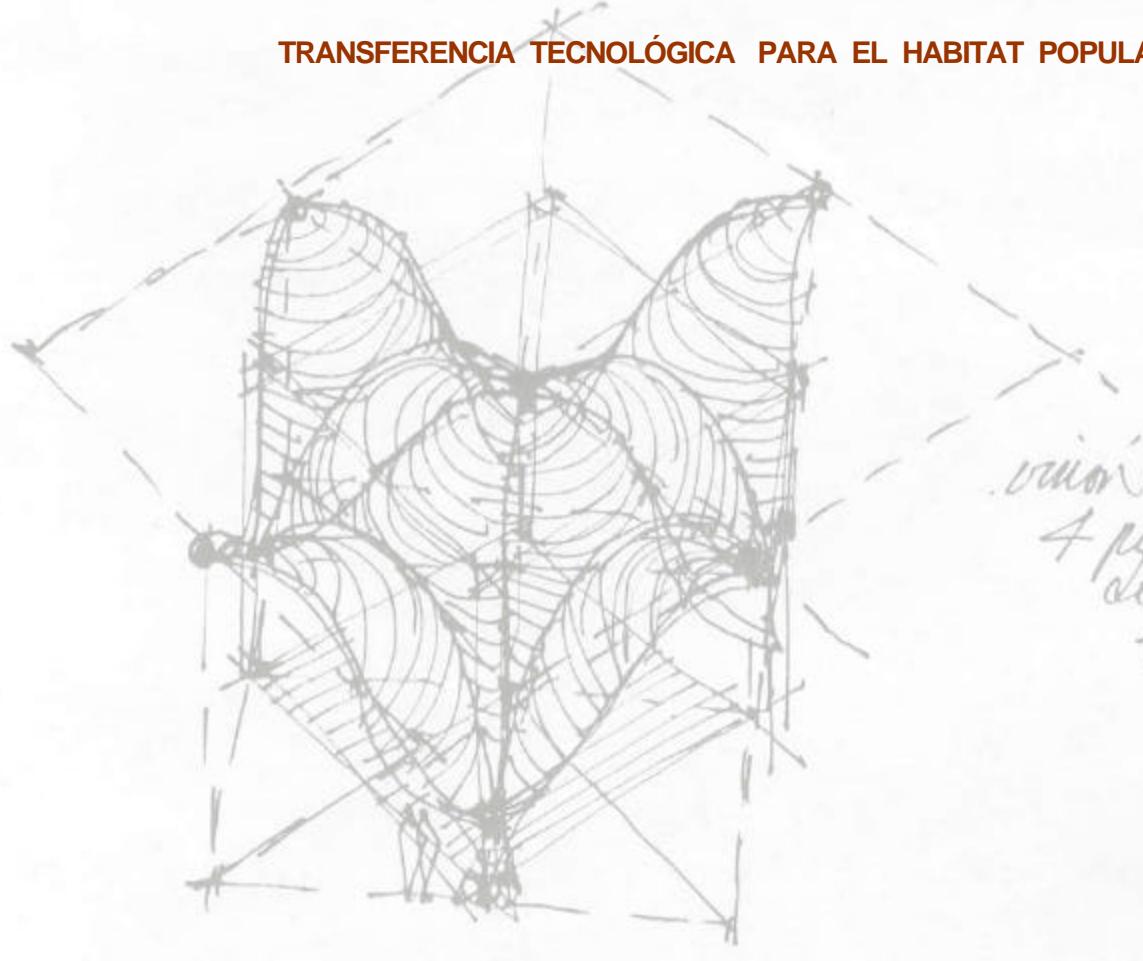


CURVAS DE SUSPIRO Y BARRO.
Alfonso Ramírez Ponce

CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA EL HABITAT POPULAR



1.1 CURVAS DE SUSPIRO Y BARRO.
EL LADRILLO RECARGADO: UNA TÉCNICA MILENARIA Y MODERNA

1.2	NOMBRE: PROFESIÓN:	ALFONSO RAMÍREZ PONCE ARQUITECTO.
	TELÉFONO: FAX:	(52) 55 44 2660 (52) 56 89 5260
	CORREO:	arponce@servidor.unam.mx
	DIRECCIÓN:	E 21 M 12 EDUCACIÓN. COYOACÁN. 04400 MÉXICO, D. F.

1.3 SÍNTESIS.

LA TÉCNICA.

Este trabajo muestra una técnica económica, milenaria y moderna, para construir cubiertas con ladrillo sin cimbra ni otro tipo de refuerzo. Estas características hacen que sea una forma de cubrir el espacio con un muy bajo costo. Se puede utilizar además, tanto para entrepisos como para cubiertas de azotea. Es una técnica que puede ser aprendida y aprehendida por constructores profesionales y también por autoconstructores. Una técnica muy inteligente y sabia, como veremos más adelante, no inventada por arquitectos o ingenieros. Es fruto del SABER POPULAR, con demasiada frecuencia ignorado o cuando menos, soslayado por los profesionales y académicos. Por tal razón, es una técnica que no se enseña en las escuelas y tiende a su desaparición. La técnica permite construir cubiertas hasta de diez metros de claro menor y por tanto, esto incluye la posibilidad de cubrir la enorme mayoría de los espacios arquitectónicos especialmente los habitacionales, destinados a viviendas unitarias o colectivas; los espacios educativos y los asistenciales, entre otros.



Vista exterior de la bóveda en la etapa de cierre. (Bóveda en vestíbulo de Auditorio. U. A. de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, 2000.)



Distintos materiales de bajo costo. Tepetate (tova volcánica) para muros. Y ladrillo cuña (5x10x20 cm) para cubiertas.

LA ECONOMÍA.

Su bajo costo se basa en tres condiciones. La primera es, como hemos dicho, que no requiere ningún tipo de cimbra o soporte alguno, mientras se construye. Además, se utilizan materiales de bajo costo, como el ladrillo común de barro o ladrillo de tierra cemento o simplemente adobe. Y en tercer lugar, la mano de obra tiene un alto grado de eficiencia, pues sólo se necesitan dos horas hombre, en promedio, para construir un metro cuadrado de cubierta. Con el criterio que llamamos "construir terminando", pues la bóveda se deja terminada en su parte inferior. Tampoco requiere de refuerzos –hierro o concreto- adicionales. Sólo piezas de barro y talento constructor. Curvas de suspiro y barro¹, llamamos a este trabajo y a nuestros talleres teórico-prácticos. Lo del barro es obvio y lo del suspiro, no lo citaremos aquí, por pretender ser éste un trabajo serio.



Ladrillo cocido en exceso. En México se llama recocho. El alto grado de cocción, lo vitrifica e incrementa su resistencia.

¹ Frase original del poeta español Federico García Lorca.

LOS MATERIALES.

El ladrillo con que se construye puede ser el ladrillo de barro normal hecho a mano o un ladrillo de barro sin cocer, comúnmente llamado adobe o un ladrillo de tierracemento en proporción de 1 a 10. Sus dimensiones son 5x10x20cm –siendo los 10 cm el espesor de la bóveda- y en caso de que el ladrillo con estas medidas no se consiga o resulte costoso elaborarlo, entonces también se puede usar el ladrillo común de pared –entero o por mitad- que en nuestro país mide 6x12x24cm. En este último caso, las bóvedas tendrán 12 cm de espesor. El mortero utilizado es una mezcla “terciada” –cal, cemento y arena- semejante a la utilizada en los muros.

LA MANO DE OBRA.

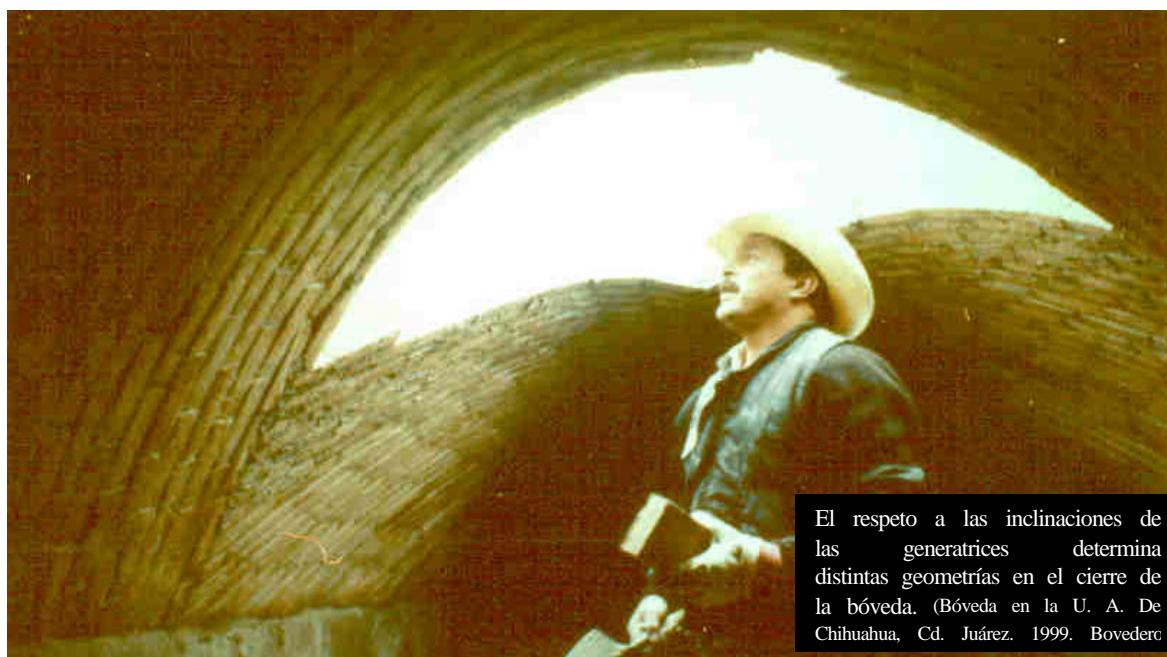
Normalmente, en el centro de la República, este tipo de cubiertas la hacen albañiles especializados, llamados bovederos con sus ayudantes. Ellos realizan su trabajo a destajo, que incluye los movimientos de los andamios necesarios, la realización de la bóveda propiamente dicha y el acabado interior aparente del ladrillo. Esto hace, gracias a su eficiencia, que sean los albañiles mejor pagados. En nuestra experiencia, la técnica puede ser aprendida por cualquier albañil y por cualquier persona –estudiantes, autoconstructores o profesionales- con voluntad e interés en hacerlo.



Vista interior del proceso de cierre. Nótese la tendencia a la verticalidad del ladrillo, conforme se acerca al punto más alto. El artesano es colombiano y fue su primera experiencia en esta técnica. (Bóveda en parque infantil recreativo, Cúcuta, Colombia. 1997)



Vista exterior del proceso de cierre en el momento de la unión de los cuatro mantos. La foto está tomada en el mismo momento que la anterior. (Bóveda en parque infantil recreativo, Cúcuta, Colombia. 1997)



El respeto a las inclinaciones de las generatrices determina distintas geometrías en el cierre de la bóveda. (Bóveda en la U. A. De Chihuahua, Cd. Juárez. 1999. Bovedero

2.1 SITUACIÓN PREVIA.

LA TÉCNICA.

Esta técnica constructiva de cubiertas de ladrillo sin cimbra es una técnica milenaria en el Cercano Oriente y es una técnica secular en México. Sus antecedentes se encuentran especialmente, en la antigua Mesopotamia y en la parte meridional de Egipto² y en una época más cercana en la zona central de la República Mexicana. Uno de sus vestigios está en el Centro Funerario de Ramsés o Ramesseum, sito en el Valle de los Reyes, en la ribera opuesta del Nilo a la ciudad de Luxor. Esta construcción, que aún en nuestros días puede observarse, fue realizada hace 3,300 años. Las cubiertas se conocen como bóvedas núbicas. Las nuestras las llamaremos “bóvedas” mexicanas.³ Ambas parten del mismo principio básico –el ladrillo inclinado o recargado– pero se diferencian, tanto en el tipo de ladrillo utilizado –adobe⁴ en Nubia y pequeñas piezas cocidas en México–, como en la forma de apoyarse. En las núbicas, las bóvedas se recargan contra un muro que es más alto que los muros sobre los que se desplanta. En nuestras bóvedas los apoyos son los lados menores –en el caso de una bóveda alargada– o las esquinas, literalmente unos puntos, para bóvedas de forma cuadrada; como



La cubierta consta de varias capas de adobe (5x15x25 cm). Los arcos cubren pequeños claros. (Ramesseum).

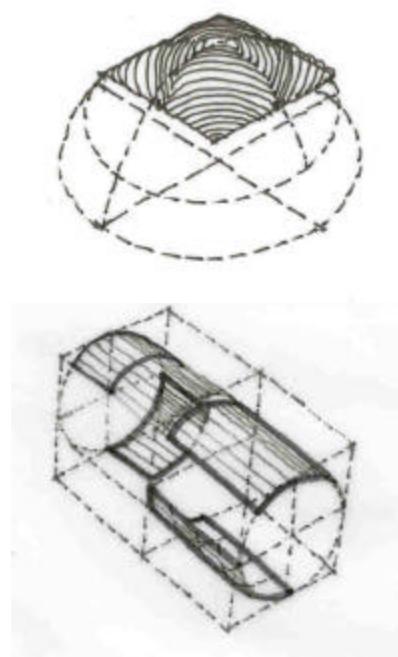


Casa contemporánea en los alrededores de Luxor. Nótese el recarge del adobe sobre el muro izquierdo, más alto que los muros de apoyo de la bóveda. (1984).

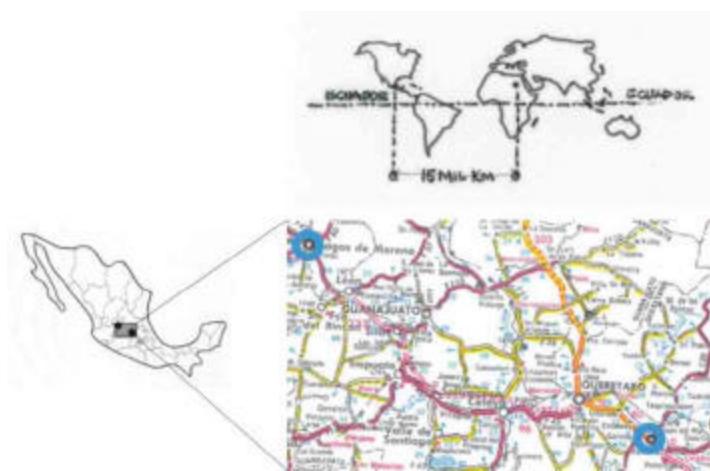
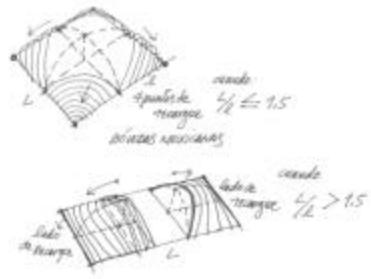
² El arquitecto egipcio Hassan Fathy es quien recupera esta tradición constructiva en su país. Su obra principal es Arquitectura para los pobres. Hassan Fathy. Editorial Extemporáneos.1975. Para ver el procedimiento constructivo (p. 277 a 281)

³ En nuestra visión, una bóveda tiene como elemento geométrico dominante al cilindro. Por tanto una bóveda es una sección cilíndrica o cilindroidal como es el caso de las bóvedas núbicas, pues su sección no es circular sino parabólica. Una cúpula, en cambio, tiene a la esfera como modelo geométrico principal. Las “bóvedas” mexicanas son más bien, según lo anterior, superficies que se asemejan a una esfera, por tanto, son secciones esferoidales. Hago esta digresión, solamente para el ámbito académico y en aras de la precisión, pues intentar cambiar el uso de los términos, después de tantos años, en el mundo real, me parecería una pretensión desmesurada y condenada al fracaso.(Sucede lo mismo, con el uso de la palabra tabique, -en nuestro país- en vez de la palabra correcta que es ladrillo.)

⁴ Las medidas del adobe egipcio, núbico, son 5x15x25cm, con dos hendiduras diagonales hechas con dos dedos, en una de sus caras.



mostraremos en los diagramas correspondientes. En México esta técnica data de la segunda parte del siglo XIX y tiene dos posibles sitios originarios; San Juan del Río en Querétaro y Lagos de Moreno en Jalisco. De ser necesaria una historia de esta técnica, corresponderá a los historiadores investigar las fechas y lugares precisos. Así como explicar, cómo esta técnica pudo viajar más o menos quince mil kilómetros al occidente, conservando la misma latitud y aparecer en nuestro país, un poco más de tres mil años después.



Vista frontal de la misma casa contemporánea en los alrededores de Luxor. Se puede observar la carencia de madera en la región. El adobe está sacado del mismo terreno y tiene las dimensiones ya anotadas. Como detalle para procurarle mayor adherencia una de las caras presenta dos hendeduras en diagonal, hechas con los dedos.

Las dos ciudades origen están marcadas con un círculo azul. La distancia aproximada entre ellas es de 300 km.

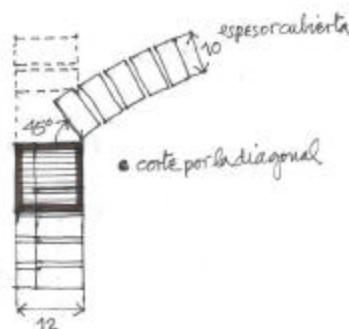
MANO DE OBRA Y MATERIALES.

Para utilizar esta técnica se requiere localizar en las regiones anotadas a los bovederos. La mayor parte lo son porque aprendieron de sus padres el oficio. Los menos son aquéllos que aprendieron la técnica ayudados o simplemente observando a los especialistas. Sabido es que los primeros no son especialmente generosos en compartir sus conocimientos, pues su abierta difusión afecta la demanda de su trabajo. A nivel académico, la información es casi nula, pues estos conocimientos no forman parte de ningún plan de estudio. Se conoce el trabajo del ladrillo como material resistente a la compresión, pudiendo ser utilizado para elementos soportantes⁵ como cimientos, columnas y sobre todo en nuestro medio, para muros de carga. Pero es casi inédita su utilización en elementos soportados, como lo son las cubiertas, que además de la tensión compresiva pueden presentar tensiones de tracción. De aquí las diferentes características de los ladrillos; grandes y pesados para soportar y lo contrario, pequeños y ligeros para ser soportados.

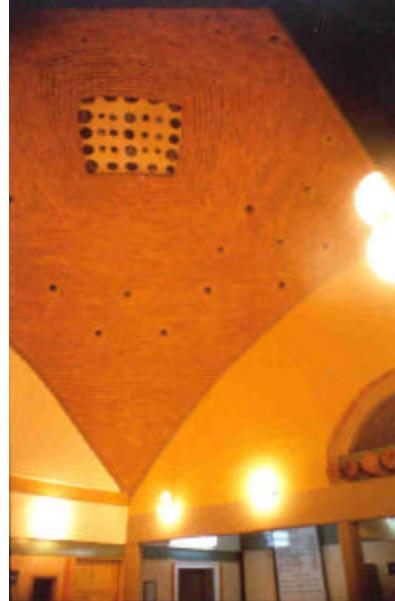
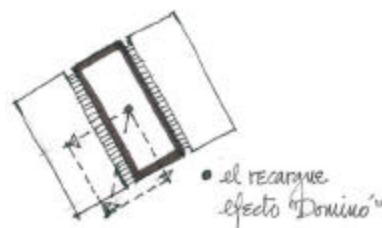
El ladrillo utilizado es llamado "cuña" y tiene 1000cm³ (5x10x20cm); con una resistencia que fluctúa entre 60 y 75 kg/cm² y un peso aproximado de kilo y medio. Esta baja resistencia permite que pueda ser cortado manualmente con la cuchara del albañil. Condición necesaria para la rápida ejecución de las bóvedas. Un artesano diestro, con su ayudante realiza de 7 a 8 m² por día. Es decir, que cada metro cuadrado de bóveda tiene 2 horas de trabajo. Cantidad tres o cuatro veces menor que las horas de trabajo necesarias para construir una losa de concreto. Nos interesa hacer hincapié en estos datos, pues hay especialistas que mencionan –como objeción– que nuestra técnica es artesanal; ignorando que para construir una losa de concreto se requieren de 3 a 4 veces más horas / hombre por m². En otros términos, ambas técnicas son artesanales, pero en el caso de las cubiertas de ladrillo, al necesitarse sólo 2 horas / hombre por m², esta técnica es mucho más eficiente.



⁵ La clasificación de los elementos arquitectónicos en soportantes y soportados, corresponde al filósofo alemán G. W. Hegel.



En claros menores de 4.50 m; basta una cadena perimetral de 15x15 cm con 4 diámetros de 3/8". El espesor de la bóveda es de 10 cm. La proporción del espesor en relación al claro máximo de 10 m es de 1/100.



Bóveda en sala de espera, sobre 4 directrices curvas y simétricas. (6x6 m). Los puntos que se observan son burbujas y rodajas de vidrio soplado, con diferentes colores. (Clínica popular en San Luis de La Paz, Guanajuato. 1998).

2.2 OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS.

ACLARACIÓN.

En vez de hablar en los términos que propone este apartado, que más que arquitectónicos nos parecen propios del vocabulario militar o castrense⁶, -consultar sus etimologías hablaremos de fines y medios, que interpretamos como semejantes.

LOS FINES.

La finalidad principal de este trabajo –y de los talleres que impartimos- es la difusión y el conocimiento de esta técnica, con la intención básica de poner al alcance del mayor número de personas posible, esta forma de cubrir un espacio al menor costo necesario. Incluimos entre las personas interesadas no sólo a estudiantes o profesionales de la arquitectura y la construcción, sino a trabajadores, autoconstructores, propietarios y demás personas necesitadas de un techo económico. De paso también nos interesa rebatir la opinión –aplicada indistintamente- que afirma que el elemento más costoso de una edificación –hablando de construcciones de un nivel-, es la cubierta. Cuando sabemos que la estructura de soporte, cimientos y muros reforzados de carga, -sobre todo en casas ilógicamente pequeñas- es la parte más costosa de la obra civil. En nuestra experiencia con esta técnica, el costo de la cubierta -considerando claros entre 3 y 4.50 metros- en vivienda media y vivienda mínima, fluctúa entre el 8 y el 12% del costo total. Estos datos están basados en el pago por destajo de la mano de obra, que como hemos anotado, es un pago significativo. Los porcentajes tenderán a reducirse si consideramos que las bóvedas pueden ser hechas por albañiles no especializados. Y esta reducción del costo será mayor, si como es nuestro propósito, las cubiertas son construidas por mujeres y hombres autoconstructores. Sabemos también que la autoconstrucción implica una sobreexplotación de la mano de obra. No la justificamos, pero sabemos que en sociedades tan injustas como las nuestras, esto no es la excepción sino la regla. Además, de que estas reflexiones pueden hacerse bajo un techo seguro, pero para los “sin techo”, la sobre vivencia y no las especulaciones, es lo que cuenta.

⁶ En los penúltimos bombardeos a la milenaria Bagdad, los agresores de siempre, a pesar de los muertos civiles, dicen cínicamente: “Solamente se bombardearon **objetivos estratégicos...**”



Bóveda sobre escalera. La diferencia entre su punto más alto y más bajo es de 3.40 m. (Clínica Popular en La Villa, D. F. 1998).

COSTO DE BOVEDA Y PORCENTAJE EN RELACIÓN AL M2 DE CONSTRUCCIÓN

VIVIENDA	M2	MATERIAL Y MANO DE OBRA (BOVEDERO)	MATERIAL Y MANO DE OBRA (ALBAÑIL)	MATERIAL Y MANO DE OBRA (AUTOCONSTRUCTOR)
MEDIA	300	24 (8%)	17(5.6%)	13(4.3%)
ECONOMICA	200	24(12%)	17(8.5%)	13(6.5%)

NOTA1: TODAS LAS CANTIDADES EN DOLARES (U.S.).

NOTA2: ESTA ESTIMACIÓN DE PRECIOS FUE HECHA EN DICIEMBRE DE 2000.



Mientras el Bovedero teje la cubierta el ayudante se encarga de aparentarla en su cara interior. La directriz del fondo tiene diversas curvaturas continuas por la perpendicularidad de sus radios a las tangentes en su punto de unión.

**COSTOS DE BÓVEDA
POR M².
MATERIAL Y MANO
DE OBRA**

MANO DE OBRA	RENDIMIENTO (M ² /DIA)	SALARIO/DIA OFICIAL+AYUDANTE	COSTO (M ²)	LADRILLO COSTO MILLAR (100 PZAS./M ²)	MORTERO	COSTO (M ²)
BOVEDERO	8	DESTAJO	12	10	2	24
ALBAÑIL NO ESPECIALIZADO	6	30	5	10	2	17
AUTOCONSTRUCTOR	4	0	0	11	3	14

NOTA 1: TODAS LAS CANTIDADES EN DOLARES (US).

PARIDAD ESTIMADA 1 A 10

NOTA 2: ESTOS COSTOS ESTÁN ANALIZADOS EN EL
CENTRO DE LA REPÚBLICA, DICIEMBRE DE 2000.

LOS MEDIOS.

Uno de los medios principales para lograr lo anterior, dentro de nuestras posibilidades es y ha sido la realización de talleres teórico prácticos abiertos. Talleres en los que se exponen todos los conocimientos teóricos, incluyendo los análisis estructurales, trazos, geometrías posibles y demás. Esta parte teórica se complementa con la práctica que consiste en la realización de una bóveda que puede ser definitiva –al tener una utilización posterior- o temporal y tener sólo un carácter experimental. Este medio de difusión, por desarrollarse principalmente en espacios académicos, resulta limitado, pues los grupos están formados generalmente por profesores y estudiantes.

Nuestra única experiencia con un grupo más abierto y heterogéneo, ha sido en el Natural Construction Colloquium que se realiza en cada dos años en Kingston, Nuevo México, EE.UU., que coordina el arquitecto Joe Kennedy. Allí, en un grupo de 150 personas solamente una docena eran arquitectos o ingenieros. El resto propietarios, trabajadores de la construcción, defensores del ambiente, editores especializados, investigadores de técnicas tradicionales, en fin. La experiencia es interesante porque se convive con el grupo durante una semana completa, mañana y tarde, compartiendo tanto las sesiones teóricas como las prácticas, en las que se construyen los modelos escala uno a uno, con distintas técnicas y materiales. En esta ocasión, bambú, caña guadua, cubiertas de paja (Thatch roof); tapial, tierra mezclada con rastrojo (Cob clay); bolsas de tierra; pacas de paja y ladrillo.



Bóveda en el campo experimental “El Laurel”. El nivel de la excavación es de 1 m bajo el nivel del terreno. Se colocan varillas en forma de arco en ambas diagonales para guiar la altura de los conos salidos de cada esquina. (U. Central de Caracas, Venezuela. 1998).



Otro medio importante de difusión sería el material impreso. En especial, un Manual dirigido a todo público, con toda la información correspondiente. Editar un libro muy bien ilustrado que muestre todas las posibilidades de la técnica, con ejemplos de distintos tipos o géneros arquitectónicos y que además, sea de bajo costo para que esté al alcance de todos, especialmente de los estudiantes.

Y lo que hacen en Kingston, Nuevo México, donde allí mismo editan las video grabaciones de las prácticas realizadas y también publican revistas periódicas como "The last straw", el "Adobe journal" con información actualizada, sobre las técnicas que ellos llaman "de construcción natural". Uno de estos videos realizado por la Facultad de Arquitectura de la U. A. de Chiapas, es el que mostramos en nuestros talleres.



Para que el grupo de 60 personas asistentes al taller, pudiera observar el inicio de la construcción de la bóveda, el maestro Ignacio Dorantes, realizó los pasos del arranque a nivel de piso. (Bóveda en vestíbulo de Auditorio. U. A. de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez. 2000.)



Esta bóveda fue realizada sin la participación del artesano. Aquí se muestran las indicaciones para el arranque de la bóveda. El primer ladrillo cortado a la mitad y colocado en un ángulo de 45 grados. La primera hilada constituida por tres pedazos de ladrillo y la segunda se inicia con piezas completas en los extremos y un ajuste en el centro. Como guía se coloca una hilada sobre la cadena de concreto. (Bóvedas en cafetería de la U. La Salle de Pachuca, Hidalgo. 1997).

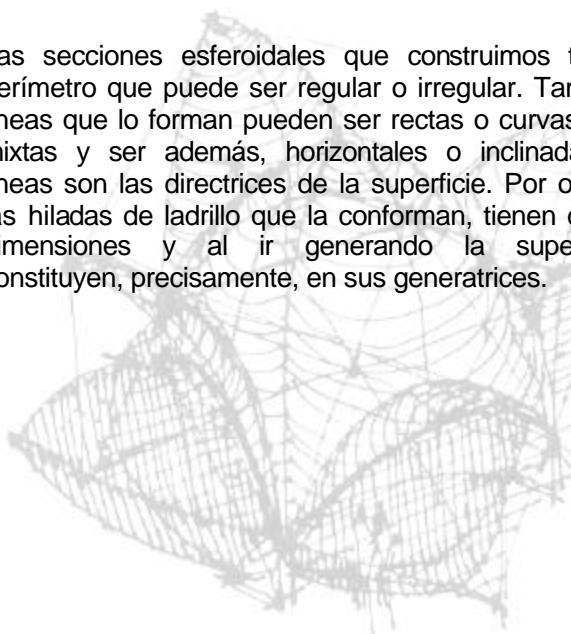


2.3 NARRACIÓN DEL PROCESO.

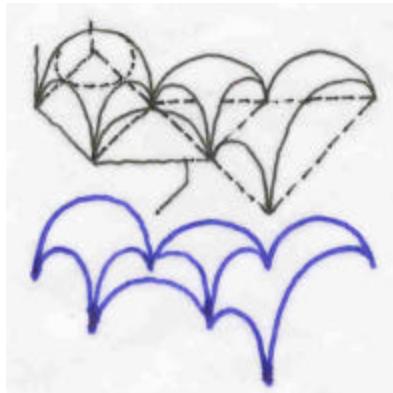
INTRODUCCIÓN.

En la aplicación de esta técnica, generalmente, las bóvedas se proyectan sustituyendo a una losa plana limitada por un perímetro horizontal rectangular o cuadrado. Cuando surgen espacios que no tienen esas figuras como perímetro, entonces se “regularizan”. Si existe un planta en forma de L (ele), entonces el artesano o el arquitecto piden que se ponga una viga intermedia para que esta forma desaparezca y queden otra vez dos figuras rectangulares. Hace 12 años⁷; empezamos nuestras experimentaciones, siempre en función de las condiciones del espacio interno, el que habitamos, y como consecuencia hemos cambiado la horizontalidad y linealidad del perímetro envolvente de las bóvedas. En ocasiones las directrices son secciones de concreto y en otras, son ángulos metálicos comerciales.

Las secciones esferoidales que construimos tienen un perímetro que puede ser regular o irregular. También las líneas que lo forman pueden ser rectas o curvas o líneas mixtas y ser además, horizontales o inclinadas. Estas líneas son las directrices de la superficie. Por otra parte, las hiladas de ladrillo que la conforman, tienen diferentes dimensiones y al ir generando la superficie se constituyen, precisamente, en sus generatrices.



⁷ La enorme mayoría de los bovederos prefieren trabajar sobre superficies regulares –cuadrados y rectángulos– y vigas horizontales. Todo lo que salga de lo anterior es “detalle” y por supuesto, tiene un costo extra. Pero hay notables excepciones, verdaderos artistas que asumen las nuevas experiencias como retos a su enorme talento constructor. He tenido el privilegio de encontrar a dos de estos prodigiosos hacedores de bóvedas, que han sido y siguen siendo mis maestros en esta técnica. Son Ignacio Dorantes de Guanajuato y Manuel Perrusquia de Querétaro.



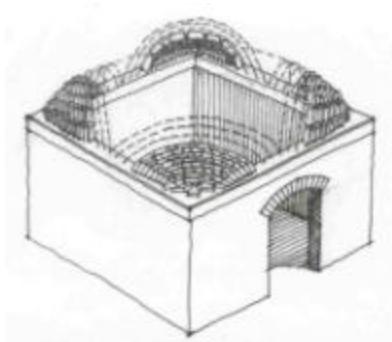
Esquema de bóvedas sobre plantas cuadradas, triangulares y trapezoidales, sobre arcos de medio punto como directrices. (Casa habitación en Cuernavaca, Morelos. 1989). Bovedero Manuel Perrusquia.



Maestro bovedero Ignacio Dorantes

EL EJEMPLO.

En este caso describiremos el proceso constructivo de una cubierta de planta cuadrada de cuatro metros de lado; con un peralte de un metro; con un perímetro horizontal y cuatro puntos –las esquinas- de recargue.



LA DESCRIPCIÓN.

Al iniciar la construcción el primer ladrillo se corta a la mitad y se coloca con una inclinación de 45 grados en una de las esquinas apoyado sobre el mortero y pedacería del propio ladrillo. El inicio por las esquinas es, generalmente, en bóvedas sobre plantas de forma cuadrada o rectangular cuya proporción no sea mayor a una vez y media la relación entre sus lados. Un criterio semejante a la clasificación de las losas de concreto en perimetrales o simplemente apoyadas. Después, la primera hilada, descansa sobre el medio ladrillo inicial, la segunda sobre la primera y así sucesivamente. El artesano cuida que la distancia que avanza cada hilada sea la misma en los dos lados de apoyo. No hace ningún trazo adicional. En las prácticas con estudiantes, ponemos unas varillas en forma de arco con la relación supuesta entre claro y flecha. El peralte del arco es entre el 20 y el 25% del claro a salvar. Cada hilada tiene una longitud que se incrementa al avanzar. Estas hiladas empiezan en las orillas con ladrillos completos y los ajustes se hacen aproximadamente al centro. Todo esto se realiza en las 4 esquinas, formando unas secciones cónicas. Estos mantos se juntan en los centros de los claros –en nuestro ejemplo a los dos metros- y a partir de allí las hiladas se van construyendo una por cada lado. En el avance de las hiladas el ángulo que forman con la horizontal se va incrementando hasta que en la parte final, los ladrillos del centro son prácticamente verticales pues su ángulo es de 90 grados. La unión más sencilla entre las secciones iniciales es en forma de cierre o en zigzag. Los artesanos inventan bellas uniones que son, en sus propias palabras, “para darle dibujo a la bóveda.”

El mortero se coloca de manera que la junta entre ladrillos se sature en la parte inferior y deje huecos en la superior. Se hace así para que al cubrirse la bóveda por arriba, el entortado penetre dentro de las juntas. Solamente trabajan dos personas el bovedero y su ayudante. Éste se encarga de aparentar y limpiar la bóveda en su interior conforme avanza su construcción.



1er. Paso. El mortero con pedacería sirve de apoyo a la mitad del ladrillo colocado a 45 grados.



Ésta, nos parece, es una muy inteligente y singular técnica constructiva. En vez de enfrentarse y entablar una lucha desigual contra la gravedad, se declara de principio vencida ante ella. A cambio de su derrota, gana su estabilidad, apoyada por otros factores a su favor, entre ellos, su ligereza –la de un pequeño ladrillo⁸- y la forma “abovedada” de la cubierta.

Dentro del procedimiento existen tres características de la técnica. En primer lugar, los ladrillos se apoyan uno sobre el otro en una continua sucesión. En segundo, el ladrillo para ser soportado necesita ser ligero y pequeño. Lo contrario de un ladrillo soportante que requiere ser grande y pesado. Con las pequeñas reducciones de sus medidas, el ladrillo pasa de 1728 cm³ a sólo 1000 cm³. Y pesa casi el 60% del ladrillo de pared. Y en tercer término el ladrillo –a diferencia del ladrillo de pared- se pega seco, para aumentar su adherencia. El mortero está compuesto por cemento, cal y arena en proporción 1:1:8 ; o 1:1:10; según la cantidad de arena definida por cada artesano.

Anotemos aquí a manera de digresión, que es sabido que el procedimiento descrito –la no-utilización de cimbra o soporte alguno- no es exclusivo de nuestras cubiertas. El procedimiento de construcción sin cimbra, también lo utilizan otras técnicas, como el sistema de ladrillo en saledizo, -técnica persa de los arquitectos sasánidas-; con el llamado “techo de bóveda” del occidente de la República soportado por vigas de distintos materiales colocadas a cada 90 o 100 cm; con las tiras de ladrillo inventadas, hace ya varias décadas, por las Cooperativas de Vivienda del Uruguay; con las tiras curvas “mexicanas” –que comparten el mismo principio de las uruguayas- en forma de medios arcos construidas por el arquitecto González Lobo y con la llamada “bóveda catalana”, de dos capas de ladrillo delgado –dos centímetros de espesor- y vigas a cada 60 cm; entre otras.

Volviendo a nuestra técnica, la bóveda más sencilla se construye sobre cuatro paredes rectas horizontales en forma cuadrada. Como hemos citado, se inicia recargando el ladrillo sobre las cuatro esquinas con una inclinación de 45 grados. Los arcos recargados son las generatrices de la superficie y las líneas perimetrales sobre las que se desplanta son sus directrices.

⁸ Es un ladrillo de barro común hecho a mano, que mide 5 x 10 x 20cm –1000cm³- de baja resistencia; entre 60 y 70 kg/cm². Los fabricantes le llaman “tabique cuña”.



2º. Paso. Se inicia la primera hilada. Se pueden poner solamente 2 ladrillos; en vez de un arco, la hilada queda en forma de “A”. Ignacio Dorantes que es perfeccionista, prefiere colocar 3 pedazos de ladrillo para que se forme el primer arco poligonal.



El tercer pedazo es menor que los dos laterales y se coloca a manera de la clave del arco.



La relación entre la flecha de la bóveda y el claro a cubrir se define por la posición de los puntos de inflexión y porque el ladrillo es un material que trabaja principalmente a compresión. Es decir, los puntos en los que cambia el fenómeno tensional⁹, de las compresiones en la parte superior, -área en la que debe mantenerse la bóveda- a las tracciones de la parte inferior. Respecto a este cambio anotemos que en bóvedas rebajadas o escarzanas de claros pequeños, como son la abrumadora mayoría de las construidas no se presentan tracciones, sólo compresiones. Lo que afirma Salvadori¹⁰ de las cúpulas rebajadas "en teoría", lo podemos hacer extensivo a las bóvedas o cubiertas cupuloidales¹¹, pero en la práctica. Basta una cadena perimetral de concreto para absorber los posibles empujes laterales. Dicho en otros términos, las bóvedas "cocean", empujan lateralmente, menos de lo que suponemos. Su esfuerzo crítico, su tensión crítica, no es la tensión cortante horizontal, ni las cargas accidentales, como el sismo, -por su peso- o el viento, sino el esfuerzo cortante vertical. Baste la argumentación, pues no es éste el espacio para la demostración de lo escrito. Si esto se juzga de interés, los análisis estructurales y su cuantificación, es contenido del Seminario Taller, "Arquitectura y Tecnología", que impartimos en la Unidad de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

De lo anterior, podemos decir que, en la mayoría de los casos, la sección de las bóvedas puede limitarse dentro del área de las compresiones hasta llegar a los puntos de inflexión. Dichos puntos, algunos especialistas los ubican en la intersección del arco con un ángulo entre 51 y 52 grados con la vertical y otros en el mismo ángulo pero



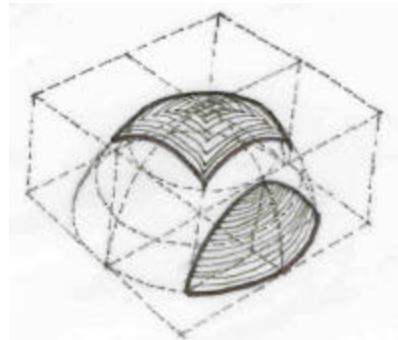
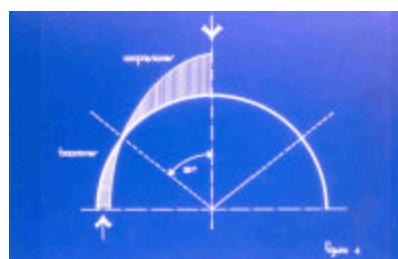
3er. Paso. La segunda hilada y todas las demás, se inicián con pieza completa en los extremos y el ajuste se coloca más o menos en la parte central. Hay que recordar que los arcos son construidos con cuerdas de 20 cm; es decir son secciones poligonales. Como cada hilada es de dimensión diferente las piezas de ajuste cambian de tamaño.



⁹ Razón y ser de los tipos estructurales. Eduardo Torroja. Editorial Instituto E. Torroja. 1960. P. II-3. El segundo capítulo lo titula precisamente así, "El fenómeno tensional" y dice: "El sólido se acorta o se alarga proporcionalmente a la tensión, es decir, la tracción y la compresión por unidad de superficie".

¹⁰ "En otras palabras, puede considerarse que una cúpula de poca altura se comporta como una serie de arcos meridianos, elásticamente apoyados en los paralelos, desarrollando tensiones de compresión (en ambos)... y al menos en teoría, es posible construirla con materiales incapaces de desarrollar tensiones de tracción, como mampostería o ladrillos. "Structure in architecture. Mal traducido como Estructuras para arquitectos. Mario Salvadori y R. Heller. Ediciones La Isla. 1966. p. 330-331.

¹¹ Formas parecidas a las cúpulas, pues las secciones esféricas, para serlo deben tener bases circulares. Las que construimos con la técnica, aunque pueden tener bases redondas, regularmente son poligonales.



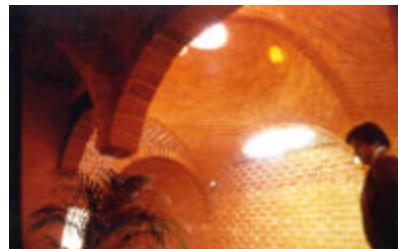
con la horizontal.¹² Mientras los especialistas se ponen de acuerdo, nosotros trabajamos en medio de sus propuestas, a 45 grados. Esto no significa que no puedan construirse cubiertas más allá de esos límites. Se puede, pero es necesario reforzar con desperdicio de corcholata o tela de gallinero de pulgada, medio metro arriba y abajo, a manera de un zuncho, la zona de los puntos de inflexión.

La lógica constructiva de la técnica le añade una de sus principales características: su bajo costo. Es decir, es una técnica que permite “delimitar y envolver el espacio” –en palabras de Torroja– en forma económica. Los datos precisos varían según las regiones y las dimensiones, pero podemos decir que, en la Ciudad de México el costo actual de las bóvedas por m² está entre el 50% y el 60% del costo de una losa común de concreto, en claros hasta de 4 metros. En claros mayores, la reducción del costo se incrementa.

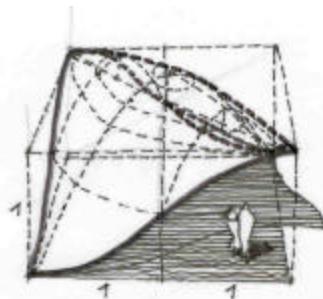
La razón económica le otorga a la técnica y al ladrillo su vigencia, su actualidad y la razón de su deseada difusión. Hay que recordar, que no construimos con esta técnica por razones formales o estetizantes, ni tampoco, por una visión nostálgica de la tradición, sino porque la técnica permite una economía en el proceso constructivo. Además, estamos hablando de una invención popular avecindada en nuestro país, con peculiaridades que no se encuentran en ninguna otra parte, hasta donde sabemos. Al menos, en América, a pesar de que hay países con una riquísima tradición ladrillera, como Colombia; no se conoce esta técnica. Un sistema no inventado por ningún ingeniero o arquitecto, no reconocido por la academia y por lo tanto, no enseñado en la abrumadora mayoría de las escuelas. La técnica permite dar una respuesta actual al eterno problema del cubrimiento del espacio. De aquí, que afirmemos que el ladrillo es un material milenario y moderno, pues la modernidad no es privilegio de lo nuevo, sino de lo que sigue siendo vigente.

Por otra parte, la técnica permite cubrir superficies donde el claro menor puede ser hasta de 10 metros sin ningún refuerzo adicional. Esto quiere decir, que los espacios de la mayoría de los géneros arquitectónicos -de manera principal, el habitacional, el asistencial y el educacional- pueden construirse con esta técnica.

¹² Este último criterio lo ratifican los trabajos de campo realizados en Puebla a raíz de los temblores de 1999, por la ingeniera Isabel García, investigadora del IPN.



Unión de dos cúpulas bizantinas con columna hacia arriba a tracción. En su unión las directrices son dos ángulos comerciales de 2"x2"x1/8" pegados de espalda. Y en este caso recubiertos con ladrillo. (Clínica Popular en La Villa, D.F. 1992 y 1998).



Paraboloides elipsoidales en ladrillo. Estructuras sinclásticas. Curvatura mayor que cero, (dos curvaturas del mismo signo), según la fórmula de Gauss: 1 / R1.R2. El ladrillo sólo puede “viajar” de abajo hacia arriba.



Directrices poligonales irregulares. (Casa habitación en Cuernavaca, Morelos. 1989). Bovedero Manuel Perrusquia.

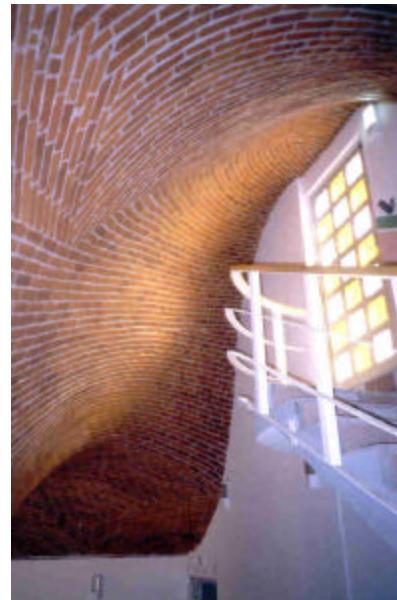
2.4 RESULTADOS ALCANZADOS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.

Como uno de los fines principales es, como hemos dicho, que esta técnica se conozca y pueda ser utilizada, desde la realización del Taller, este aprendizaje se presenta por la inmediata aplicación de los conceptos teóricos impartidos en el aula. Notamos gran interés, especialmente por parte de los estudiantes, al ver la posibilidad de usar un material cercano, con una técnica "original" y milenaria, para hacer construcciones de bajo costo. Otra experiencia casi inédita en el medio académico, la posibilidad de construir –aunque sea experimentalmente– y tocar y sopesar el ladrillo real y no el dibujado.

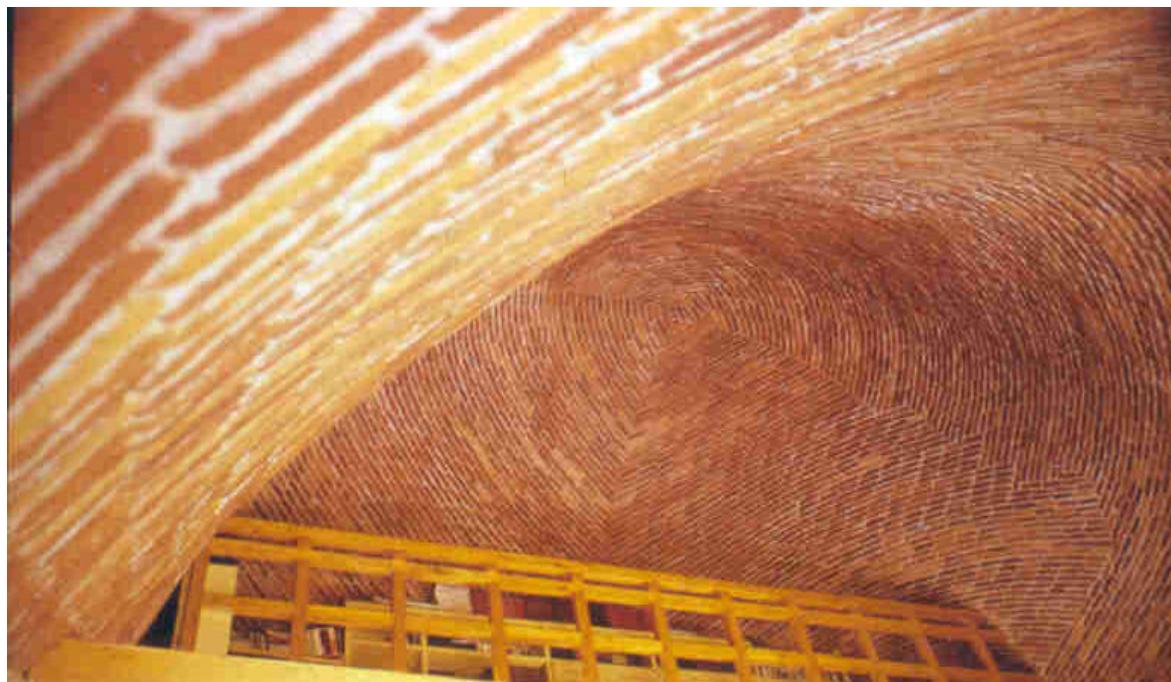
En las regiones donde existe, en mayor o menor grado, una tradición ladrillera, tanto en materiales como en la especialización de la mano de obra, se suele presentar una amplia receptividad a una técnica desconocida pero fácil de aprender.

Un interés complementario que no podemos dejar de citar, es que al ser ésta una invención popular, no hay que pagar ningún derecho de autor, como sería el caso, si hubiera sido un invento de algún arquitecto.

Espiral –la voluntad del material– en bóveda que se inicia a 1 m y termina en 8.50 m de altura. (Casa habitación 2 en Cuernavaca, Morelos. 1989). Bovedero Manuel Perrusquia.



Directrices curvas siguiendo la fórmula de Gauss. La bóveda se inicia en un nivel y termina en el siguiente. (Clínica Popular en La Villa, D. F. 1992 y 1998).



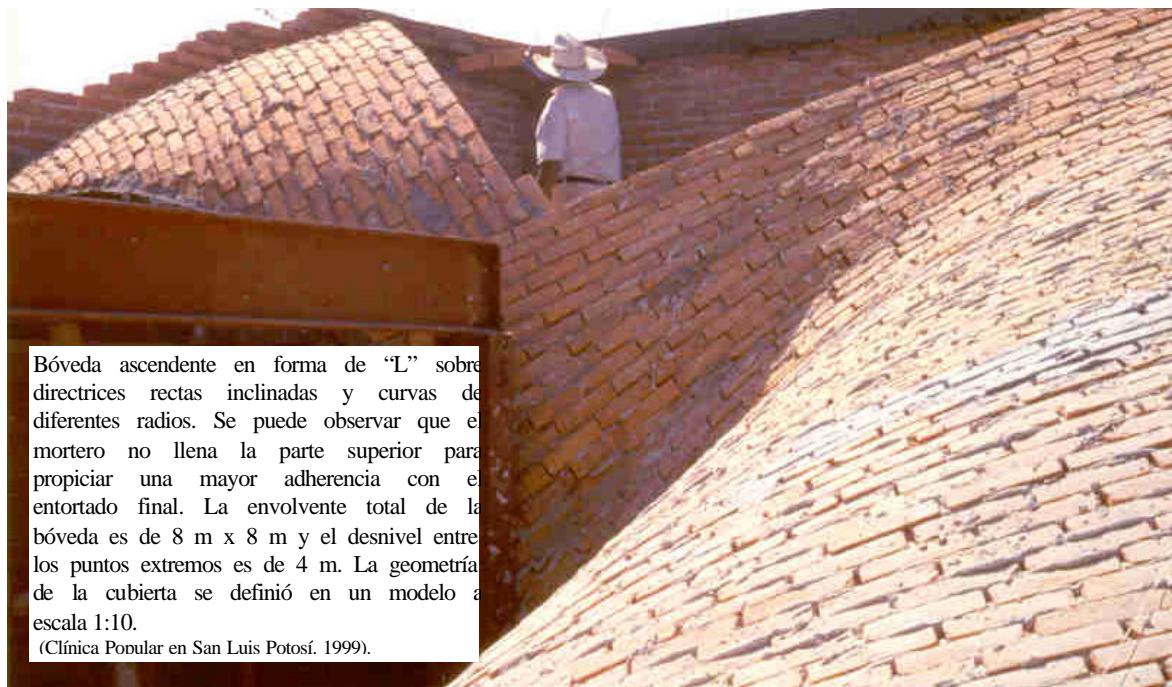
2.5 IMPACTO Y SOSTENIBILIDAD.

El ladrillo cocido, como todos sabemos, requiere del combustible necesario para su adecuada cocción y por tanto, implica el consumo energético con la correspondiente alteración de las condiciones del medio. Habría que hacer los estudios que en este sentido, permitieran ubicar a nuestro material, con otros de amplia utilización en el campo de la construcción, como el concreto, el hierro, las estructuras metálicas, los materiales plásticos y demás.

Hemos anotado, que en la técnica del recargue pueden utilizarse distintos tipos de ladrillo. El llamado común de barro, cuyas características principales ya hemos descrito; el ladrillo sin cocer y un ladrillo hecho con tierra y cemento. Éste último, es prensado mecánicamente y tiene una proporción de nueve partes de tierra por una de cemento. Los hemos construido con esta proporción, porque con ella el ladrillo alcanza una resistencia similar a la del ladrillo de barro cocido. Por tanto, incrementar la cantidad de cemento, lo encarecería y elevaría la resistencia a un nivel innecesario para el elemento constructivo. Recordemos que esta resistencia se encuentra entre 60 y 75 kg/cm².



Bóveda de 5x5 m en adobe con las mismas dimensiones del ladrillo egipcio. (Obra del arquitecto Ferro, realizada por Ignacio Dorantes.)



Bóveda ascendente en forma de "L" sobre directrices rectas inclinadas y curvas de diferentes radios. Se puede observar que el mortero no llena la parte superior para propiciar una mayor adherencia con el entortado final. La envolvente total de la bóveda es de 8 m x 8 m y el desnivel entre los puntos extremos es de 4 m. La geometría de la cubierta se definió en un modelo a escala 1:10.

(Clínica Popular en San Luis Potosí. 1999).

2.6 REPLICABILIDAD Y TRANSFERIBILIDAD.

Si esta sección se refiere a la posibilidad de transportar la experiencia constructiva a otros lugares y especialmente a otros países, nuestra respuesta es sí. Nuestra experiencia en este sentido es la siguiente. Hemos construido con artesanos locales, que nunca habían construido una bóveda, ni conocían la técnica, una bóveda tipo en un Parque Infantil recreativo en Cúcuta, Colombia, situado en la glorieta –redoma- a la llegada del aeropuerto de la ciudad; las bóvedas iniciales de la Cafetería de la Universidad Lasalle en Pachuca, Hidalgo; en la Universidad del Valle de México (Campus Tlalpan); en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua y en el Auditorio de la Escuela de Arquitectura en la U. A. de Chiapas, sede en Tuxtla Gutiérrez. Éstas dos últimas, hechas profesionalmente por Ignacio Dorantes.

En cuanto a bóvedas experimentales que nos han servido de apoyo para los talleres teórico prácticos, todas las hemos realizado con artesanos locales desconocedores del procedimiento, en la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina; en el campo experimental “El Laurel” de la Universidad Central de Venezuela, en la ciudad de Caracas; dentro de las actividades del Natural Building Colloquium, celebrado en 1997, en Kingston, Nuevo México, EE.UU. y en agosto próximo, -artesanos mediante-, lo haremos en la Universidad Nacional de Salta, Argentina y en la Universidad de la República Oriental en Montevideo, Uruguay.



Bóveda en la U. A. De Chihuahua, Cd. Juárez. 1999. Bovedero Ignacio Dorantes. Aquí , las condiciones del clima -el intenso frío- inhibió la participación de los estudiantes.



Inicio de bóveda en parque infantil en Cúcuta, Colombia por los participantes del taller.



(Bóveda en vestíbulo de Auditorio. U. A. de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez. 2000.)



(Bóvedas poligonales en cafetería de la U. La Salle de Pachuca, Hidalgo. 1997).



2.7 PRINCIPALES LECCIONES. RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA.

Las lecciones son múltiples y a distintos niveles. Por razones de espacio, sólo mencionaré algunas. Empiezo reiterando una vieja idea; el reino de las ideas y tal vez, también el de las palabras, pueden ser espacios propios para los profesionales de la construcción, pero el reino de los hechos no les pertenece. Si los hechos conforman la realidad tangible, este reino pertenece a los anónimos trabajadores de la construcción, cuyo destino –hemos escrito en otra ocasión– es no habitar lo que construyen, por regla general. En este caso especial, el reino de los hechos es de los artistas bovederos, quienes como arañas humanas, con pedazos de arcilla y su talento constructor, “tejen”, urden, despliegan su tela sobre el aire y el –para nosotros materialmente– inaprensible espacio.

Y les digo artistas no circunstancialmente, sino entendiendo el arte bajo el antiguo sentido aristotélico: “El hábito de producir acompañado de razón verdadera.” No bajo el actual concepto excluyente y elitista del arte, donde sólo unos cuantos pueden serlo. ¿Cómo entender que la arquitectura sea un arte compuesto de muchos otros haceres que no lo son? Contradicción insalvable. La definición de Aristóteles la resuelve. Todos los haceres racionales son artísticos. Por tanto el hacer de los bovederos, de los albañiles, de los carpinteros, herreros y demás, son haceres artísticos. Por tanto, su integración, su suma es también un hacer racional. Un arte. Los artistas hacedores de bóvedas.

Otra consideración final –por ahora– es que estoy convencido que todos somos constructores, en mayor o menor grado. Y construir es fascinante, pues es dar vida, desocultar, hacer aparecer lo inexistente. Un balbuceo incipiente ante el discurso avasallador de la naturaleza. Todos construimos la vida día tras día, pero además, todos podemos hacer algo con las manos, como esta posibilidad, dentro de la tecnología arquitectónica, de procurarnos un techo.

Construir en cualquier sentido del hacer humano es soñar ser un hacedor de sueños.

Construyo, luego soy.



Bóveda experimental. En las fotos aparece el arquitecto Rafael Mellace director del Departamento de Tecnología. (U. Nacional de Tucumán, Argentina. 1994).



Bóveda experimental en “El Laurel”. (U. Central de Venezuela, Caracas. 1998).

