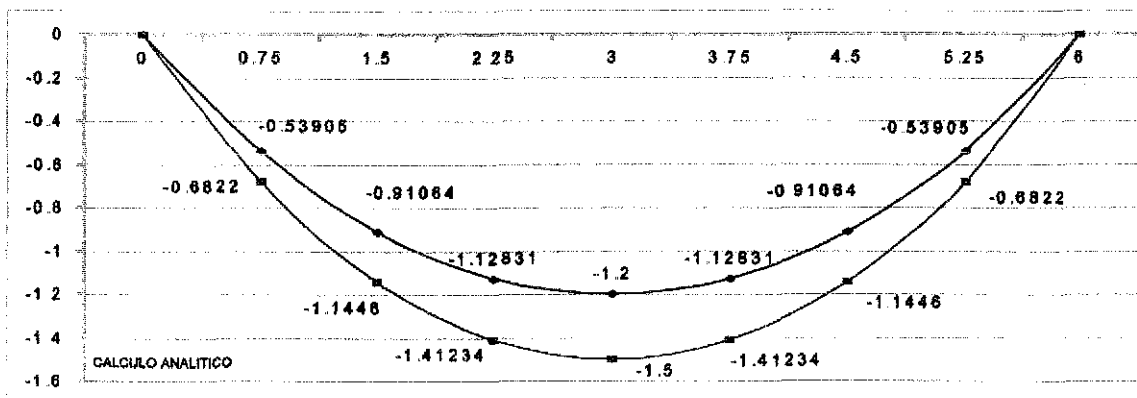
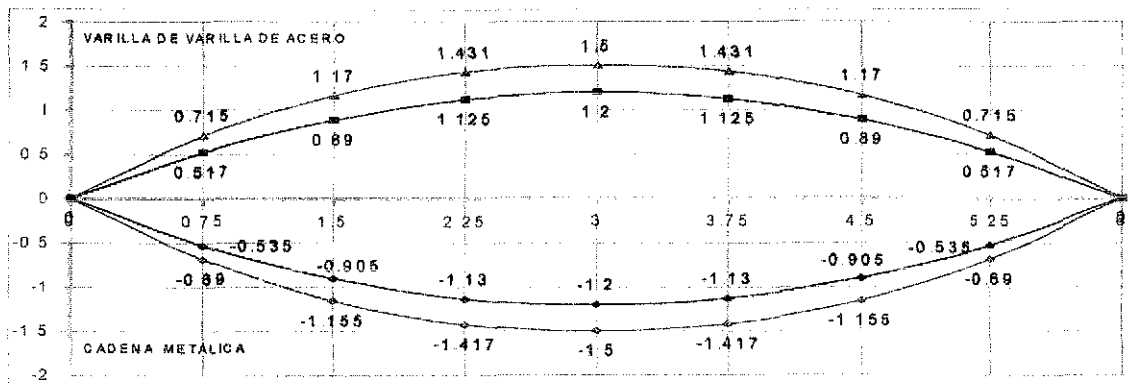
# CATENARIAS

8 METROS		20%	25%	20%	25%	20%	25%
ABSISA	VARILLA	VARILLA	CADENA	CADENA	CALCULO ANALITICO		
X	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
0.00 m	0	0	0	0	0	0	
1.00	0.72	0.9	-0.73	-0.92	-0.71873	-0.9096	
2.00	1.232	1.532	-1.22	-1.535	-1.21418	-1.52613	
3.00	1.52	1.894	-1.508	-1.888	-1.50442	-1.88312	
4.00	1.6	2	-1.6	-2	-1.6	-2	
5.00	1.52	1.894	-1.508	-1.888	-1.50442	-1.88312	
6.00	1.232	1.532	-1.22	-1.535	-1.21418	-1.52613	
7.00	0.72	0.9	-0.73	-0.92	-0.71873	-0.9096	
8.00	0	0	0	0	0	0	



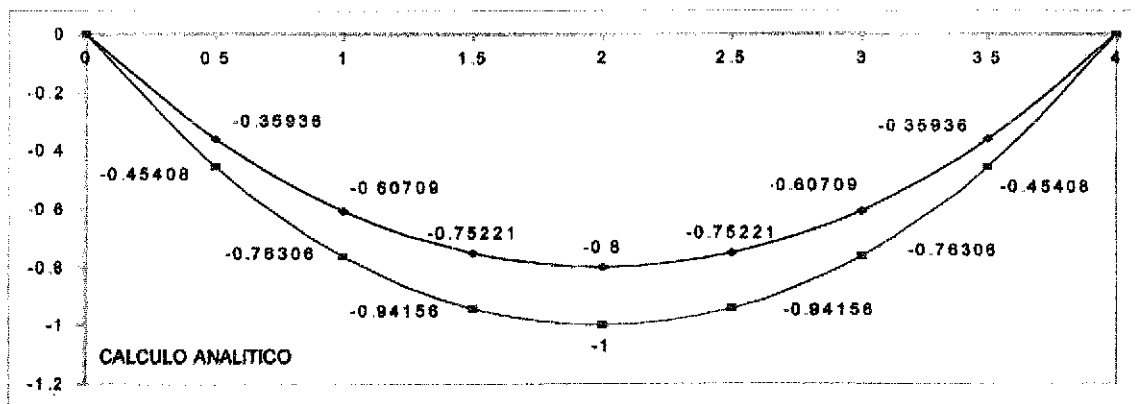
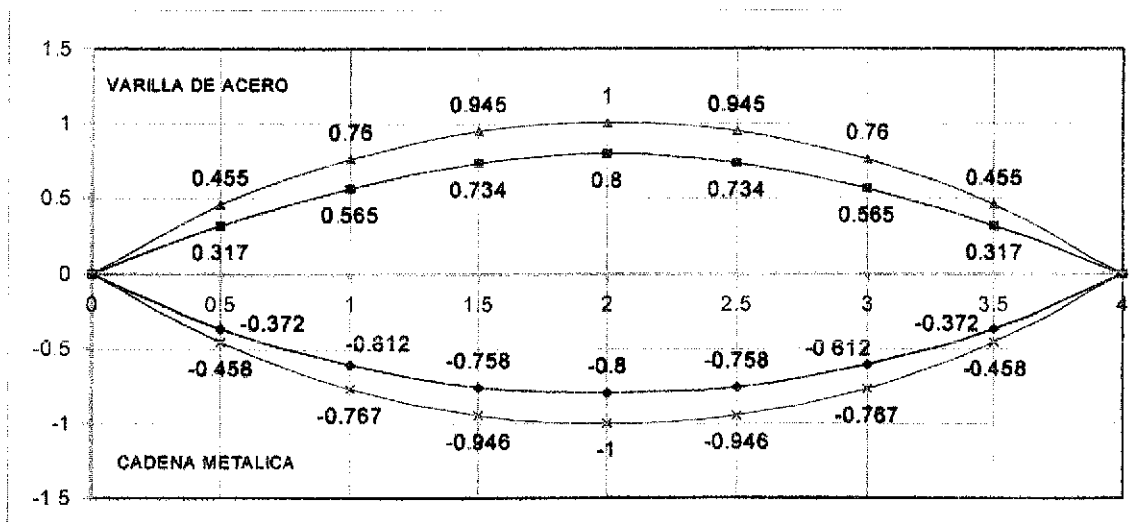
# CATENARIAS

6 METROS		20%	25%	20%	25%	20%	25%
ABSIDA	VARILLA	VARILLA	CADENA	CADENA	CALCULO ANALITICO		
X	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	0.517	0.715	-0.535	-0.69	-0.53905	-0.6822	
1.5	0.89	1.17	-0.905	-1.155	-0.91064	-1.1446	
2.25	1.125	1.431	-1.13	-1.417	-1.12831	-1.41234	
3	1.2	1.5	-1.2	-1.5	-1.2	-1.5	
3.75	1.125	1.431	-1.13	-1.417	-1.12831	-1.41234	
4.5	0.89	1.17	-0.905	-1.155	-0.91064	-1.1446	
5.25	0.517	0.715	-0.535	-0.69	-0.53905	-0.6822	
6	0	0	0	0	0	0	



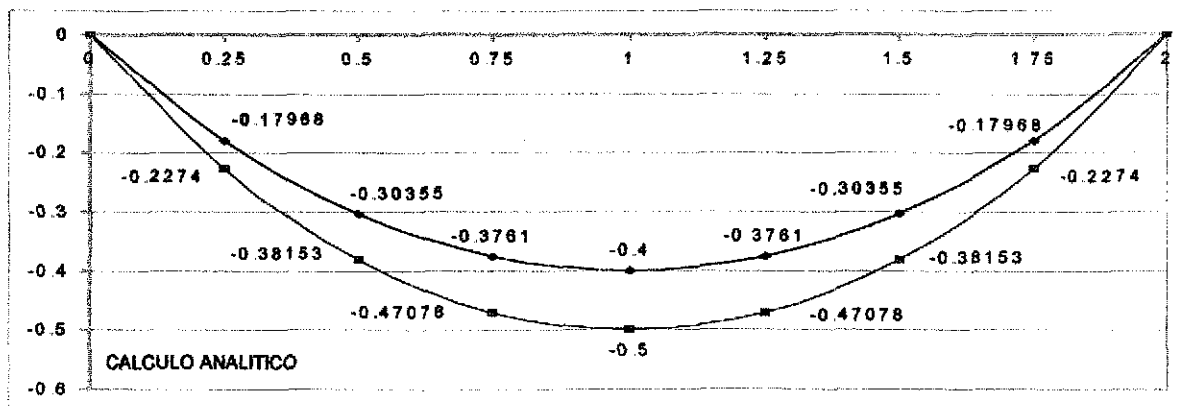
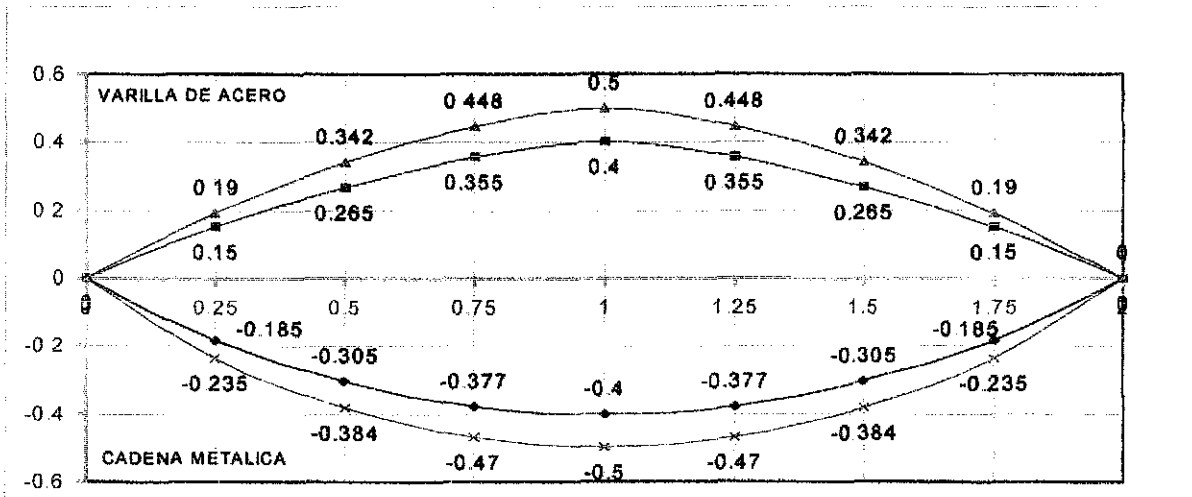
# CATENARIAS

4 METROS		20%	25%	20%	25%	20%	25%
ABSISA	VARILLA	VARILLA	CADENA	CADENA	CALCULO ANALITICO		
X	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.317	0.455	-0.372	-0.458	-0.35936	-0.45408	-0.45408
1	0.565	0.76	-0.612	-0.767	-0.60709	-0.76306	-0.76306
1.5	0.734	0.945	-0.758	-0.946	-0.75221	-0.94156	-0.94156
2	0.8	1	-0.8	-1	-0.8	-1	-1
2.5	0.734	0.945	-0.758	-0.946	-0.75221	-0.94156	-0.94156
3	0.565	0.76	-0.612	-0.767	-0.60709	-0.76306	-0.76306
3.5	0.317	0.455	-0.372	-0.458	-0.35936	-0.45408	-0.45408
4	0	0	0	0	0	0	0



### CATENARIAS

2 METROS		20%	25%	20%	25%	20%	25%
ABSISA	VARILLA	VARILLA	CADENA	CADENA	CALCULO ANALITICO	CALCULO ANALITICO	CALCULO ANALITICO
X	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.15	0.19	-0.185	-0.235	-0.17968	-0.2274	-0.38153
0.5	0.265	0.342	-0.305	-0.384	-0.30355	-0.47078	-0.47078
0.75	0.355	0.448	-0.377	-0.47	-0.3761	-0.5	-0.5
1	0.4	0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.47078	-0.47078
1.25	0.355	0.448	-0.377	-0.47	-0.3761	-0.38153	-0.38153
1.5	0.265	0.342	-0.305	-0.384	-0.30355	-0.2274	-0.2274
1.75	0.15	0.19	-0.185	-0.235	-0.17968	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0



Como se observa en las gráficas anteriores es bastante válida la catenaria obtenida por una cadena metálica, por lo que procederemos a sobreponer el trazo anterior a cinco bóvedas ya construídas de diferentes formas, tamaños y tipo de construcción, las cuales fueron:

**La primera**, una bóveda sensiblemente **cuadrada** ( 3.815 m. X 4.17 m. ) resuelta a manera de **pañuelo**.

**La segunda**, una bóveda de planta **exagonal** (de 3.76 m. de distancia entre vértices opuestos) y resuelta como bóveda de **platillo**.

**La tercera**, una bóveda **rectangular** ( 3.24 m. X 5.84 m.) resuelta como bóveda de **pañuelo**.

**La cuarta** bóveda de planta en **triángulo equilátero** (3.76 m. por lado).

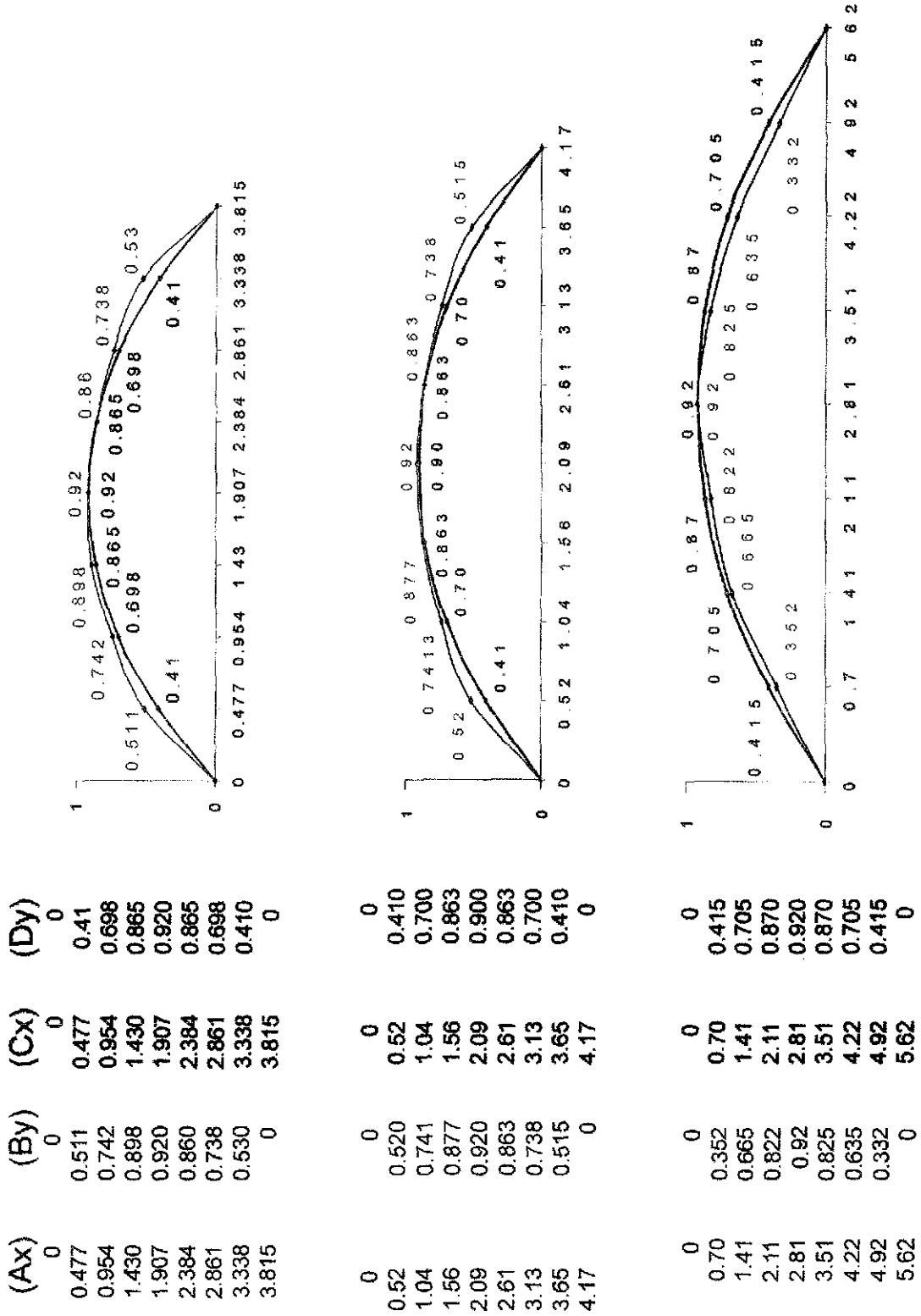
**La quinta** y última una bóveda **rectangular** (1.50 m. X 2.75 m.) resuelta como una bóveda de cañón.

La sobreposición se realizó haciendo coincidir tres puntos registrados tanto en la bóveda como en la catenaria (arranques y contraflecha máxima), se trazaron las graficas de manera inversa en lo que respecta a la cadena (anticatenaria).

**Las circunferencias.** Así mismo, a continuación se procederá a comparar las cinco bóvedas antes descritas con el trazo de una circunferencia a través del ordenador, ya que siendo ésta un trazo muy sencillo de realizar en la albañilería quisimos investigar qué tan cercano podría ser éste de la geometría de las bóvedas.

**Perfiles de diversas bóvedas  
sobrepuestos al trazo de catenarias**

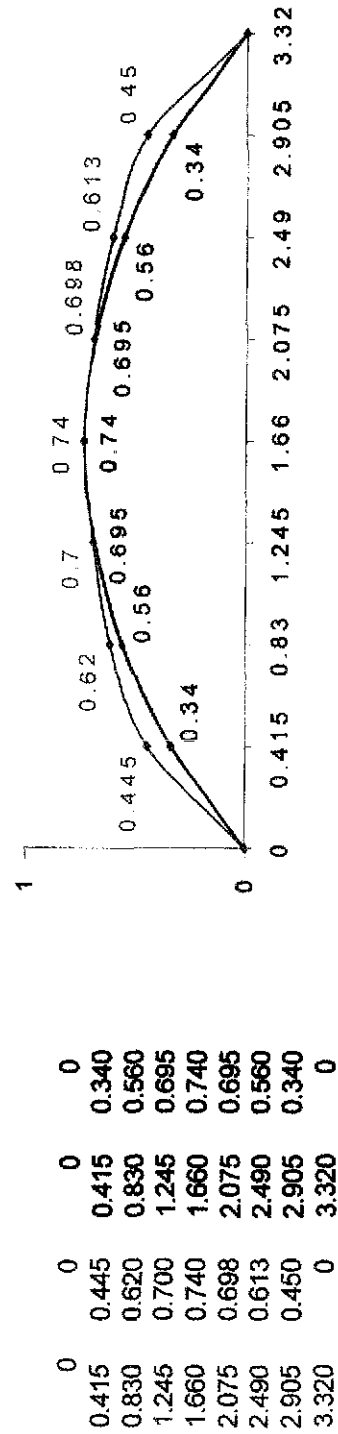
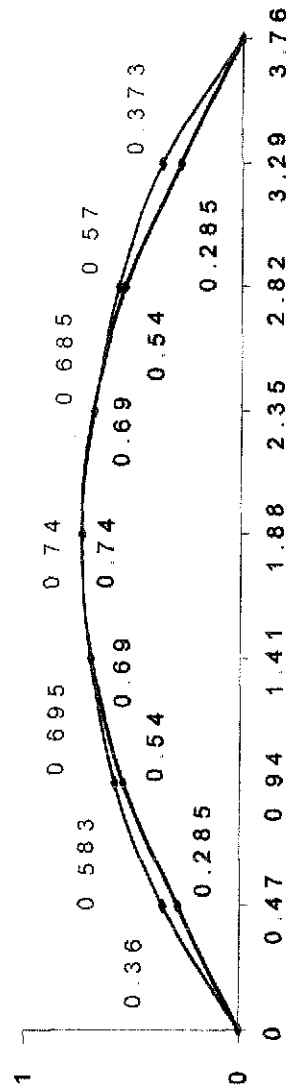
**PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By) 3.815 X 4.17, SOBREPUESTOS A UNA CATENARIA (Cx-Dy). LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO).**



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax,By), DE PLANTA EXAGONAL DE 3.76 DE DIÁMETRO ENTRE VÉRTICES, SOBREPUESTOS A LAS CATENARIAS (Cx-Dy), CORTES ENTRE VÉRTICES Y ENTRE LADOS PARALELOS (TIPO DE BÓVEDA PLATILLO).**

(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.47	0.360	0.47	0.285
0.94	0.583	0.94	0.540
1.41	0.695	1.41	0.690
1.88	0.740	1.88	0.740
2.35	0.685	2.35	0.690
2.82	0.570	2.82	0.540
3.29	0.373	3.29	0.285
3.76	0	3.76	0



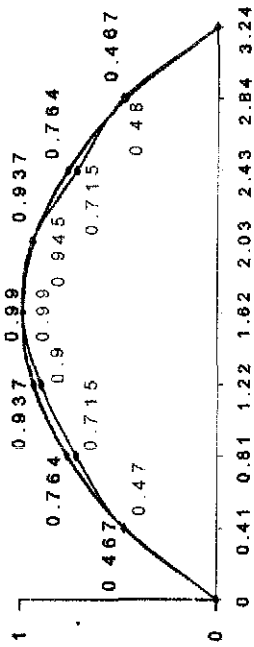
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



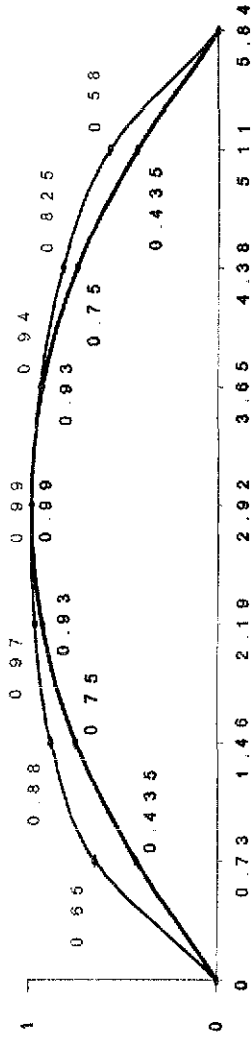
**PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By), DE 3.24 X 5.84 SOBREPUESTOS A UNA CATENARIA (Cx-Dy). LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO).**

(Ax) (By) (Cx) (Dy)

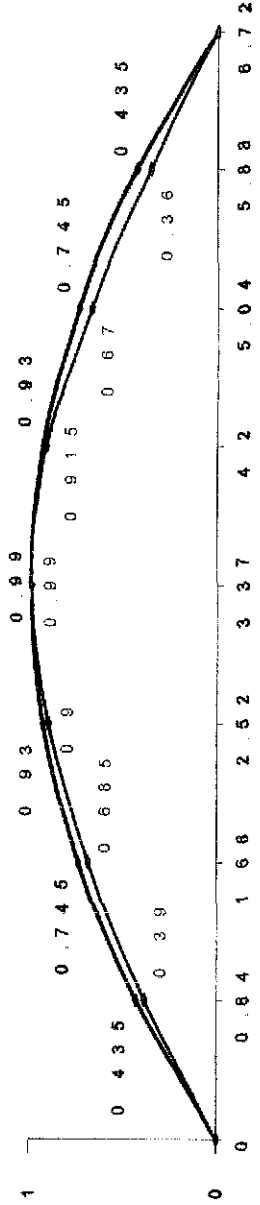
0	0	0	0
0.410	0.470	0.410	0.467
0.810	0.715	0.810	0.764
1.220	0.900	1.220	0.937
1.620	0.990	1.620	0.990
2.030	0.945	2.030	0.937
2.430	0.715	2.430	0.764
2.840	0.480	2.840	0.467
3.240	0	3.240	0



0	0	0	0
0.73	0.65	0.73	0.435
1.46	0.88	1.46	0.750
2.19	0.97	2.19	0.930
2.92	0.99	2.92	0.990
3.65	0.94	3.65	0.930
4.38	0.83	4.38	0.750
5.11	0.58	5.11	0.435
5.84	0	5.84	0



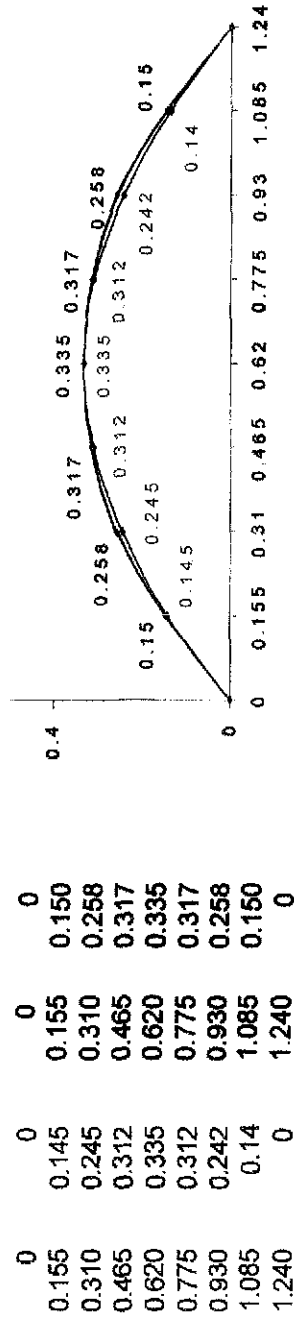
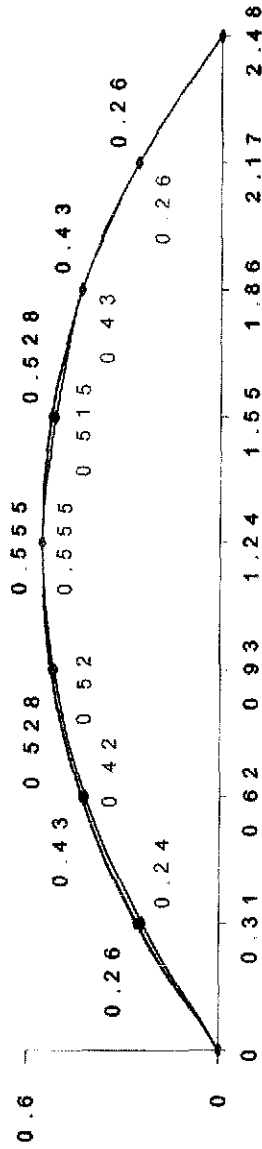
0	0	0	0
0.84	0.39	0.84	0.435
1.68	0.685	1.68	0.745
2.52	0.9	2.52	0.930
3.37	0.99	3.37	0.990
4.20	0.915	4.20	0.930
5.04	0.67	5.04	0.745
5.88	0.36	5.88	0.435
6.72	0	6.72	0



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax-By) DE PLANTA EN TRIANGULO EQUILÁTERO DE 3.76 POR LADO, SOBREPUESTOS A LAS CATENARIAS (Cx-Dy), A UN TERCIO Y A DOS TERCIOS DE LA ALTURA.**

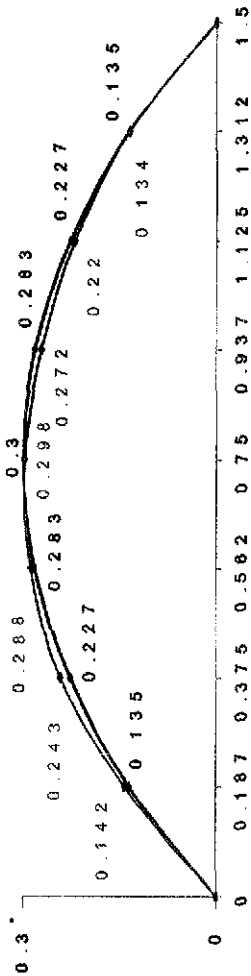
(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.31	0.240	0.31	0.260
0.62	0.420	0.62	0.430
0.93	0.520	0.93	0.528
1.24	0.555	1.24	0.555
1.55	0.515	1.55	0.528
1.86	0.430	1.86	0.430
2.17	0.260	2.17	0.260
2.48	0	2.48	0



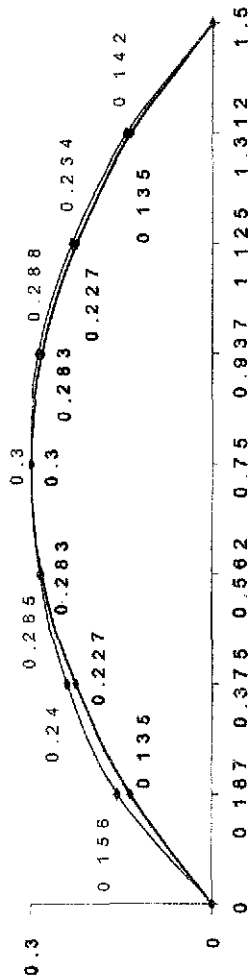
**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR DE (Ax-By), DE 1.50 X 2.75 SOBREPUESTOS A UNA CATENARIA (Cx-Dy). LADO CORTO A 1/4 DEL CLARO LARGO, LADO CORTO A 1/2 DEL CLARO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA DE CAÑÓN).**

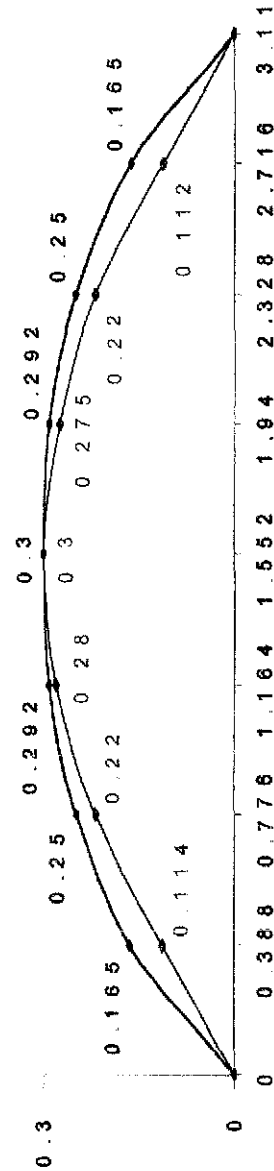
(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.187	0.142	0.187	0.135
0.375	0.243	0.375	0.227
0.562	0.288	0.562	0.283
0.750	0.298	0.750	0.300
0.937	0.272	0.937	0.283
1.125	0.220	1.125	0.227
1.312	0.134	1.312	0.135
1.500	0	1.500	0



0	0	0	0
0.187	0.156	0.187	0.135
0.375	0.240	0.375	0.227
0.562	0.285	0.562	0.283
0.750	0.300	0.750	0.300
0.937	0.288	0.937	0.283
1.125	0.234	1.125	0.227
1.312	0.142	1.312	0.135
1.500	0	1.500	0



0	0	0	0
0.388	0.114	0.388	0.165
0.776	0.220	0.776	0.250
1.164	0.280	1.164	0.292
1.552	0.300	1.552	0.300
1.940	0.275	1.940	0.292
2.328	0.220	2.328	0.250
2.716	0.112	2.716	0.165
3.110	0	3.110	0



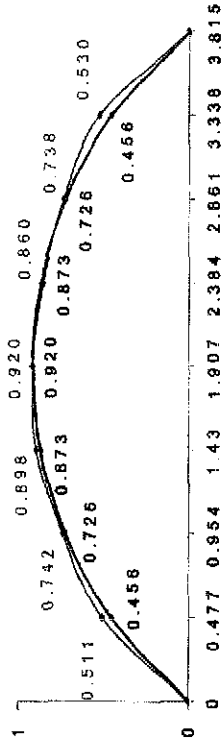
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como se ha podido observar en la sobreposición de los perfiles anteriores entre catenarias y cúpulas ya construidas no existe un patrón ni de coincidencia ni de diferencia, ya que, algunas veces son muy semejantes, otras la catenaria pasa por abajo de la cúpula, otras veces por arriba, y hasta por abajo y arriba de una misma; alguna vez la diferencia es mínima, en otras rebasa los 20 cm; ante tal circunstancia hemos decidido contrastar los perfiles de las cúpulas anteriores con el trazo de arcos de circunferencia.

**Perfiles de diversas bóvedas  
sobrepuestos al trazo  
de arcos de circunferencia.**

**PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By) 3.815 X 4.17, SOBRE ARCOS DE CIRCUNFERENCIA (Cx-Dy). LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO).**

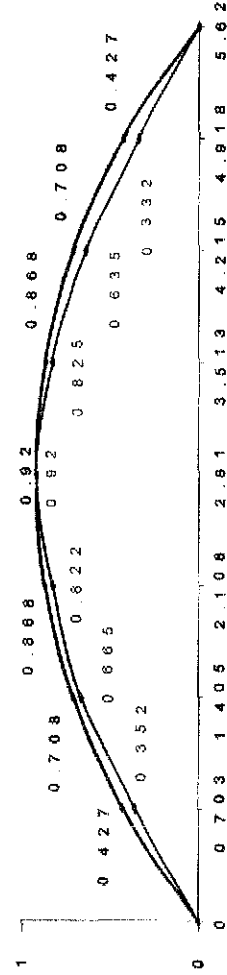
(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.477	0.511	0.477	0.456
0.954	0.742	0.954	0.726
1.430	0.898	1.430	0.873
1.907	0.920	1.907	0.920
2.384	0.860	2.384	0.873
2.861	0.738	2.861	0.726
3.338	0.530	3.338	0.456
3.815	0	3.815	0



0	0	0	0
0.521	0.520	0.521	0.447
1.043	0.741	1.042	0.720
1.564	0.877	1.564	0.871
2.085	0.920	2.085	0.900
2.606	0.863	2.606	0.871
3.128	0.738	3.128	0.720
3.649	0.515	3.649	0.447
4.170	0	4.170	0



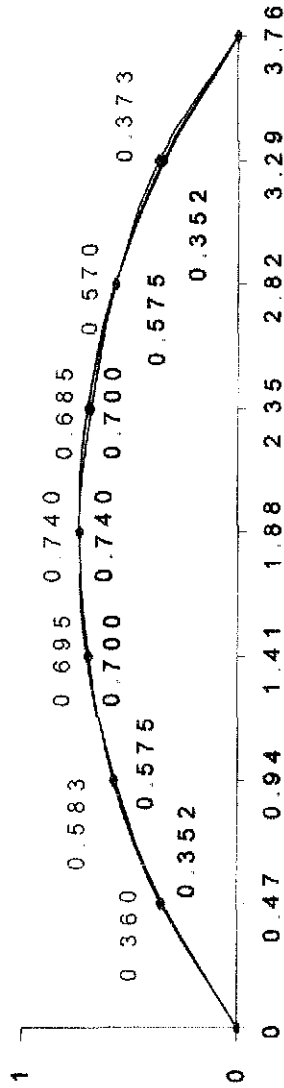
0	0	0	0
0.703	0.352	0.703	0.427
1.405	0.665	1.405	0.708
2.108	0.822	2.108	0.868
2.810	0.920	2.810	0.920
3.513	0.825	3.513	0.868
4.215	0.635	4.215	0.708
4.918	0.332	4.915	0.427
5.620	0	5.620	0



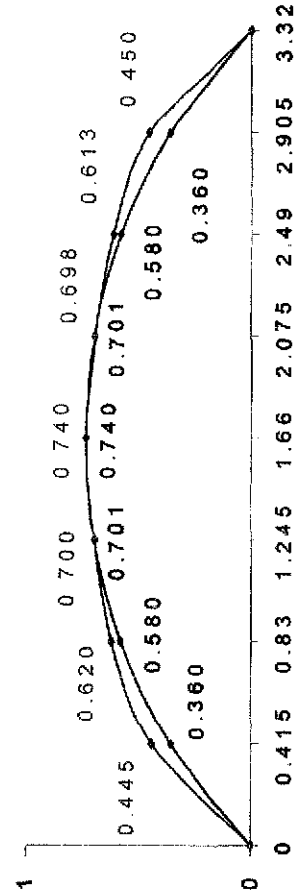
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax,By), DE PLANTA EXAGONAL DE 3.76 DE DIÁMETRO ENTRE VÉRTICES, SOBREPUESTOS A ARCOS DE CIRCUNFERENCIAS (Cx-Dy), CORTES ENTRE VÉRTICES Y ENTRE LADOS PARALELOS (TIPO DE BÓVEDA PLATILLO).

(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.47	0.360	0.47	0.352
0.94	0.583	0.94	0.575
1.41	0.695	1.41	0.700
1.88	0.740	1.88	0.740
2.35	0.685	2.35	0.700
2.82	0.570	2.82	0.575
3.29	0.373	3.29	0.352
3.76	0	3.76	0



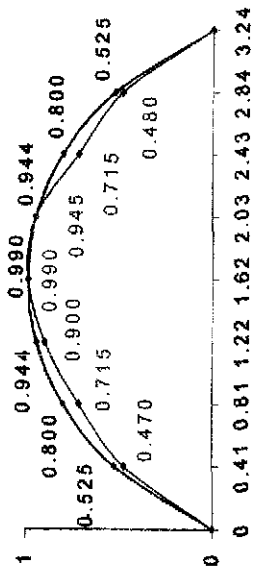
0	0	0	0
0.415	0.445	0.415	0.360
0.830	0.620	0.830	0.580
1.245	0.700	1.245	0.701
1.660	0.740	1.660	0.740
2.075	0.698	2.075	0.701
2.490	0.613	2.490	0.580
2.905	0.450	2.905	0.360
3.320	0	3.320	0



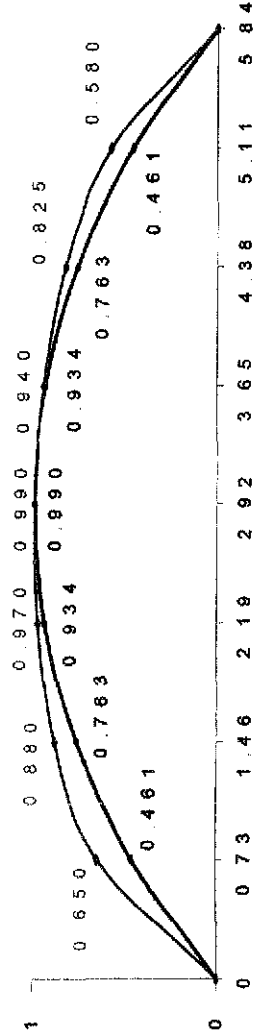
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By), DE 3.24 X 5.84 SOBREPUESTOS  
 A ARCOS DE CIRCUNFERENCIA (Cx-Dy).  
 LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO).

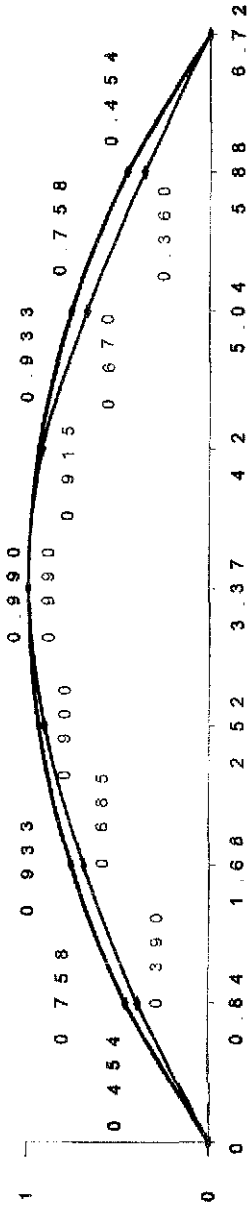
(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.41	0.470	0.41	0.525
0.81	0.715	0.81	0.800
1.22	0.900	1.22	0.944
1.62	0.990	1.62	0.990
2.03	0.945	2.03	0.944
2.43	0.715	2.43	0.800
2.84	0.480	2.84	0.525
3.24	0	3.24	0



0	0	0	0
0.73	0.65	0.73	0.461
1.46	0.88	1.46	0.763
2.19	0.97	2.19	0.934
2.92	0.99	2.92	0.990
3.65	0.94	3.65	0.934
4.38	0.83	4.38	0.763
5.11	0.58	5.11	0.461
5.84	0	5.84	0



0	0	0	0
0.84	0.390	0.84	0.454
1.68	0.685	1.68	0.758
2.52	0.900	2.52	0.933
3.37	0.990	3.37	0.990
4.20	0.915	4.20	0.930
5.04	0.670	5.04	0.758
5.88	0.360	5.88	0.454
6.72	0	6.72	0

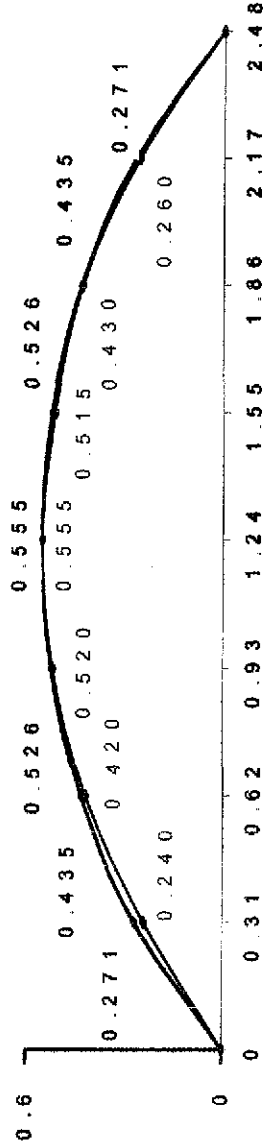


TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

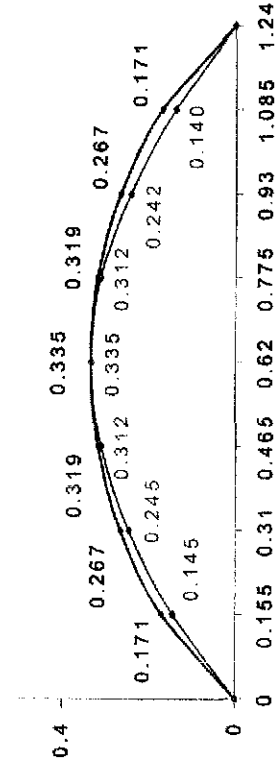


**PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax-By) DE PLANTA EN TRIANGULO EQUILÁTERO DE 3.76 POR LADO, SOBREPUESTOS A ARCOS DE CIRCUNFERENCIAS (Cx-Dy), A UN TERCIO Y A DOS TERCIOS DE LA ALTURA.**

(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.31	0.240	0.31	0.271
0.62	0.420	0.62	0.435
0.93	0.520	0.93	0.526
1.24	0.555	1.24	0.555
1.55	0.515	1.55	0.526
1.86	0.430	1.86	0.435
2.17	0.260	2.17	0.271
2.48	0	2.48	0



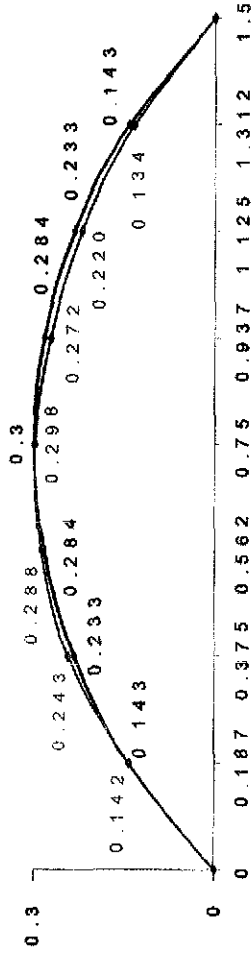
0	0	0	0
0.155	0.145	0.155	0.171
0.310	0.245	0.310	0.267
0.465	0.312	0.465	0.319
0.620	0.335	0.620	0.335
0.775	0.312	0.775	0.319
0.930	0.242	0.930	0.267
1.085	0.14	1.085	0.171
1.240	0	1.240	0



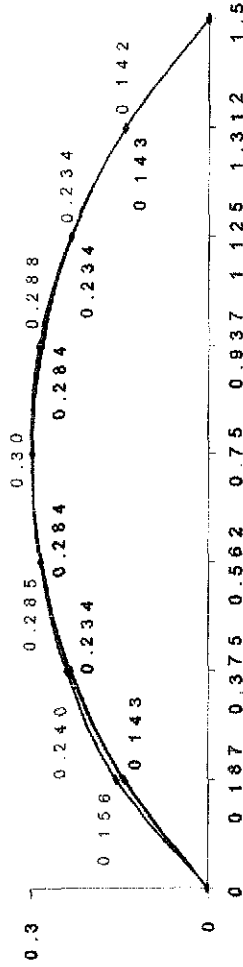
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR DE (Ax-By), DE 1.50 X 2.75 SOBREPUESTOSA  
 ARCOS DE CIRCUNFERENCIAS (Cx-Dy).  
 LADO CORTO A 1/4 DEL CLARO LARGO, LADO CORTO A 1/2 DEL CLARO LARGO Y DIAGONAL  
 (TIPO DE BÓVEDA DE CAÑÓN).**

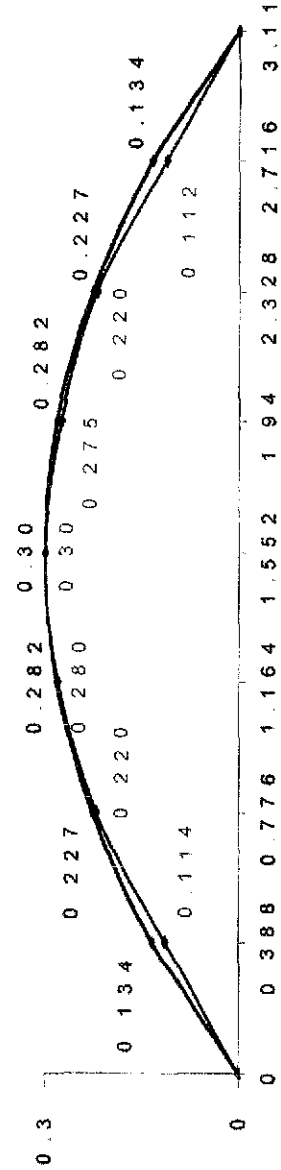
(Ax)	(By)	(Cx)	(Dy)
0	0	0	0
0.187	0.142	0.187	0.143
0.375	0.243	0.375	0.233
0.562	0.288	0.562	0.284
0.750	0.298	0.750	0.300
0.937	0.272	0.937	0.284
1.125	0.220	1.125	0.233
1.312	0.134	1.312	0.143
1.500	0	1.500	0



0	0	0	0
0.187	0.156	0.187	0.143
0.375	0.240	0.375	0.234
0.562	0.285	0.562	0.284
0.750	0.300	0.750	0.300
0.937	0.288	0.937	0.284
1.125	0.234	1.125	0.234
1.312	0.142	1.312	0.143
1.500	0	1.500	0



0	0	0	0
0.388	0.114	0.388	0.134
0.776	0.220	0.776	0.227
1.164	0.280	1.164	0.282
1.552	0.300	1.552	0.300
1.940	0.275	1.940	0.282
2.328	0.220	2.328	0.227
2.716	0.112	2.716	0.134
3.110	0	3.110	0

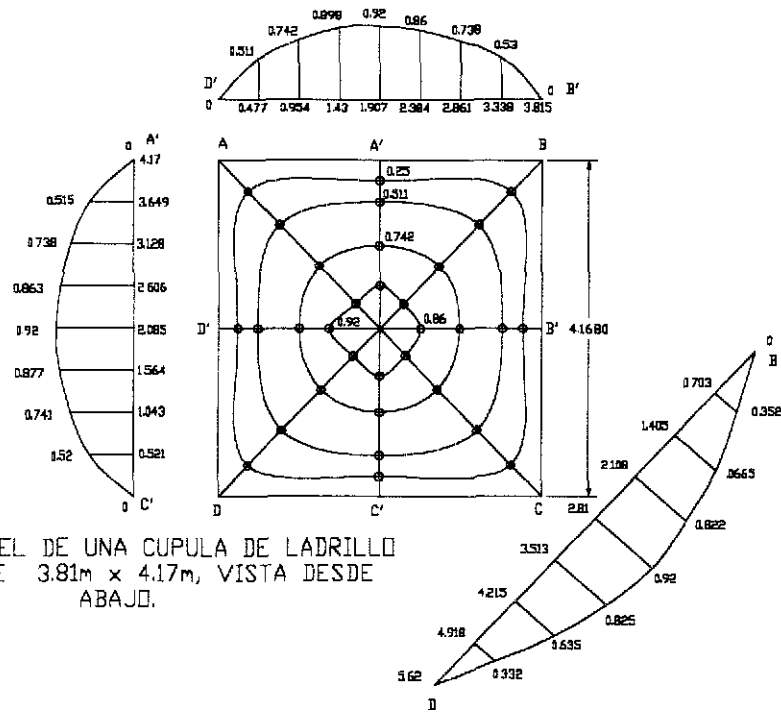


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

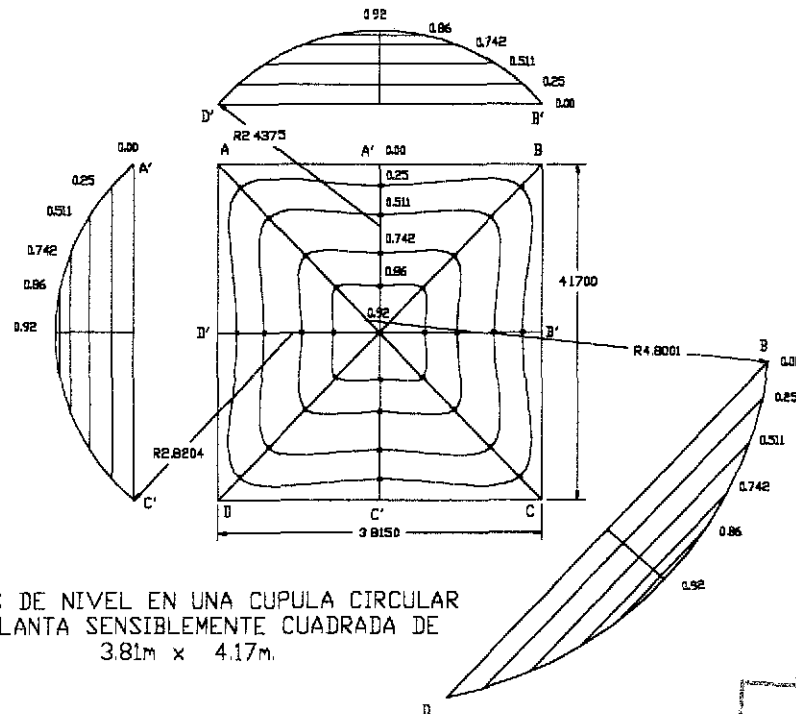
Cómo ninguna de las comparaciones hechas hasta ahora nos ha dado una respuesta contundente decidimos establecer un nuevo punto de vista en el cotejo de los datos, ahora a través de las montañas correspondientes.

### MONTEAS COMPARATIVAS DE LAS CURVAS DE NIVEL

Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas de planta sensiblemente cuadrada, una ya construída y la otra a partir del trazo geométrico preciso —arcos de circunferencias con tres radios principales ( lado corto, lado largo y diagonales).



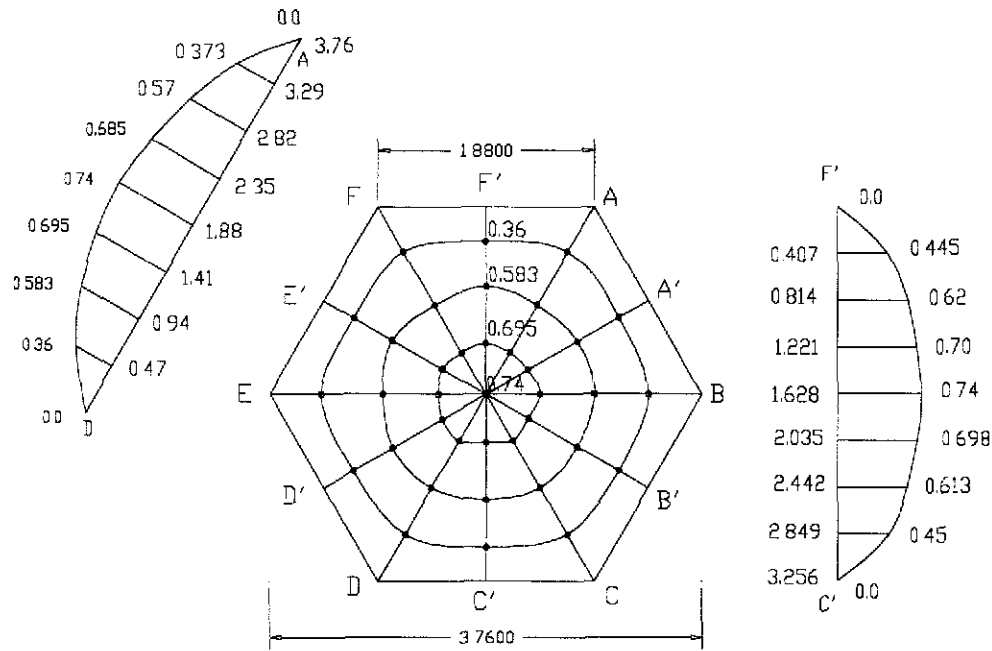
CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA DE LADRILLO TIPO 'PANUELO' DE 3.81m x 4.17m, VISTA DESDE ABAJO.



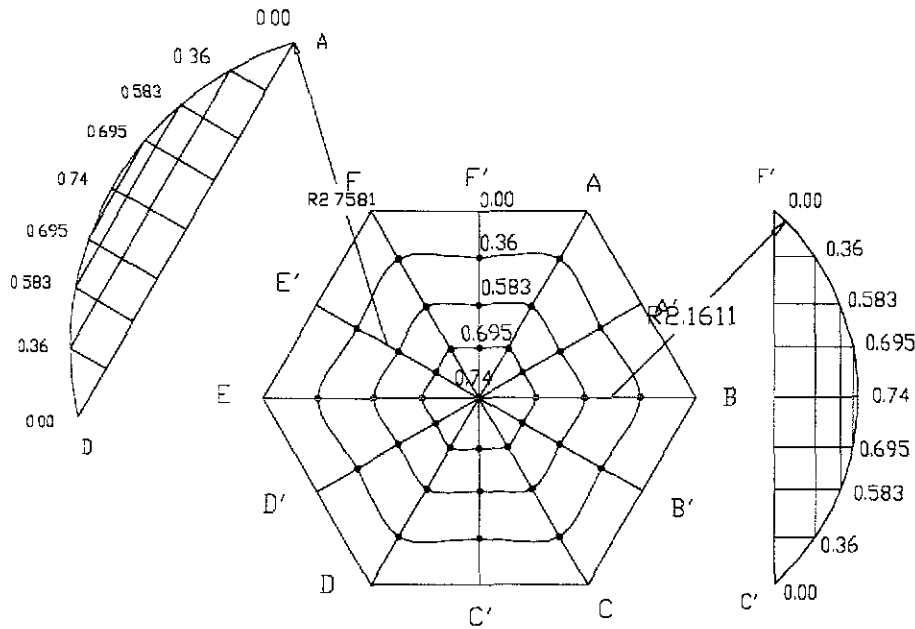
CURVAS DE NIVEL EN UNA CUPULA CIRCULAR DE PLANTA SENSIBLEMENTE CUADRADA DE 3.81m x 4.17m.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas exagonales, una ya construida y la otra a partir del trazo geométrico preciso con dos radios principales ( lado corto y lado largo entre vértices).

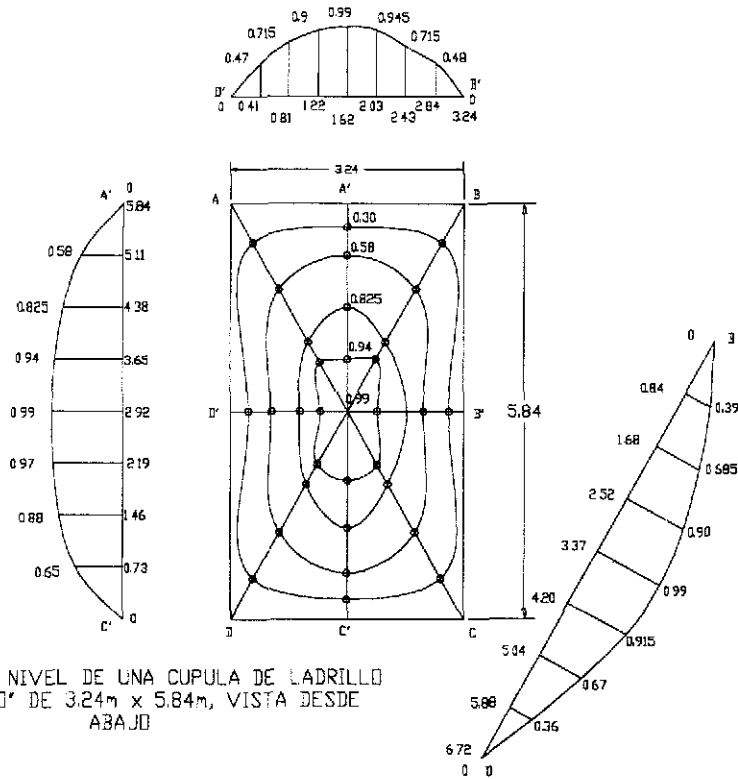


CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA DE LADRILLO DE PLANTA EXAGONAL DE 3.76m DE DIAMETRO ENTRE VERTICES

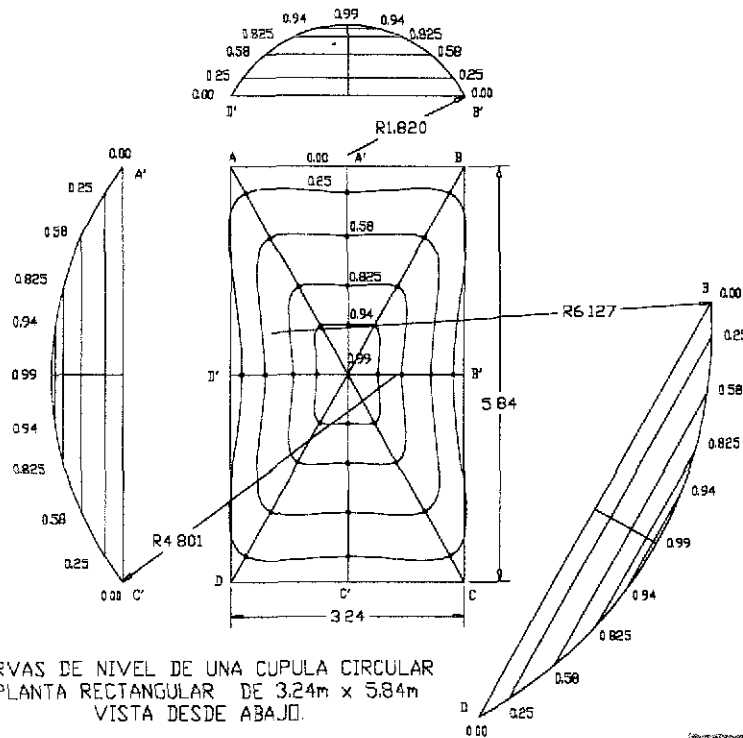


CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA CIRCULAR DE PLANTA EXAGONAL DE 3.76m DE DIAMETRO ENTRE VERTICES

Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas rectangulares, una ya construida y la otra a partir del trazo geométrico preciso con tres radios principales ( lado corto, lado largo y radio máximo por la diagonal).



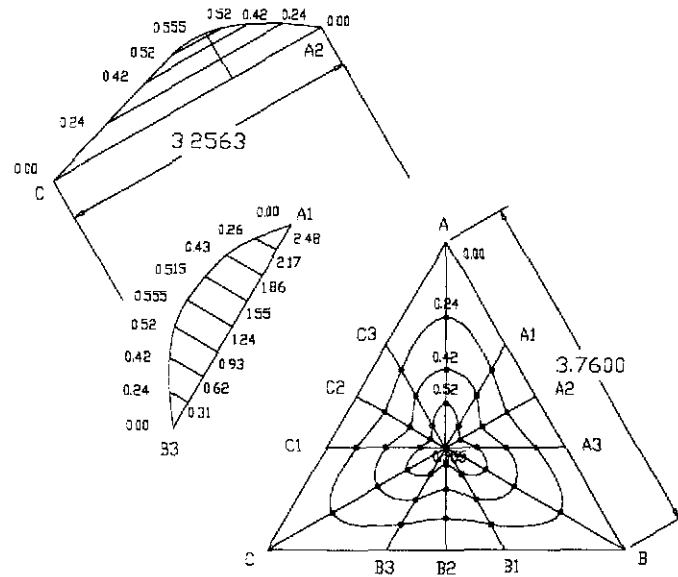
CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA DE LADRILLO TIPO 'PANUELO' DE 3.24m x 5.84m, VISTA DESDE ABAJO



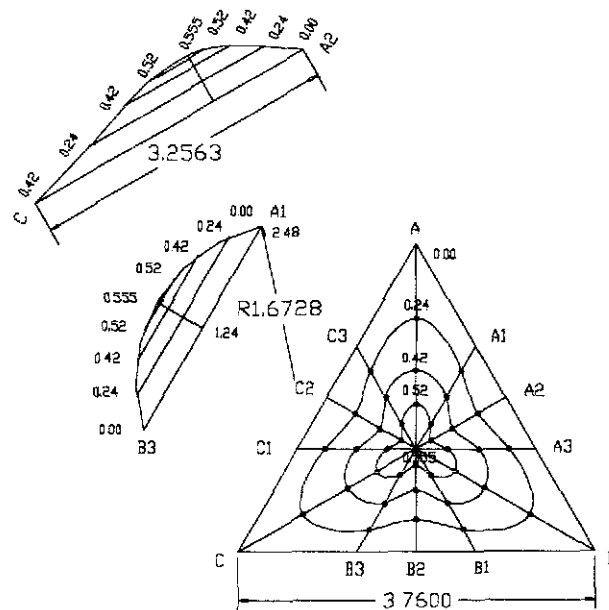
CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA CIRCULAR DE PLANTA RECTANGULAR DE 3.24m x 5.84m VISTA DESDE ABAJO.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas triangulares( equiláteras), una ya construída y la otra a partir del trazo geométrico preciso con un sólo centro de radio localizado en la proyección del centroide.



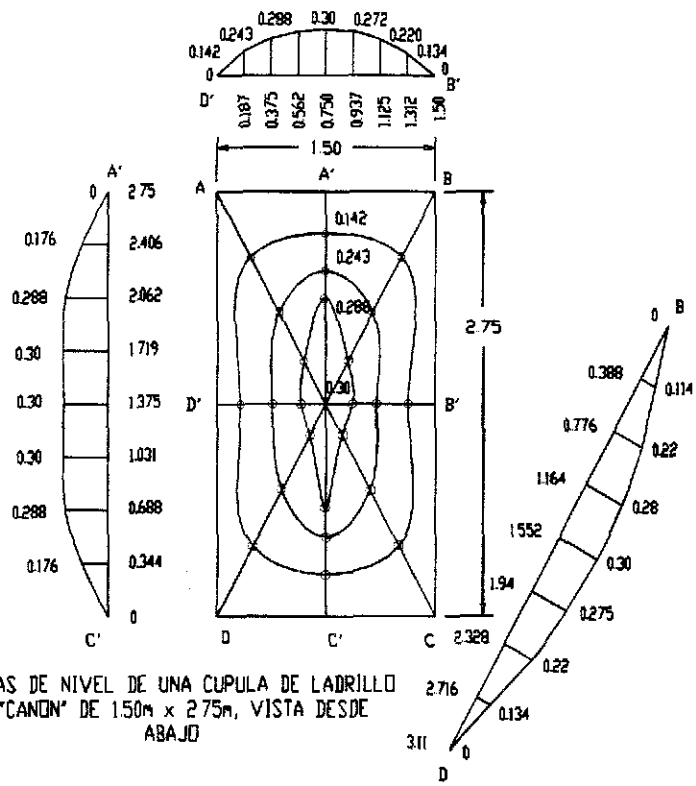
CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA DE LADRILLO DE PLANTA EN TRIANGULO EQUILATERO DE 3.76m DE LADO VISTA DESDE ABAJO.



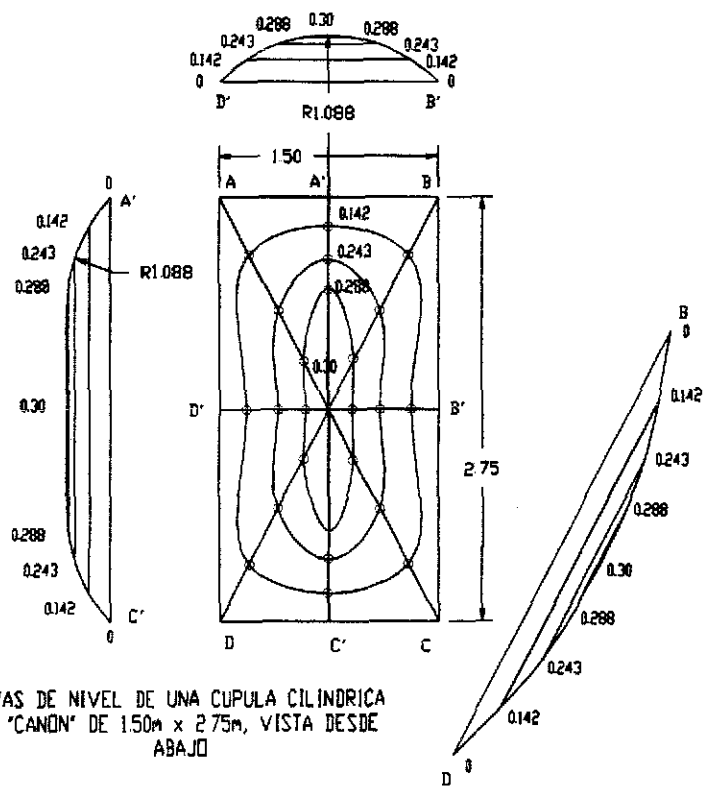
CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA CIRCULAR DE PLANTA EN TRIANGULO EQUILATERO DE 3.76m DE LADO VISTA DESDE ABAJO.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Comparativo entre las curvas de nivel en dos cúpulas rectangulares de las llamadas de "cañón", una ya contruida y la otra a partir del trazo geométrico preciso, con dos radios principales (centro del cañón y arranque de la cúpula).



CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA DE LADRILLO TIPO 'CANON' DE 1.50m x 2.75m, VISTA DESDE ABAJO



CURVAS DE NIVEL DE UNA CUPULA CILINDRICA TIPO 'CANON' DE 1.50m x 2.75m, VISTA DESDE ABAJO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



### CONCLUSIONES RESPECTO A LA GEOMETRÍA DE LAS CÚPULAS DE LADRILLO

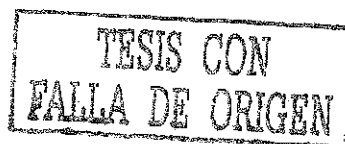
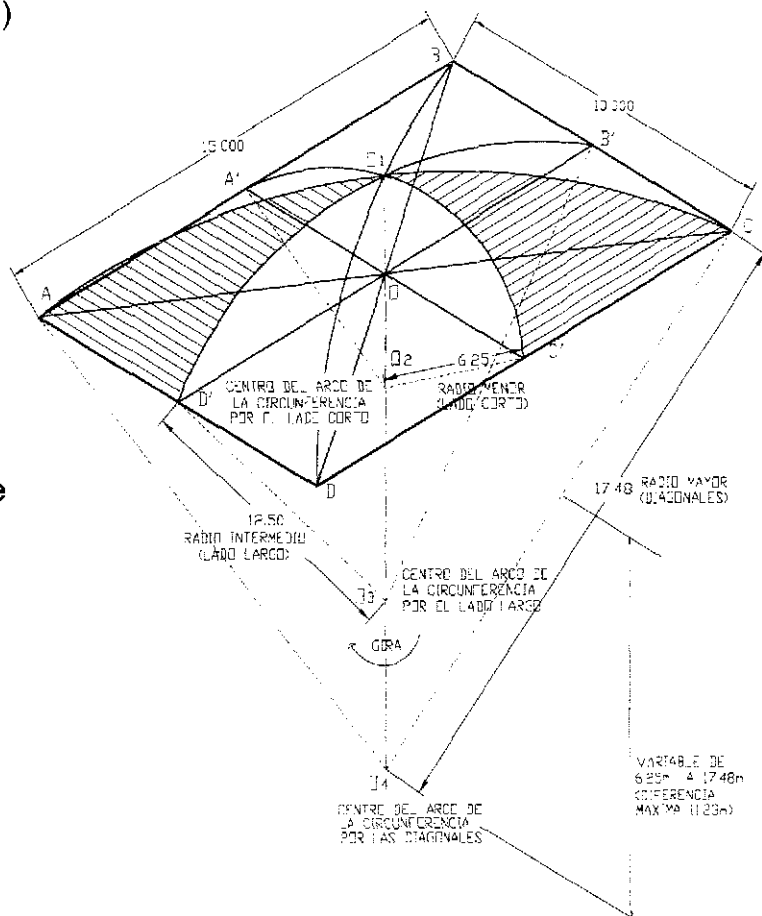
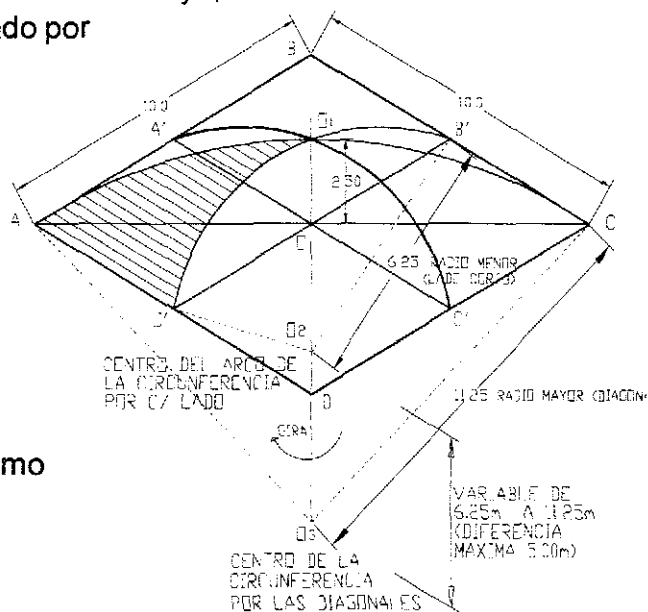
Creemos que entre más competente es el operario que las construye, las cúpulas de ladrillo se acercan más al manto generado por varias circunferencias con varios radios principales.

Circunferencias que pasan por cada uno de los ejes de la planta (en las cúpulas de planta cuadrada)  $D' O_1 B'$  también  $A' O_1 C'$  y como centro  $O_2$  el radio  $O_2 D'$  gira sobre el eje  $O_1 O O_2$  y genera el manto  $D' A O_1$  para lo cual el centro  $O_2$  deberá desplazarse hasta  $O_3$  generando en cada infinitésimo un arco diferente que dará como resultado el manto correspondiente.

Para cúpulas de planta rectangular se presenta el mismo caso que el anterior, solo que ahora son tres arcos principales a saber :  
 arco por el lado corto  $A' O_1 C'$  (centro en  $O_2$ )  
 arco por el lado largo  $D' O_1 B'$  (centro en  $O_3$ )  
 arco por las diagonales  $A O_1 C$  (centro en  $O_4$ )  
 y arcos simétricos.

Así mismo el centro  $O_2$  deberá desplazarse hasta  $O_3$  y  $O_4$ , al mismo tiempo que gira sobre su propio eje generando en cada infinitésimo un arco diferente que dará como resultado el manto de la cúpula correspondiente.

De la misma manera se deben interpretar otras cúpulas, ya sea de planta exagonal (dos radios) o triangular (un radio) solamente de planta regular.



## COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ARCOS, BÓVEDAS Y CÚPULAS.

Al realizar la presente investigación fue inevitable tocar información respecto a la estabilidad y esfuerzos que en éste tipo de estructuras suceden, de tal manera que aunque no esta contemplado en el título abriremos un capítulo de conclusiones al respecto.

Al señalar el comportamiento estructural de bóvedas y cúpulas, ahora sí nos referimos a la definición tradicional de éstas, es decir, los arcos y las bóvedas se consideran como edificaciones con generatriz curva que cubren el espacio comprendido entre dos muros o varios pilares, en el caso de las cúpulas como cubiertas de doble curvatura o sinclásticas, generalmente éstas estan constituídas por la cáscara y un anillo de borde.

Cuando se da tal forma a un elemento en la construcción con la finalidad de suprimir los esfuerzos de flexión por tensiones axiales, es cuando, estamos consiguiendo el trabajo más efectivo del material. Este conocimiento era conocido desde los Sirios pero fué hasta 1695 que los físicos Parent y De la Hire analizaron las condiciones estáticas de una bóveda como un problema matemático; en el libro "Traité de mecanique" de los mismos autores, se afirma que en un arco realizado con dovelas en las que no existiera rozamiento entre ellas, la resultante del peso de cada piedra y el empuje recibido por ella a la dovela anterior, debe de ser perpendicular a la junta con la siguiente y así quedar asegurada la estabilidad de ésta.

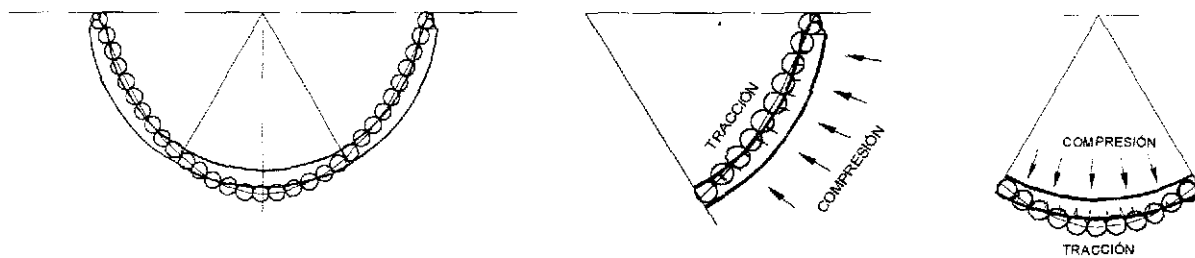
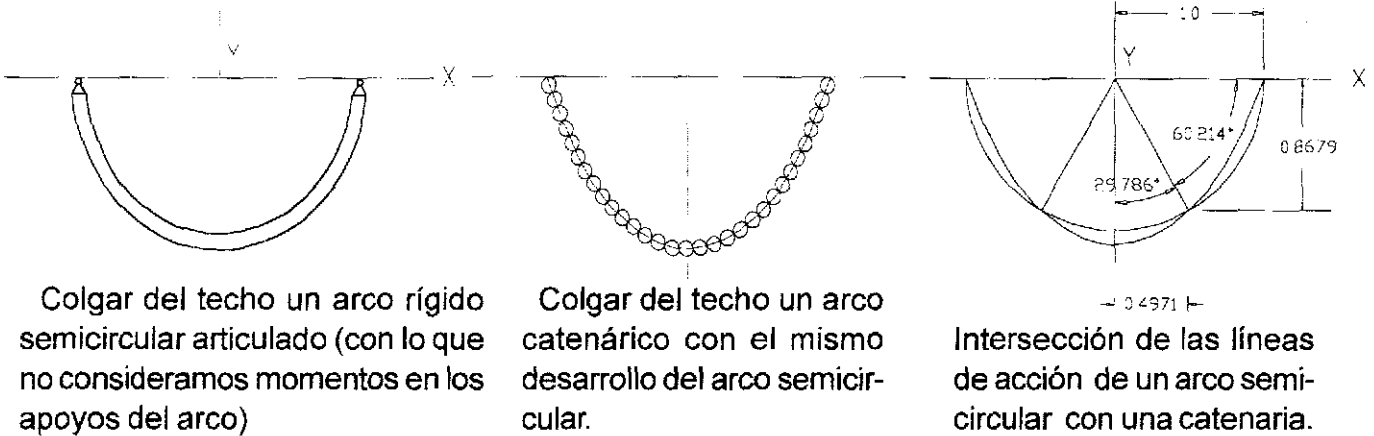
Otro autor que analiza las propiedades de la catenaria ("Properties of the Catenaria") es el matemático de origen escocés D. Gregory quien resume lo anterior diciendo que el eje del arco teóricamente preciso debe tener la forma de una catenaria a la inversa.

En el año de 1748, un ingeniero y matemático italiano de apellido Poleni, llegó a las mismas consideraciones en el desarrollo de su trabajo sobre la cúpula de San Pedro en Roma, dónde aplicó el teorema del paralelogramo que años antes había demostrado Newton.

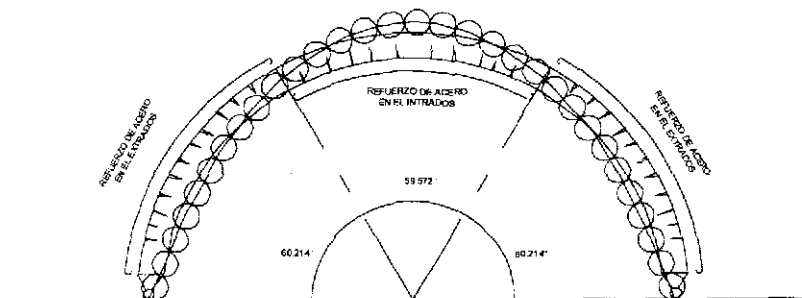
Concretando en el estudio **de arcos y bóvedas de cañón** el equilibrio sin tensiones flectoras se consigue cuándo coinciden el eje del arco con la línea de presiones, lo que de una manera genérica, se dice que una estructura de éstas características está en equilibrio cuándo la línea de presiones se ubique dentro del tercio medio del arco.

En caso de una bóveda con generatriz semicircular en la cual, la línea de presiones no viaja por el núcleo del arco, ésta presentará esfuerzos flectores y cambian de signo en el punto de inflexión en que se cruza la línea de esfuerzos, ésto se puede conocer graficamente sobreponiendo a la circunferencia del arco una catenaria apoyada en los mismos puntos de la semicircunferencia y que tenga el mismo desarrollo de ésta.

En el caso de una bóveda con generatriz semicircular, al no contener dentro de su geometría la línea de presiones, presentará esfuerzos flectores, éstos cambian de signo en el punto que cruza la línea de esfuerzos (catenaria) con el eje del arco (semicircunferencia), para localizar este punto se igualarán los desarrollos de la circunferencia y la catenaria, y donde éstos se intersecten será la línea de cambio de esfuerzos.



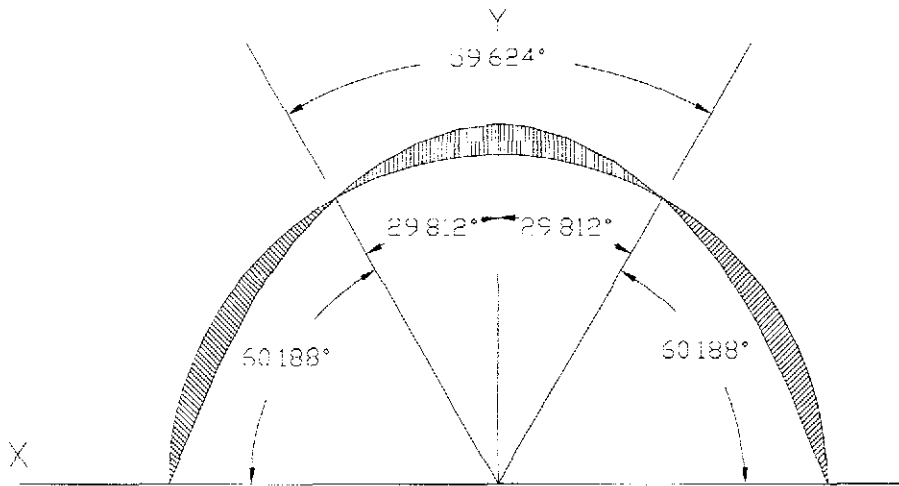
Al sobreponer los perfiles se aprecia con claridad que para que el arco semicircular no tome el perfil de las fuerzas que actúan en el funicular aparecerán dentro del arco los esfuerzos (momentos) de los cuales hablamos. Dichos esfuerzos aparecerán: En el arranque del arco semicircular el cual tiende hacia adentro con lo que requeriría refuerzo en el intradós. En el centro del arco funicular tiende hacia abajo, por lo que necesitaría refuerzo en el extradós.



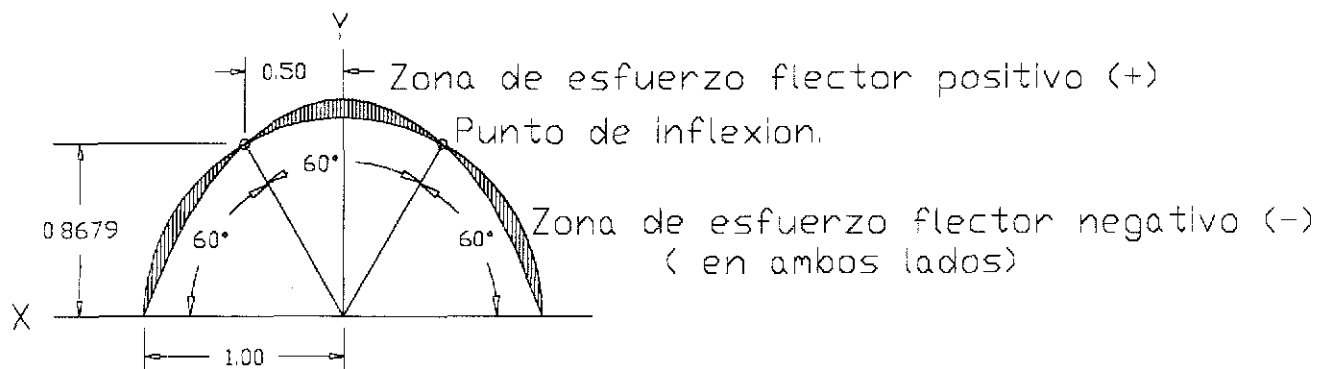
Al invertir el diagrama (antifunicular) también se invierten las condiciones de los momentos por lo que habrá que invertir los refuerzos de acero quedando como aquí se muestran.

Hay que mantener las condiciones de apoyo articulado (no libre) ya que cuando se considera empotrado aparecerán momentos en los apoyos.

Por otro lado, existe debido a los autores citados el desarrollo matemático que comprueba lo anterior, y encontramos que dicho punto de cambio de esfuerzos según Poleni, se localiza a los 29.812 grados a partir de la vertical que pasa por el centro del arco (punto de inflexión) y de ambos lados a manera simétrica, sumando 59.624° que es el punto a partir donde se localiza el esfuerzo flector positivo, así mismo en los ángulos complementarios hasta el eje de las "x" (base del arco) igual a 60.188° corresponde a la zona del esfuerzo flector negativo.(\*)



A continuación tenemos la gráfica de los esfuerzos flectores positivo, negativo y punto de inflexión en arcos o bóvedas de cañón. Debido a que en la albañilería no se pueden manejar fracciones de tres decimales, hemos cerrado a tres ángulos de 60°.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

\*Ver Ontiveros H. M., apuntes especialidad "Cubiertas ligeras", Geometría estructural, Oliva S G. 1999, U.N.A.M

## COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS CÚPULAS.

En los conceptos anteriores se ha dicho, que la catenaria es la línea de presiones en una sección plana, lo que es aceptado en arcos y bóvedas de cañón corrido, pero en el caso de cúpulas no, pues debe hacerse un análisis del corte transversal sin considerar la continuidad del espacio de la superficie ya que ésto daría resultados erróneos.

Como un caso diferente a los anteriores la forma conveniente en una cúpula para evitar los esfuerzos de flexión no depende de una superficie de presiones o condiciones de carga, ya que, la razón principal de ésto, es que en la membrana de una cúpula existen esfuerzos de tracción y compresión.

Tenemos que considerar que la superficie tiene dos direcciones en las cuáles se alojarán los esfuerzos y éstos son a travéz de los meridianos y los paralelos. A diferencia de los arcos y bóvedas en los que los esfuerzos viajan a travéz del arco generatriz.

Según Fred Angerer(\*), Poleni no tomó en cuenta estas determinaciones y consideró como defectos en la construcción que las secciones transversales de las cúpulas analizadas salieran de la línea de presiones.

Para comprobar lo anterior, podemos considerar una maqueta hecha a base de esferas, las cuáles tengan una perforación a manera de perlas de collar para pasar por ahí un resorte que las una. Estas sólo tendrán la posibilidad de tomar esfuerzos de compresión con las mismas esferas y de tracción por el resorte que las une, estando así imposibilitado a tomar flexiones.

Colocando una circunferencia de esferas sobre un plano horizontal se coloca encima de éste, otro con un radio ligeramente menor y así sucesivamente como si fueran los paralelos de una semiesfera, en éste caso tendríamos seguramente un sistema en equilibrio aunque sin la posibilidad de tomar esfuerzos de tracción a travéz de los meridianos.

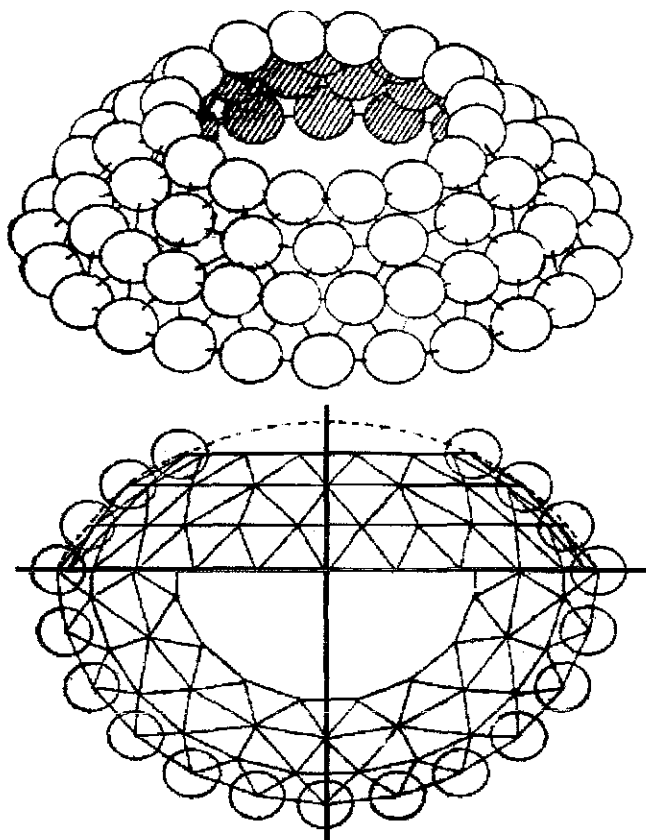
Si a ésta maqueta se le suprimen los paralelos en condiciones alternadas, se presentara una cúpula rebajada que mantendrá su equilibrio, lo que no sería posible en el caso de los arcos.

Lo anterior se comprende debido a que la cúpula-membrana no depende de la forma para su equilibrio, ya que en sí misma tiene lugar una combinación interna en la cuál hay una distribución de esfuerzos en los paralelos y en los meridianos lo que no sería posible en estructuras en un plano.

(\* Angerer F., " Construcción laminar ", Ed. G.G. Barcelona 1964, 2a. Edición

Si observamos con detalle nuestra maqueta, podemos ver que las esferas superiores tienden a apretarse unas con otras y que las de la parte inferior tenderán a separarse con el resorte que las une, ésto es lo que verdaderamente sucede en una cúpula, es decir, que los paralelos superiores trabajan a compresión y los inferiores a tracción quedando los meridianos a compresión.

De lo anterior podemos concluir, que existe un paralelo dónde cambia el esfuerzo de compresión a tracción en la cáscara de la cúpula, es decir, un punto de inflexión dónde el esfuerzo es nulo.



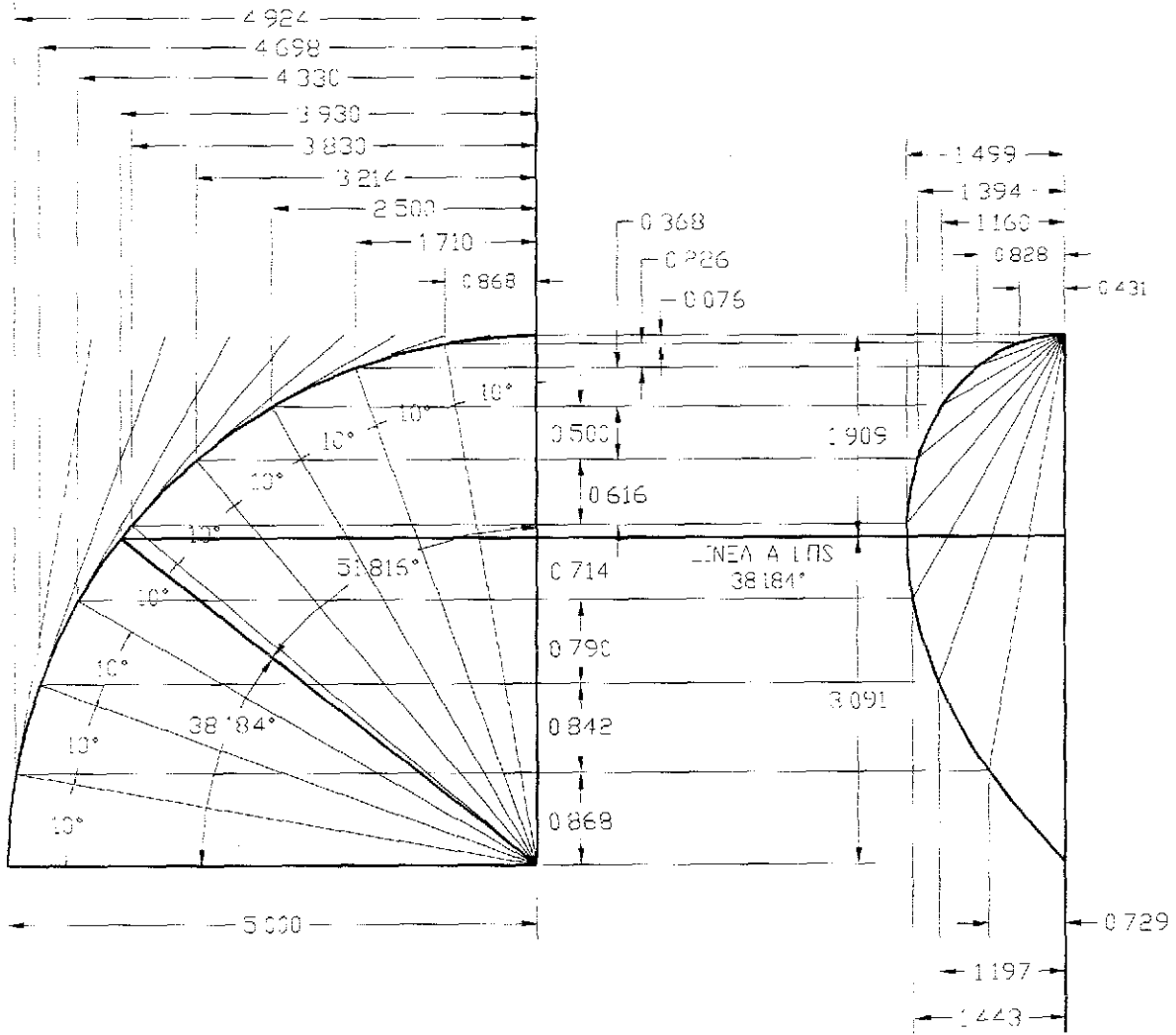
una maqueta hecha a base de esferas, las cuáles tengan una perforación a manera de perlas de collar para pasar por ahí un resorte .

La demostración gráfica de lo anterior consiste en dibujar a escala el perfil de una cúpula y los esfuerzos anulares (paralelos), observaremos que a los **38.184° N de latitud** en terminos geográficos se ubica el paralelo donde no existen esfuerzos de tracción ni de compresión. (\*)

Cabe hacer notar aquí la diferencia de éste punto con respecto a los arcos o bóvedas de cañón.

(\*) Para ver demostración matemática consultar : Olvera L A., Análisis, Cálculo y Diseño de las Bóvedas de cáscara, Ed. C.E C.S.A. Pags. 99, 100, 101.

**Método Gráfico.** En una cúpula se sigue el mismo procedimiento que en el método algebraico, es decir, el peso que gravita en cada sección se descompone en sus componentes, una horizontal y la otra tangente a la cúpula en dicha sección, como a continuación se ilustra.



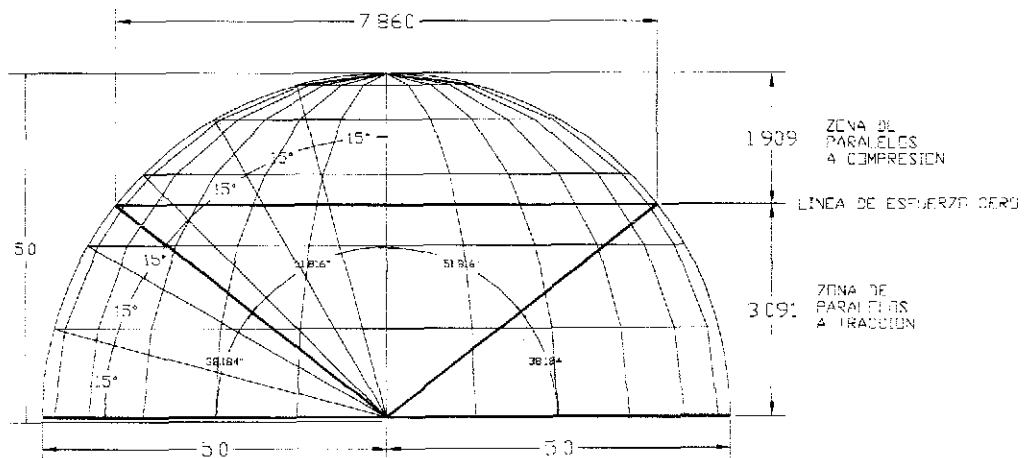
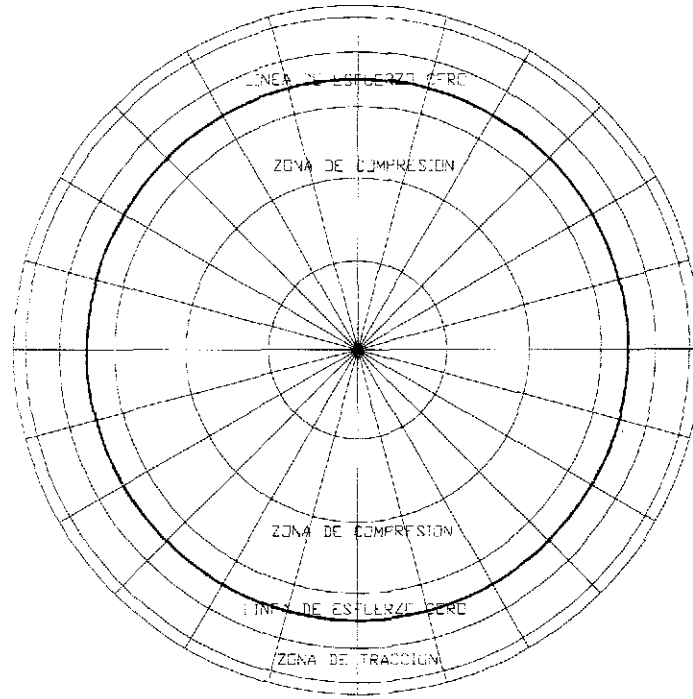
PER-IL DE LA CÚPULA

COMPONENTE HORIZONTAL DE LOS ESFUERZOS EN LOS MERIDIANOS

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### Esfuerzos en una cúpula semiesférica

En una cúpula semiesférica tendremos en los paralelos por arriba de los  $38.184^\circ$  N esfuerzos sólo a compresión, abajo de éste ángulo los esfuerzos sólo son de tracción y precisamente en este punto el esfuerzo es igual a cero. En los meridianos se presenta compresión en todos ellos.



TOODS LOS MERIDIANOS TRABAJAN A COMPRESION EN TODA SU LONGITUD

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



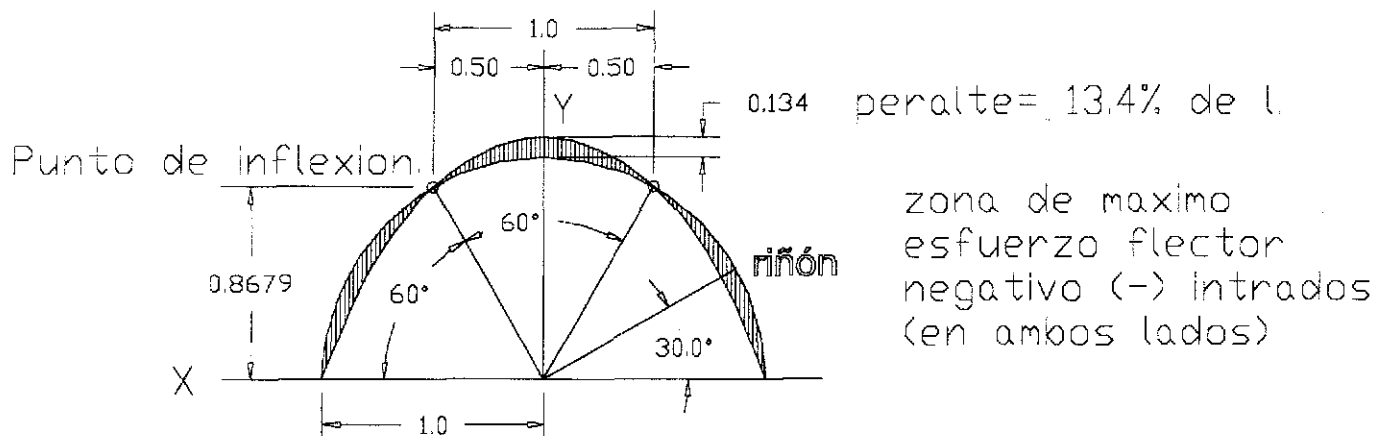
## CONCLUSIONES SOBRE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO EN ARCOS, BOVEDAS DE CAÑÓN Y CÚPULAS.

De acuerdo con el capítulo anterior y con los conocimientos que aportaron Parent y De la Hire, en el "Traité de Mécanique", el matemático escocés D. Gregory ( Properties of the catenaria), así como el ingeniero italiano Poleni podemos concluir lo siguiente :

Cuando un **arco o bóveda de cañón** son de sección circular y el peralte no mayor al 13.4% del claro (arco o bóveda rebajados) éstos estarán trabajando en un esfuerzo flector positivo (+), por lo que necesitará refuerzo en el intradós del arco, ésta zona se localiza desde la cuerda que une los puntos de inflexión y hacia arriba.

Por abajo de ésta cuerda, se localiza la zona de esfuerzo flector negativo (-), por lo que, todo arco o bóveda de trazo circular y que su peralte sea mayor de 13.4% y hasta el 50% deberá también reforzarse con acero en las proporciones necesarias en la zona del extradós para resistir dichos esfuerzos.

Zona de esfuerzo flector positivo (+) extrados

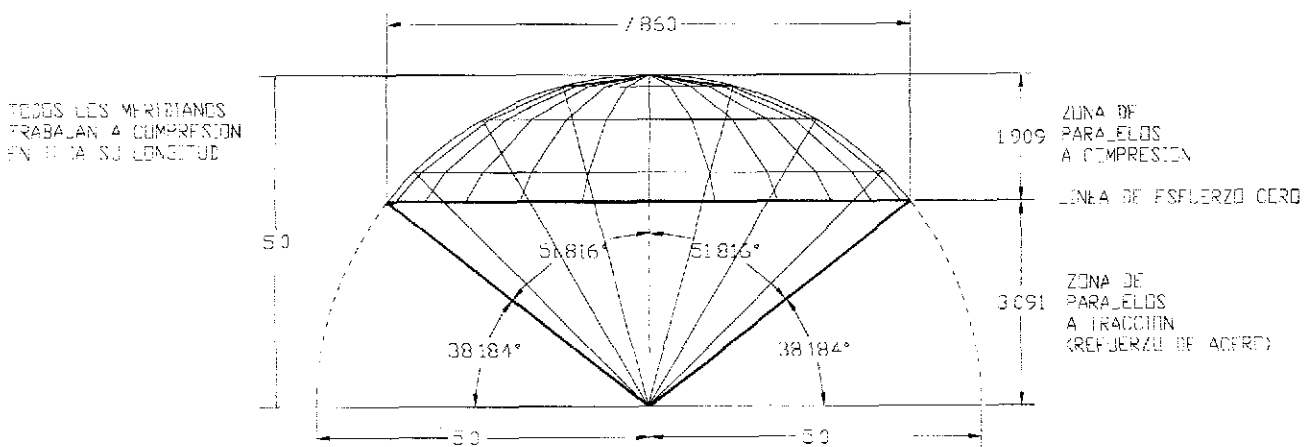
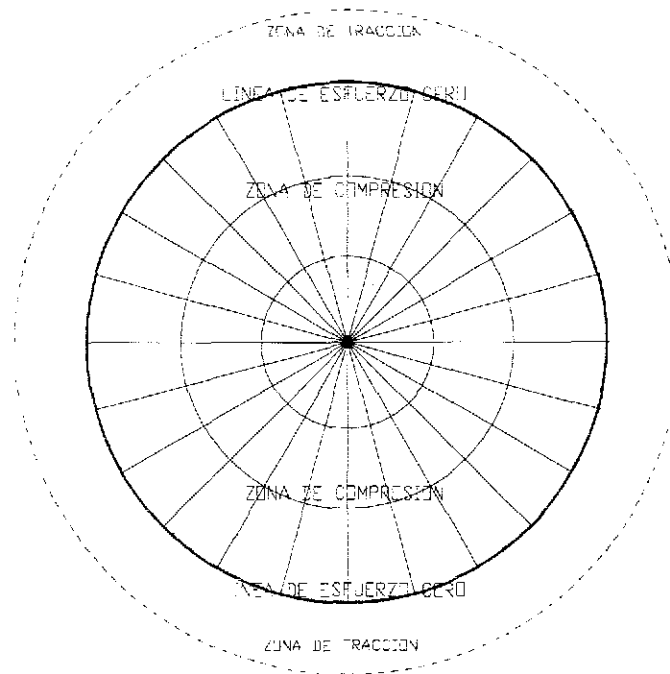


Ahora bien, si queremos que un arco o bóveda de cañón no presente esfuerzos flectores de ninguna especie éstos deberán construirse siguiendo el trazo de una catenaria ya que los esfuerzos seguirán ésta trayectoria.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En las cúpulas las circunstancias son diferentes, como se vió en los conceptos previos, podemos derivar lo siguiente :

El casquete esférico por arriba de los  $38.184^\circ$  en el siguiente ejemplo mide 7.860 m. de diámetro y tiene un peralte de 1.909 m. que representa el 24.287% de la luz de la cúpula, por lo que se puede generalizar que toda cúpula semiesférica con un peralte del 25% de su claro se encuentra trabajando en paralelos y meridianos a compresión, en el caso de las cúpulas de ladrillo a partir de ésta zona hacia abajo podría ser recomendable colocar un refuerzo de acero.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Ahora bien, ante la conclusión anterior decidimos aplicar el mismo criterio de trazar "paralelos" y "meridianos" a una cúpula de planta cuadrada a partir de una geometría precisa y con el 25% de peralte con respecto a sus lados, los dibujos son el trazo de líneas imaginarias a manera de "paralelos" el primero con una latitud de  $38.184^\circ \text{ N}$ , el segundo con  $50^\circ \text{ N}$  y así sucesivamente sumando a cada trazo  $10^\circ$  hasta llegar a latitud  $80^\circ \text{ N}$ .

Estas líneas son generadas sobre la cúpula por el trazo en los arcos perpendiculares a los lados en las diferentes latitudes señaladas pero con la salvedad que el centro O1 (centro del plano del ecuador) deberá desplazarse hasta O2 que corresponde al centro del mismo en el caso de los arcos diagonales, siendo para la cúpula supuesta de 2.00 m.

Para determinar los radios se aplicó la fórmula  $R = P/2 + L^2/8P$  y siguiendo las conclusiones con respecto a la geometría de las cúpulas de ladrillo dando por resultado el gráfico que puede interpretarse de la siguiente manera:

#### **Los paralelos:**

En planta son cuadrados con las esquinas redondeadas, los lados son arcos concéntricos con radio de curvatura hacia afuera y a partir del punto "O", en alzado son líneas curvas que ascienden al centro de los lados y descienden en los arcos diagonales.

Se ha señalado con una línea punteada lo que suponemos el sitio de cambio de esfuerzos de compresión a tracción pasando por cero, encontrando que casi toda la cúpula se encuentra trabajando a compresión, salvo al centro de los lados, en que una ínfima parte pasa por la zona de tracción (A, A2, A4, A6).

También se puede observar que el esfuerzo a tracción en las diagonales está por afuera de la cubierta y un tanto abajo, la razón es que por las diagonales la cúpula tiene solamente el 17.68% de peralte con respecto a su claro por lo que acusará el mayor empuje lateral (coceo), sin embargo la zona de cambio de esfuerzos de compresión a tracción se encuentra más alejada del vértice de dónde arranca la cúpula.

#### **Los meridianos:**

En cada medio cuadrante todos son de diferente forma y magnitud y se puede considerar que se sostienen de los paralelos, que limitan su movimiento lateral provocando tensiones de anillo. La participación de los paralelos al trabajo funicular de la cúpula, está señalada por las deformaciones que se presentan en los meridianos ante las cargas.

En una cúpula rebajada, los meridianos modifican su forma ante la presencia de las cargas y cuando esto sucede se desplazan hacia el centro o eje de la cúpula. Los paralelos están trabajando a compresión y esto restringe la posibilidad de los meridianos para deformarse hacia adentro por lo tanto puede considerarse que el comportamiento estructural en una cúpula rebajada (máximo 25% de peralte) es semejante a una serie de arcos a manera de meridianos soportados elásticamente en los paralelos; presentará ésta cúpula tensiones de compresión tanto en los paralelos como en los meridianos y seguramente se puede construir con materiales que soporten solamente compresión como la piedra o el ladrillo.

*En una cúpula delgada, si las tensiones normales según los meridianos y paralelos, no pueden absorber toda la carga entra en funciones un tercer mecanismo para equilibrar la diferencia; el mecanismo de corte que con tal de no exceder las tensiones admisibles, las tensiones normales (compresión y tracción) por una parte y el corte por otra se repartirán y equilibrarán siempre la carga total que actúa sobre un elemento de cúpula esférica.*

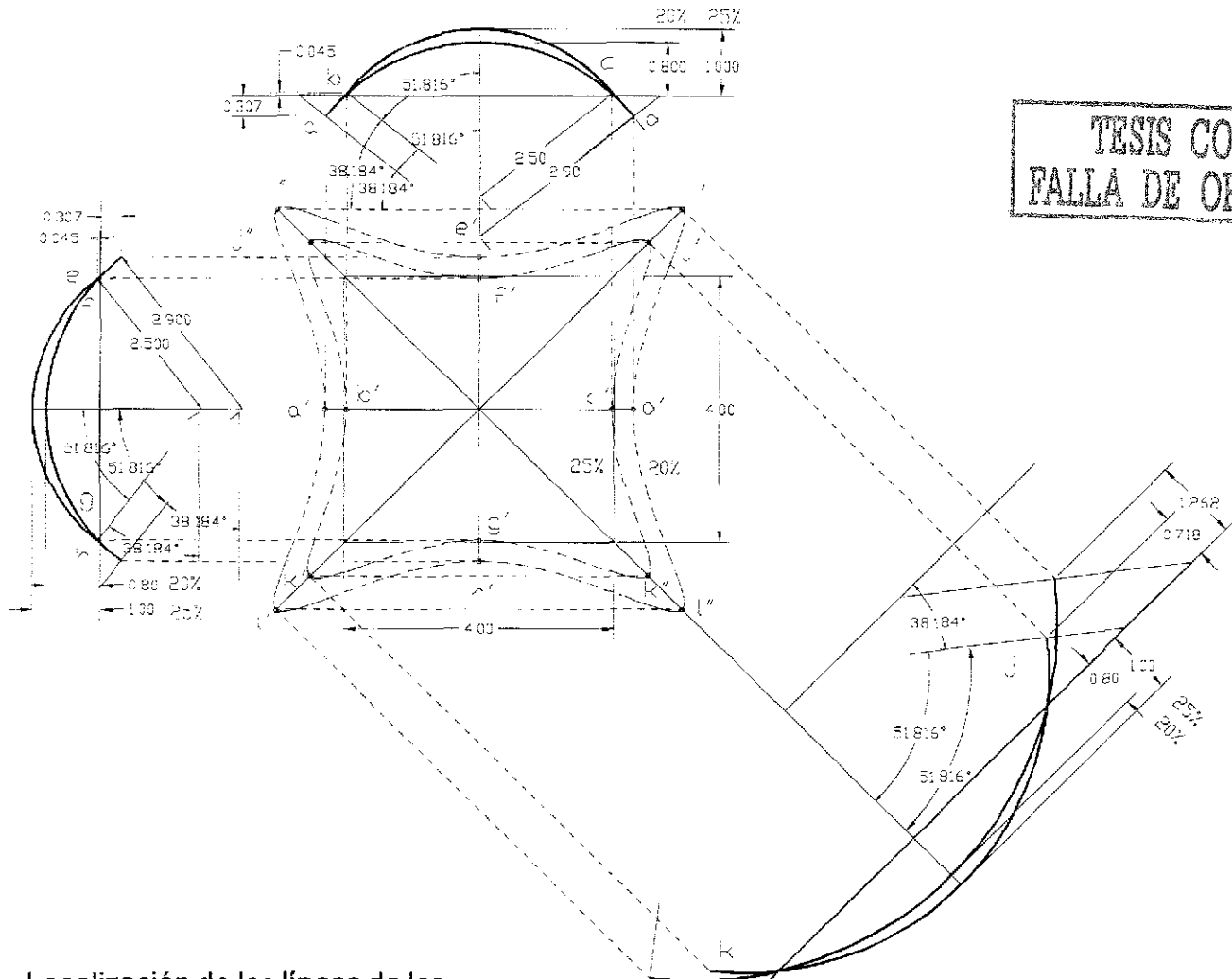
*Tomando en cuenta el mecanismo de corte, puede decirse que una cúpula es funicular para todas las cargas y, por lo tanto, que es una estructura estable en cualquier circunstancia. Las cúpulas resisten, por ejemplo cargas laterales como las presiones y aspiraciones del viento, desarrollando los tres tipos de tensión de membrana. Las tensiones de corte debidas al viento son también modestas: un viento de 160 kilómetros por hora, actuando sobre una cúpula con diámetro de 30 metros y espesor de 75 milímetros, produce tensiones de corte de sólo 1 kilogramo por centímetro cuadrado. (1)*

(1)Salvadori y Heller, Estructuras para arquitectos; Ed. Isla S.R.L.; Buenos Aires 1966. Págs. 328-335.



Siguiendo lo anterior revisaremos con el criterio planteado las zonas de transición en un **grupo de cúpulas de diversas proporciones al 20% y 25% de peralte** con respecto a alguno de sus lados y a la semisuma de éstos para observar el fenómeno supuesto.

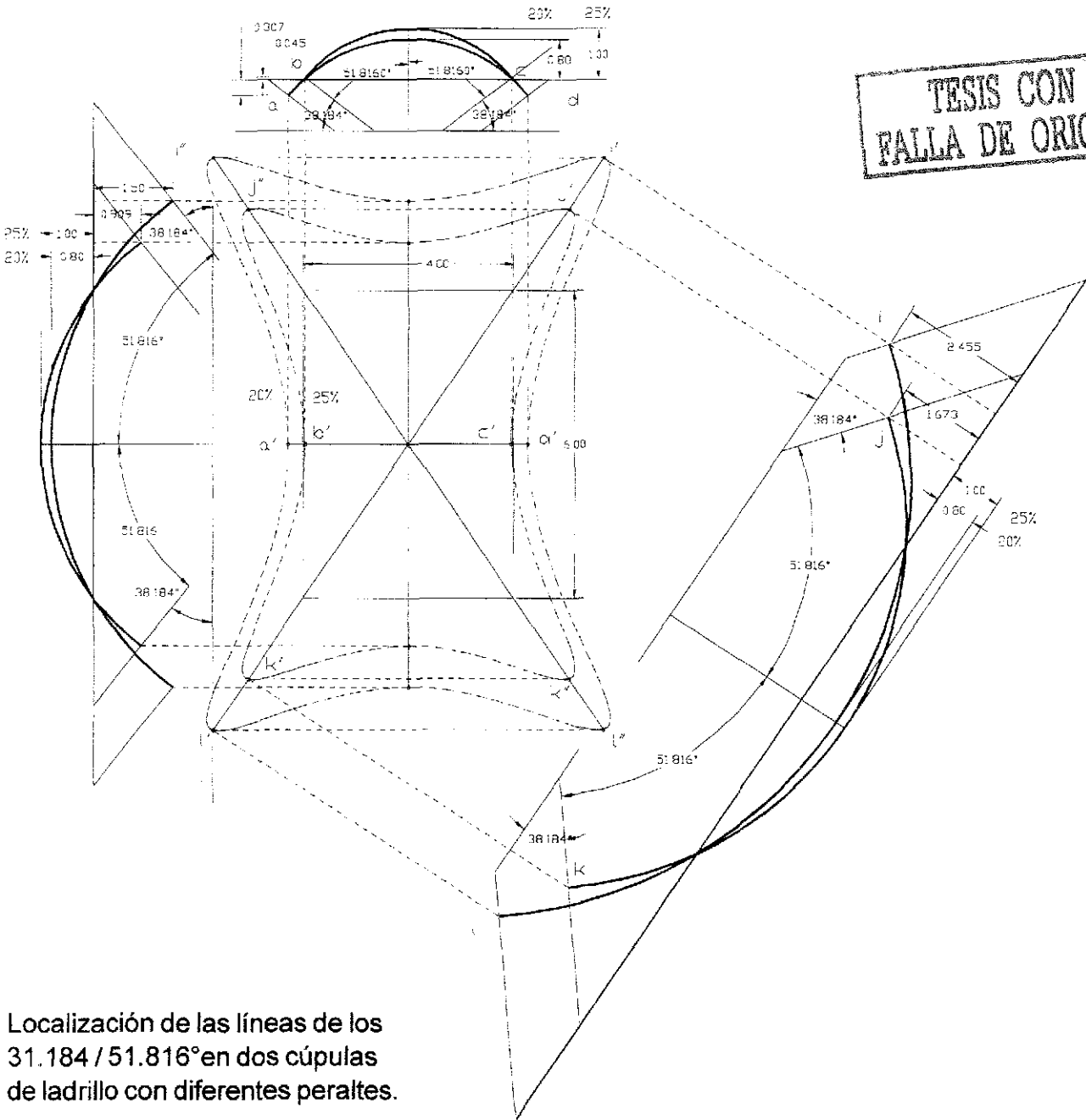
Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m de lado al 20% y 25% de peralte con respecto a éstos.



Localización de las líneas de los 38 184° / 51.816° en dos cúpulas de ladrillo de diferentes peraltes.

- |              |                     |   |  |
|--------------|---------------------|---|--|
| radio mínimo | 2.90m. (ejes)       | } | 20% de peralte (toda la cúpula está sujeta a compresión)   |
| radio máximo | 5.40m. (diagonales) |   |  |
| radio mínimo | 2.50m. (ejes)       | } | 25% de peralte, ínfima parte del arco que pasa por b'c'f'g', cortando los lados, estará sujeta a tracción. |
| radio máximo | 4.50m. (diagonales) |   |  |

Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 6.00m. de lado al 20% y al 25% de peralte con respecto al lado menor.

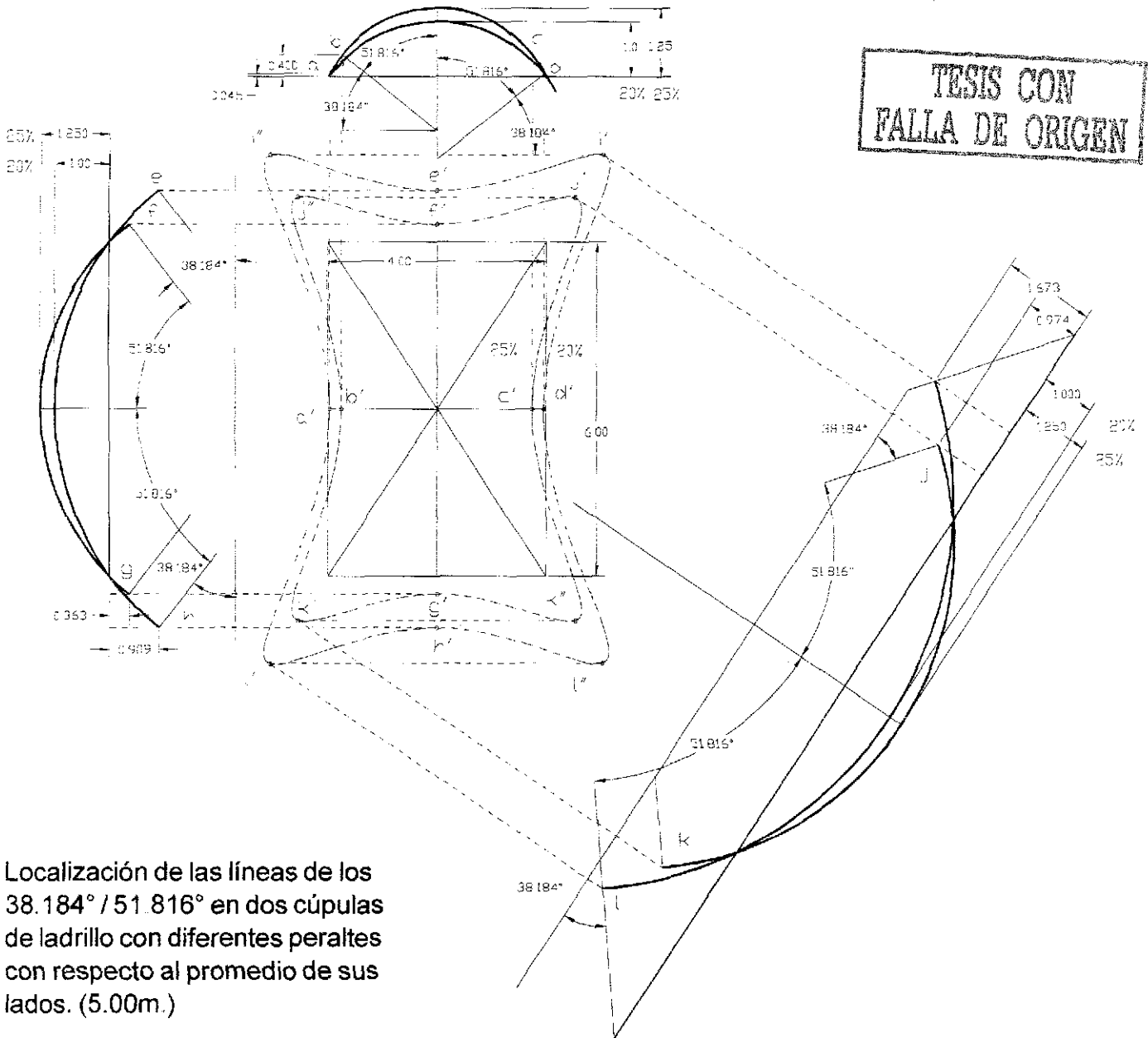


Localización de las líneas de los 31.184 / 51.816° en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes.

radio mínimo	2.90m (lado menor)	}	20% de peralte (toda la cúpula está sujeta a compresión)
radio intermedio	6.025 (lado mayor)		
radio máximo	8.525 (diagonales)		
radio mínimo	2.50m. (lado menor)	}	25% de peralte ( infima parte del arco que pasa por b',c', cortando el lado mayor estará sujeta a tracción)
radio intermedio	5.00m. (lado mayor)		
radio máximo	7.00m. (diagonales)		

Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 6.00m. al 20% y al 25% de peralte con respecto al semisuma de el lado menor y el lado mayor  $(4.00+6.00)/2 = 5.00m.$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Localización de las líneas de los  $38.184^\circ / 51.816^\circ$  en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes con respecto al promedio de sus lados. (5.00m.)

radio mínimo 2.50m. (lado menor)  
 radio intermedio 5.00m. (lado mayor)  
 radio máximo 7.00m. (diagonales)

20% de peralte (ínfima parte del arco que pasa por a', d', cortando el lado mayor estará sujeta a tracción)

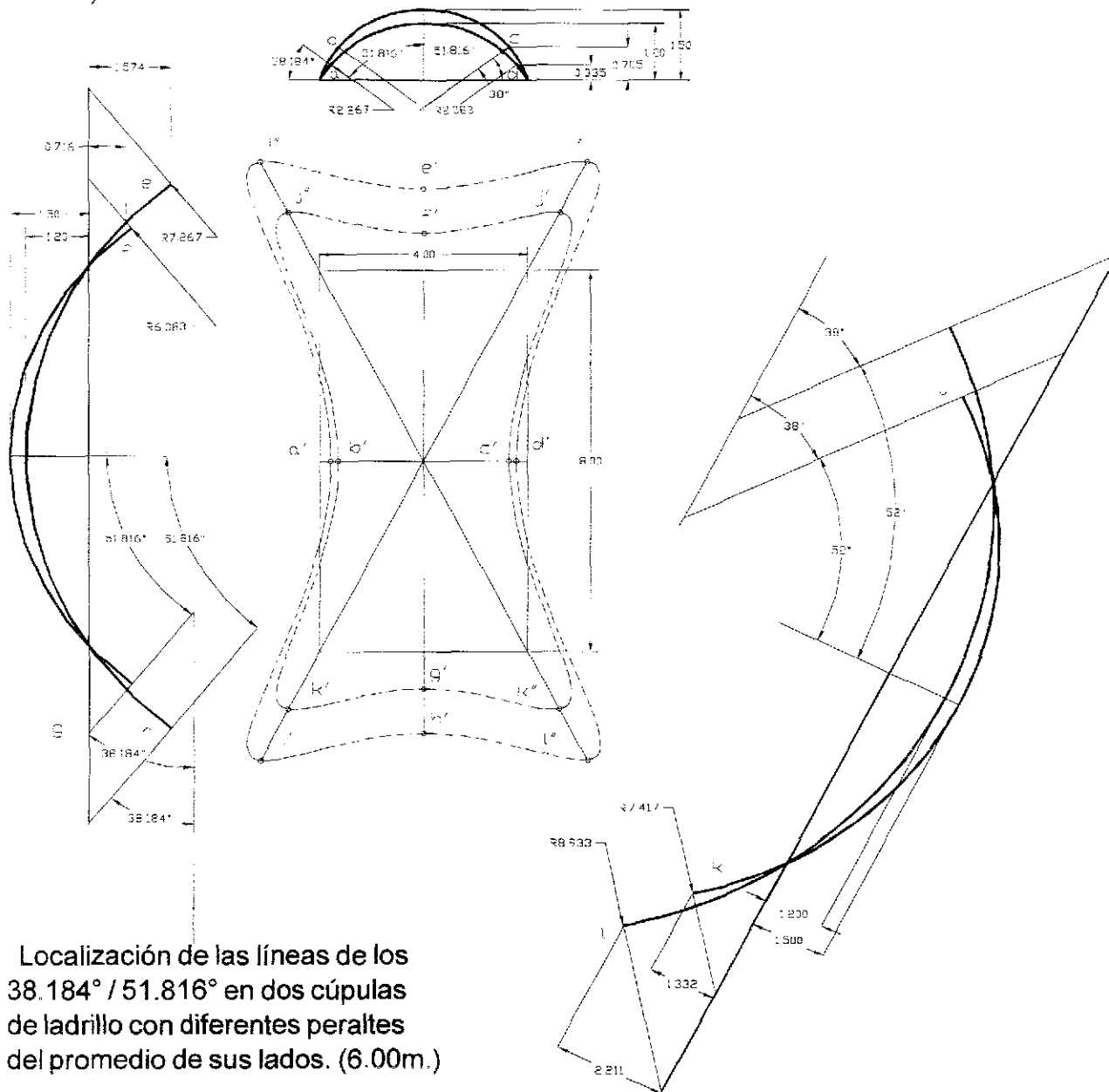
radio mínimo 2.225m. (lado menor)  
 radio intermedio 4.225m. (lado mayor)  
 radio máximo 5.825m. (diagonales)

25% de peralte ( parte del arco que pasa por b', c', cortando el lado mayor estará sujeta a tracción, nótese que ésta zona es mayor que cuando el 20%)





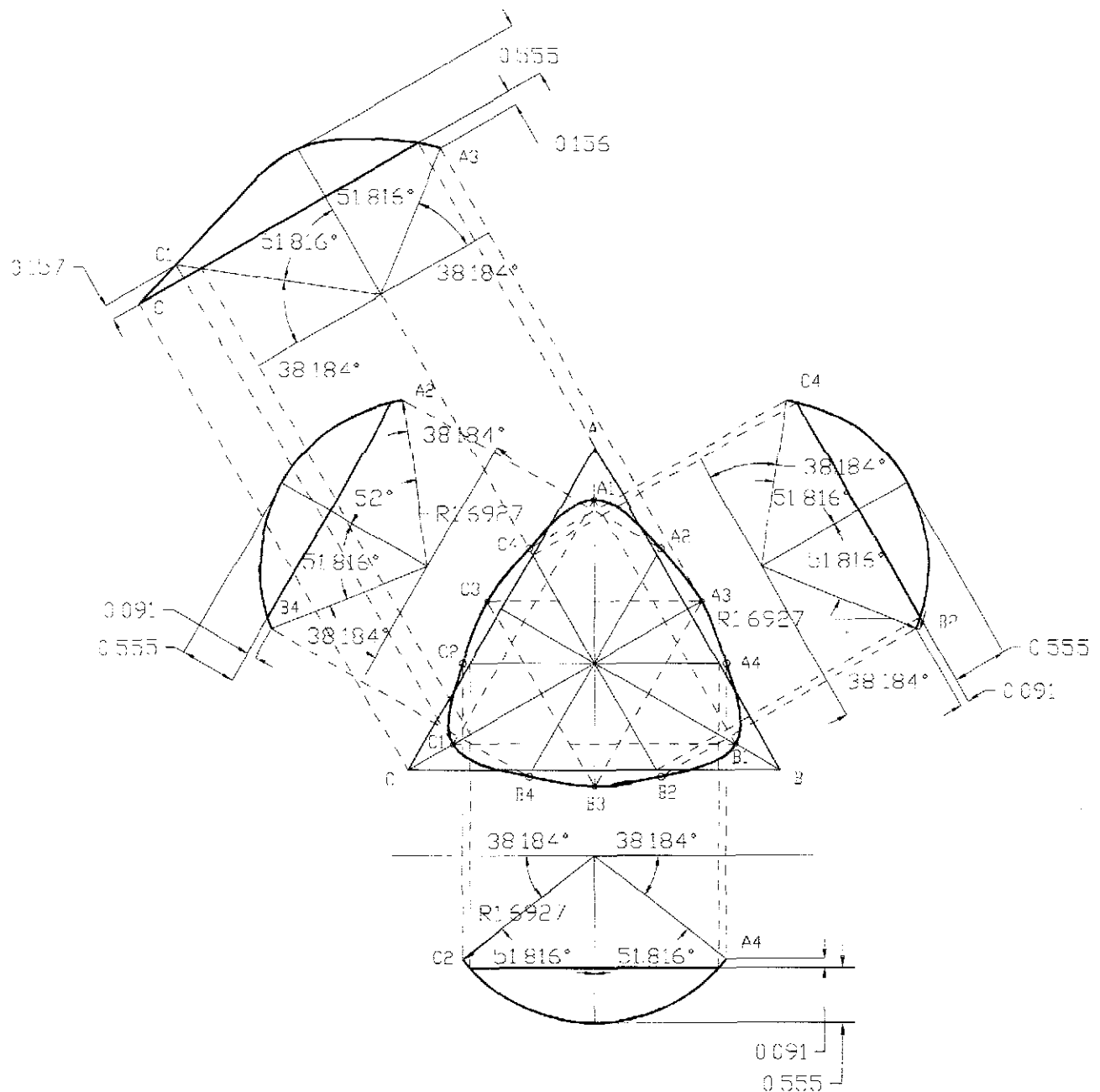
Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 8.00m. de lado al 20% y al 25% de peralte con respecto a la semisuma del lado mayor y el lado menor (4.00m. + 8.00m.)/2 = 6.00m..



Localización de las líneas de los 38.184° / 51.816° en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes del promedio de sus lados. (6.00m.)

radio mínimo	2.267m. (lado menor)	}	20% de peralte (la zona del arco que pasa por a'd' cortando el lado mayor estará sujeta a tracción)
radio intermedio	7.267m. (lado mayor)		
radio máximo	8.933m. (diagonales)		
radio mínimo	2.083m. (lado menor)	}	25% de peralte (la zona del arco que pasa por b'c' cortando el lado mayor estará sujeta a tracción).
radio intermedio	6.083m. (lado mayor)		
radio máximo	7.417m. (diagonales)		

Arcos de circunferencia como directrices de una cúpula triangular de 3.76m. de lado (equilátero) y al 15% de peralte.



Localización de la línea a los  $38.184^\circ / 51.816^\circ$  en una cúpula de ladrillo de planta triangular y un solo radio de 1.6927m, la zona a tracción se encuentra localizada en los vértices entre A A1, B B1, C C1.

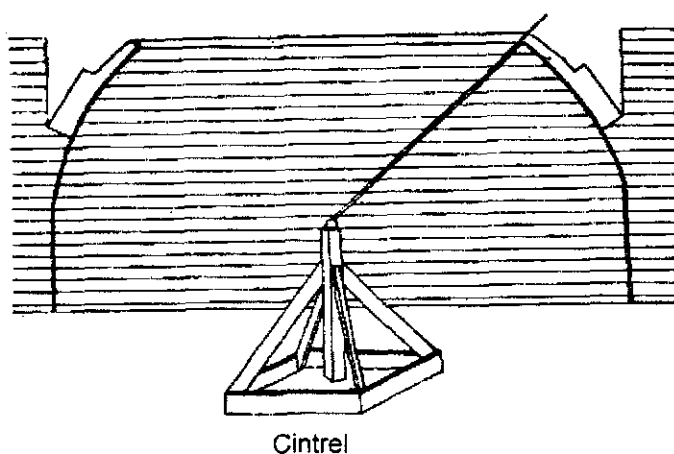
## EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UNA CÚPULA

En éste trabajo pretendemos aportar el cómo construir cúpulas de ladrillo recargado, y que el conocimiento esté al alcance de cualquier persona como lo es el albañil, el autoconstructor, el arquitecto, el ingeniero etc. desmitificando la construcción de éstas.

Consideramos que uno de los principales problemas consiste en cómo regir la geometría de la cúpula por realizar, ésto se puede conseguir fácilmente flexionando unas varillas de acero de un diámetro aproximado de 9 mm. entre los vértices opuestos del espacio a cubrir y otras varillas pasando por los centros de los claros, todas ellas coincidiendo en un centro y con una contraflecha que puede ir del 15% al 25 % del claro menor según el caso, ya sea azotea o entrepiso. Estas varillas, serán las generatrices por las cuáles el manto del ladrillo tendrá que hacer su recorrido a manera de directriz.

Una vez colocadas éstas habrá que empezar a colocar ladrillos a partir de las esquinas, iniciando con un medio ladrillo inclinado 45 grados, después 2 medios ladrillos igualmente inclinados y así sucesivamente se irán colocando éstos traslapando las juntas. La inclinación de las juntas se inicia a 45 grados y tendrá que ir enderezándose hasta llegar a los 90 grados, para ésto a los principiantes se les puede recomendar el uso de un cintrel con el objeto de orientar la dirección.

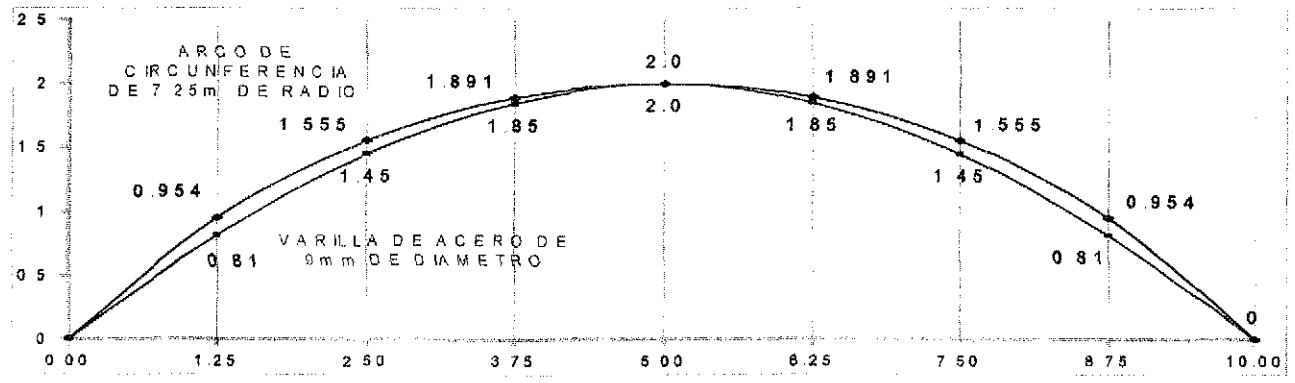
Al llegar al centro de la cúpula se puede cambiar la dirección de los ladrillos o se puede dejar un hueco para un domo o lintemilla, finalmente se vierte sobre las juntas semi vacías que resultan por la parte superior una lechada rica en cemento, que rellene a éstas.



**Sobreposición de arcos de circunferencia a varillas de acero de 9mm. de diámetro curvadas "libremente", los arcos de circunferencia fueron trazados a partir del ordenador.**

**10.00 m. de claro, 20% de peralte.**

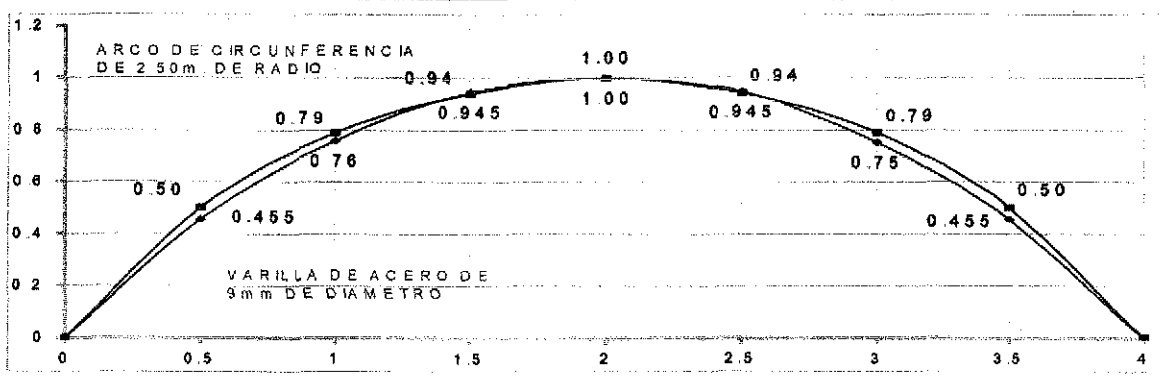
VARILLA		ARCO DE CIRCUNFERENCIA	
X	Y	X	Y
0	0	0	0
1.25	0.81	1.25	0.954
2.5	1.45	2.5	1.555
3.75	1.85	3.75	1.891
5	2	5	2
6.25	1.85	6.25	1.891
7.5	1.45	7.5	1.555
8.75	0.81	8.75	0.954
10	0	10	0



**4.00 m. de claro, 25% de peralte.**

VARILLA		ARCO DE CIRCUNFERENCIA	
X	Y	X	Y
0	0	0	0
0.5	0.455	0.5	0.50
1	0.76	1	0.79
1.5	0.945	1.5	0.94
2	1.00	2	1.00
2.5	0.945	2.5	0.94
3	0.75	3	0.79
3.5	0.455	3.5	0.50
4	0	4	0

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

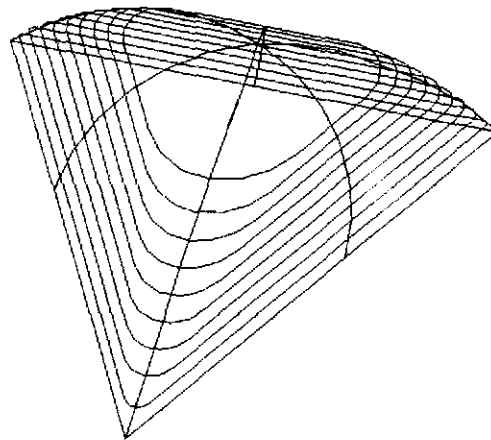


Consideramos que uno de los principales problemas consiste en como regir la geometría...

Las cúpulas se pueden tejer de diversas maneras, pero las fundamentales son dos llamadas "pañuelos y cañones".

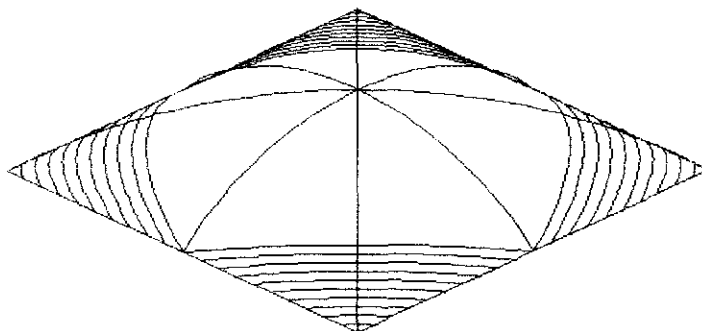
Los bordes de apoyo pueden ser de tabique entre dos muros, de concreto en trabes o cadenas de remate, en ángulos y vigas de metal o en vigas de madera

Arcos de ladrillo inclinados inicialmente a 45° a manera de manto generatriz.



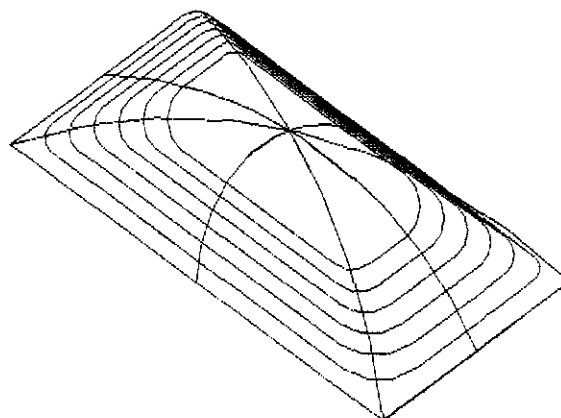
Cúpula planta triangular (equilátero)

Varillas de acero flexionadas a manera de directriz.



Cúpula planta cuadrada a manera de "pañuelo".

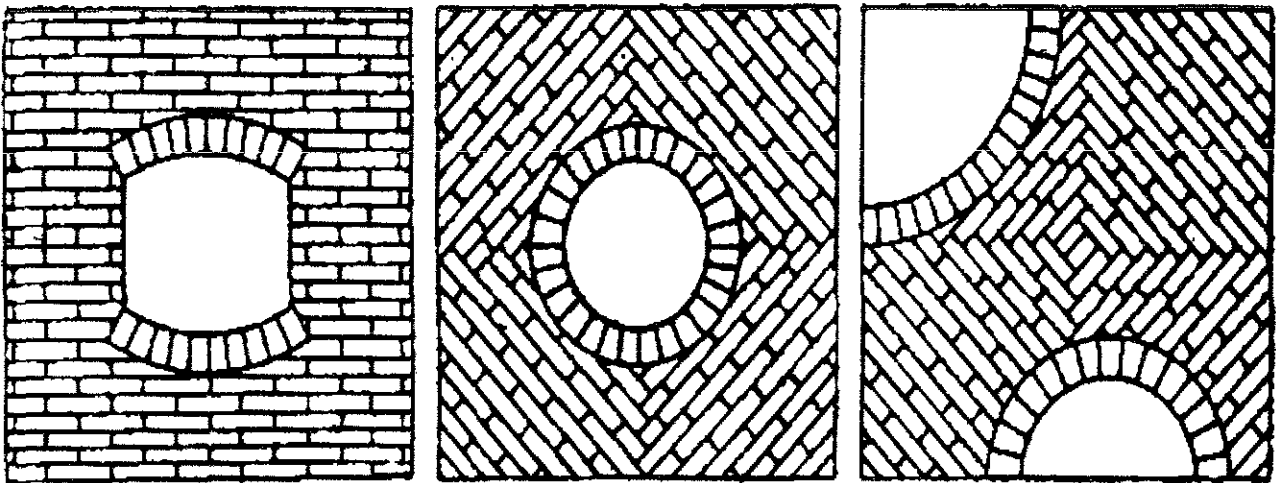
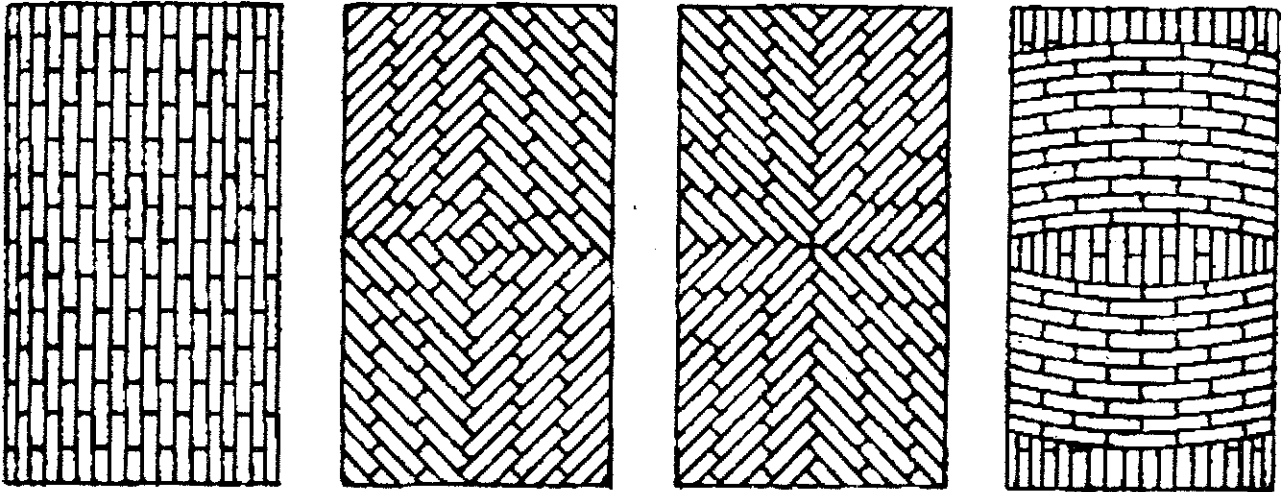
Varillas de acero flexionadas a manera de directriz.



Cúpula planta rectangular a manera de "cañón"

Arcos de ladrillo inclinados inicialmente a 45° a manera de manto generatriz.

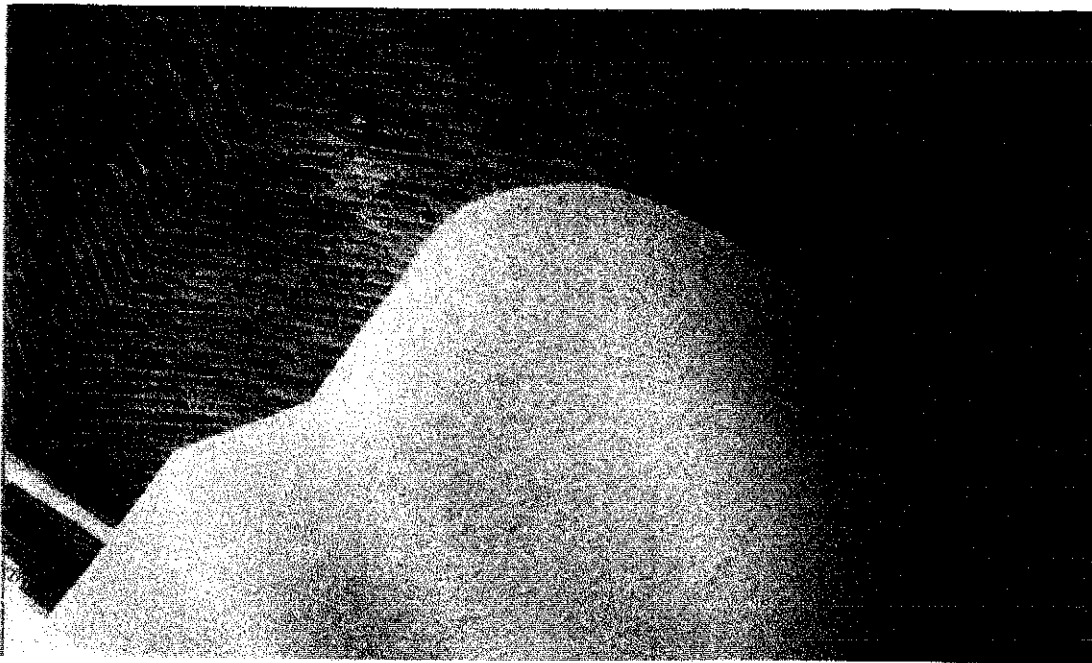
Una vez adiestrado el operario, podrá conseguir **diversos tipos de tejidos del aparejo**, tantos como la imaginación le permita, aquí ilustramos algunos:



Arcos y Bóvedas; Moreno García M.F. Ed. CEAC Barcelona 1987,  
Pág. 116-117.

Sin embargo, ésto no impide hacer cúpulas con diversos números de lados, con lados de longitudes diferentes y hasta en planos diferentes.

Se pueden conseguir grandes vanos a través de la cúpulas para alojar escaleras o domos de razonable diámetro.



Se pueden conseguir grandes vanos...

obra (Luis Vargas Arriola)

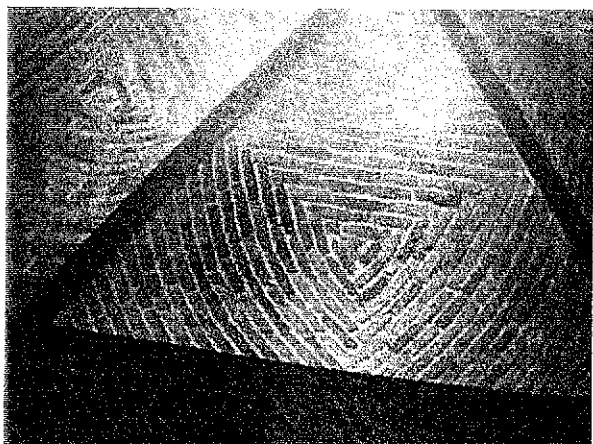
El ladrillo de preferencia a usar es el llamado cuña que mide 5cm. x 10cm. x 20 cm. colocado en seco, con el objeto que éste tome rápidamente el agua de la mezcla y no se resbale por efecto de la gravedad, la mezcla será un mortero cemento-cal-arena proporción 1:1:8 o 1:1:10.

Por su tamaño las cuñas son más manejables, su volumen es de 1,000 cc. y su peso es de 1,200 gr. por pieza a diferencia del ladrillo normal de 6cm. x 12cm. x 24cm. que tiene un volúmen de 1,728 cc. y con un peso de casi el 73% más.

No es recomendable construir cúpulas cuadradas con un peralte mayor al 25% si queremos que toda la cubierta trabaje a compresión, en el caso de cúpulas rectangulares tomar como máximo de peralte el 25% del lado más corto, ya que si tomamos el peralte con respecto a la semisuma de los lados, crecerá la zona sujeta a tracción por el lado corto. Si decidimos construir cúpulas con un peralte mayor habrá que pensar en un refuerzo metálico en la parte baja.

Para concluir aplicar un aplanado rústico cemento-arena prop. 1 : 5 adicionado con pelo de polipropileno en una proporción de 900 grs. por cada metro cúbico de mezcla en lugar de malla de gallinero, ya que es más económico; en azoteas se sugiere dosificar algún impermeabilizante integral a la mezcla.

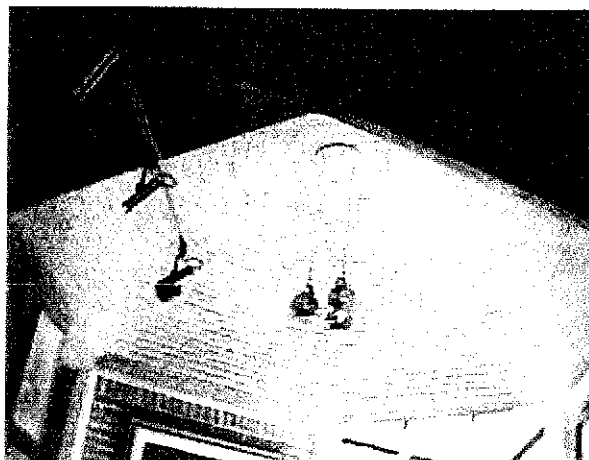




Cúpula de planta triangular.



Cúpula de planta romboidal.



Cúpula de planta exagonal.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Las cúpulas se pueden tejer de diversas maneras... (obra Luis Vargas Arriola).*

Finalmente, quisiéramos hacer algunos comentarios respecto a lo que, los hacedores de cúpulas de la región de San Juan del Río establecen como requisito para construir sus cubiertas, y consiste en lo siguiente: Si van a fabricar una cúpula que sea solamente de azotea el 20% de peralte es lo necesario, en cambio, si la cúpula va a ser entrepiso es decir va a recibir un relleno y posteriormente un piso que pasará tangente a la clave del arco, el peralte será del 25% nótese la coherencia con los datos obtenidos, ya que en los dos casos las cúpulas estarán trabajando a compresión pero en la de mayor peralte habrá menos coceo.

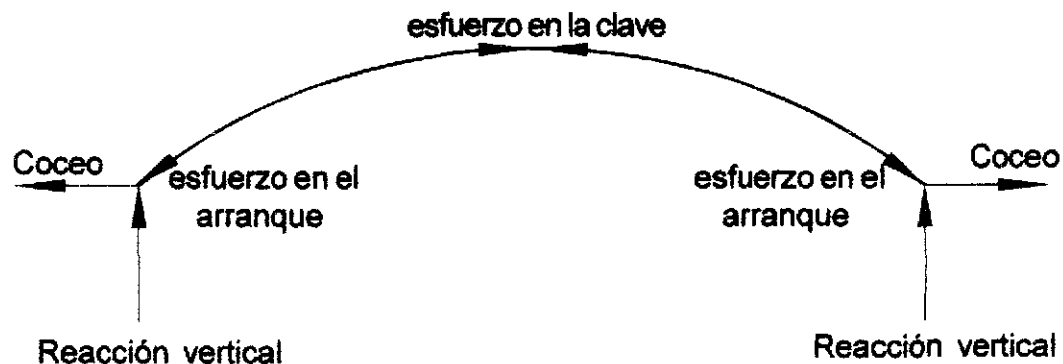
No sabemos quién o cómo se generaron éstos datos en los operarios y cómo han pasado a través del tiempo pero la verdad es que están plenos de sabiduría(\*).

Si decidimos construir cúpulas de menor peralte que podemos suponer cómo mínimo hasta el 15%, siempre estamos seguros de su trabajo sólo a compresión pero habrá que revisar el empuje lateral sobre los bordes de apoyo y sobre todo en los vértices ya que ha medida que éstas son más rebajadas se aumenta el coceo. Si al contrario, decidimos construir una cúpula con más del 25 % del peralte, se debe colocar el refuerzo metálico correspondiente para tomar el esfuerzo de tracción en los paralelos que quedan por abajo de los  $38.184^\circ$ .

**Tabla de esfuerzos en diversas cúpulas de varias medidas y peraltes del 25% 20% y 15%.**

Carga muerta 100 kg/m<sup>2</sup>, carga viva 100 kg/m<sup>2</sup>, peso propio 100 kg/m<sup>2</sup>. (programa R.C. Buildings)

Cúpula	Esfuerzo en el arranque	Esfuerzo clave	Coceo	Reacción vertical
10 x 10 x 2.50 (25%)	1000kg/ml	0.88kg/cm <sup>2</sup>	550 kg/ml	875kg/ml
10 x 10 x 2.00 (20%)	1130kg/ml	1.00kg/cm <sup>2</sup>	770 kg/ml	835kg/ml
10 x 10 x 1.50 (15%)	1380kg/ml	1.32kg/cm <sup>2</sup>	1105 kg/ml	805kg/ml
8 x 8 x 2.00 (25%)	800kg/ml	0.70kg/cm <sup>2</sup>	450 kg/ml	700kg/ml
8 x 8 x 1.80 (20%)	900kg/ml	0.83kg/cm <sup>2</sup>	625 kg/ml	675kg/ml
8 x 8 x 1.20 (15%)	1110kg/ml	1.05kg/cm <sup>2</sup>	665 kg/ml	650kg/ml
6 x 6 x 1.50 (25%)	595kg/ml	0.53kg/cm <sup>2</sup>	340 kg/ml	525kg/ml
6 x 6 x 1.20 (20%)	675kg/ml	0.62kg/cm <sup>2</sup>	465 kg/ml	510kg/ml
6 x 6 x 0.90 (15%)	830kg/ml	0.79kg/cm <sup>2</sup>	665 kg/ml	500kg/ml
4 x 4 x 1.00 (25%)	395kg/ml	0.35kg/cm <sup>2</sup>	230 kg/ml	360kg/ml
4 x 4 x 0.80 (20%)	450kg/ml	0.41kg/cm <sup>2</sup>	310 kg/ml	350kg/ml
4 x 4 x 0.60 (15%)	550kg/ml	0.52kg/cm <sup>2</sup>	435 kg/ml	345kg/ml



(\*) Cabe reflexionar que hay varias formas de acercarse a la realidad, la forma que hemos privilegiado en ésta investigación es la de la lógica formal o método científico, sin embargo tenemos que reconocer que hay otra forma, la cual han aplicado los hacedores de bóvedas y cúpulas a través del tiempo, ésta es la lógica fáctica o de los hechos, y que es tan válida como la primera cuando de acercarse al conocimiento se trata.

## RECAPITULANDO

**Comportamiento térmico.** El BST- BETOSTIRENE muestra algunas cualidades aislantes pero no lo suficiente para ser significativas, para ser eficiente debería tener un espesor entre 10-15 cms. lo cual se encarecería notablemente.

En el nuevo material aislante, las placas de poliestireno expandido de 2.5 cm. de espesor representaron otro tanto en la reducción del gradiente de las temperaturas, éstas placas podrían ser del doble de espesor sin que el precio resultara significativo, para evitar la problemática de las grietas que aparecieron en el aplanado, ver las "conclusiones de un nuevo material aislante", se encuentra ampliamente detallado como corregirlas.

La solución vernácula que consiste en colocar sobre las cúpulas rellenos de tierra podría mejorarse con rellenos a base de tezontle con granulometría específica para conseguir el mayor contenido de aire, lo cual en efecto sería un aislante suficientemente efectivo.

Un ejemplo gráfico lo podemos ver en Hassan Fathy, pag 23(\*) de éste trabajo donde se muestra el techo relleno con tierra de la sala de oración de la mezquita del Nuevo Gourná en el alto Egipto, la cual se localiza en una zona caliente y árida con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche. En esta región es casi nula la presencia de nubes por lo que el suelo está sujeto a una intensa radiación solar a lo largo del día, mientras que en la noche éste vuelve a irradiar una cantidad importante de calor, por lo que cualquier superficie expuesta al sol como los techos, las paredes o el suelo de los edificios se calientan de una manera muy intensa durante el día, temperatura que tiende a perderse durante la noche.

**Geometría.** Es un hecho que la cúpulas son combinaciones de circunferencias que se trazan a partir de dos o más radios principales.

Los radios se pueden conocer según la fórmula:  $R = P/2 + L^2/8P$

siendo :

R = radio.

P = peralte de la cúpula.

L = Luz de la cúpula.

Consignamos aquí los radios para las cúpulas con peraltes del 15%, 20% y 25%.

Para cúpulas con un peralte del 15 % radio = 0.9083 del claro.

Para cúpulas con un peralte del 20 % radio = 0.7250 del claro.

Para cúpulas con un peralte del 25 % radio = 0.6250 del claro.

(\*) An Architecture for people. Steele James. pag, 73.

Finalmente sobre **los esfuerzos de trabajo en arcos, bóvedas y cúpulas** nos parece importante insistir en la diferencia entre los esfuerzos en arcos y bóvedas por un lado y cúpulas por el otro.

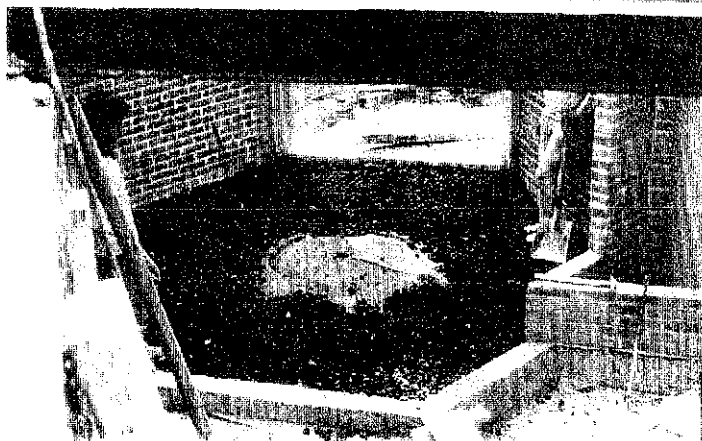
En el primer caso los esfuerzos siguen el trazo de una catenaria, si el arco o la bóveda son de sección circular aparecerán esfuerzos flectores positivos por el extradós en la zona superior, ésto a los  $60^\circ$  teniendo el eje de las "Y" como eje de simetría y una zona de esfuerzo flector negativo por el intradós en ambos lados también a  $60^\circ$  pero a partir del eje de las "X".

También nos damos cuenta que a los  $30^\circ$  a partir del centro se localiza el sitio llamado riñón del arco o de la bóveda que es la zona de máximo esfuerzo flector negativo, de ahí las fallas que históricamente se han señalado en éste lugar.

En el caso de cúpulas de planta rectangular para tener siempre esfuerzos a compresión tomar como máximo el 25% de peralte con respecto al lado menor sin embargo en las plantas triangulares recomendaríamos no pasar del 15% de peralte.

En el caso de cúpulas con más del 25% de peralte en las cuales aparecerán esfuerzos de tracción al centro de los lados en la zona del desplante, habrá que prever acero de refuerzo en éste sitio, o bien confinar el arranque de la cúpula por una cadena de concreto armado que sea capaz de mantener la geometría, soportando ésta los esfuerzos correspondientes.

Otro punto que cabe resaltar es la posibilidad de construir edificios de varios niveles resueltos con este sistema con absoluta seguridad desde el punto de vista estructural, sólo que rellenando la parte exterior de las cúpulas para dar lugar a los pisos superiores, en éste caso, se sugiere que el peralte no sea inferior al 15% con lo que se pueden conseguir entresijos más bajos que se adaptan mejor a la reglamentación de la Ciudad de México en lo que a restricciones de altura corresponde.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

...rellenando la parte exterior de las cúpulas para dar lugar a los pisos superiores...  
(obra Luis Vargas Arriola).

Con éste sistema constructivo no deberá asignársele rigidez alguna a las cúpulas y todos los esfuerzos de sismo deberán ser tomados por las traveses, columnas y muros.

Conviene también destacar que a mayor claro, se tiene el mismo costo unitario, al contrario de los sistemas de concreto y acero en que a mayor claro mayor costo por unidad.

Creemos interesante mencionar el peso volumétrico de las cuñas de barro, no más que 1200 kg/m<sup>3</sup> contra el peso volumétrico del concreto armado de 2400 kg/m<sup>3</sup> lo cual permite aligerar las losas de entrepiso en un 50% (sin considerar el relleno de tezontle) con el consiguiente ahorro en el peso propio de un edificio y en la masa por considerar en los esfuerzos por sismo.

Además no habrá que pagar derechos por registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial o cualquier otro, debido a que, éste conocimiento es del dominio público producto de la invención popular.

Es la intención de éste trabajo desmitificar todo lo que a éstas estupendas estructuras concierne ya que en las escuelas de arquitectura algunos hablan de ellas pero casi nadie sabe como construirlas ya que se les atribuyen cimbras complejas y costos estratosféricos propios de caprichos millonarios, siendo que el conocimiento de éstas nos ha demostrado completamente lo opuesto a estos mitos generados fundamentalmente por ignorancia.

Por último vale la pena reflexionar sobre si seguimos proyectando habitación "mínima" con los sistemas tradicionales de losas de concreto armado que para igualar los costos institucionales nos llevan a soluciones ineficaces por lo reducido de su tamaño. O permitimos soluciones más generosas con el sistema de cúpulas de ladrillo propuesto, que seguramente tendrían el mismo costo pero con mayores espacios.



**Finalmente sirva éste trabajo como homenaje a Hassan Fathy, “como ciudadano del mundo y como un campeón con estilo personal de su propia tradición cultural”. Él promovió lo que enseñó; un descubrimiento genuino de una arquitectura aborigen egipcia, sumergida en el barro, un material pleno y apropiado para el medio y para la historia, reencontrando la compasión al humano y la escala de la moderna arquitectura.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

An Architecture for people. Steele James. Contraportada.

## INDICE DE ILUSTRACIONES Y SINTESIS

### Palacio de Sargon Korsabad

5

Primeramente en la arquitectura Babilónica hace aproximadamente cuatro mil años en el Asia menor, en el valle que forma los ríos Tigris y Eufrates, escaseaba la madera y la piedra, elementos fundamentales en la construcción, a cambio de esto abundaba la arcilla que vaciada en moldes y secada al sol era una importante materia prima que después fué cocida en horno.

En Babilonia y Asiria el arco y la bóveda formado por dovelas quizás fué descubierto ocasionalmente por los constructores forzados a cubrir claros de salas con materiales de tamaño pequeño.

Existen las bóvedas llamadas núbicas, con una antigüedad de más de tres mil años a orillas del río Nilo, en el Valle de los Reyes.

Es importante considerar también a la Dinastía persa de los Sasánidas (224-651 D C) al norte de la antigua Mesopotamia dónde también se han encontrado vestigios de éste tipo de construcciones

### Arquitectura Romana; sección y planta del panteón

6

Los romanos usaron una argamasa a partir de un nuevo material para la edificación, la misma que tomó forma casi por casualidad como sustituto económico y muy eficiente de los materiales tradicionales en la Italia central. Como se ve a partir de este simple descubrimiento, la historia de la arquitectura Romana cambiará definitivamente su aspecto formal original.

Uno de los edificios más importante con este sistema constructivo es el llamado el Panteón, que consiste en un tambor cilíndrico cubierto con una cúpula semiesférica de 43 20 mts. de claro y cuya altura desde el piso es la misma que el diámetro interior del edificio.

### Arquitectura Romana; Roma, Cúpula del panteón.

7

Entre los elementos que contribuyeron al éxito de esta estructura podemos señalar, que en aquél momento podía darse por conocida la resistencia del mortero de argamasa (puzolana), un segundo factor podría ser la resistencia de los cimientos, otro fué la selección graduada de la argamasa según su peso y resistencia a la compresión, los más densos en los cimientos, y los más ligeros en la cúpula

Por último otra razón importante son las cavidades cuidadosamente dispuestas en el cuerpo del tambor, ya que aligeraran de manera considerable el peso de la cúpula.

### Arquitectura Bizantina; San Vital. Rávena

8

La tendencia a hacer varias cúpulas en un sólo edificio contrasta con el sistema de cúpulas de los romanos.

En Bizancio se construía primero la estructura o esqueleto, dejándose fraguar antes de sobreponer los revestimientos de mármol. Las cúpulas circulares se trasladaban por medio de pechinas a las plantas cuadradas. Éstas cúpulas se construían con frecuencia de ladrillo o de piedra ligera y muy porosa, como la piedra pómez y hasta de alfarería

Se cree que las bóvedas bizantinas se construían sin apoyos o cimbras, simplemente utilizando grandes ladrillos, las cuáles podrían considerarse hoy como los sistemas precursores de las losas aligeradas.

### El estilo ojival o gótico; Notre Dame, París.

9

La tendencia a la esbeltez y el predominio de la verticalidad se acentuó en el norte de Francia por elevadas bóvedas sobre las que se disponían altas techumbres inclinadas, por agudos piñones y agujas, contrafuertes, pináculos, altos ventanales y arbotantes, síntomas todos que indican el conocimiento de las funciones del empuje y como contrarrestarlo. Debe notarse que este estilo en Francia se adelanta unos cincuenta años a Inglaterra y al resto de Europa.

### Bóvedas tabicadas; Moya Blanco L.

10

Los conquistadores españoles muchos oriundos de extremadura y más tarde los catalanes, fueron por excelencia constructores de bóvedas, cúpulas y arcos, y seguramente dentro de los conquistadores y más tarde entre los inmigrantes debió haber habido excelentes albañiles que siguieron ejerciendo el oficio en América. En general los arcos, las cúpulas y bóvedas que se analizan en este tratado, requieren de una cimbra para su construcción y están hechas de tres o más capas de ladrillo delgado (2 cms. cada una), la primera de ellas pegada con yeso y las siguientes pegadas con mezcla en forma de petatillos encontrados...

## **Bóvedas tabicadas; Moya Blanco L. Bóveda Vaída o de pañuelo.** 11

Este sistema constructivo se conserva todavía en México fundamentalmente en el estado de Oaxaca, donde tiene gran vigencia.

**Hassan Fathy** Nació en 1900 en Alejandría de padre sahidi (Yemen, Arabia) y de madre turca. En una familia de clase media. Se puede considerar cuatro etapas fundamentales en su hacer como arquitecto: La carrera temprana de 1928 a 1945. El diseño y la construcción de conjunto Nuevo Gourna de 1945-1947. Los testimonios adicionales de sus nuevas ideas 1948-1967. Y de 1968 -1989 la llamada carrera tardía. 12

## **Hassan Fathy. Arquitectura para los pobres (introducción)** 13

Aseguran que un tercio de la humanidad ganará en lo que falta del siglo XX (1969), menos que en un año un trabajador estadounidense. En los Estados Unidos la inversión que se necesita para proveer una vivienda mínima a una familia de escasos recursos, es de aproximadamente 20 mil dólares, lo que significa que los pobres de los países de las naciones de moneda débil, no podrán procurarse un techo; ya que en las aldeas asiáticas el ingreso por persona es tan reducido que no tiene ningún objeto estadístico, ya que tiende a un nivel de sólo subsistencia.

A partir de éstas ideas y observando el medio rural Hassan Fathy se da cuenta que los campesinos egipcios construyen sus casas de adobes o tabiques de adobe que sacan de la tierra y secan al sol, a partir del año 1937 (carrera temprana) diseña una casa campestre la cual se promueve a través de conferencias. Poco después estalló la guerra lo cuál hizo que se suspendiera toda la construcción, ante tal escasés sólo quedaban los tabiques de adobe, lo cuál dejaba a Fathy en la misma situación que la de sus ancestros, es decir podría construir paredes pero no tenía con que techarlas, la pregunta era, ¿se podrían usar tabiques de adobe para cubrir las casas? Seguramente alguna bóveda. 15

## **Arquitectura para los pobres, Fathy Hassan láminas 9 y 10** 15

Es curioso que en una pequeña gira hubiese yo visto la prueba viviente del predominio del abovedado a lo largo de toda la historia de Egipto, a pesar de que, por las enseñanzas recibidas en la escuela de arquitectura podría haber sospechado que nadie sabría construir una bóveda antes de los romanos. 16

## **Arquitectura para los pobres, Fathy Hassan láminas 12 y 16** 16

En esta etapa la bóveda naciente tenía el ancho de seis tabiques en la base y sólo uno en el vértice, y parecía estar recargada formando un ángulo bastante grande contra la pared terminal. Presentaba así una cara inclinada para colocar las hiladas sucesivas, de modo que los tabiques tuvieran suficiente soporte. Esta inclinación, aún sin contar con las canales, evitaba que los tabiques se resbalaran, como sucedería si se usaran tabiques lisos sobre una superficie vertical. 17

## **Arquitectura para los pobres, Fathy Hassan lámina 18** 17

Los tabiques de barro no soportan la flexión ni la torsión, la bóveda se construye, pues, siguiendo la forma de una parábola que se ajusta a la forma de los diagramas de momentos de flexión, eliminando así toda flexión y permitiendo que del material surja sólo compresión.

De este modo se logró construir el techo con los mismos tabiques de barro que se usaron para las paredes. También hay tradiciones que surgen desde los inicios de la humanidad, y que sin embargo aún persisten y existirán tanto como la sociedad humana. Algunos ejemplos podrían ser:

...el homeo del pan y la manufactura de ladrillos

Una obra arquitectónica tiene como finalidad el ser usada, su forma está relacionada de una manera directa con su precedente y determinará seguramente a la siguiente, se expone ante el público que la mira cotidianamente.

El arquitecto debe respetar la obra de sus predecesores y no utilizar sus propias obras como medio de publicidad personal. Si los diseños son fieles a los materiales, al ambiente y al trabajo diario, serán bellos por necesidad.



**Dibujo al "Guache" de la casa de Abd Al-Rasik,  
Una arquitectura para la gente , 1941(carrera temprana) Steele James pag.22** **19**

Fathy sentía que los humanos, naturaleza y arquitectura debían coexistir en un balance armonioso. Para él la arquitectura era un arte público que debía reflejar los hábitos personales y las tradiciones de una comunidad más que reformarlos o erradicarlos. Mientras que él no se oponía a la renovación, sentía que la tecnología debía estar subordinada a los valores sociales y adaptarse a las necesidades populares.

Debemos encontrar una solución al insoluble problema del choque entre los productos de la industria y las demandas de la naturaleza y de la sociedad. Sería beneficioso someter la tecnología a la disposición de los materiales y a la economía de la región en particular. De ésta manera la calidad y los valores inherentes a la respuesta tradicional humana al medio ambiente podría estar preservada sin perder los avances de la ciencia. La ciencia puede ser aplicada a varios aspectos de nuestro trabajo mientras es sometida.

**Casa de campo de Hassan Fathy en Nuevo Gourna,  
Una arquitectura para la gente, Steele James pag. 65** **21**

La chimenea encima del patio al frente del domo es una evidencia de que se necesita calentar el "qa'a" durante las noches muy frías. Casa de campo de Fathy en Nuevo Gourna

Desde el principio hasta el final uso la orientación y ventilación natural, materiales regionales, métodos de construcción tradicional inclusive en las técnicas de conservación de energía.

**Captador de vientos en el mercado de Nuevo Baris,  
Una arquitectura para la gente, Steele James pag. 124** **22**

El "suq" fué orientado para maximizar el movimiento del aire por dentro mientras las partes más altas del edificio fueron puestas en forma tal que proporcionaban sombra a las partes más bajas y así disminuir la radiación solar, embudos recolectores fueron diseñados para capturar los vientos del desierto y enviarlos hacia abajo con ayuda de deflectores que incrementaban la velocidad del aire hacia los niveles del basamento donde los vegetales y las frutas estaban almacenados. Éste diseño muestra que la aplicación del conocimiento científico no necesita deshumanizar y que ésta tecnología con aspecto humano puede existir.

Se puede decir que hay seis principios que guiaron a Hassan Fathy a través de su carrera.

**Mezquita del Nuevo Gourna,  
Una arquitectura para la gente, Steele James pag. 73** **23**

Mostrando el techo de la sala de oración con domos construídos sobre una columnata

1 -Primacía de los valores humanos en la arquitectura.

2 -Importancia del aprovechamiento del conocimiento universal más que uno limitado.

**Estudio del movimiento del aire, Una arquitectura para la gente,  
Una arquitectura para la gente, Steele James pag. 176** **25**

Estudio del movimiento del aire a través de Bait Cathoda Mohid Al Din por un equipo de la asociación de arquitectos de Londres, dónde se observa cómo el viento entra por el malkaf y enfría el interior del espacio. El aire caliente se eleva y se dispersa a través del "shukshaykha" (ventilándose por la linternilla del domo sobre el qa'a).

3 - El uso de la tecnología apropiada. Su acercamiento a la tecnología estaba estrechamente relacionada con la palabra en griego "techne" que quiere decir "habilidad" o "astucia" más que la oculta aplicación de la ciencia. Fathy siempre creyó que la arquitectura moderna siempre falló al ejecutar el mandato de Mies para expresar la tecnología del momento. Así lo dijo en la Universidad de Essex, en una lectura titulada "La Casa Árabe en el Medio Urbano" en 1970.

4 - Es la idea de un edificio cooperante, o "self help" (ayuda propia). Habiendo puesto en práctica ésta idea en la construcción del "Nuevo Gourna", cerca de 50 años antes, finalmente él pudo ver que su idea fue aceptada en principio en todo el mundo.

## Fathy describe el techo de baratsi

Una arquitectura para la gente, Steele James pag. 129

26

donde el fuego había consumido una importante sección del área comercial de la ciudad, él trabajó con los artesanos locales, para desarrollar un elemento ligero de uso rápido con materiales accesibles de bajo precio que llamo "baratsi" que no es más que un alambre tejido con caña que resultó ser muy ligero, estructuralmente estable y protector del clima

## Bóvedas de las bodegas de Ramesseum

Una arquitectura para la gente, Steele James pag. 28.

27

Bóvedas de las bodegas de Ramesseum, primera centuria D.C. Fathy se impresionó por la durabilidad y resistencia de los arcos hechos de ladrillos de lodo. Después de casi 2000 años las marcas de los dedos de los albañiles eran visibles todavía sobre los ladrillos

5 -haciendo notar que la palabra tradición viene del latín "tradere" que significa avanzar o transferir de tal modo que implica la renovación cíclica de la vida

6 -El trabajo de Fathy es su determinación para reavivar un orgulloso sentido cultural en sus compatriotas y sensibilizarlos de su rica herencia arquitectónica como resultado de éstos esfuerzos, mucha gente joven está más informada a cerca de la arquitectura islámica.

Fathy fue víctima del síndrome, más claramente definido como "marginación" (estando entre la cultura occidental y la árabe) dicho por Jacques Berque, uno de sus escritores favoritos, un síndrome creciente, identificado como una epidemia global en nuestro mundo intercomunicándose cada vez más. Él estaba orgulloso de su herencia árabe y quería preservarla y defenderla contra las intromisiones extranjeras posteriores y aún así, él admiraba la cultura extranjera a la cuál culpaba de esta corrupción.

## Casa del maestro Gabriel Jaramillo

31

Hoy el maestro Jaramillo ha construido diversas bóvedas empezando por las que cubre su propia casa, ésto en los fines de semana con la ayuda de los hijos y los compadres el cuál es todavía hoy en México un sistema tradicional de reciprocidad (tequio, korima o faena ) ya que él mejor que nadie, se ha dado cuenta de la generosidad del sistema constructivo.

*Si recordáramos que una casa es el símbolo viviente de la identidad familiar, la posesión material más importante que cualquier hombre pueda jamás poseer, el testigo perdurable de su existencia, siendo la falta de ella una de las causas más poderosas del descontento humano, y su posesión inversamente, una de las más efectivas garantías de la estabilidad social, entonces reconocerá el hecho de que sólo los óptimos esfuerzos de pensamiento, cuidado, tiempo y trabajo que se desarrollen en la construcción de la casa en que un hombre vivirá, satisfará esa necesidad primordial. (Fathy Hassan, Arquitectura para los pobres.)*

Aquí hago un paréntesis para contar una historia que me parece interesante dar a conocer por la semejanza que tiene con las sociedades esparcidas por diversas partes del mundo y cuyo origen parecen remontarse a una cofradía de constructores del siglo VIII en Inglaterra y cuyos emblemas son: "mandil, compás y escuadra"

A la cofradía que me estoy refiriendo es a los llamados masones ya que la palabra proviene del inglés "masonry" que significa aquél que construye con piedra y ladrillo y que pasa al francés como maçon que significa albañil.

Como es bien sabido dichas asociaciones originalmente tuvieron la finalidad de preservar para núcleos muy cerrados de albañiles los trazos reguladores de iglesias y catedrales éstos de gran complejidad, así como los secretos de construcción y estabilidad de dichas estructuras

Dichas sociedades, seguramente pretendieron en su origen controlar y difundir solamente a una parte del gremio los conocimientos más avanzados de la época correspondientes al proyecto y construcción de iglesias y catedrales.

Así también, los constructores de bóvedas de la zona del bajo protegen celosamente de la vista de otros la ejecución y los secretos de la construcción de las bóvedas que ellos edifican

### **Cortes transversal y longitudinal del modelo experimental.**

34

Architecture at Rice University reporte número 18, pág. 23.

La Universidad Autónoma de Guadalajara en cooperación con la Universidad de Rice Houston, Texas U S A , realizó una investigación sobre la vieja costumbre local (en el Estado de Jalisco) de construir sistemas de techumbre con bóvedas de ladrillo. Una serie de pruebas hechas con construcciones al tamaño natural, determinaron con éxito las dimensiones de la trama estructural que pudiese permitir la construcción de bóvedas de ladrillo. Además, se demostró, que no es únicamente un proceso relativamente barato sino que su resultado es estéticamente agradable, esto se debe en parte a que el cielo de la bóveda puede ser dejado a la vista dando un extraordinario color naranja y una interesante textura

Las conclusiones a las que llega dicha investigación a través de las pruebas de campo y los análisis matemáticos de una gran cantidad de bóvedas hechas a mano con ladrillo y pegadas con yeso o mezcla, y que cuando estas están construidas con las proporciones y los materiales de la región pueden ser usados con un alto factor de seguridad para soportar su propio peso y una carga uniformemente repartida por encima de los 350 kgs./m<sup>2</sup>.

La particularidad que presenta la construcción de bóvedas en el estado de Jalisco, es la presencia en la mezcla con la que se pegan y se fabrican los ladrillos de una arena llamada "jal" de origen volcánico y que probablemente da origen al nombre del estado. Las bóvedas más frecuentes en la región cubren claros de 0.80 m. a 1.30 m., apoyadas sobre viguetas de entre 10 - 20 cms. de peralte y de una longitud entre 4.00 m. y 6.00m.

35

### **Se lastró la bóveda con bultos de arena...**

Architecture at Rice University reporte número 18.

Las pruebas Se realizó un programa de pruebas que fué clasificado en dos grupos:

- 1o Las pruebas de los materiales usados en el sistema
- 2o La prueba plena sobre las bóvedas.

#### **Las pruebas de los materiales.**

El ladrillo usado en Guadalajara para la construcción de bóvedas es hecho a mano en las orillas de la ciudad y es transportado en camiones a ésta. El primer ingrediente es lodo hecho de agua y "jal" el cual es muy abundante en el área circundante, añadiéndole cierta cantidad de estiércol y fibras de maguey. El lodo se vacía en moldes de madera secados a la intemperie, se acomodan en grandes pilas y se homean con troncos de mesquite. El resultado es un ladrillo ligero, muy poroso y con bellas variantes en el color, las cuales dependen de la temperatura a la que fué horneado. Predominan los colores desde el amarillo, naranja, ocre, rojo y café. Las pruebas consistieron en la investigación de los siguientes datos:

peso volumétrico seco, modulo de ruptura, resistencia a la compresión, primera grieta, absorción de agua en 24 hrs., absorción de agua en 5 hrs. de ebullición y coeficiente de saturación

#### **La prueba sobre las bóvedas.**

Datos de Construcción - La bóveda se construyó con ladrillo procedente de la ladrillera Tatepozco. Con un claro de 1.30 mts y una contraflecha de 3.9 cms. (3% del claro), sobre la bóveda se colocó un entortado de cal hidratada y "jal" con un espesor promedio de 7 cms., y por último se colocó en la parte superior un enladrillado construido con ladrillo de barro cocido de dimensiones 20x20x1 cms. Las dimensiones totales de las bóvedas fueron 3.15m x 2.69m dando una superficie de 8.4735 m<sup>2</sup>

Se usó mortero de cal y arena amarilla en proporciones comunes.

Se lastró la bóveda con bultos de arena que se fueron pesando independientemente y colocando sobre la bóveda para dar una carga uniformemente repartida en toda la superficie; se midieron las deformaciones de los arcos de la bóveda, así como las de las viguetas de apoyo, llegando a tener una carga total de 16,033 kgs y una deformación de 3 98 mm. sin tener fallas en los elementos estructurales

Resultados:

Resistencia de la bóveda sin llegar a la ruptura	1892 92 kgs /m2.
Deformación de toda la estructura	6.98 milímetros
No hubo fallas de consideración	
Resistencia del mortero	8 8 kgs /cm2. a la compresión

Con esto concluimos que el sistema es de sobra resistente a la compresión.

### **Capilla del cementerio, Jungapeo Michoacán**

Portada Arquitectura Latinoamericana, pensamiento y propuesta.

Instituto Argentino de Investigaciones de Historia de la Arquitectura y del Urbanismo, Universidad Autónoma Metropolitana. Ed. Summa. S.A. Buenos Aires Argentina, 1991. Carlos Mijares.

36

Un Arquitecto muy inquieto e inquietante sobre éstos sistemas constructivos es Carlos Mijares a partir de la parroquia de Ciudad Hidalgo Michoacán (1968-1983) se revela con una producción fundamentalmente artesanal tanto en los materiales (ladrillo), como en la mano de obra de la cual podemos decir que a partir de éste momento la obra de Mijares está completamente hecha a mano.

La arquitectura que realiza consta de arcos, bóvedas, cúpulas, lucernarios, trompas, crucerías y otras grandes estructuras.

La arquitectura de Mijares tiene un gusto lúdico por el acomodo de los ladrillos y la luz, recuerda la arquitectura mudéjar (estilo arquitectónico en que entran elementos del arte cristiano y de la ornamentación árabe) o quizás la arquitectura de los persas con sus múltiples secciones cónicas escalonadas, quizás también el arco falso maya, es casi nula la producción de otras bóvedas que no sean las antes citadas, teniendo un anhelo exquisito por el acabado

El sistema constructivo de Carlos Mijares es el del "ladrillo armado", es decir hay una estructura de concreto y acero dentro de los dobles muros, lo cuál le permite audacias notables.

*Intenté que la obra manifieste su expresividad por medios que, a mi juicio, tengan más que ver con los procesos de descubrimiento y la síntesis de una revelación que con los del análisis racional y la evidencia directa*

*Concebí la presencia de una luz derramada y envolvente como instrumento primordial que hace resonar el espacio. Confiné el recinto para generar la intimidad y eludir el disturbio del tráfico urbano.*

*Provoqué secuencias graduales de acceso para preludiar el rito y la liturgia.*

*Utilicé en forma predominante un material artesanal, producto de la tierra, el agua y el fuego el tabique de barro cocido. Quise que la mano del hombre se mostrara en la fábrica del edificio, en la textura de sus aparejos, en el claroscuro de sus relieves y en el trazo y perfil de sus bóvedas. Procuré un procedimiento cuya tecnología resultara accesible y transparente para los artesanos, permitiendo su fácil aprendizaje y su ejercicio eficiente, lo que da lugar a la posibilidad de expresarse personalmente en su trabajo y así lograr que su rutina se pueda transformar en homenaje.*

### **Modificando el desplante sobre directrices curvas.**

obra, Alfonso Ramírez Ponce.

38

Curvas de suspiro y barro - Les llama poéticamente a éstas bóvedas realizadas por los artesanos de la región del bajío mexicano, construídas tradicionalmente como "pañuelos" o "cañones" pero que a través de las inquietudes de Alfonso Ramírez Ponce, ha conseguido formas inauditas exagerando el peralte, modificando el desplante sobre directrices curvas o bóvedas continuas de diversas geometrías.

## Bóvedas continuas de diversas geometrías... obra, Alfonso Ramírez Ponce.

39

El proceso constructivo de éste sistema consiste en un ladrillo llamado cuña de 5 cms. X10 cms. X20 cms (también lo hay de menor tamaño), pegados estos secos, y con una mezcla de cal y arena de gran revenimiento, iniciando generalmente por las esquinas a manera de recargar una hilada sobre la anterior de tal manera que esto permita el desarrollo de la cúpula o bóveda sin ninguna cimbra, llegando al centro de ésta, en un nudo u ombligo que puede seguir en la misma dirección de las hiladas o girar 90 grados, o colocar un tragaluz, o soportar una linternilla. Éstas bóvedas se pueden construir a partir de plantas cuadradas, rectangulares, triangulares, poligonales, circulares, o en plantas amorfas, los resultados son diversos y de gran espontaneidad

*"Nuestra Arquitectura debe ser una Arquitectura que corresponda a las condiciones económicas de nuestros países pobres, no en vías de desarrollo como se nos dice dolosamente, sino desviados del desarrollo.*

*Las obras arquitectónicas, dadas nuestras condiciones económicas, deben utilizar predominantemente sistemas constructivos que en vez de desplazar nuestra mano de obra, abundante, barata y subempleada, hagan uso intensivo de ella*

*Nuestras escuelas deben pasar del olvido conciente o inconciente de nuestra tradición a la adicción a ella. Deben propiciar el no rechazo a nuestras raíces, sino lo contrario, el amor a ellas.*

*Una técnica muy inteligente y sabia no inventada por arquitectos o ingenieros. Fruto del saber popular y con demasiada frecuencia ignorada o cuando menos soslayada por los profesionales y académicos. Por tal razón es una técnica que no se enseña en las escuelas y tiende a su desaparición."*

## Tanques de agua y torres. La estructura cerámica, Eladio Dieste, pág. 51.

40

**Eladio Dieste** ( Ingeniero Civil por la Facultad de Ingeniería de Montevideo Uruguay, Arquitecto y Humanista por vocación ) Comenta que en los últimos cuarenta años (1987) se han desarrollado varias técnicas que se sirven del ladrillo como material estructural y resistente. De éstas, se han conformado un grupo de tipos constructivos para resolver los problemas más variados: Iglesias, silos horizontales o verticales, tanques de agua, torres de televisión, cubiertas para fábricas, depósitos o gimnasios. Afirma Dieste que estamos al principio de un nuevo camino prolífico técnica e industrialmente, pero también arquitectónicamente. La arquitectura moderna fué fundamentalmente la del acero y la del concreto, lo que ha marcado históricamente un predominio de la cubierta plana; sin embargo, al llevar a la obra la forma del ladrillo nos lleva a que la forma estructural no sea el prisma con sus entramados planos y sus nervaduras, sino una diversidad de superficies: muros, diafragmas, bóvedas y cúpulas, cúpulas polédricas, estructuras plegadas, ésta nueva técnica tiene de por sí sus propias consecuencias formales y por consiguiente arquitectónicas, la construcción cuya razón es confinar el espacio es el fin de la arquitectura.

## Estructura para un mercado, Eladio Dieste, la estructura cerámica pág.63 fig 5

41

*...el uso sabio, humano e imaginativamente rico del espacio produce una intensa felicidad; si se logra es arte, y, como todo arte, nos vuelve inteligibles, como en un relámpago, el inexpresable en palabras misterio del mundo. Y también es un hecho, que sin esa comunión contemplativa todo se nos vuelve árido y aburrido.*

Cuando Dieste empezó a estudiar y a utilizar el ladrillo estructuralmente, descubrió un material de posibilidades ilimitadas, casi por completo olvidado por la técnica moderna ya que, lo que se ha hecho estructuralmente con el ladrillo hasta ahora es poco y mal orientado. No puede generarse una arquitectura sana sin el uso económico y racional de los materiales de construcción. Dice estar convencido de que la cerámica estructural (ladrillo, acero, mortero) es una técnica con posibilidades tan grandes como la del concreto armado

*" En materia estructural solemos proceder como si el campo de conocimiento estuviera completamente definido y bastara profundizar lo ya conocido".* Actitud que tenemos al observar siempre lo extranjero, dando por hecho que todo debe venir de las sociedades desarrolladas, a las que provincianamente solemos admirar

**La elección del material.**

No es una manía personal, el que Dieste haya construido estructuras laminares de gran claro a base de ladrillo a pesar de la supuesta complejidad de las técnicas y métodos de cálculo utilizados.

No se podría negar que en cada una de las estructuras de Dieste, hay un importante cúmulo de trabajo técnico, sin embargo los métodos de cálculo, la técnica de ejecución y el diseño de los equipos necesarios, están íntimamente relacionados "a una especie de fidelidad vigilante a los fundamentos de la mecánica teórica y a la resistencia de los materiales". Las estructuras que ilustra y describe se han hecho con ladrillos; se eligió el ladrillo por una serie de características que conviene comentar ya que no siempre estas características son bien conocidas

- 1 Su gran resistencia mecánica
- 2 Con el barro cocido es posible manejar hiladas de una gran ligereza lo cual no es posible con el concreto y esa ligereza permanece al unirlos para construir estructuras de dimensiones comparables a las de concreto armado
3. Un ladrillo con la misma resistencia que el concreto tiene un módulo de elasticidad menor
- 4 Con un mínimo de mantenimiento la estructura de ladrillo envejece y resiste mejor que las de concreto los cambios de temperatura.
5. Las reparaciones agregados o cambios, se notan menos que en otras estructuras.
- 6 Buen aislamiento térmico.
- 7 Comportamiento acústico debido a la facilidad con que se pueden hacer con éste formas acústicamente convenientes
8. La inercia térmica que el barro posee.
- 9 Con las actuales técnicas de fabricación artesanal y aún con las técnicas de fabricación industrial se obtiene un precio por metro cúbico de material mucho más económico a otro de calidad parecida.
10. Hay que hacer notar que ésta economía no es independiente de una facilidad natural y muy extendida en latinoamérica que tienen los operarios para aprender las técnicas de la obra de mano; ya sea porque vienen de pueblos con tradición constructiva en este material, o por que el nivel económico en el que se encuentran nuestros países propicia que estas actitudes se desarrollen

**Objetivos:****Identificación de la problemática e hipótesis de la forma.****El no usar cimbra, la exclusión total del acero de refuerzo, nula participación del concreto.... Obra, Luis Vargas Arriola**

45

Este sistema constructivo presenta grandes ventajas como son: el no usar cimbra, la exclusión total del acero de refuerzo, nula participación del concreto, también se reducen los rellenos para dar pendientes y el acabado de la azotea es solamente un aplanado de cemento, cal, arena; la diferencia también es que la bóveda al construirse queda ya terminada por el lecho inferior contrastando con los sistemas constructivos de concreto y que al depurar los detalles podríamos llamar a este sistema constructivo como "el construir - demoliendo"

**...La bóveda a construir queda ya terminada por el lecho inferior...**

Obra, Luis Vargas Arriola

45

Sin embargo existe alguna problemática en éstas cúpulas que valdría la pena tratar de analizar y que podrían ser algunos de los objetivos de éste trabajo

1o - Mejorar la climatización del espacio interior cubierto por una bóveda o cúpula, ya que las experiencias actuales señalan rangos muy distantes entre las temperaturas extremas del verano y el invierno (aproximadamente 15 grados centígrados )

2o - En el acabado superior de las bóvedas con mucha frecuencia aparecen grietas capilares que se abren a pesar del tratamiento de impermeabilizantes elásticos; ¿Cómo se podrá controlar esto?

**Para realizar un metro cuadrado de bóveda se requiere 0.25 de jornal de una parada o pareja (oficial - peón)...**

Obra, Luis Vargas Arriola

46

A diferencia de la losa de concreto dónde se requieren de 0.75 a 1.0 de jornal por un metro cuadrado y habrá que tomar en cuenta que faltan los acabados.

**¿Que posibilidad existe de hacer cubiertas post-tensadas...**

Obra, Luis Vargas Arriola

47

En este procedimiento constructivo hay también varias hipótesis que valdría la pena verificar:

¿Qué posibilidad existe de hacer cubiertas post-tensadas con ladrillos de barro cocidos a muy altas temperaturas, como los que existen en la industria nacional?

**¿Es la geometría involuntaria que realiza el artesano cercana o parecida a una catenaria?...**

Obra Luis Vargas Arriola

48

¿Es la geometría involuntaria que realiza el artesano cercana o parecida a una catenaria?, de ser cierto lo anterior concluiríamos que ésta es la razón por la cuál estas bóvedas se mantienen en estabilidad, ya que sólo trabajarían a compresión. A partir del punto anterior, al construir bóvedas de gran claro y suponiendo sólo esfuerzos a compresión, ¿se podría reducir la fatiga unitaria en el ladrillo, construyendo las bóvedas con las piezas habituales para la fabricación de muros de 6x12x24 cms. (con un espesor de la bóveda de 12 cms.), o inclusive usando cuñas de 5x10x20 cms. (con un espesor de la bóveda de 20 cms.) ¿Que posibilidad existe de hacer cubiertas postensadas con ladrillos de barro cocidos a altas temperaturas.?

**En la búsqueda del material aislante, según lo promueve su proveedor las esferas de BST-BETOSTIRENE es un agregado para fabricar concreto ligero/aislante térmico a base de esferas de poliestireno....**

50

El material aislante deberá reunir las siguientes características:

- 1.- Ligereza
- 2.- De aplicación sencilla y al alcance de la mano de obra de la albañilería tradicional.
- 3.- Resistencia mecánica que permita la circulación ocasional sin deterioro de la capa aislante.
- 4.- Flexibilidad del material con el objeto de seguir la curvatura de la bóveda.
- 5.- Nula absorción de agua
- 6.- Incombustible
- 7.- Que tenga estabilidad dimensional.
- 8.- Que sea un material inorgánico
- 9.- Que sea económico.
- 10.-Que tenga una buena unión con el material de la cubierta.

Los materiales investigados fueron los siguientes:

- a) Aislamiento esparado de poliuretano.
- b) Placas de poliestireno expandido

- c) Placas de fibra de vidrio.
- d) Colchoneta de fibra de vidrio armada.
- e) Esferas de betostireno

Al comparar los materiales antes citados contra las características necesarias se desprende que de ser un material suficientemente aislante, como lo promueve su proveedor, la opción mas eficiente serian las esferas de betostirene, siendo un material conocido en el mercado como BST-BETOSTIRENE, el cuál es un agregado para fabricar concreto ligero / aislante térmico a base de esferas de poliestireno expandidas, recubiertas con un aditivo para lograr la adherencia entre el poliestireno y la pasta de concreto, logrando de ésta manera que éste no se segregue en la mezcla y exista una uniformidad en cuanto a la resistencia deseada a lo largo del vaciado del concreto.

### **EI BST-BETOSTIRENE se mezcla en diferentes proporciones con cemento arena y agua...**

50

Produciendo un concreto ligero, aislante térmico, casi impermeable, el cuál no trasmite vibraciones, incombustible, no tóxico y con una gran elasticidad y resistencia al impacto.

Por otro lado conviene mencionar que para la elaboración de la mezcla no se requiere de técnicas ni herramientas especiales, por lo que puede mezclarse a mano o con revolvedora.

### **La medición térmica se realizó de forma cotidiana en dos bóvedas iguales señaladas en el plano adjunto con círculos concéntricos. Obra Luis Vargas A.**

54

Dispuestos en la misma orientación y del mismo tamaño con el objeto de conocer que tan semejantes son los registros de la temperatura entre sí, se registrará también la temperatura del exterior.

Seguidamente se procederá a realizar un aplanado a base de cemento, mortero, arena y bst-betostirene \* en una de las bóvedas con el objeto de (hipótesis) disminuir el coeficiente de transmisión de temperatura, al aplanado anterior se le incluirá fibra de polipropileno como armado, además de impermeabilizante integral.

A continuación se tomarán nuevamente registros térmicos en las bóvedas citadas, con el objeto de comparar si hubo variación en la transmisión de temperatura, y de ser así, observar que tan cerca se encuentra el nuevo registro de la temperatura de confort

Antes de realizar la experiencia se recurrió a comprobar la conductibilidad térmica de las bóvedas con y sin recubrimiento de acuerdo con la fórmula para la conductividad térmica, encontrándose los siguientes valores:

sin recubrimiento= 3.11 w/m<sup>2</sup> °C

con recubrimiento= 1.41w/m<sup>2</sup> °C

**Los instrumentos.-** Se usaron tres termómetros con el objeto de colocar uno en la bóveda sin tratamiento (bóveda testigo), otro en la bóveda con tratamiento y otro para registrar la temperatura exterior, previamente a su instalación se tuvieron en observación durante varios días para comprobar que sus escalas eran iguales entre sí en las mismas circunstancias

**Los registros preliminares .-** Se estableció una rutina para efectuar lecturas a cada hora desde las seis hasta las veinticuatro horas.

**Las gráficas.-** Al realizar las gráficas con los datos anteriores durante cuatro días mantuvieron una gran similitud durante las 24 horas.



**Ejecución del forro aislante de la cubierta. 55**

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de BST-BETOSTIRENE, se determinó una mezcla en las siguientes proporciones:

- Cemento 50 kgs (2 botes).
- Arena 11 litros (0.58 de bote)
- Esferas de BST-BETOSTIRENE 128 litros (6.73 botes).
- Agua 22 litros (1.15 de bote).
- Aditivo impermeabilizante líquido 400 cm<sup>3</sup>.
- Fibra de polipropileno 110 grs.

**Esta fibra se aplicó con el objeto de evitar posibles cuarteaduras en la cascara.** 55  
Obra Luis Vargas Arriola.

**Al producir el primer vaciado de material se observó que la consistencia de la mezcla tenía muy poca cohesión.** 55  
Obra Luis Vargas Arriola.

**Se inició el vaciado de la mezcla sobre la bóveda con un espesor de 5 cms.** 56  
Obra Luis Vargas Arriola.

Habiendo aplicado anteriormente sobre ésta una mano de Adhecon con el objeto de unirla al material por aplicar. Notamos que en las uniones entre los lotes de fabricación (una olla de revoladora), aparecieron fisuras en virtud de la unión de los bordes a 90 grados, así que se concluyó como aplanado lanzado con la cuchara del albañil, para no perder el trenzado de las fibras de polipropileno.

**Se procedió a dar un acabado con plana de madera..** 56  
Obra Luis Vargas Arriola.

**Posteriormente se dio un acabado con plana de madera y cemento/arena/ aditivo expansor...** 57  
Obra Luis Vargas Arriola.

**A continuación se procedió a cubrir con un forro de polietileno color negro...** 57  
Obra Luis Vargas Arriola.

**Relacion de temperaturas y gráficas correspondientes a las comprobaciones preliminares; primeros días de verano, otoño e invierno de 1997 y primavera de 1998.**

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA POR TRATAR (C).** 59

FECHA 27 DE MAYO '97 PRELIMINAR 1/4

FECHA 28 DE MAYO '97 PRELIMINARES 2/4

FECHA 29 DE MAYO '97 PRELIMINARES 3/4

FECHA 30 DE MAYO '97 PRELIMINARES 4/4

Las temperaturas dentro de los locales cubiertos con las bóvedas antes señaladas mantuvieron una gran similitud durante las 24 horas del día...

**Relacion de temperaturas y gráficas correspondientes a las comparaciones entre las temperaturas del exterior (A), Boveda testigo (B) y la Boveda tratada (C); primeros días de verano, otoño e invierno de 1997 y primavera de 1998.** 60

FECHA 23 DE JUNIO '97 VERANO 1/4

FECHA 24 DE JUNIO '97 VERANO 2/4

FECHA 25 DE JUNIO '97 VERANO 3/4

FECHA 26 DE JUNIO '97 VERANO 4/4

Como se puede observar en estas gráficas, la diferencia en las temperaturas superiores durante el verano de 1997, la bóveda tratada se conservó hasta 2° C por abajo de la bóveda testigo en las horas del día más calurosas, alrededor de las 16:00 hrs, también se observa, que eventualmente la bóveda tratada mantiene una temperatura ligeramente superior durante las horas más frescas de la mañana entre las 6:00 y 7:00 hrs

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).**

61

FECHA 22 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 1/4

FECHA 23 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 2/4

FECHA 24 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 3/4

FECHA 25 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 4/4

Durante el otoño de 1997 en el mes de septiembre cuando la precipitación pluvial en la Ciudad de México es ya cotidiana se observa la caída que sufre la temperatura exterior generalmente por las tardes. La comparación entre la bóveda tratada y la bóveda testigo refiere una diferencia de hasta 2.5° C

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).**

62

FECHA 6 DE ENERO '98, INVIERNO 1/4

FECHA 7 DE ENERO '98, INVIERNO 2/4

FECHA 8 DE ENERO '98, INVIERNO 3/4

FECHA 9 DE ENERO '98, INVIERNO 4/4

En el invierno de 1998 se pudo observar a través de estas gráficas que la temperatura en la bóveda tratada era casi siempre inferior a la bóveda testigo o eventualmente coincidían hacia las 14:00 hrs, por otro lado también se muestra que la bóveda tratada se iguala sensiblemente alrededor de las 7:00 a las 8:00 hrs con el testigo en las temperaturas más bajas extremas

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).**

63

FECHA 30 DE MARZO '98, PRIMAVERA 1/4

FECHA 31 DE MARZO '98, PRIMAVERA 2/4

FECHA 1° DE ABRIL '98, PRIMAVERA 3/4

FECHA 2 DE ABRIL '98, PRIMAVERA 4/4

En la primavera de 1998, las gráficas resultantes de los registros de temperatura fueron probablemente las más elocuentes, ya que presentaron los perfiles que nos hubieran gustado registrar en otras estaciones. Aquí se puede observar que en las temperaturas más calidas del día, la bóveda tratada se conserva entre 1° y 1.5° C más fresca que en la testigo, además se mantiene el mismo diferencial de temperatura por arriba de las primeras horas de la mañana

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).**

64

FECHA 23 DE JUNIO '97, VERANO 1/4

FECHA 22 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 1/4

FECHA 6 DE ENERO '98, INVIERNO 1/4

FECHA 30 DE MARZO '98, PRIMAVERA 1/4

Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (1/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '97-98 y primavera del '98.

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).**

65

FECHA 24 DE JUNIO '97, VERANO 2/4

FECHA 23 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 2/4

FECHA 7 DE ENERO '98, INVIERNO 2/4

FECHA 31 DE MARZO '98, PRIMAVERA 2/4

Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (2/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '97-98 y primavera del '98

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).****66**

FECHA 25 DE JUNIO '97, VERANO 3/4

FECHA 24 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 3/4

FECHA 8 DE ENERO '98, INVIERNO 3/4

FECHA 1° DE ABRIL '98, PRIMAVERA 3/4.

Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (3/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '97-'98 y primavera del '98

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO B) Y BOVEDA TRATADA (C).****67**

FECHA 26 DE JUNIO '97, VERANO 4/4

FECHA 25 DE SEPTIEMBRE '97, OTOÑO 4/4

FECHA 9 DE ENERO '98, INVIERNO 4/4

FECHA 2 DE ABRIL '98, PRIMAVERA 4/4

Con el objeto de resumir lo anterior se presentan en estas láminas un grupo de 4 gráficas comparativas (4/4) que durante las cuatro estaciones fueron las más significativas del verano '97, otoño '97, invierno '97-'98 y primavera del '98

Como las pruebas anteriores no representaron una respuesta contundente a las expectativas de esta investigación, se decidió iniciar una nueva batería de pruebas en la bóveda tratada adicionando otro material de acuerdo a las consideraciones planteadas en el capítulo "En la búsqueda del material aislante" quedando cuatro opciones que analizaremos brevemente para tratar de seleccionar otro material:

- a) aislamiento esparado poliuretano.
- b) placas de poliestireno expandido.
- c) placas fibra de vidrio
- d) colchoneta fibra de vidrio armada

Ante estas consideraciones, el nuevo material aislante que hemos seleccionado son las placas de poliestireno expandido las cuales además de las características señaladas anteriormente son de precio muy accesible.

**Nuevo material aislante.****69****Se procedió a envolverlo con una malla de gallinero... Obra Luis Vargas Arriola.****70**

Se decidió forrar la bóveda ya tratada por la parte exterior, sobreponiendo placas de poliestireno expandido de 2.5 cms de espesor en tramos de 1.22 m x 1.22 m de lado, esto para conseguir una curvatura ligera en cada pieza y así evitar la probable fractura de las placas.

**Se efectuó un aplanado común de aproximadamente 2 cms.****Obra Luis Vargas. Arriola.****71**

Inmediatamente después se efectuó un aplanado común de aproximadamente 2 cms. de espesor, acabado cerrado y terminado con liana de madera, una vez concluido esto, se cubrió la bóveda con un lienzo de plástico negro buscando un curado de buena calidad sobre el aplanado.

**...pequeñas fisuras que más tarde se estabilizaron como francas grietas...****Obra Luis Vargas Arriola.****71**

Lo anterior se atribuye a que la malla de gallinero quedó apretada contra la lámina de poliestireno expandido por lo cual no participó como armado del aplanado antes citado.

## Comentarios a las gráficas registradas después del segundo tratamiento

Se realizó un nuevo grupo de mediciones, en fechas un tanto arbitrarias en los meses de abril y mayo de 1999 y enero del 2000, los resultados fueron un poco más cercanos a lo esperado sin embargo, las diferencias no llegaron a ser de una importancia tal que modificaran fundamentalmente la temperatura interior, en tres de las fechas se observó que la bóveda tratada había mejorado las temperaturas más frescas de la mañana con respecto con la bóveda testigo, en algunos casos hasta tres grados por arriba, en el caso de las temperaturas de las primeras horas de la tarde ( 14.00-16.00 hrs) el comportamiento fué sensiblemente igual a las gráficas obtenidas con el primer tratamiento

Cabe hacer notar que en la gráfica del 14 de enero del 2000, día particularmente frío en que la temperatura exterior fué solamente de seis grados como mínimo y nueve grados como máximo a lo largo del día, las temperaturas de las bóvedas se conservaron paralelas con la particularidad de que la bóveda tratada estuvo siempre 1° C por arriba de la bóveda testigo.

### Gráficas registradas después del segundo tratamiento

**GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C).** 73  
(SEGUNDO TRATAMIENTO)

FECHA 30 DE ABRIL DE 1999

FECHA 26 DE MAYO DE 1999

FECHA 14 DE ENERO DEL 2000

FECHA 21 DE ENERO DEL 2000

...los resultados fueron un poco más cercanos a lo esperado, las diferencias no llegaron a ser de una importancia tal que modificaran fundamentalmente la temperatura interior...

### Comparativo entre las gráficas del primero y segundo tratamientos.

A continuación, se muestran un grupo de gráficas (8) que comparan los datos de las temperaturas registrados en el primer y en el segundo material aislante, sin embargo ésta información deja mucho que desear, debido a que en condiciones de investigación rigurosa se debieron haber medido las temperaturas los mismos días en cada caso, lo cual resultó imposible con los recursos con que se contaba.

En general, al estudiar las ocho gráficas antes citadas, se observa que la temperatura de la bóveda tratada tiene un gradiente más corto que las temperaturas de la bóveda testigo, lo cual nos indica que aunque de una manera incipiente los tratamientos aplicados tuvieron cierta importancia en el resultado de la experiencia, sin embargo, consideramos que de acuerdo con las expectativas creadas por la información que los fabricantes de los materiales aislantes difunden a través de la publicidad son poco confiables

#### COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO

 75

GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C)

FECHA 16 DE ABRIL '98. PRIMAVERA 3/4 (PRIMER TRATAMIENTO)

FECHA 30 DE ABRIL '99. (SEGUNDO TRATAMIENTO)

#### COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO

 76

GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C)

FECHA 23 DE JUNIO '97. PRIMAVERA 3/4 (PRIMER TRATAMIENTO)

FECHA 26 DE MAYO '99 (SEGUNDO TRATAMIENTO)

#### COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO

 77

GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C)

FECHA 6 DE ENERO '98, INVIERNO 1/4 (PRIMER TRATAMIENTO)

FECHA 14 DE ENERO 2000 (SEGUNDO TRATAMIENTO)

**COMPARATIVO ENTRE LAS GRAFICAS DEL PRIMER Y SEGUNDO TRATAMIENTO**

78

GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS DEL EXTERIOR (A), BOVEDA TESTIGO (B) Y BOVEDA TRATADA (C)

FECHA 9 DE ENERO '98, INVIERNO 4/4 (PRIMER TRATAMIENTO)

FECHA 21 DE ENERO 2000 (SEGUNDO TRATAMIENTO)

**Conclusiones respecto al comportamiento térmico.**

79

En el primer material aislante experimentado llamado comercialmente BST-BETOSTIRENE, sí muestra algunas propiedades aislantes pero éstas no corresponden a las expectativas que en los catálogos de publicidad se presentan, ya que sólo se pudo reducir el gradiente en aproximadamente 2 ° C por lo que se estima que para que éste material pudiera considerarse eficiente debería construirse un recubrimiento de aproximadamente 10-15 cms de espesor lo cual encarecería excesivamente el tratamiento en virtud de los volúmenes necesarios de betostirene, cemento, arena, acero por temperatura y mano de obra, quedando en este caso relegado el proceso constructivo de bóvedas de ladrillo al de cimbra - plafón desvirtuando completamente el concepto de estructura-acabado-precio que el sistema presenta

**Un nuevo material aislante**

Las placas de poliestireno expandido de 2.5 cms. de espesor representaron aproximadamente otro tanto en la reducción del gradiente de las temperaturas (hasta cinco grados entre la máxima y la mínima, aprox 30%) sin embargo, hay que considerar que las placas antes dichas son de un medio de la sección del aplanado de BST-BETOSTIRENE. Por otra parte el precio resulta muy atractivo y para evitar cuarteaduras en la cáscara se podría conseguir colocando una primera capa de aplanado lanzado sobre las placas ya colocadas y fijadas, dicho aplanado deberá quedar con un acabado denominado "zarpeado", es decir salpicar de mezcla, una vez seca ésta base, fijar la malla de gallinero y terminar el aplanado incluyendo pelo de polipropileno el cuál es muy barato y reforzar así la trama que evite el agrietamiento, por descontado será colocar un impermeabilizante integral a éste recubrimiento

Para conseguir un aislamiento que resultara más eficiente podríamos considerar en duplicar el espesor de la placa de poliestireno expandido a 5 cms. ya que el precio del material es muy accesible y el costo de la mano de obra no sufriría ninguna modificación

**La solución vernácula**

No hay que despreciar la solución que históricamente la arquitectura vernácula ha puesto en práctica en diversas regiones de las cuáles analizaremos someramente las poblaciones aledañas a la Ciudad de Durango en el Estado del mismo nombre donde también se construyen bóvedas de ladrillo recargado

La ciudad de Durango tiene unas coordenadas de 24° 01' 31" de latitud norte y, 104° 39' 11" de longitud oeste y 1880 mts. s. n. m., está aproximadamente 3° al sur del trópico de cáncer y su clima es semiseco templado con una temperatura media anual de 17.8°C con una precipitación pluvial anual de entre 400-600 mm manifestándose la temperatura mínima del mes de diciembre hasta -5°C y de 39°C la temperatura máxima en el mes de Junio con un diferencial de aproximadamente 45 °C

En ésta región donde se hacen bóvedas de ladrillo se colocan rellenos de tierra de la misma con que se fabrica el adobe, cubriendo totalmente la cubierta y nivelando la azotea a unos 20 cms por encima de la clave, sobre el relleno un entortado de cal y arena y adherido a éste un petatillo de ladrillo, como impermeabilizante una solución de agua y jabón y que una vez saturada la azotea se precipita por medio de alumbre disuelto en agua.

En ésta región y con un clima de las características descritas basta en invierno con un "calentón" de fierro colado o de barro de la región que usa por combustible leña para conservar el interior de las casas a la temperatura de confort

En el verano las casas se conservan muy frescas sin necesidad de ningún acondicionamiento de aire o ventilación mecánica

De ésta enseñanza podemos concluir que quizás la solución más eficaz en relación al control térmico consistiría en la aplicación de rellenos de tezontle, seleccionando el material a través de comparar el peso en diferentes diámetros con una constante de volumen para poder seleccionar cuál es la granulometría que menos peso represente, con lo cuál estaríamos seguros que la más ligera representará la de mayores contenidos de aire, llegando así a la solución más eficiente, sin embargo eso sería motivo de otra investigación.

## Geometría.

### Posteriormente se puso un hilo a nivel (eje de las "x" ) y se colgó una cadena formando una catenaria... 82

En el capítulo llamado "la forma invención inevitable", se plantean varias hipótesis las cuales trataremos de comprobar en los siguientes planteamientos:

¿Es la geometría involuntaria que realiza el artesano cercana o parecida a una catenaria o a cualquier otra figura geométrica? A partir de esta premisa, se ideó un procedimiento práctico para poder comparar los perfiles de diversas bóvedas y sobreponerlos a la catenaria que correspondiera a tres puntos de ésta. Los puntos a coincidir fueron los dos puntos bajos y el punto más peraltado de ambas:

punto A	punto B	punto C
$(X=0, Y=0)$	$(X=4, Y=\max.)$	$(X=8, Y=0)$

Se colocó un hilo bajo la bóveda en el sentido corto, largo y diagonal a manera del eje de las "X", se dividió en cada caso en ocho partes y se midió la altura entre el hilo y la bóveda en cada uno de los ocho puntos, con lo anterior tenemos un perfil razonablemente preciso de la bóveda en tres cortes.

**Las catenarias.** Sobre un muro se puso un hilo a nivel (eje de las "X") y se colgó una cadena formando una catenaria

( del lat. Catenaria, propio de la cadena) que sabemos es una curva formada por una cadena o un cable suspendidos por dos puntos fijos y sometida a su propio peso. La tracción del cable en la catenaria es la misma en cada punto de ésta. Por lo que, si consideramos a dicha curva a manera de cúpula, tendremos que todos los esfuerzos de compresión que se generen en la bóveda serán los mismos en cada punto de ésta (?)

### Uno de los principales problemas para los principiantes consiste en como regir la geometría de la cúpula por realizar ... 83

Otra inquietud que surgió en ésta parte del trabajo fue investigar como se curva "libremente" una varilla de acero de 9mm de diámetro y comparar el arco de ésta con catenarias y arcos de circunferencia.

#### Catenarias.

8.00 metros.	84
6.00 metros.	85
4.00 metros	86
2.00 metros.	87

Como se observa en las gráficas anteriores es bastante válida la catenaria obtenida por una cadena metálica, por lo que procederemos a sobreponer el trazo anterior a cinco bóvedas ya construídas de diferentes formas, tamaños y tipo de construcción, las cuales fueron:

La primera, cuadrada ( 3.815 m. X 4.17 m. )

La segunda, exagonal ( 3.76 m de distancia entre vértices opuestos )

La tercera, rectangular ( 3.24 m. X 5.84 m )

La cuarta triángulo equilátero (3.76 m. por lado).

La quinta rectangular (1.50 m. X 2.75 m.)

#### Perfiles de diversas bóvedas sobrepuestos al trazo de catenarias.

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By) 3.815 X 4.17, SOBREPUESTOS A UNA CATENARIA (Cx-Dy) LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO). 90

PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax,By), DE PLANTA EXAGONAL DE 3.76 DE DIÁMETRO ENTRE VÉRTICES, SOBREPUESTOS A LAS CATENARIAS (Cx-Dy), CORTES ENTRE VÉRTICES Y ENTRE LADOS PARALELOS (TIPO DE BÓVEDA PLATILLO) 91

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By), DE 3.24 X 5.84 SOBREPUESTOS A UNA CATENARIA (Cx-Dy) LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO). 92

PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax-By) DE PLANTA EN TRIANGULO EQUILÁTERO DE 3.76 POR LADO, SOBREPUESTOS A LAS CATENARIAS (Cx-Dy), A UN TERCIO Y A DOS TERCIOS DE LA ALTURA. 93

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR DE (Ax-By), DE 1.50 X 2.75 SOBREPUESTOS A UNA CATENARIA (Cx-Dy). LADO CORTO A 1/4 DEL CLARO LARGO, LADO CORTO A 1/2 DEL CLARO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA DE CAÑÓN). 94

Como se ha podido observar en la sobreposición de los perfiles anteriores entre catenarias y cúpulas ya construidas no existe un patrón ni de coincidencia ni de diferencia, ya que, algunas veces son muy semejantes, otras la catenaria pasa por abajo de la cúpula, otras veces por arriba, y hasta por abajo y arriba de una misma; alguna vez la diferencia es mínima, en otras rebasa los 20 cm; ante tal circunstancia hemos decidido contrastar los perfiles de las cúpulas anteriores con el trazo de arcos de circunferencia a través del ordenador, ya que siendo ésta un trazo muy sencillo de realizar en la albañilería quisimos investigar qué tan cercano podría ser éste de la geometría de las bóvedas.

### **Perfiles de diversas bóvedas sobrepuestos al trazo de arcos de circunferencia.**

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By) 3.815 X 4.17, SOBRE ARCOS DE CIRCUNFERENCIA (Cx-Dy) LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO). 97

PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax-By), DE PLANTA EXAGONAL DE 3.76 DE DIÁMETRO ENTRE VÉRTICES, SOBREPUESTOS A ARCOS DE CIRCUNFERENCIAS (Cx-Dy), CORTES ENTRE VÉRTICES Y ENTRE LADOS PARALELOS (TIPO DE BÓVEDA PLATILLO) 98

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR (Ax-By), DE 3.24 X 5.84 SOBREPUESTOS A ARCOS DE CIRCUNFERENCIA (Cx-Dy). LADO CORTO, LADO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA PAÑUELO) 99

PERFILES DE UNA BÓVEDA (Ax-By) DE PLANTA EN TRIANGULO EQUILÁTERO DE 3.76 POR LADO, SOBREPUESTOS A ARCOS DE CIRCUNFERENCIAS (Cx-Dy), A UN TERCIO Y A DOS TERCIOS DE LA ALTURA. 100

PERFILES DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR DE (Ax-By), DE 1.50 X 2.75 SOBREPUESTOS A 101

ARCOS DE CIRCUNFERENCIAS (Cx-Dy) LADO CORTO A 1/4 DEL CLARO LARGO, LADO CORTO A 1/2 DEL CLARO LARGO Y DIAGONAL (TIPO DE BÓVEDA DE CAÑÓN) 102

Cómo ninguna de las comparaciones hechas hasta ahora nos ha dado una respuesta contundente decidimos establecer un nuevo punto de vista en el cotejo de los datos, ahora a través de las monteas correspondientes

### **Monteas comparativas de las curvas de nivel.**

**Comparativo** entre las curvas de nivel en dos cúpulas de planta sensiblemente cuadrada, una ya construida y la otra a partir del trazo geométrico preciso —arcos de circunferencias con tres radios principales ( lado corto, lado largo y diagonales) 103

**Comparativo** entre las curvas de nivel en dos cúpulas exagonales, una ya construida y la otra a partir del trazo geométrico preciso con dos radios principales ( lado corto y lado largo entre vértices). 104

**Comparativo** entre las curvas de nivel en dos cúpulas rectangulares, una ya construida y la otra a partir del trazo geométrico preciso con tres radios principales ( lado corto, lado largo y radio máximo por la diagonal) 105

**Comparativo** entre las curvas de nivel en dos cúpulas triangulares( equiláteros), una ya construida y la otra a partir del trazo geométrico preciso con un sólo centro de radio localizado en la proyección del centroide. **106**

**Comparativo** entre las curvas de nivel en dos cúpulas rectangulares de las llamadas de "cañón", una ya contruida y la otra a partir del trazo geométrico preciso, con dos radios principales (centro del cañón y arranque de la cúpula). **107**

### **Conclusiones con respecto a la geometría de las cúpulas de ladrillo.** **108**

Creemos que entre más competente es el operario que las construye, las cúpulas de ladrillo se acercan más al manto generado por varias circunferencias con varios radios principales. Circunferencias que pasan por cada uno de los ejes de la planta (en las cúpulas de planta cuadrada )D' O1 B' también A' O1 C' y como centro O2 el radio O2 D' gira sobre el eje O1 O2 y genera el manto D' A O1 para lo cual el centro O2 deberá desplazarse hasta O3 generando en cada infinitésimo un arco diferente que dará como resultado el manto correspondiente.

Para cúpulas de planta rectangular se presenta el mismo caso que el anterior, solo que ahora son tres arcos principales a saber :arco por el lado corto A' O1 C' (centro en O2 ), arco por el lado largo D' O1 B' (centro en O3), arco por las diagonales A O1 C (centro en O4 ), y arcos simétricos. Asi mismo el centro O2 deberá desplazarse hasta O3 y O4, al mismo tiempo que gira sobre su propio eje generando en cada infinitésimo un arco diferente que dará como resultado el manto de la cúpula correspondiente. De la misma manera se deben interpretar otras cúpulas, ya sea de planta exagonal (dos radios) o triangular (un radio) siempre de planta regular.

### **Comportamiento estructural de arcos y bóvedas.** **110**

Al señalar el comportamiento estructural de arcos, bóvedas y cúpulas, ahora sí nos referimos a la definición tradicional de éstas, es decir, los arcos y las bóvedas se consideran como edificaciones con generatriz curva que cubren el espacio comprendido entre dos muros o varios pilares, en el caso de las cúpulas como cubiertas de doble curvatura o sinclásticas, generalmente éstas están constituidas por la cáscara y un anillo de borde.

Concretando en el estudio de arcos y bóvedas de cañón el equilibrio sin tensiones flectoras se consigue cuándo coinciden el eje del arco con la línea de presiones, lo que de una manera genérica, se dice que una estructura de éstas características está en equilibrio cuándo la línea de presiones se ubique dentro del tercio medio del arco.

### **En caso de una bóveda con generatriz semicircular** **110**

En la cual, la línea de presiones no viaja por el núcleo del arco, ésta presentará esfuerzos flectores y cambian de signo en el punto de inflexión en que se cruza la línea de esfuerzos, ésto se puede conocer graficamente sobreponiendo a la circunferencia del arco una catenaria apoyada en los mismos puntos de la semicircunferencia y que tenga el mismo desarrollo de ésta.

Colgar un arco rígido semicircular articulado (con lo que no consideramos momentos en los apoyos del arco)

Colgar un arco catenámico con el mismo desarrollo del arco semicircular.

Intersección de las líneas de acción de un arco semicircular con una catenaria.

Al sobreponer los perfiles se aprecia con claridad que para que el arco semicircular no tome el perfil de las fuerzas que actúan en el funicular aparecerán dentro del arco los esfuerzos (momentos) de los cuales hablamos Dichos esfuerzos aparecerán: En el arranque del arco semicircular el cual tiende hacia adentro con lo que requeriría refuerzo en el intradós. En el centro del arco funicular tiende hacia abajo, por lo que necesitaría refuerzo en el extradós.

Al invertir el diagrama (antifuncular) también se invierten las condiciones de los momentos por lo que habrá que invertir los refuerzos de acero quedando como aquí se muestran. Hay que mantener las condiciones de apoyo articulado (no libre) ya que cuando se considera empotrado aparecerán momentos en los apoyos.



## **Gráfica de los esfuerzos flectores positivo, negativo y punto de inflexión en arcos y bóvedas de cañón.**

**Comportamiento estructural de las cúpulas.**

111  
112

En los conceptos anteriores se ha dicho, que la catenaria es la línea de presiones en una sección plana, lo que es aceptado en arcos y bóvedas de cañón corrido, pero en el caso de cúpulas no, pues debe hacerse un análisis del corte transversal sin considerar la continuidad del espacio de la superficie ya que ésto daría resultados erróneos.

Como un caso diferente a los anteriores la forma conveniente en una cúpula para evitar los esfuerzos de flexión no depende de una superficie de presiones o condiciones de carga, ya que, la razón principal de ésto, es que en la membrana de una cúpula existen esfuerzos de tracción y compresión

Tenemos que considerar que la superficie tiene dos direcciones en las cuáles se alojarán los esfuerzos y éstos son a través de los meridianos y los paralelos. A diferencia de los arcos y bóvedas en los que los esfuerzos viajan a través del arco generatriz.

### **una maqueta hecha a base de esferas, las cuáles tengan una perforación a manera de perlas de collar para pasar por ahí un resorte...**

113

Colocando una circunferencia de esferas sobre un plano horizontal se coloca encima de éste otro con un radio ligeramente menor y así sucesivamente como si fueran los paralelos de una semiesfera, en éste caso tendríamos seguramente un sistema en equilibrio aunque sin la posibilidad de tomar esfuerzos de tracción a través de los meridianos.

Si a ésta maqueta se le suprimen los paralelos en condiciones alternadas, se presentara una cúpula rebajada que mantendrá su equilibrio, lo que no sería posible en el caso de los arcos.

Lo anterior se comprende debido a que la cúpula-membrana no depende de la forma para su equilibrio, ya que en sí misma tiene lugar una combinación interna en la cuál hay una distribución de esfuerzos en los paralelos y en los meridianos lo que no sería posible en estructuras en un plano

Si observamos con detalle nuestra maqueta, podemos ver que las esferas superiores tienden a apretarse unas con otras y que las de la parte inferior tenderán a separarse con el resorte que las une, ésto es lo que verdaderamente sucede en una cúpula, es decir, que los paralelos superiores trabajan a compresión y los inferiores a tracción quedando los meridianos a compresión

De lo anterior podemos concluir, que existe un paralelo dónde cambia el esfuerzo de compresión a tracción en la cáscara de la cúpula, es decir, un punto de inflexión dónde el esfuerzo es nulo

### **Método Gráfico.**

114

En una cúpula se sigue el mismo procedimiento que en el método algebraico, es decir, el peso que gravita en cada sección se descompone en sus componentes, una horizontal y la otra tangente a la cúpula en dicha sección, como a continuación se ilustra.

### **Esfuerzos de una cúpula semiesférica**

115

En una cúpula semiesférica tendremos en los paralelos por arriba de los  $38.184^\circ$  N esfuerzos sólo a compresión, abajo de éste ángulo los esfuerzos sólo son de tracción y precisamente en este punto el esfuerzo es igual a cero. En los meridianos se presenta compresión en todos ellos.

### **Conclusiones sobre los esfuerzos de trabajo en arcos, bóvedas de cañón y cúpulas**

116

Cuando un arco o bóveda de cañón son de sección circular y el peralte no mayor al 13.4% del claro (arco o bóveda rebajados) éstos estarán trabajando en un esfuerzo flector positivo (+), por lo que necesitará refuerzo en el intradós del arco, ésta zona se localiza desde la cuerda que une los puntos de inflexión y hacia arriba.

Por abajo de ésta cuerda, se localiza la zona de esfuerzo flexor negativo (-), por lo que, todo arco o bóveda de trazo circular y que su peralte sea mayor de 13.4% y hasta el 50% deberá también reforzarse con acero en las proporciones necesarias en la zona del extradós para resistir dichos esfuerzos

Ahora bien, si queremos que un arco o bóveda de cañón no presente esfuerzos flexores de ninguna especie éstos deberán construirse siguiendo el trazo de una catenaria ya que los esfuerzos seguirán ésta trayectoria.

### **El casquete esférico por arriba de los 38.184°**

117

En el siguiente ejemplo la cúpula mide 7.860 m de diámetro y tiene un peralte de 1.909 m que representa el 24.287% de la luz de la cúpula, por lo que se puede generalizar que toda cúpula semiesférica con un peralte del 25% de su claro se encuentra trabajando en paralelos y meridianos a compresión.

### **Cúpula de planta cuadrada de 4.00m x 4.00m. de lado con 25% de peralte**

120

La zona punteada supone la zona de cambio de esfuerzos de compresión a tracción la cual es sensiblemente tangente al centro de los bordes. En los vértices la zona punteada se localiza por afuera de la cubierta y un tanto abajo de ésta

Estas líneas son generadas sobre la cúpula por el trazo en los arcos perpendiculares a los lados en las diferentes latitudes señaladas pero con la salvedad que el centro O1 (centro del plano del ecuador) deberá desplazarse hasta O2 que corresponde al centro del mismo en el caso de los arcos diagonales, siendo para la cúpula supuesta de 2.00 m.

#### **Los paralelos:**

En planta son cuadrados con las esquinas redondeadas, los lados son arcos concéntricos con radio de curvatura hacia afuera y a partir del punto "O", en alzado son líneas curvas que ascienden al centro de los lados y descienden en los arcos diagonales

Se ha señalado con una línea punteada lo que suponemos el sitio de cambio de esfuerzos de compresión a tracción pasando por cero, encontrando que casi toda la cúpula se encuentra trabajando a compresión, salvo al centro de los lados, en que una ínfima parte pasa por la zona de tracción (A, A2, A4, A6)

También se puede observar que el esfuerzo a tracción en las diagonales está por afuera de la cubierta y un tanto abajo, la razón es que por las diagonales la cúpula tiene solamente el 17.68% de peralte con respecto a su claro por lo que acusará el mayor empuje lateral (coceo), sin embargo la zona de cambio de esfuerzos de compresión a tracción se encuentra más alejada del vértice de dónde arranca la cúpula.

#### **Los meridianos:**

En cada medio cuadrante todos son de diferente forma y magnitud y podemos suponer que tienen el apoyo de los paralelos, que restringen su desplazamiento lateral desarrollando tensiones de anillo. La contribución de los paralelos al comportamiento funicular de la cúpula queda indicada por las deformaciones que sufren los meridianos bajo la acción de las cargas. En una cúpula de pequeña altura, los meridianos se deforman bajo la acción de las cargas y al hacerlo se mueven hacia adentro, es decir, hacia el eje de la cúpula. Los paralelos quedan sometidos a compresión, y su resistencia disminuye sustancialmente la libertad de los meridianos para desplazarse hacia adentro. En otras palabras, puede considerarse que una cúpula de poca altura (máximo 25% de peralte) se comporta como una serie de arcos meridianos elásticamente apoyados en los paralelos; desarrolla tensiones de compresión tanto a lo largo de los meridianos como de los paralelos y, al menos en teoría, es posible construirla con materiales incapaces desarrollar tensiones de tracción, como mampostería o ladrillos

### **Grupo de cúpulas de diversas proporciones y al 20% y 25% de peralte**

Con respecto a alguno de sus lados y a la semisuma de éstos para observar el fenómeno supuesto

### **Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m de lado al 20% y 25% de peralte con respecto a éstos.**

121

Localización de las líneas de los 38.184° / 51.816° en dos cúpulas de ladrillo de diferentes peraltes.

20% de peralte (toda la cúpula está sujeta a compresión)

25% de peralte, ínfima parte del arco que pasa por 'b'c'fg', cortando los lados, estará sujeta a tracción.

- Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 6.00m. de lado Al 20% y al 25% de peralte con respecto al lado menor.** 122
- Localización de las líneas de los  $31.184^\circ / 51.816^\circ$  en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes
- 20% de peralte (toda la cúpula está sujeta a compresión)
- 25% de peralte ( infima parte del arco que pasa por b',c', cortando el lado mayor, estará sujeta a tracción)
- Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 6.00m.** 123
- Al 20% y al 25% de peralte con respecto al semisuma de el lado menor y el lado mayor  $(4.00+6.00)/2 = 5.00m$
- Localización de las líneas de los  $38.184^\circ / 51.816^\circ$  en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes con respecto al promedio de sus lados (5.00m )
- 20% de peralte (infima parte del arco que pasa por a',b', cortando el lado mayor estará sujeta a tracción)
- 25% de peralte ( parte del arco que pasa por b',c', cortando el lado mayor estará sujeta a tracción, nótese que ésta zona es mayor que cuando el 20%)
- Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 8.00m.** 124
- De lado al 20% y al 25% de peralte con respecto al lado menor.
- Localización de las líneas de los  $38.184^\circ / 51.816^\circ$  en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes.
- 20% de peralte (toda la cúpula está sujeta a compresión)
- 25% de peralte ( infima parte del arco que pasa por b',c', cortando el lado mayor estará sujeta a tracción )
- Arcos de circunferencia como directrices de dos cúpulas de 4.00m. x 8.00m.** 125
- De lado al 20% y al 25% de peralte con respecto al la semisuma del lado mayor y el lado menor  $(4.00m. + 8.00m.)/2 = 6.00m$
- Localización de las líneas de los  $38.184^\circ / 51.816^\circ$  en dos cúpulas de ladrillo con diferentes peraltes del promedio de sus lados. (6.00m )
- 20% de peralte (la zona del arco que pasa por a'd' cortando el lado mayor estará sujeta a tracción)
- 25% de peralte (la zona del arco que pasa por b'c' cortando el lado mayor estará sujeta a tracción)
- Arcos de circunferencia como directrices de una cúpula triangular de 3.76m. de lado (equilátero) y al 15% de peralte.** 126
- Localización de la línea a los  $38.184^\circ / 51.816^\circ$  en una cúpula de ladrillo de planta triangular y un solo radio de 1.6927m, la zona a tracción se encuentra localizada en los vértices entre A A1, B B1, C C1.
- El procedimiento constructivo de una cúpula.**
- Cintrel** 127
- Consideramos que uno de los principales problemas consiste en cómo regir la geometría de la cúpula por realizar, ésto se puede conseguir fácilmente flexionando unas varillas de acero de un diámetro aproximado de 9 mm entre los vértices opuestos del espacio a cubrir y otras varillas pasando por los centros de los claros, todas ellas coincidiendo en un centro y con una contraflecha que puede ir del 15% al 25 % del claro menor según el caso, ya sea azotea o entrepiso. Estas varillas, serán las generatrices por las cuáles el manto del ladrillo tendrá que hacer su recorrido a manera de directriz.
- Una vez colocadas éstas habrá que empezar a colocar ladrillos a partir de las esquinas, iniciando con un medio ladrillo inclinado 45 grados, después 2 medios ladrillos igualmente inclinados y así sucesivamente se irán colocando éstos traslapando las juntas. La inclinación de las juntas se inicia a 45 grados y tendrá que ir enderezándose hasta llegar a los 90 grados, para ésto a los principiantes se les puede recomendar el uso de un cintrel con el objeto de orientar la dirección.
- Al llegar al centro de la cúpula se puede cambiar la dirección de los ladrillos o se puede dejar un hueco para un domo o linternilla, finalmente se vierte sobre las juntas semi vacías que resultan por la parte superior una lechada rica en cemento, que rellene a éstas

## **Sobreposición de arcos de circunferencia a varillas de acero de 9mm. de diámetro curvadas "libremente" 128**

Los arcos de circunferencia fueron trazados a partir del ordenador.

## **"Pañuelos y cañones" 129**

Arcos de ladrillo inclinados inicialmente a 45° a manera de manto generatriz.

Varillas de acero flexionadas a manera de directriz.

## **Diversos tipos de tejidos del aparejo 130**

## **Se pueden conseguir grandes vanos... Obra Luis Vargas Arriola 131**

El ladrillo de preferencia a usar es el llamado cuña que mide 5cm x 10cm x 20 cm colocado en seco, con el objeto que éste tome rápidamente el agua de la mezcla y no se resbale por efecto de la gravedad, la mezcla será un mortero cemento-cal-arena proporción 1:1:8 o 1:1:10.

Por su tamaño las cuñas son más manejables, su volumen es de 1,000 cc. y su peso es de 1,200 gr. por pieza a diferencia del ladrillo normal de 6cm x 12cm. x 24cm. que tiene un volumen de 1,728 cc. y con un peso de casi el 73% más

No es recomendable construir cúpulas cuadradas con un peralte mayor al 25% si queremos que toda la cubierta trabaje a compresión, en el caso de cúpulas rectangulares tomar como máximo de peralte el 25% del lado más corto

Si decidimos construir cúpulas con un peralte mayor habrá que pensar en un refuerzo metálico en la parte baja

Para concluir aplicar un aplanado rústico cemento-arena prop. 1 : 5 adicionado con pelo de polipropileno en una proporción de 900 grs. por cada metro cúbico de mezcla, en azoteas se sugiere dosificar algún impermeabilizante integral a la mezcla

## **Las cúpulas se pueden tejer de diversas maneras... Obra Luis Vargas Arriola. 132**

Finalmente, quisiéramos hacer algunos comentarios respecto a lo que, los hacedores de cúpulas de la región de San Juan del Río establecen cómo requisito para construir sus cubiertas, y consiste en lo siguiente: Si van a fabricar una cúpula que sea solamente de azotea el 20% de peralte es lo necesario, en cambio, si la cúpula va a ser entrepiso es decir va a recibir un relleno y posteriormente un piso que pasará tangente a la clave del arco, el peralte será del 25% nótese la coherencia con los datos obtenidos, ya que en los dos casos las cúpulas estarán trabajando a compresión pero en la de mayor peralte habrá menos coceo

Cabe reflexionar que hay varias formas de acercarse a la realidad, la forma que hemos privilegiado en ésta investigación es la de la lógica formal o método científico, sin embargo tenemos que reconocer que hay otra forma, la cual han aplicado los hacedores de bóvedas y cúpulas a través del tiempo, ésta es la lógica fáctica o de los hechos, y que es tan válida como la primera cuando de acercarse al conocimiento se trata.

## **Tabla de esfuerzos en diversas cúpulas de varias medidas y peraltes del 25% 20% y 15%. 133**

Si decidimos construir cúpulas de menor peralte que podemos suponer cómo mínimo hasta el 15%, siempre estamos seguros de su trabajo sólo a compresión pero habrá que revisar el empuje lateral sobre los bordes de apoyo y sobre todo en los vértices ya que ha medida que éstas son más rebajadas se aumenta el coceo Si al contrario, decidimos construir una cúpula con más del 25 % del peralte, se debe colocar el refuerzo metálico correspondiente para tomar el esfuerzo de tracción en los paralelos que quedan por abajo de los 38 184°.

## Recapitulando

134

### Comportamiento térmico.

Un ejemplo lo podemos ver en Hassan Fathy, pag 23(\*) de éste trabajo donde se muestra el techo relleno con tierra de la sala de oración de la mezquita del Nuevo Gourná en el alto Egipto, la cual se localiza en una zona caliente y árida con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche. En esta región es casi nula la presencia de nubes por lo que el suelo está sujeto a una intensa radiación solar a lo largo del día, mientras que en la noche éste vuelve a irradiar una cantidad importante de calor, por lo que cualquier superficie expuesta al sol como los techos, las paredes o el suelo de los edificios se calientan de una manera muy intensa durante el día, temperatura que tiende a perderse durante la noche.

**Geometría.** Es un hecho que las cúpulas son combinaciones de circunferencias que se trazan a partir de dos o más radios principales.

Los radios se pueden conocer según la fórmula:  $R = P/2 + L^2/8P$

siendo :

R = radio.

P = peralte de la cúpula

L = Luz de la cúpula.

Consignamos aquí los radios para las cúpulas con peraltes del 15%, 20% y 25%.

Para cúpulas con un peralte del 15 % radio = 0.9083 del claro

Para cúpulas con un peralte del 20 % radio = 0.7250 del claro

Para cúpulas con un peralte del 25 % radio = 0.6250 del claro.

Finalmente sobre los esfuerzos de trabajo en arcos, bóvedas y cúpulas nos parece importante insistir en la diferencia entre los esfuerzos en arcos y bóvedas por un lado y cúpulas por el otro.

También nos damos cuenta que a los 30° a partir del centro se localiza el sitio llamado riñón del arco o de la bóveda que es la zona de máximo esfuerzo flector negativo, de ahí las fallas que históricamente se han señalado en éste lugar.

En el caso de cúpulas de planta rectangular para tener siempre esfuerzos a compresión tomar como máximo el 25% de peralte con respecto al lado menor sin embargo en las plantas triangulares recomendaríamos no pasar del 15% de peralte.

En el caso de cúpulas con más del 25% de peralte en las cuales aparecerán esfuerzos de tracción al centro de los lados en la zona del desplante, habrá que prever acero de refuerzo en éste sitio, o bien confinar el arranque de la cúpula por una cadena de concreto armado que sea capaz de mantener la geometría, soportando ésta los esfuerzos correspondientes.

Otro punto que cabe resaltar es la posibilidad de construir edificios de varios niveles resueltos con este sistema con absoluta seguridad desde el punto de vista estructural, sólo que relleno la parte exterior de las cúpulas para dar lugar a los pisos superiores, en éste caso, se sugiere que el peralte no sea inferior al 15% con lo que se pueden conseguir entresijos más bajos que se adaptan mejor a la reglamentación de la Ciudad de México en lo que a restricciones de altura corresponde.

**...rellenando la parte exterior de las cúpulas para dar lugar a los pisos superiores...** 135

Obra Luis Vargas Arriola.

Con éste sistema constructivo no deberá asignársele rigidez alguna a las cúpulas y todos los esfuerzos de sismo deberán ser tomados por las trabes, columnas y muros.

Conviene también destacar que a mayor claro, se tiene el mismo costo unitario, al contrario de los sistemas de concreto y acero en que a mayor claro mayor costo por unidad.

Creemos interesante mencionar el peso volumétrico de las cuñas de barro, no más que 1200 kg/m<sup>3</sup> contra el peso volumétrico del concreto armado de 2400 kg/m<sup>3</sup> lo cual permite aligerar las losas de entresijo en un 50% (sin considerar el relleno de tezontle) con el consiguiente ahorro en el peso propio de un edificio y en la masa por considerar en los esfuerzos por sismo.

Además no habrá que pagar derechos por registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial o cualquier otro, debido a que, éste conocimiento es del dominio público producto de la invención popular.

Es la intención de éste trabajo desmitificar todo lo que a éstas estupendas estructuras concieme ya que en las escuelas de arquitectura algunos hablan de ellas pero casi nadie sabe como construirlas ya que se les atribuyen cimbras complejas y costos estratosféricos propios de caprichos millonarios, siendo que el conocimiento de éstas nos ha demostrado completamente lo opuesto a estos mitos generados fundamentalmente por ignorancia

Vale la pena reflexionar sobre si seguimos proyectando habitación "mínima" con los sistemas tradicionales de losas de concreto armado que para igualar los costos institucionales nos llevan a soluciones ineficaces por lo reducido de su tamaño. O permitimos soluciones más generosas con el sistema de cúpulas de ladrillo propuesto, que seguramente tendrían el mismo costo pero con mayores espacios.

## **Homenaje a Hassan Fathy**

**137**

## BIBLIOGRAFÍA

- \*Angerer F., "Construcción Laminar". Ed. G.G., Barcelona, 2a. ed., 1964.
- \*BST-Betostirene, Catálogo 1997.
- \*Dieste Hilario. "La estructura cerámica". Ed. Galdor Carbonell, Colombia 1987.
- \*Fathy Hassan, "Arquitectura para los pobres". Ed. México Extemporáneos, 2a ed., 1982.
- \*Fletcher Banister, "A History of Architecture". Ed. Dan Cruickshank, 20a. ed., 1996.
- \*Galeano Eduardo, "El libro de los abrazos". Ed. Siglo veintiuno S.A de C.V., 9a. ed, 1994.
- \*Ghyka Matila C., "El número de oro". Los ritos. Ed. Poseidón. Buenos Aires Argentina, 1968.
- \*Moreno García Francisco. "Arcos y Bóvedas". Ediciones CEAC, Barcelona España, 20a ed., 1987.
- \*Moya Blanco Luis, "Bóvedas tabicadas". Ed. Textos Dispersos, Madrid España, 1993.
- \*Oliva Salinas J. Gerardo. "Estudio sobre la construcción de cascarones reticulados". División de Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura, UNAM 1989.
- \*Olvera López A. "Análisis, cálculo y diseño de las bóvedas de cáscara"., Ed. CECSA, Continental, México 1969.
- \*Ontiveros H.M. Apuntes "Cubiertas Ligeras, Geometría Estructural"., Oliva S.G 1999.
- \*Ramírez Ponce A. "Curvas de Suspiro y Barro". Ed. Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Arquitectura, 1996.
- \*Ramírez Ponce A. Revista de Arquitectura Mexicana No. 3, "Una quimera sobre alas de papel, Ed. Facultad de Arquitectura, 2001.
- \*Revista Obras, Art. "Carlos Mijares". Ed. Expansión, Octubre 1992.
- \*Salvadori y Heller ., "Estructuras para Arquitectos" ., Ed. La Isla S. de RL., Buenos Aires 1966.
- \*Steele James; An Architecture for people; Ed. Whitney Library of Design. New York, 1997.
- \*Universidad Autónoma Metropolitana. "Arquitectura Latinoamericana", Pensamiento y propuesta. Ed. SUMMA, México D.F., 1a. edición 1991.
- \*UAM- Rice University. "Architecture at Rice University" Ed. Rice University, 1966.
- \*Ward Perkins B.J., "Arquitectura Romana" Ed. Aguilar, Madrid 1976.