

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE

CARRERA: ARQUITECTURA

TFG-I

***“BÓVEDAS DE CERÁMICA ARMADA CON DOVELAS
PREFABRICADAS COMO TECNOLOGÍA ALTERNATIVA PARA
CERRAMIENTOS HORIZONTALES EN EDIFICACIONES DEL
PARAGUAY AL 2013”.***

GRADO PRETENDIDO:
ARQUITECTA

AUTORA:
YANINA IVANNA PÉREZ

TUTOR:
Arq. Yago Garcia-Enriquez López
ASESOR:
Ing. Luis Fernando Meyer

OCTUBRE 2013



Agradecimientos

*A Dios y San Miguel Arcángel, por las bendiciones recibidas;
A mis padres, mi sostén en la vida, gracias por motivarme en los momentos
difíciles y por el incansable acompañamiento a lo largo de mi carrera;
A mis hermanas Lili y Romi, mis ejemplos a seguir, gracias por su ayuda
incondicional;*

*Al Arq. Yago Garcia-Enriquez y al Ing. Luis Meyer, por apostar desde un
principio en mi trabajo, por ser mis guías... que gracias a su ayuda la
construcción de la Capilla San Miguel y este TFG fueron posibles.
A Don Nino y a la comunidad de la zona 10, por haber confiado en mí para el
proyecto y la construcción de la Capilla San Miguel;*

*A mi compañera y amiga Arq. Techí Ruiz Díaz, por su acompañamiento a lo
largo de estos meses, por su hospitalidad y ayuda desinteresada, por ser mi
motivación para terminar esta tarea.*

*A mi amiga Belén Quiñonez, por brindarme su compañía al principio de este
trabajo, y por haberme acompañado hasta el final.*

*A mis amigas de la vida Pauline, Arq. Valeria, Dahiana, Rossana, y Ana
grandes compañeras de ratos y madrugadas, que estuvieron ayudándome y
dándome fuerzas siempre para poder llegar a la meta.*

*A Ángel Insaurrealde y Pachi Solis, por haber
colaborado conmigo en la realización de las tareas técnicas.*

Gracias...

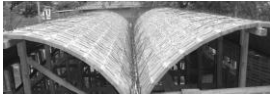


INDICE

Agradecimientos.....	2
Índice.....	3
Introducción.....	6

CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO

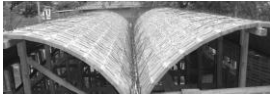
1.1 Techo	9
1.1.1 Porque el estudio de techos.....	10
1.1.2 Características que debe cumplir el techo.....	10
1.2 Clasificación de las tecnologías de techos.....	11
1.2.1 Tecnologías convencionales.....	12
1.2.2 Técnicas alternativas.....	12
1.2.3 Cuadro de clasificación de las tecnologías de techos.....	13
1.3 Tipos de estructuras abovedadas de cerámica.....	14
1.4 Bóveda de ladrillo armado con dovela.....	15
1.5 Sistemas utilizados por el Arq. González Lobo.....	18
1.5.1 Bóvedas de Concreto Armado sobre metal desplegado.....	18
1.5.2 Bóvedas de Concreto Armado sobre metal desplegado (sin cimbra) con piezas prefabricadas a pie de obra	18
1.5.3 Bóvedas de Ladrillo Armado por prefabricación popular cooperativa (aplicación de dovelas).....	18
1.5.3.1. Procedimiento de Construcción según Obra del Arq. González Lobo	19
1.5.3.2. Procedimiento de Cálculo de curva de Bóveda (Arq. Carlos González Lobo).....	21
1.5.3.3. Procedimiento de Cálculo de curva de Bóveda (Ing. Luis Fernando Meyer Canillas).....	22
1.5.3.4. Procedimiento de Cálculo de curva de dovelas para cimbra (Ing. Luis Fernando Meyer Canillas).....	23



1.6 Aplicación del Sistema de Bóvedas de Cerámica Armada en proyectos diversos.....	24
1.6.1 Caso “Viviendas para Maestros”.....	24
1.6.2. Caso: “Salón 6 de enero” (Ñemby-Paraguay) Autor: Arq.Yago Garcia-Enriquez López.....	25
1.6.3. Caso: “Dormitorio de Centro Educativo Mbaracayu” (Villa Ygatimi-Paraguay.).....	26
1.6.4. Caso: “Comedor de Centro Educativo Mbaracayu” (Villa Ygatimi-Paraguay).....	26
1.6.5. Caso: “Capilla San Miguel Arcángel”	28
1.6.5.1 Analogía con la viga tradicional. Partes componentes de la dovela.....	29
1.6.5.2 Proceso Constructivo de la realización de dovelas.....	30
1.6.5.3 Proceso Montaje de dovelas.....	32
1.6.5.4 Terminación de techo. (Armadura y cargado).....	34
1.6.6. Cuadro Comparativo. Síntesis de Antecedentes Locales y su Origen	35

CAPÍTULO 2 - VALIDACIÓN DE RESISTENCIA DEL ARCO DE CERÁMICA ARMADA ANTE LAS DEFORMACIONES.

2.1 Prueba de Resistencia del material a las deformaciones	37
2.1.1. Proceso de Realización del Arco de Cerámica Armada.....	38
2.1.2. Primera prueba de deformación y rotura.....	39
2.1.3. Planilla de deformaciones.....	41
2.1.4 Síntesis de las lecturas del deflectómetro.....	43
2.2 Segunda Prueba de deformación y Rotura	44
2.2.1 Resultados del experimento.....	45
2.2.2. Planilla de deformaciones.....	46



CAPÍTULO 3 - APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA A UN PROYECTO

LOCAL

3.1 Bóvedas de Cerámica Armada en Vivienda Económica	48
3.2 Tipología de vivienda del proyecto local seleccionada	48
3.3 Propuesta con aplicación de Bóvedas de Cerámica Armada.....	49

CAPÍTULO 4 - ANÁLISIS DE COSTO. ESTUDIO DE FACTIBILIDADES

TÉCNICAS Y ECÓNICAS.....	51
---------------------------------	-----------

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
--	-----------

RECOMENDACIONES FINALES.....	57
-------------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA.....	59
--------------------------	-----------

ANEXOS.....	61
--------------------	-----------



INTRODUCCION

En nuestros días el factor económico y la rapidez en la ejecución se han vuelto las condicionantes básicas para la adquisición de la vivienda; por esta razón la imaginación arquitectónica y la sensibilidad social han quedado desplazadas.

Consecuente a esto se buscan alternativas que respondan a las necesidades básicas de protección y calidad de vida, mientras se amplía el campo del conocimiento.

“Así se va construyendo una práctica de Arquitectura Pobre: **La Necesaria** para las carencias de los pobladores en materia de albergue; y **la Posible** con los escasos recursos que pueden destinar a estos menesteres los potenciales usuarios” (González Lobo, Carlos. Vivienda y ciudades posibles, 1998, Pág. 19).

En búsqueda de la respuesta a esta necesidad, se ha trabajado en la propuesta de una tecnología alternativa que lleve implícita la respuesta que demanden los usuarios: “¿Y si además de barata y fácil, fuera amplia, espaciosa y bonita?” (Toca, Antonio. Nueva arquitectura en América Latina, 1990, Pág. 118)

Se ha hecho énfasis en la tecnología de cubiertas, con un material duradero y apropiado al contexto, que pueda ser realizada por mano de obra sin calificación o con un mínimo de asesoría técnica, que sea versátil, en este caso: **Bóvedas de Cerámica Armada con aplicación de dovelas prefabricadas.**

Se analizó el sistema desde sus orígenes, desde que el Arq. González Lobo (México) realizara trabajos de lotificación empleando las tecnologías de cubiertas de concreto sin cimbra sobre metal desplegado, y las bóvedas de dovelas prefabricadas de ladrillo-armado.



El Arq. Yago Garcia-Enriquez López, es autor de 2 obras en este país, donde la técnica tomada del libro “Vivienda y Ciudad Posibles” (Arq. González Lobo) fue perfeccionada. Más adelante basándose en estas 2 experiencias, se llevó a cabo el proyecto de la Capilla San Miguel Arcángel, en el que la autora ha tenido activa participación, ya modificando la disposición de las bóvedas y sustituyendo por otro tipo de material componente.

Este trabajo de investigación-acción, habiendo recabado toda la información posible mediante los antecedentes, y en base a la experiencia local en obra, ha hecho énfasis en el proceso constructivo con el **objetivo general** de *“determinar la factibilidad de la aplicación de la técnica de bóvedas de cerámica armada en edificaciones de este país”.*

Mediante analogías con tecnologías convencionales y ensayos de índole técnicos, se busca demostrar que puede llegar a ser una posibilidad tecnológica adecuada y aplicable para la edificación de interés social.

Atendiendo los **objetivos específicos**, se ha profundizado en el conocimiento de los materiales componentes de las Bóvedas de Cerámica Armada. Además, de realizar procesos constructivos de la construcción de dovelas y del montaje de las mismas; analizar el comportamiento del material mediante la construcción de un arco conformado por dos dovelas para evaluar el sistema y a través de la comprobación del mismo aplicar en una propuesta social para comparar finalmente el costo de la construcción por m² con el techo de tejas, ya que este es el sistema comúnmente utilizado en nuestro medio.

Comprobada la efectividad del sistema, se pone a consideración del lector este trabajo para poder así ampliar el conocimiento sobre alternativas de construcción aplicables a la solución de la problemática habitacional de sectores de población de escasos recursos del país.



“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

*Yanina
Pérez*

CAPITULO 1

MARCO TEORICO



1. Marco Teórico

A efectos de iniciar este trabajo de investigación, se ha visto la necesidad de mencionar algunos conceptos que serían de ayuda para abordar el tema. Desde lo general, -definiendo al techo y nombrando algunas de sus características- a lo particular, donde se busca referir especialmente a las tecnologías alternativas de cubiertas, hasta llegar específicamente a las bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas y conocer su procedimiento de construcción, pasando también por los antecedentes, obras diversas de carácter internacional y local, con la aplicación de este sistema, para finalmente realizar la comparación de su evolución.

1.1 Techo

Es un elemento único y fundamental en la proyección de la arquitectura, en una edificación, se puede prescindir de los cerramientos verticales pero de la cubierta no.

Es una de las primeras aspiraciones de toda familia y probablemente es el primer escalón imprescindible para pasar de la categoría de supervivientes a la de ciudadanos.

“El techo - tejado protector - es símbolo de hogar, de cobijo y del refugio que mejor compendia la casa...- *los edificios más primitivos no son sino un tejado-*”. (Gállido, Pedro Lorenzo. Un techo para vivir. Año 2005, Cap1)

En el momento de elegir una solución de techo, no existe una condicionante más influyente entre: “la climatología” - de la que protegerse- , “los materiales circundantes” - que deben conformar respuestas eficientes - , y las “tecnologías posibles” para la ejecución -deben ser las apropiadas-.



1.1.1. Este trabajo aborda la cuestión de los techos porque¹:

- Es un elemento singular dentro del sistema constructivo global, requiere soluciones técnicamente complejas para resolver su estabilidad.
- Las soluciones más generalizadas de techos presentan problemas básicos de aislamiento térmico, durabilidad e incluso algunas tienen repercusiones negativas en la salud del usuario por el material componente.
- El costo del techo tiene mucha importancia dentro del costo global de la vivienda (aproximadamente el 20-30%). Conseguir el techo es conseguir la vivienda. el resto puede hacerse poco a poco y con técnicas provisionales que van transformándose continuamente hasta obtener un alojamiento definitivo.
- La solución del techo está relacionada directamente con la cultura del lugar y con la forma de vida; **necesita ser aceptada.**
- Las distintas zonas climáticas amplias así como los microclimas, requieren soluciones específicas de techos o con capacidad de adaptación, flexibles.

1.1.2. Características que debe cumplir el techo²:

Características funcionales primarias:

- Estabilidad:** que mantenga el equilibrio y la firmeza.
- Estanquidad:** que sea inmóvil, rígido.
- Aislamiento del medio físico, básicamente **térmico.**

¹Gallido, Pedro Lorenzo. Un techo para vivir. Año 2005. Cap. 1 Pág. 9

² Idem



Características funcionales secundarias:

- Durabilidad y facilidad de mantenimiento.
- Resistencia al fuego
- Facilidad de transporte (en algunos casos).
- Facilidad de construcción, de acceso a los materiales y, en su caso, de fabricación de los mismos.
- Favorecer el uso de materiales y tecnologías adecuadas, autóctonas o de fácil asimilación y aceptación.

Características básicas:

- Economía.
- Respuesta adecuada a las características sociales y culturales del usuario.
- Respuesta adecuada al clima.
- Higiene, buen comportamiento ante los animales y las plagas.

1.2 Clasificación de las Tecnologías para techos

La clasificación de las tecnologías resulta ser muy compleja ya que abarca varios aspectos. Si la misma se refiere a las tecnologías de cubiertas, las **convencionales** son las frecuentemente utilizadas en el medio local, ya sea por facilidad de adquisición de los materiales componentes, o por conocimiento en la mano de obra.

Sin embargo, si se refiere a las tecnologías de cubiertas **alternativas**, se da lugar a un sin número de posibilidades que puedan responder ciertos materiales. No obstante, se debe tener en cuenta que cada tecnología “nueva” o “alternativa” a utilizar, debe ser de un material duradero y apropiado al contexto.



1.2.1. Tecnologías convencionales

Las tecnologías convencionales o tradicionales son aquellas que se basan en el uso de los materiales del área local, con poca transformación, y que corresponde a la “tradición” histórica. Entre las tecnologías de cubiertas convencionales de este país, se puede citar a la madera, las tejas cerámicas, el H°A°, chapa, etc.

Los usuarios en el momento de tomar decisiones tienden a asumir una actitud más bien “conservadora”. No les gusta innovar, por lo menos en el caso de aquellos materiales en donde no se tiene conciencia exacta de cómo puede comportarse a lo largo del tiempo de vida útil deseado (...)

La dificultad estriba en la variabilidad de los resultados, lo cual indica que no es suficiente saber mejorar, sino que hay que realizar una serie de acciones tendientes a asegurar la homogeneidad de los resultados en aquellos casos en que eso sea posible. (Ríos Cabrera, Luis S. Techos alternativos para viviendas de interés social, Pág. 18)

1.2.2. Técnicas Alternativas

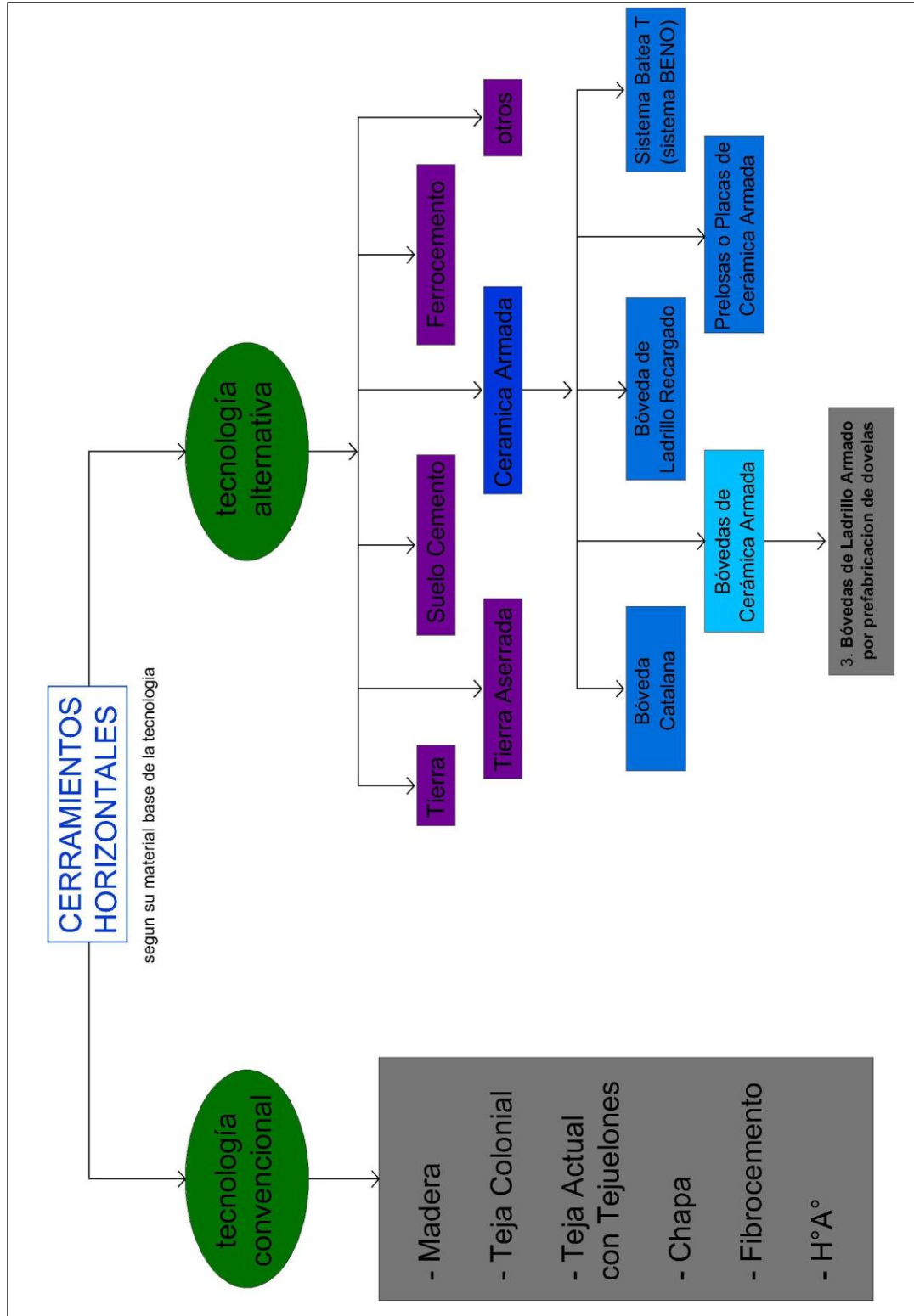
Se denomina técnicas alternativas a aquellas que tienden a recuperar y/o mejorar técnicas ya conocidas, o bien desarrollar o introducir otras tecnologías que tengan capacidad de competir con las “convencionales”. (Ríos Cabrera, Luis S. Techos alternativos para viviendas de interés social, Pág. 487)

Según el material base de la tecnología, entre las alternativas más usuales se pueden citar: tierra, suelo cemento, ferrocemento, cerámica armada y otros. Entre las técnicas con cerámica armada se puede citar a la bóveda catalana, bóvedas de ladrillo recargado, semiboveda cascara, placas y prelosas de cerámica armada, sistema batea T, y a las bóvedas de cerámica armada con prefabricación de dovelas.



1.2.3. Cuadro de clasificación de las Tecnologías en Cerramientos Horizontales

Horizontales



Cuadro elaborado por la autora.



1.3 Tipos de Estructuras Abovedadas de Cerámica

Estructuras Abovedadas de Cerámica	Características	Técnica Constructiva	Aspecto
<p>Cubiertas de Ladrillo Recargado</p>	<p>No requiere ningún tipo de cimbra o soporte mientras se construye. Se utilizan materiales de bajo costo. La mano de obra tiene un alto grado de eficiencia pues sólo se necesitan 2hs/hombre por m², con el criterio denominado "construir terminando", pues la bóveda se deja terminada en su parte inferior. Tampoco requiere de esfuerzos -de hierro o concreto- adicionales.</p>	<p>Se comienza por una esquina. El perímetro esta hecho con viguetas de hormigón sobre una base cuadrada con 2 puntos altos y 2 bajos. Luego se procede a hacer lo mismo en las demás. A mitad del ancho y del largo del espacio a cubrir se unen dichos mantos en una junta en forma de zigzag. Se entrelazan los mantos, pudiendo hacerles dibujos en dichos enlaces a manera de un tejido. Las hiladas se realizan en forma concéntrica hasta llegar al punto más alto de la bóveda. En el cierre de la cubierta la posición de los ladrillos es prácticamente vertical.</p>	
<p>Bóveda Catalana</p>	<p>Este tipo de bóvedas se componen de una vuelta de rasilla con yeso, y de una o varias de rasilla con mortero de cemento, con la rasilla de plano en todas. Trabaja de manera tradicional, o sea, a compresión en la mayor parte de su masa, por lo que no sólo resuelve el problema en una situación de escasez de hierro, sino que proporciona cierta seguridad ante la posibilidad de que el cemento sea de escasa resistencia. Esta misma técnica tabicada puede ser empleada para diversos elementos constructivos.</p>	<p>Pueden hacerse de dos modos: con una superficie continua en toda la bóveda, o con nervaduras y plementerías. Para que la construcción resulte económica, se ha comprobado que las formas más convenientes son las cilíndricas y esféricas sin nervios. La construcción debe hacerse llevando al mismo tiempo la primera vuelta y los doblados, con una cuadrilla para cada vuelta de rasilla. La primera cuadrilla hace la vuelta con yeso, que debe ser cubierta inmediatamente por el primer doblado con mortero de cemento, que hace la segunda cuadrilla. La tercera cuadrilla hace el segundo doblado, que debe llevarse un poco más retirado.</p>	
<p>Semi bóveda Cascara</p>	<p>La semibóveda de cerámica armada pesa 50 kg aproximadamente, esta constituida por hileras de ladrillos, con armadura longitudinal y transversal de hierro 4,2 mm.</p>	<p>Las juntas entre ladrillos se llenan con mortero de cemento y arena. Los componentes de este tipo de techo se aparean posicionándose mediante ataduras entre sí con alambre galvanizado, y se completan con una carpeta de compresión y con un nervio longitudinal de hormigón armado, a modo de "clave".</p>	
<p>Bóvedas de Cerámica armada con prefabricación de dovelas</p>	<p>La solución de las bóvedas de ladrillo armado parte del concepto de imaginar una bóveda de cañón corrido partida por la mitad longitudinalmente por una generatriz, a la que se llamara "clave" y los dos lados, o brazos resultantes, se descompondrán a su vez, en cortes por sus directrices, como pequeñas rebanadas a las que se les llamara "dovelas". El molde para la fabricación de éstas se realiza en el suelo simulando un "lomo de burro" que proporciona la forma de la bóveda.</p>	<p>Véase a continuación la descripción de procedimiento, con los distintos pasos del trabajo a realizar.</p>	

Cuadro de clasificación elaborado por la autora

Fuente: Un techo para vivir. Cap 3. Las tecnologías



1.4 Bóveda de ladrillo armado con dovelas

La estructura de ladrillos comunes más tradicional fue conformada por el “arco”, la “bóveda” y la “cúpula”. La “técnica romana” del mampuesto se basaba en la “geometría del círculo” para materializar diferentes obras de arquitectura y de ingeniería, utilizando un repertorio de soluciones tecnológico-estructurales conformadas por el “arco de medio punto” como elemento estructural básico para luego ampliarse a las bóvedas y cúpulas.

La técnica del ladrillo armado utilizado en cubiertas curvas parte de las experiencias de Gaudí con la bóveda catalana y su herencia más eficiente la escuela anexa a la Sagrada Familia; también en los trabajos del ingeniero Eduardo Torroja, en España; y en las obras magistrales de Eladio Dieste en Uruguay.



Grafico 1y 2 Escuela anexa a la Sagrada Familia. Autor Antoni Gaudí (Barcelona, España)

Grafico 3 Iglesia del Cristo Obrero. Autor: Eladio Dieste (Atlántida, Canelones. Uruguay)

Fuente: www.google.com

La técnica del ladrillo armado con prefabricación de piezas, nace de la experiencia del Arq. Carlos González Lobo en su libro “búsqueda de una arquitectura de bajo costo” para bajar los costos de construcción, el cual desarrolla un conjunto de técnicas para crear viviendas de bajo costo, con mano de obra no calificada, y con resultados de gran valor estético.

Las propuestas tecnológicas para cubiertas de autoconstrucción realizadas por Carlos González Lobo, parten de la “necesidad real” de los pobladores de escasos recursos para acceder a una vivienda “de material”, “que dure”, que sea tecnológicamente accesible y arquitectónicamente bella.



“La solución de las bóvedas de ladrillo armado parte del concepto de imaginar una bóveda de cañón corrido partida por la mitad longitudinalmente por una generatriz, a la que se llamara “clave” y los dos lados, o brazos resultantes, se descompondrán a su vez, en cortes por sus directrices, como pequeñas rebanadas a las que se les llamara dovelas”. (González Lobo, Carlos. Vivienda y ciudades posibles, 1998, Pág. 58).

El nombre de “dovela” surge de la analogía con el arco de la estereotomía tradicional, donde cada piedra componente entre el salmer (pieza de arranque o apoyo sobre la línea de “imposta”) y la clave (pieza vértice) adquiere ese nombre. En el sistema de Bóvedas de cerámica armada, las piezas componentes del arco llevan el mismo nombre por cumplir la misma función.

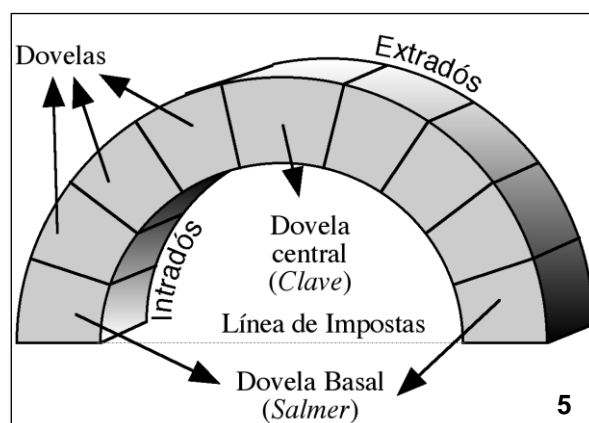
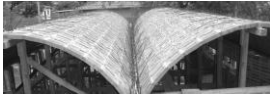


Grafico 5
Partes componentes de un arco.
Fuente: www.google.com

Grafico 6
Concepto de Bóveda y su integración constructiva
Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles.
(Carlos González Lobo) Pág.: 58



Este sistema constructivo, se basa en la prefabricación de sus elementos, las dovelas, que componen las bóvedas. Las mismas son desarrolladas con una tecnología que puede ser fácilmente aprovechable porque no requiere mano de obra especializada para ser ejecutada.

Estas piezas se fabrican en el suelo sobre un molde dejando provisiones para unirlos entre sí una vez montadas sobre los muros, se unirán todos los elementos finalmente con una capa de hormigón logrando así, una bóveda cilíndrica y monolítica.



Grafico 7 y 8

Construcción del molde y la colocación de los ladrillos en el molde.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 60

Con estas mismas piezas, se pueden construir bóvedas "gausas" como las del Ing. Eladio Dieste . (González Lobo, Carlos. Vivienda y ciudades posibles, 1998, Pág. 65).

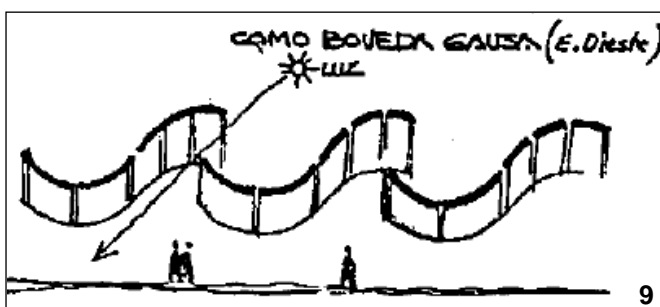


Grafico 9 . Bóveda Gausa (E. Dieste)

Grafico 10. Imagen de la Escuela Primaria de San Miguel Zapotitlan Sinaloa.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 70



1.5 Sistemas utilizados por el Arq. González Lobo

El Arq. Carlos González Lobo desarrolla sistemas que se constituyen en la definición de un método constructivo-proyectual alternativo apropiado y apropiable, para producir techumbres de bajo costo y de máxima capacidad espacial interna. Utiliza 3 sistemas:

- 1.5.1 Bóvedas de Concreto Armado sobre metal desplegado (sin cimbra):** Se utiliza para esto la técnica del ferrocemento. La bóveda se arma sobre el encadenado superior, con unos tabiques que proporcionan la forma curva, y se colocan a su vez unas “vigas” que hacen de encofrado. Sobre estos se arma un esqueleto estructural con varillas “generatrices”, de esta manera ya está terminado el armazón. Bajo el armazón se despliega una malla de metal desplegado. Luego se procede al cargado de Hormigón. (Ver Anexo.Pag. 64)
- 1.5.2 Bóvedas de Concreto Armado sobre metal desplegado (sin cimbra) con piezas prefabricadas a pie de obra:** Se repite la misma técnica del sistema anterior, pero en este caso se prepara un molde de tierra y cascotes en el piso con la geometría de la bóveda. Sobre este molde se va preparando el armazón del caso anterior, y luego se iza hasta ocupar su lugar sobre los muros. Y finalmente se procede al cargado del Hormigón. (Anexo.Pag. 66)
- 1.5.3 Bóvedas de Ladrillo Armado por prefabricación popular cooperativa (aplicación de dovelas):** Es la otra alternativa para construir cubiertas de bajo costo con ladrillos cerámicos y la combinación de acero. Éste método constructivo es sugerido por A. Gaudí en la escuelita de la Sagrada Familia, y la obra del Ing. Eladio Dieste en Uruguay (mas las aplicaciones que de su técnica hacen las cooperativas de viviendas uruguayas, y que enseñaría en 1975 el arquitecto Luis Livni).



1.5.3.1. Procedimiento de Construcción según Obra del Arq. González Lobo:

-Se calcula o determina la curvatura conveniente o deseada, pero con una relación cuerda-flecha no menor de 1:8 y la más económica de 1:4 (la más armoniosa para el usuario sentado es, para 3.60m. de cuerda, la de 1:3).

-Se coloca el trazo sobre el piso y se ajusta a una distribución de los tabiques, dejando para la clave una sección de 10cm. de ancho.

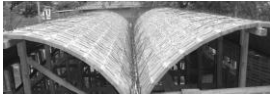
-Se doblan varillas sobre ese trazo, tanto para dovelas como para hacer unas cerchas de varillas.

Con las cerchas sobre el suelo, se rellena con tierra hasta moldear la sección cilíndrica de la bóveda, dejando libres 3cm., los que se aplanan con mezcla de cemento-arena 1:6 y se afinan con reglas, de cercha a cercha. A esto se lo llama “burro” y se puede hacer del largo necesario, y aun varios burros, con pasillos para trabajar con comodidad entre ellos en obras muy grandes. Para hacer las dovelas, se colocan sobre el “burro”, papeles de bolsa de cemento húmedos, que sirvan de separadores. Se alinean los tabiques de cada dovela, poniéndoles piedrecillas como separadores. Se arman primero los torzales de alambre retorcido y después las varillas; se cuelgan las juntas. Se dejan 6 días, mojándolas para su curado. Se retiran las piezas y se apilan.

Teniendo los muros cadena, el perimetral y contruidos los tímpanos, se deja un mechinal en la cima de cada uno y por ella se pasa una viga de 10cm. x 20cm. con un puntal o dos en su longitud, contra venteados; se coloca la armadura de la cadena-clave y se izan las dovelas apoyándolas sobre la viga y sobre la cadena salmer, se retuercen los torzales de alambre para unir todas las piezas. Se coloca sobre la superficie terminada una malla electro-soldada (10-10) y se cuela integralmente (los salmers, la bóveda y la clave), rellenándose además la junta entre las dovelas, la que hemos taponado con poliducto, sobre la bóveda con una capa de 3cm. de espesor.

Descripción del procedimiento de construcción.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 59



Se procede a curarla como una losa de concreto. La viga central (madrina), se puede retirar en 6 días.

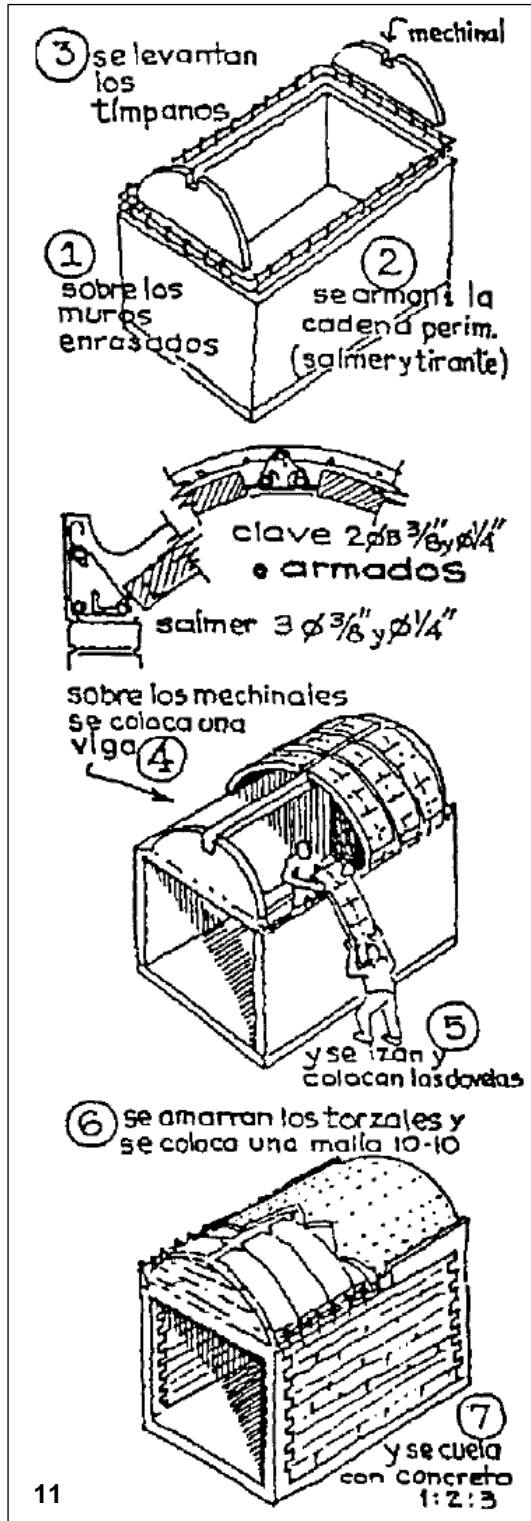


Grafico 11: Procedimiento de preparación de enrase e izado. Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 59

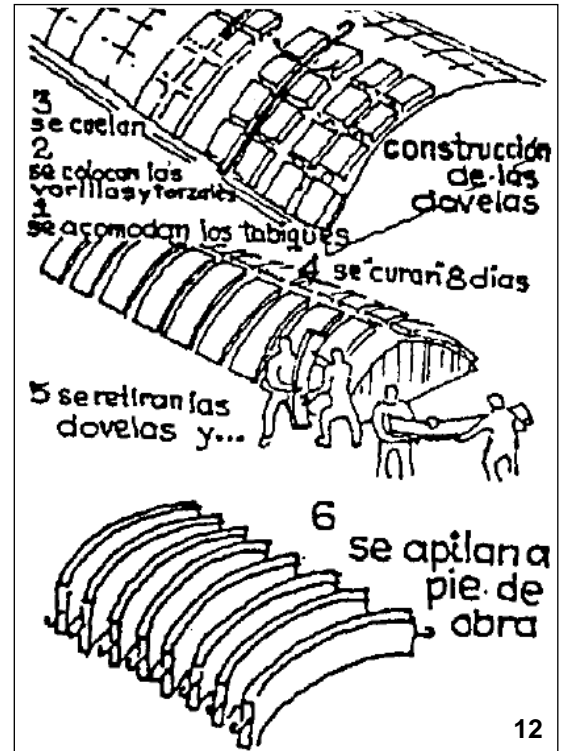
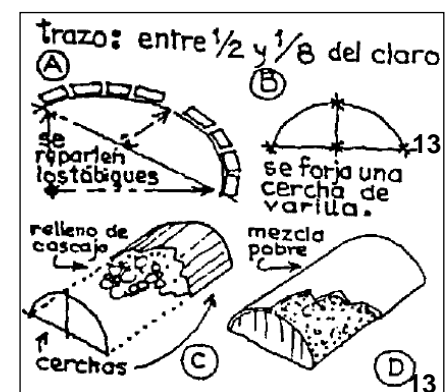


Grafico 12: Construcción de las dovelas.

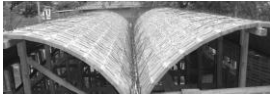
Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 58

Grafico 13: Descripción puntual del proceso analítico y constructivo.

Proceso de construcción de dovelas prefabricadas a pie de obra.



Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 58



1.5.3.2. Procedimiento de Cálculo de curva de Bóveda (Arq. Carlos González Lobo):

Para el sistema de Bóvedas de Cerámica Armada el círculo es la única figura que permite crear dovelas con un solo molde.

El autor afirma que la altura de la bóveda es recomendable entre los $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{3}$ del claro (luz entre apoyos). El límite máximo es $\frac{1}{5}$ del claro

Estos límites garantizan la flecha suficiente para disponer de un espacio útil, ya que si es baja la flecha el empuje horizontal es grande.

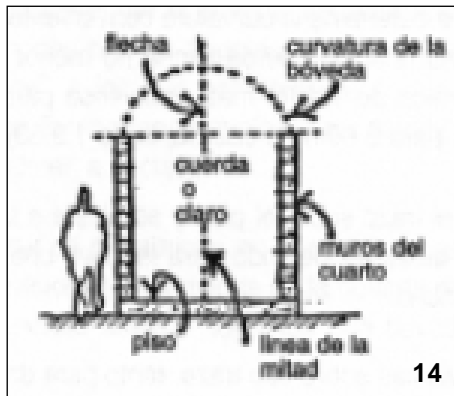
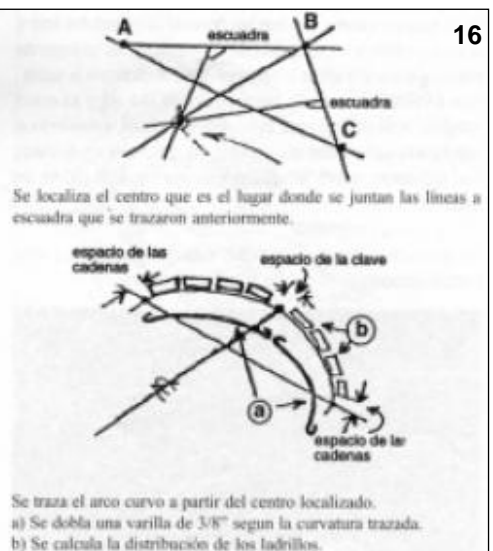
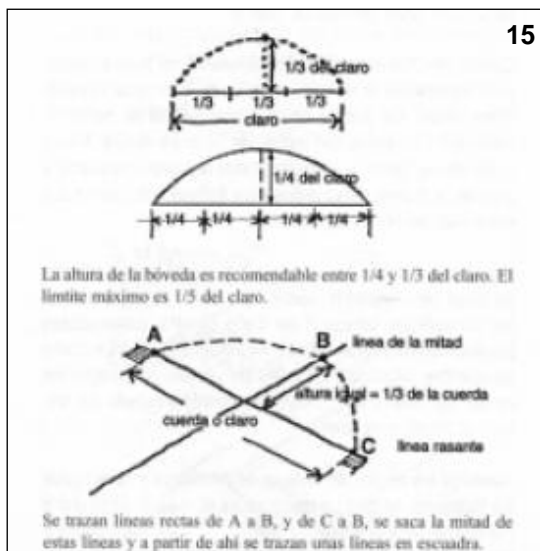


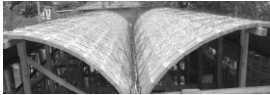
Gráfico 14: Trazado de curva de Bóveda. Indicación de flecha.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 60



Gráficos 15 y 16: Trazado de curva de Bóveda.

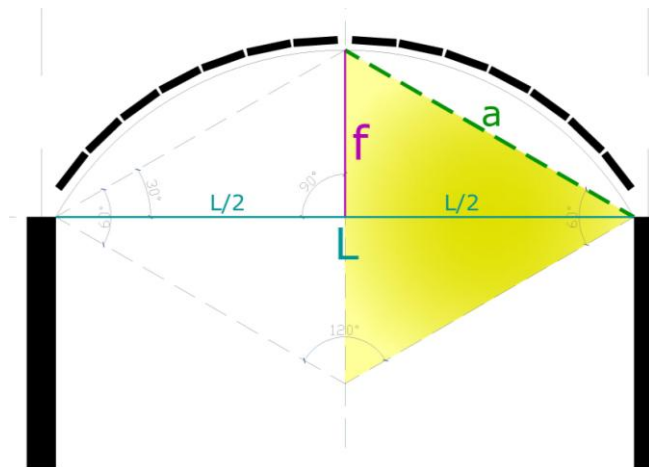
Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 60



1.5.3.3. Procedimiento de Cálculo de curva de Bóveda (Ing. Luis Fernando Meyer Canillas):

Se parte del principio del triángulo isósceles. Se trazan 2 líneas a 30° partiendo desde los apoyos, apuntando al vértice (altura de flecha).

Siguiendo los principios del Arq. Lobo que sugiere los límites min. y máx. de la curvatura del arco, el Ing. Meyer aporta la siguiente fórmula donde se deduce el Radio del círculo, mediante la fórmula de **Pitágoras**.



Corte Esquemático de la disposición de Arco

Si el segmento a= equivale al radio, entonces

$$\begin{aligned}
 a &= R \\
 f &= \frac{R}{2} \\
 \left(\frac{L}{2}\right)^2 &= R^2 - \frac{R^2}{4} \rightarrow \left(1 - \frac{1}{4}\right)R^2 = \frac{3}{4} R^2 \\
 \frac{L}{2} &= \frac{\sqrt{3}}{2} R \rightarrow R = \frac{L}{\sqrt{3}}
 \end{aligned}$$

Entonces, si la flecha es la mitad del radio. Se sustituye R

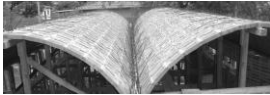
$$f = \frac{R}{2} \rightarrow \frac{L}{2 \sqrt{3}} = \frac{L}{2 \times 1.73} = \frac{L}{3.46}$$

Si se mantiene la teoría inicial del Arq. González Lobo donde dice que los límites recomendables son 1/4 (0.25) y 1/3 (0.33) de la Luz. Entonces, el valor medio ideal sería **0.29**

$$\begin{aligned}
 0.25L &\leq f \leq 0.33L \\
 \frac{L}{3.46} &= 0.29 \\
 f &= \frac{R}{2} \rightarrow R = 2f \\
 R &= 2 \times 0.29L \\
 R &= 0.58 L
 \end{aligned}$$

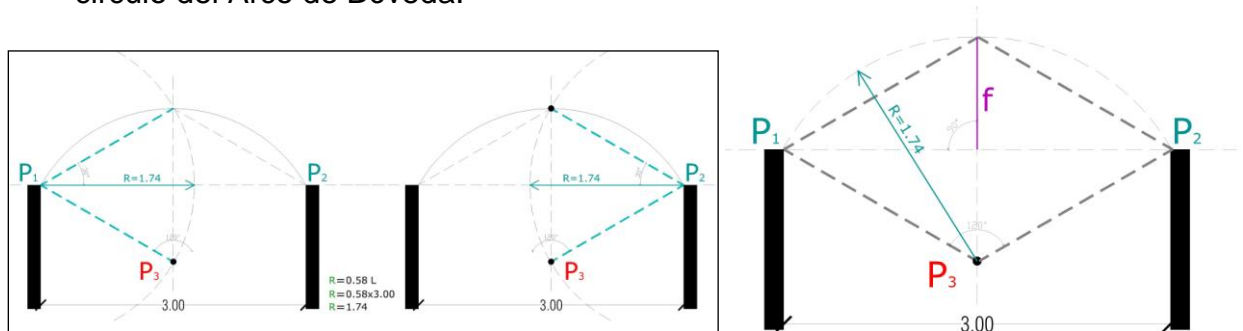
Se concluye finalmente que **R=0.58L** es la constante para hallar la curvatura.

Una vez obtenida la f, se dispondrán las medidas de los ladrillos enteros que conformaran cada dovela y la medida de la de junta entre ellos.



1.5.3.4. Procedimiento de Cálculo de curva de dovelas para cimbra (Ing. Luis Fernando Meyer Canillas):

A partir de la formula de $R=0.58 \times L$, desde los puntos externos (de apoyo) P1 y P2 que se marca como centro y se realiza el círculo. Donde se intersecten las 2 curvas se marca el P3. Obteniendo así el centro del círculo del Arco de Bóveda.

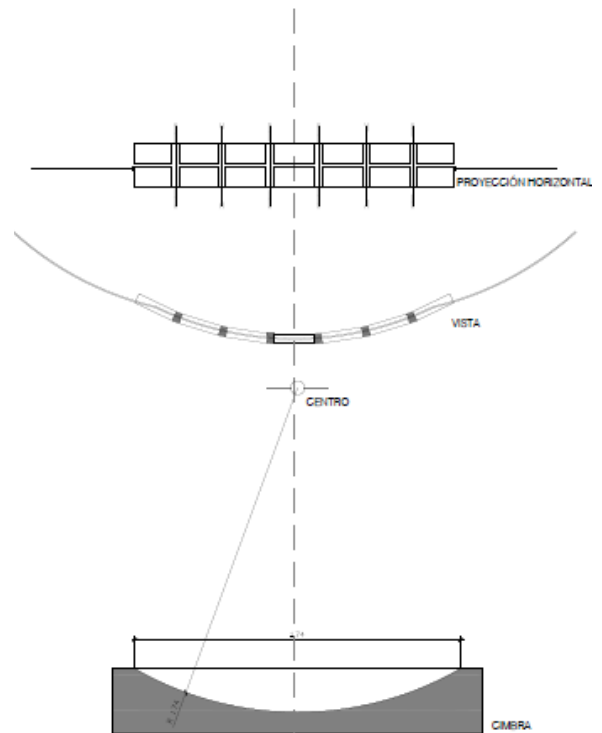


Proceso de Cálculo de centro de Círculo. (P3) a partir de la sustitución de formula con $L=3.00m$.

Con este dato, se procede a realizar la cimbra. En el suelo se marca un centro y se realiza un “compas” con hilo y estaca marcando la curvatura exacta del Arco. Para la construcción de la cimbra, se utiliza de plantilla una madera terciada que “calque” la curva de la dovela (mitad de arco) y se procede a construir el molde, donde en el momento del cargado de la mezcla se enraza con la “plantilla” de madera para marcar la curva exacta.



Plantilla de Madera Terciada.



Proceso de Realización de Cimbra para dovelas.



1.6 Aplicación del Sistema de Bóvedas de Cerámica Armada en proyectos diversos:

Se empezará nombrando un antecedente de carácter internacional para conocer el sistema desde sus orígenes.

1.6.1 Caso: “Viviendas para Maestros” (La Dalia-Nicaragua) Autor: Arq. Carlos González Lobo

El proyecto consiste en la autoconstrucción de 38 viviendas para maestros de escasos recursos en el núcleo urbano de La Dalia, Barrio de los maestros en Nicaragua. Se buscaba una técnica que pudiera bajar los costos de la construcción, tanto en su tecnología como en la mano de obra.

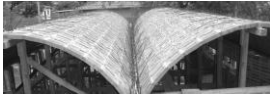
Las familias beneficiarias aportarían la mano de obra para la construcción y asumirían una parte del costo de la vivienda.

Se aplica el sistema siguiendo los mismos pasos del proceso constructivo descrito anteriormente en el ítem de Bóvedas de Ladrillo Armado por prefabricación popular cooperativa.

El resultado de la aplicación de este sistema son viviendas de alta calidad, con bajo costo, en donde la comunidad participó en todos los procesos de construcción de la misma. Fue una técnica exitosa, de fácil aprendizaje para los usuarios



Gráfico 17: Vista del Barrio. Gráfico 18: Elaboración del molde “burrito” para fabricación de dovelas. Fuente: Compilado de Fotos. Silvio Ríos.



En nuestro país se realizaron 4 obras con la aplicación de este prototipo, se nombraran en cada caso las características de cada una, y luego se elaborará un cuadro de síntesis citando la evolución del sistema.

1.6.2 Caso: “Salón 6 de enero” (Ñemby-Paraguay) Autor: Arq.Yago Garcia-Enriquez López

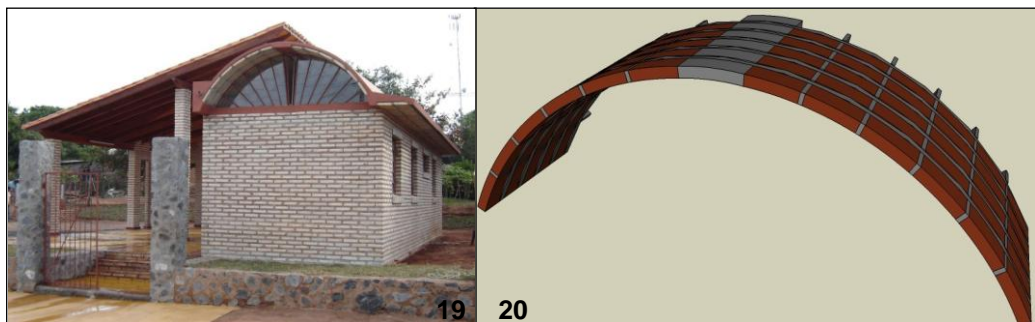


Gráfico 19: Imagen Salón 6 de enero. Gráfico 20: Representación de la bóveda utilizada. Fuente de Elaboración propia.

Es la primera obra realizada en Paraguay, donde en este caso se van siguiendo los pasos descritos en el libro del Arq. González Lobo para la realización de las piezas. Consiste en dos dovelas colocadas en forma alineada, compuesta cada una a su vez por 6 ladrillos unidas mediante una viga intermedia llamada “clave” (Ver gráfico 18). Las mismas están apoyadas sobre mamposterías portantes que salvan una luz de 2.8. El molde utilizado, no es realizado mediante “el burrito”, sino que el Arq. propone crear una cimbra hecha en el suelo pero a la inversa, que siga la curvatura de la dovela (y no del arco). Lo que permite menos uso del material. La marca de los ladrillos se va haciendo con un clavo sobre la mezcla fresca.



Gráfico 21 Imagen de molde “cimbra” enrasada con la pieza de madera
Gráfico 22: Cimbra con ladrillos.
Fuente: Imágenes provistas por el Arq. Yago Garcia.



1.6.3 Caso: “Dormitorio de Centro Educativo Mbaracayu” (Villa Ygatimi-Paraguay) Autor: Arq.Yago Garcia-Enriquez López

Es la segunda obra realizada en Paraguay. Consiste en una bóveda que presenta la misma disposición de bóvedas corridas, apoyadas sobre mamposterías portantes que salvan una luz de 2,9m. El arco está compuesto por dos dovelas colocadas en forma alineada, cada una a su vez por 6 ladrillos, unidas mediante una viga intermedia “clave”.

En un sector el arco se interrumpe para dar lugar a una losa (soporte de tanque) y a un lucernario; lo que permite demostrar que la forma es versátil, ya que puede quedar interrumpida y aun así mantiene su función estructural.

La cimbra se realiza en el suelo. También se utilizan ladrillos comunes para la fabricación de dovelas, lo que posteriormente resultó un problema, ya que por falta de asesoría técnica se preparan las piezas sin curar previamente los ladrillos. Estas piezas presentan más adelante rajaduras y quiebres por absorber el agua de amasado.



Gráficos 23 Y 24: Bóvedas compuestas por 2 dovelas en bloque Dormitorio.
Fuente: Imágenes provistas por el Arq. Yago Garcia.



**1.6.4 Caso: “Comedor de Centro Educativo Mbaracayu”
(Villa Ygatimi-Paraguay)
Autor: Arq.Yago Garcia-Enriquez López
Diseño Estructural: Ing. Luis Meyer**

Para esta obra se recurre a la colaboración del Ing. Meyer, donde se solicita conseguir que el sistema pueda ser más efectivo y económico.

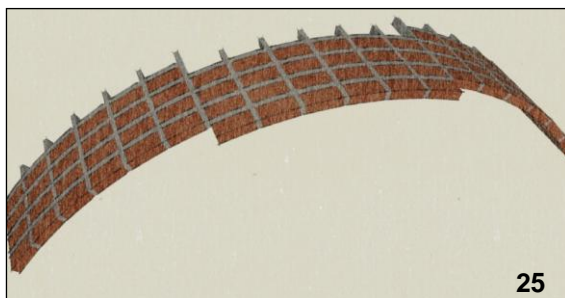
Consiste en un bloque con una luz libre de 3,9m. Por lo que se sugiere realizar un arco compuesto por 3 dovelas cada uno, que se colocan “alternados” (se desplaza una hilera de dovela) y no alineados como en casos anteriores.

De manera a que la varilla intermedia de cada dovela trabaje en conjunto con el arco. Por motivos de practicidad, facilidad de manejo y de transporte se secciona en 3 partes, así se consiguen dovelas de 6 ladrillos cada uno.

Se elimina la viga central (clave), lo que permite ver el sistema como un arco continuo, sin una interrupción intermedia. Se ve que no es un aporte estructural necesario, y se sugiere disponer las varillas de forma diferente, utilizando menos armaduras y disminuyendo a su vez el recubrimiento.

También se utilizan ladrillos comunes, proporcionando el mismo inconveniente que el caso anterior.

En este caso, también se utiliza el molde en el suelo para la fabricación de las piezas.



Gráficos: Bóvedas compuestas por 3 dovelas en bloque Comedor.

Fuente: Imágenes provistas por el Arq. Yago Garcia y elaboración propia.



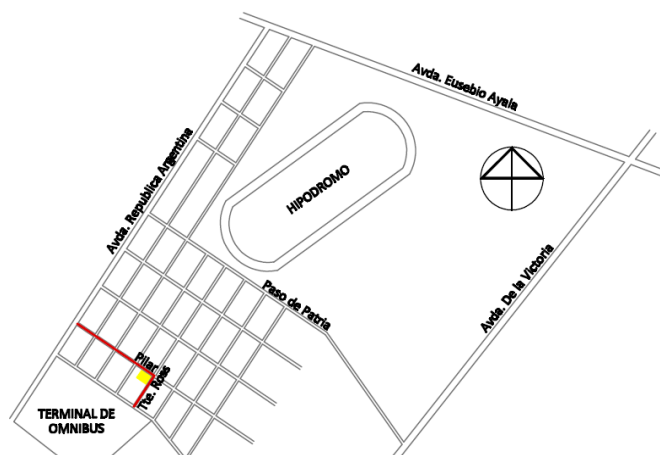
1.6.5 Caso: “Capilla San Miguel Arcángel” (Asunción-Paraguay) Autor: Univ. Yanina Perez y Valeria Galeano Diseño Estructural: Ing. Luis Meyer

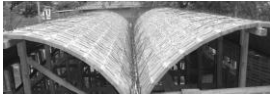
La comunidad de la zona 10 de la Parroquia Virgen de Nazareth ve la necesidad de realizar una Capilla destinada al Santo Patrono de la misma “San Miguel Arcángel”. Cada 29 de setiembre, día del Santo, se realiza la misa en un terreno adquirido por la comunidad.

Como una comunidad pro-activa y con mucho afán de servir, se han organizado para realizar actividades con fines de lucro para poder reunir fondos y construir una capilla. A principios del año 2010 recurren a las estudiantes de arquitectura de la zona: Valeria Galeano y a la autora de este trabajo; para que realicen un proyecto al alcance de la comunidad y que no fuera de carácter convencional, en otras palabras, que pueda ser diferente al prototipo de capillas ya conocidas. Gracias a la oportuna colaboración de las estudiantes en un proyecto para viviendas sociales del asentamiento “Tres Nacientes” (Ypané-Py) bajo la supervisión del Arq. Yago García-Enriquez López surge la idea de solicitar permiso para poder utilizar el sistema de construcción de techo aplicado en el proyecto.

A mediados del año 2012 se procede a techar la construcción de la Capilla, los cálculos de las Bóvedas de Cerámica Armada estuvieron a cargo del experimentado profesional Ing. Luis Meyer mientras que la Obra fue realizada con la activa participación de la autora.

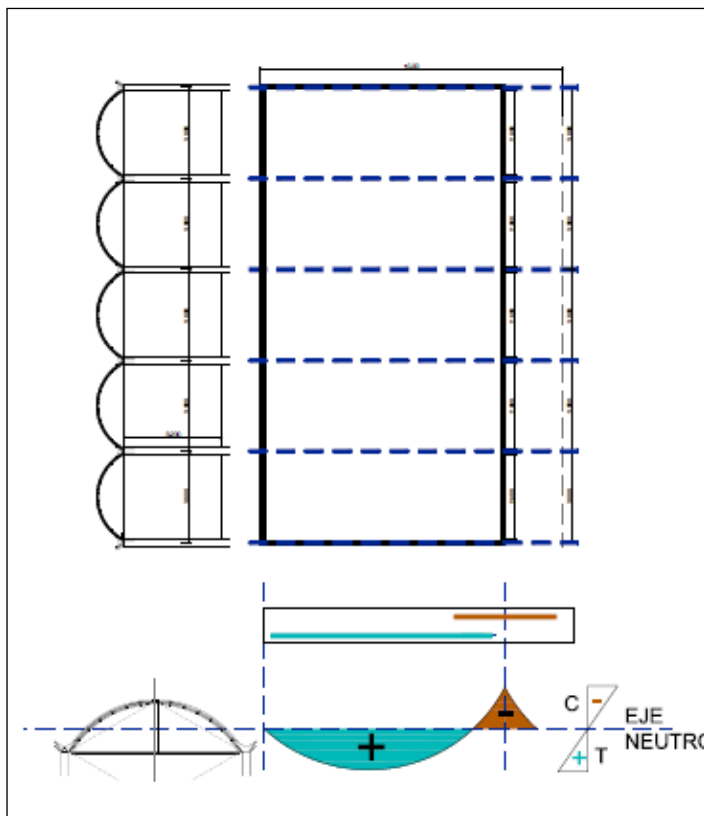
Plano de Ubicación de la Capilla San Miguel Arcángel. Tte. Ross c/ Pilar. Bo. Terminal As.-Py.
Fuente: Imagen de elaboración propia.





1.6.5.1 Analogía con la viga tradicional. Partes componentes de la dovela

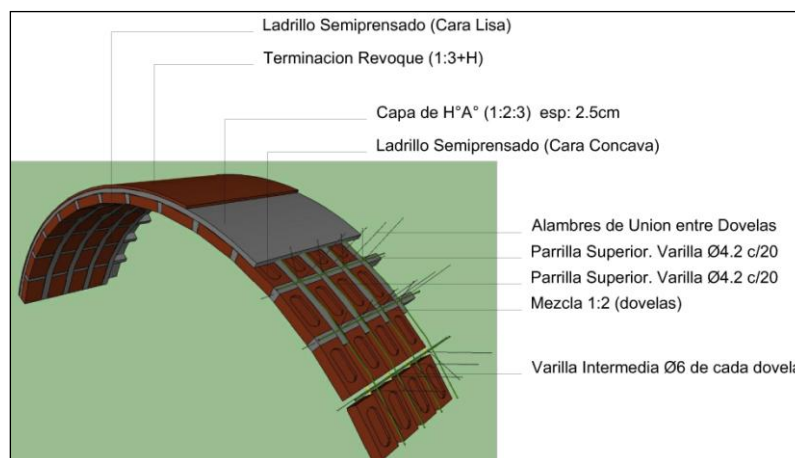
Se presenta la planta de la Capilla San Miguel y la disposición de las bóvedas de cañón corrido. Trata de 5 bóvedas de long. 10m. y salva una luz de 3m (eje a eje) Donde 8 m. quedan apoyadas sobre las mamposterías portantes, mientras que resta un voladizo de 2m. Se realiza una analogía con la viga tradicional, para entender el armado estructural. Además lleva un encadenado perimetral para evitar el coceo.

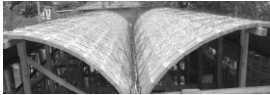


Se realiza una analogía con la viga tradicional, para entender el armado estructural. Además lleva un encadenado perimetral para evitar el coceo.



Se demuestra a continuación la sección de la bóveda, señalando los materiales componentes y su ubicación.





A continuación se describe el proceso constructivo de la construcción de dovelas utilizado para la capilla San Miguel Arcangel.

1.6.5.2 Proceso Constructivo de la realización de dovelas

1- Siguiendo los detalles de cálculos, donde se percibe la curvatura de cada dovela y la dimensión exacta de la ubicación de cada ladrillo, se procede a la construcción de una cimbra (a lo que se conoce como burrito) pero a la inversa.

Se dibuja la curvatura en una madera terciada, se corta “la plantilla” y la misma pieza de madera se utiliza para enraizar la mezcla colocada encima de la cimbra hecha de ladrillos comunes. Con una dimensión apropiada de acuerdo a la cantidad de dovelas que se quieran realizar al mismo tiempo.



Gráfico 27: Cimbra de long. 8m. realizada para Capilla. Con capacidad para 25 dovelas en simultáneo

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

2- Aun con la mezcla húmeda, se marca sobre la cimbra la disposición de los ladrillos con sus juntas. En este caso para agilizar los trabajos y garantizar la exactitud se procedió a construir una plantilla de chapa donde los caños hacen el espesor de cada junta.



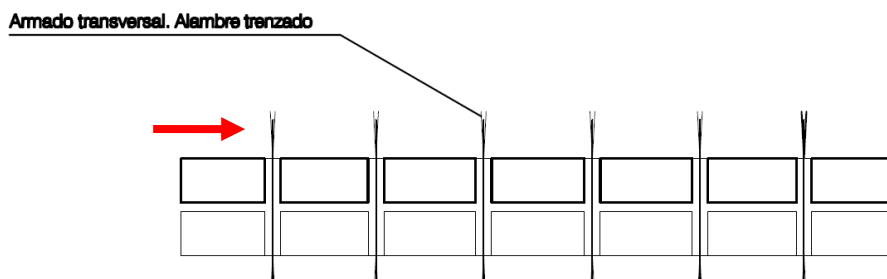
Gráfico 28: Plantilla para colocación de ladrillos.

Gráficos 29 y 30: Disposición de ladrillos y colocación de varilla en junta.

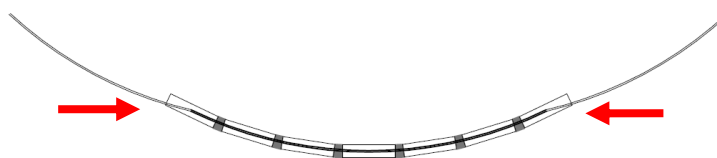
Fuente: Imágenes de elaboración propia.



- 3- Una vez dispuestos los ladrillos sobre la cimbra se coloca en la junta central la varilla longitudinal, mientras que el armado transversal es mediante alambres trenzados.



La varilla longitudinal debe colocarse en el medio exacto de los ladrillos. Mientras que los bigotes deben sobresalir necesariamente en los extremos bajos de la dovela, como enseña la figura para facilitar el encastre con la dovela contigua en el momento del montaje.



Observación: Es necesario que los ladrillos estén previamente mojados, para que a la hora del cargado no absorba el agua de amasado.

- 4- Puesta la armadura, se coloca la mezcla (dosaje 1:2). Se limpia con esponja y se deja secar un mínimo de 4 días. Una vez secas las dovelas, se apilan a pie de obra para ser colocadas en su momento.



Gráfico 31: Dovela con mezcla fresca, y dovela con terminación.

Grafico 32: Apilamiento de dovelas.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.



1.6.5.3 Proceso Montaje de dovelas

1- Antes de proceder al montaje de las mismas, en el suelo se “tuercen” los bigotes” que salen de cada lado de la dovela. Uno de los lados corresponde al vértice del arco, esta varilla se dobla en forma de “S” con ayuda de una pinza, mientras que el bigote que apoya en la “viga” de anclaje de bóvedas, se inclina para un lado así la misma puede “insertarse” en la viga.



Gráfico 33: Momento en que se tuercen las varillas bigotes.

Grafico 34: Dovelas con varillas de vértice y anclaje con su torsión.

Gráficos 35 y 36: Montaje y posición de dovelas.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

Observación: Se debe tener en cuenta la colocación previa del encofrado, ya que los vértices de las dovelas deben ir apoyadas sobre los puntales.

2- Se monta la dovela, “encastrando” la varilla inclinada (lado de apoyo) dentro de la viga. Mientras que el vértice se apoya en el puntal del encofrado (altura máxima de bóveda). Luego se monta la dovela “par” (que completa el arco) hasta que coincidan sus vértices y queden asentadas perfectamente sobre el puntal, si esto no ocurre entonces se calza con un cascotillo hasta conseguir que ambas queden al mismo nivel. Si ambas dovelas tampoco coinciden en el nivel de apoyo (viga) también se calza con un cascotillo.



Gráfico 37: Montaje de dovela apoyo y vértice.

Gráfico 38: Momento en que se calza con cascote por no quedar bien apoyado a causa de imperfecciones en el material. Gráficos 39 y 40 : Encastre de vértice y anclaje a viga.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.



3- Una vez “solapadas” las varillas de los vértices, ambas se aseguran con alambres y las varillas se tuercen en dirección a las dovelas. Cuando se han colocado dos arcos de seguido. Se van juntando los alambres laterales de las dovelas, una a lado de otra.

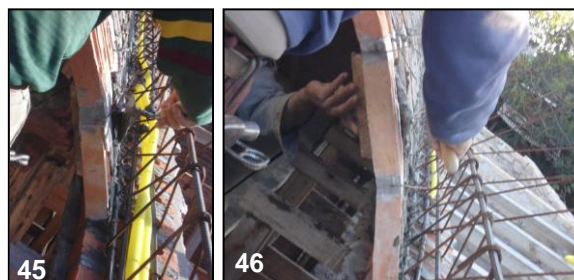


Gráfico 41: Varillas de vértice que son unidas mediante alambres.

Gráficos 42-43-44: Momento en que se tuercen los alambres. Y se realiza la unión entre dovelas.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

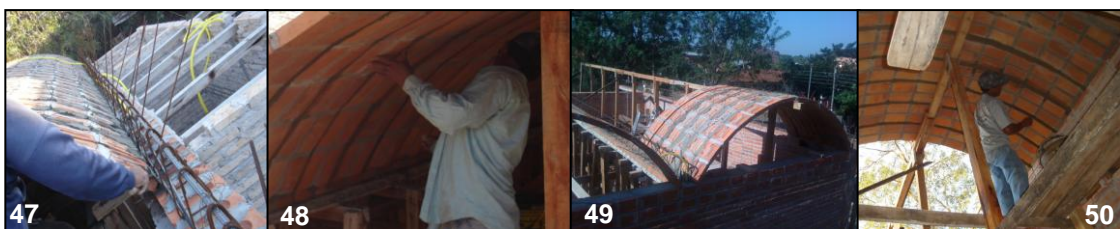
4- Ya puesto un arco, seguido de otro, se procede a colocar una tapa junta, (puede ser madera o ladrillo) debajo de cada unión para colocar la mezcla por encima y que la misma quede enrazada entre los ladrillos. Luego se limpian las juntas con una esponja húmeda, para que quede una mejor terminación.



Gráficos 45 y 46: Proceso de colocación de la tapa debajo de la junta, y el cargado de la mezcla por encima.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

La mezcla también se coloca en el apoyo de las dovelas con la tapa de la viga



Gráficos 47 y 48: Proceso de limpieza de dovelas con esponja

Gráficos 49 y 50: Terminación de dovelas colocadas. Por encima y por debajo

Fuente: Imágenes de elaboración propia.



1.6.5.4 Terminación del techo. (Armadura y cargado)

Una vez montados los arcos, se coloca una parrilla de varillas $\varnothing 4.2$ c/20 en ambas direcciones para recibir el Hormigón. Esta capa de H°A° es colocada con fines de evitar fisuras en la bóveda de ladrillos, pudiendo ser lo más fina posible. Una vez fraguado el H° se coloca una capa de terminación hidrófuga. Se disponen de mangueras para armar fajas y obtener un mismo espesor.



Gráficos 51 y 53: Proceso de enrase de la capa de terminación. Gráfico 52: Techo con parrilla superior antes del cargado. Gráfico 54: Proceso de cargado de H°

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

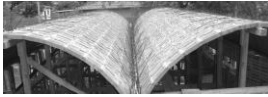
En síntesis, el proceso de construcción de dovelas y montaje de las mismas finaliza en diciembre del año 2012, proceso que se extendió por motivos de carencia económica y por falta de práctica.

A meses de la finalización del techo, se ha podido demostrar la posibilidad de optar por modelos no tradicionales, y que siendo desconocidos se pueden realizar con un mínimo de asesoría técnica.



Gráficos 55 al 58:
Bóvedas terminadas con una capa hidrófuga de fibra de vidrio color cerámico.





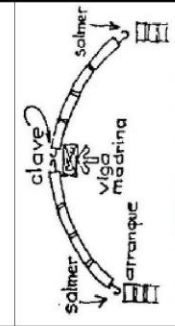

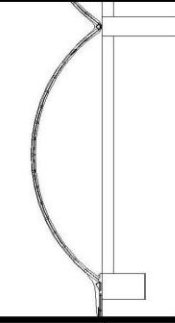





Fuente: Imágenes de elaboración propia.



"Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013".

Yanina Pérez

1.6.6 Cuadro Comparativo. Síntesis de Antecedentes Locales y su Origen

ANTECEDENTES DE OBRAS REALIZADAS CON BOVEDAS DE CERAMICA ARMADA CON APLICACION DE DOVELAS															
<p>VIVIENDAS PARA MAESTROS (LA DALIA-NICARAGUA)</p> <p>Autor: Arq. Carlos González Lobo (Mexico)</p> 	<p>SALON "6 DE ENERO" (NEMBY-PARAGUAY)</p> <p>Autor: Arq. Yago Garcia</p> 	<p>COMEDOR Y DORMITORIO DEL CENTRO EDUCATIVO MBARACAYU (VILLA YGATIMI-PARAGUAY)</p> <p>Autor: Arq. Yago Garcia</p> 	<p>CAPILLA "SAN MIGUEL ARCANGEL" (ASUNCION-PARAGUAY)</p> <p>Proyecto: Yanina Pérez y Valeria Galeano Diseño Estructural: Ing. Luis Meyer</p> 									<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliza como material componente el ladrillo común. - El arco esta compuesto por dos dovelas una de otra. - Las bóvedas se colocan "enfrentadas" paralelo a los muros. (utilizan como apoyo) - Las dovelas están dispuestas en una de otra. - Las dovelas están unidas mediante una viga "clave". - El molde ya no es realizado mediante el "burrito", sino que el Arq. propone crear una cimbra hecha en el suelo pero a la inversa, que siga la curvatura de la dovela, y no del arco. Lo que permite menos uso de material. 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliza como material componente el ladrillo común. - El arco esta compuesto por dos dovelas una de otra. - Las bóvedas están dispuestas en paralelo a los muros. (utilizan como apoyo) - Las dovelas están unidas mediante una viga "clave". - Utiliza la cimbra hecha en el suelo - En un sector el arco se interrumpe para dar lugar a una losa y lucernario. Pudiendo demostrar que es un sistema versátil. 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliza como material componente el ladrillo común. - Las bóvedas están dispuestas en paralelo a los muros. (utilizan como apoyo) - Se elimina la clave intermedia, lo que permite poder ver el sistema como un arco continuo, sin una interrupción intermedia - Trata de dos bóvedas corridas apoyadas sobre mamposterías portantes y una intermedia. Salvando una luz de 3,9m. Por lo que se sugiere realizar un arco compuesto de 3 dovelas cada uno, colocadas en "alternadas" en este caso, y no alineadas como los casos anteriores. - Por motivos de practicidad y facilidad de manejo se secciona en 3 partes, así se consiguen dovelas compuesta por 6 ladrillos cada uno. 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consiste en la disposición de 5 bóvedas corridas. - Esta vez no se apoyan lateralmente en mampostería portante, si no que se colocan perpendicularmente a estas, mientras que el conjunto de las bóvedas permite que el sistema trabaje en conjunto. - Consiste en un arco compuesto por dos dovelas de 7 ladrillos colocadas alineadas nuevamente. Cada arco salva una luz de 3m - Mientras que el conjunto de las 5 bóvedas cubren una luz de 8m. de largo (sin apoyo intermedio). - Se utiliza en este caso por primera vez el ladrillo semiprensado para mejorar la terminación, ya que es una edificación completamente con ladrillo a la vista. - Se construyen 2 cimbras en el suelo para poder fabricar en simultáneo 420 dovelas. Se manda hacer una plantilla metálica para mejorar y agilizar la fabrica de las mismas.



“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

**Yanina
Pérez**

CAPITULO 2

VALIDACIÓN DE RESISTENCIA DEL ARCO DE CERÁMICA ARMADA ANTE LAS DEFORMACIONES.



2.1 Prueba de Resistencia del material a las deformaciones

Laboratorio de FIUNA (marzo 2013)

Con los antecedentes expuestos precedentemente y a efectos de oficializar el uso de la tecnología, objeto de este trabajo, se ha considerado necesaria la validación del comportamiento estructural de la misma por lo que se ha sometido a la prueba de deformación. A dicho efecto se ha trabajado con la facultad de Ingeniería UNA donde se realizaron las mismas.

Se trasladan dos dovelas prefabricadas para armar un arco, prototipo equivalente a 1m² de techo.

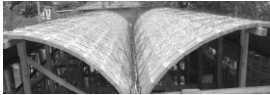
En el primer intento de montaje del arco se rompen 2 ladrillos de una dovela por error de manipulación. Se procede a remendar la pieza y esperar una semana el curado de la misma, procedimiento que queda sin efecto debido a que los ladrillos remendados vuelven a romperse. Se decide entonces, fabricar nuevamente dos dovelas en obra (Capilla San Miguel Arcángel) y trasladarlas 8 días después (para efectivizar el curado y secado de las piezas) a la facultad para iniciar el proceso.



Gráfico 59: Momento de curado de dovelas.
Gráficos 60 Y 61: Dovela con ladrillos remendados.
Fuente: Imágenes de elaboración propia.



Gráficos 62 y 63: Momento en el que se busca remendar las piezas.
Fuente: Imágenes de elaboración propia.



2.1.1. Proceso de Realización del Arco de Cerámica Armada

-Se disponen de dos dovelas prefabricadas para montar el arco. Se utiliza un pilar existente como apoyo lateral para uno de los extremos, mientras que en el otro se colocan dos dados de hormigón para evitar así el empuje lateral que se pueda producir con las cargas aplicadas. Se utilizan como puntal una pirámide de probetas.



Gráficos 64,65 y 66: Proceso de conformación del arco.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

-Se procede a armar la parrilla superior para la carga de hormigón. Con varillas Ø6 cada 20cm. en ambas direcciones. Las mismas se ajustan entre si con alambres.



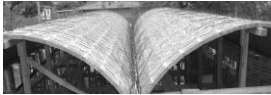
Gráficos 67,68 y 69: Proceso de envarillado superior para recibir al hormigón

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

-Se prepara la argamasa con dosaje 1:2:3 (piedra 5ta).Y se coloca sobre las varillas (con una capa mínima de 2.5cm, que solo tape las varillas).



Gráficos 70,71 y 72: Proceso de cargado del hormigón. Fuente: Imágenes de elaboración propia.



“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

Yanina Pérez

-Se esperan los 28 días de curado del Hormigón Armado. Mientras tanto se procede a mantener húmedo el prototipo, con paños frescos y aislapol. Hasta completar la cantidad de tiempo.



Gráficos 73,74 y 75: Proceso de fraguado del hormigón. Fuente: Imágenes de elaboración propia.

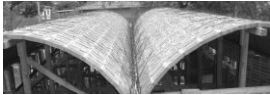
2.1.2. Primera Prueba de deformación y Rotura

- Se dispone de un deflectómetro que se coloca debajo del vértice del arco para tomar las lecturas.

- Se empiezan a cargar las bolsas de arena de 25 kg. Cada tanto, se van tomando las lecturas de las deformaciones. Se llega a un peso de 1900kg. que equivalen a 76 bolsas.



Gráficos: Proceso de cargas de bolsas de 25kg. Fuente: Imágenes de elaboración propia.



- Luego se cargan 29 probetas de 13kg. hasta llegar al peso total de 2277kg. donde se toma la lectura, segundos antes de que las mismas pierdan el equilibrio y caigan. Se toma la lectura final con un peso total de 1775kg. Se dejan las cargas durante 3 días para comprobar si la pieza sufrió desplazamientos, deformaciones u otros.



Gráficos: Proceso de cargas de probetas hasta su caída por desequilibrio. Fuente: Imágenes de elaboración propia.

-En fecha, se comprueba que la pieza solo se ha deformado 5mm. De su flecha inicial, mientras que no ha sufrido un desplazamiento lateral.

La pieza se traslada al patio de la Facultad de Ingeniería donde meses después se vuelve a realizar la prueba.



Gráficos. Fuente: Imágenes de elaboración propia.



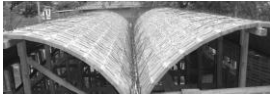
2.1.3. Planilla de deformaciones

PRIMERA PRUEBA DE RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES			
Flecha Inicial: 82,5 cm		Luz de Arco: 272cm	
Se aplican bolsas de arena de 25 kg. c/u			
Lectura de defleómetro		Peso aplicado	Cantidad de Bolsas
(mm.)	(Vueltas)	(kg.)	(un.)
No se obtiene lectura	—	50	2
"	—	100	4
"	—	150	6
"	—	200	8
"	—	250	10
"	—	300	12
0,015	—	350	14
0,075	—	400	16
0,16	—	425	17
se mantiene	—	475	19
se mantiene	—	525	21
se mantiene		550	22
0,23	—	650	26
0,235	—	700	28
0,24	—	750	30
0,245	—	800	32
0,27	—	850	34
0,305	—	900	36
0,41	—	1000	40
0,48	—	1050	42
0,85	—	1100	44
1	1	1150	46
1,12	—	1200	48
1,16	—	1250	50
1,21	—	1300	52
1,32	—	1350	54
1,35	—	1400	56
1,39	—	1450	58
1,56		1500	60
2,28	2	1500	60






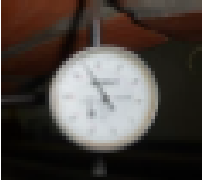


Yanina Pérez

Planilla de elaboración propia.



“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

Yanina Pérez

1 hora de Después	2,31	—	1550	62		
	2,42	—	1600	64		
	2,5	—				
	2,635		1650	66		
	2,75		1700	68		
	2,91		1750	70		
	3,05	3	1800	72		
	3,4		1900	76		
	Hasta aquí aplicación de cargas mediante bolsas de arenas de 25kg c/u					
	Se aplican probetas de 13kg.			Cantidad de Probetas		
5,01	6	2199	23			
5,5		2264	28			
6,6	8	2277	29			
Se desequilibran las cargas y caen las 29 probetas mas 5 bolsas de arena						
				Cantidad de Bolsas		
1 hora después	4,6	—				
	4,65		1775	71		
Altura de flecha 82,6 cm						
3 días después	4,65	—				
	6,5		1775	71		
Altura de flecha final 82 cm		Luz de Arco: 272 cm				

Planilla de elaboración propia.



2.1.4 Síntesis de las lecturas del defleómetro

En la planilla anterior se puede constatar que la pieza se mantiene sin ningún tipo de variación milimétrica hasta los 1150 kg. equivalentes a 46 bolsas aplicadas donde se deforma 1mm.

Se llega al peso de 1ton. y la misma aun no sufre una variación importante. Al soportar la carga de 1500kg. conformadas por 60 bolsas la pieza se deforma 1,5mm. Se deja con este peso constante durante 10 minutos, y se verifica que en ese lapso de tiempo la pieza se deforma 1mm. mas.

Se repite este proceso a los 1650kg., hasta llegar a los 1900kg. que equivalen a 76 bolsas de 25kg. que eran las cantidades disponibles en el laboratorio observando una deformación final hasta aquí de 3,4 mm.

A partir de esto se aplican de a poco las probetas, donde aumenta progresivamente la deformación de 5mm a 6,6mm. momento en el que llega a su punto máximo.

Al caer las probetas, queda sometido a una carga de 1776kg. donde se puede observar que la deformación disminuye 2mm. con una lectura de 4,5mm. Se vuelve a dejar constante el peso por 1 hora. y se realiza la medición de la flecha donde se percibe la lectura de 82,5cm.

Luego de 3 días de haber mantenido la carga constante, se percibe una lectura final de 6,5mm. (Vuelve a deformarse 2mm. mas) y se realiza nuevamente la medición de la flecha donde se percibe finalmente que la flecha es de 82cm.



2.2 Segunda Prueba de deformación y Rotura

Laboratorio de FIUNA (agosto 2013)

Pasado 4 meses se procede a repetir la prueba para comprobar si ha sufrido alguna variación a causa de las cargas remanentes. La misma pieza colocada en el patio, ha sufrido rajaduras en el vértice del arco por estar expuesta a la intemperie, y una vez colocada la pieza en el laboratorio (utilizando los mismos "apoyos" de la primera vez) se verifican la medida de la flecha y de la luz, manteniéndose con los mismos valores obtenidos al final de la prueba anterior.



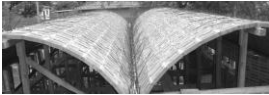
Gráficos que demuestran las rajaduras aparecidas durante los 4 meses. Fuente: Imágenes de elaboración propia.

- Se preparan bolsas del mismo tamaño de 20kg. en forma de panes, para tener una distribución ordenada y equitativa a lo largo del arco. Y se procede nuevamente a la colocación del deflectómetro en el vértice de la pieza marcando el cero.

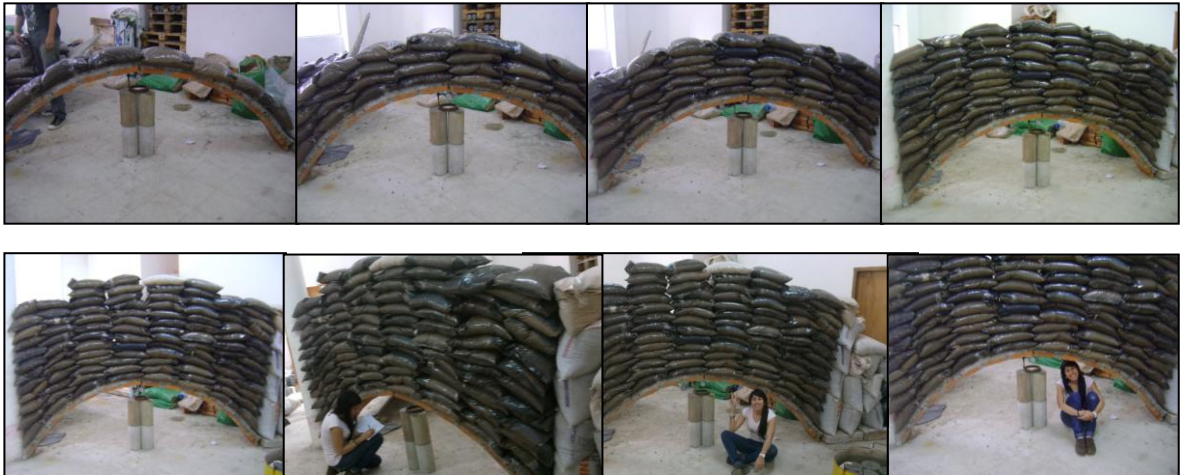


Gráficos de Cargas en panes y Proceso de colocación de arco y deflectometro.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.



- Se van aplicando las bolsas a lo largo del arco (8 bolsas por hilera). Hasta completar 10 hileras, luego se completan con bolsas de 25kg. sumando un total de 2000Kg.



Gráficos que demuestran la aplicación de cargas equitativas a lo largo del arco por fila.

Fuente: Imágenes de elaboración propia.

- Se comprueba que la pieza no sufre deformaciones con las cargas aplicadas, pero se toma la lectura final de la flecha con 5mm. Menos que la lectura inicial, se deduce así que podría haber sufrido un desplazamiento lateral.

2.2.1 Resultados del experimento

Se puede observar luego de la prueba realizada que el manejo de la pieza debería tener un mínimo de asesoría técnica para su manipulación, aun ofreciendo la ventaja de ser liviana y manejable, pudiendo cada dovela ser levantada por una sola persona (60kg) mientras que el arco en sí de 3m. de longitud con la capa de Hormigón Armado se pudo levantar entre 2 personas.

Además que los ladrillos deben estar perfectamente húmedos antes de la fabricación de las dovelas para evitar que absorba el agua de amasado produciendo fisuras posteriores.



Si bien la pieza fue expuesta a la intemperie no sufrió ningún tipo de daño relevante, manteniendo su buena resistencia, al soportar como peso máximo comprobado de 2277kg. sin llegar a la rotura.

2.2.2. Planilla de deformaciones

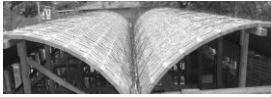
SEGUNDA PRUEBA DE RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES			
Flecha Inicial: 82 cm		Luz de Arco: 272cm	
Se aplican bolsas de arena de 20 kg. c/u			
Lectura de defleómetro		Peso aplicado	Cantidad de Bolsas
(mm.)	(Vueltas)	(kg.)	(un.)
0,03	---	160	8
no se toma lectura	---	320	16
0,21	---	480	24
0,25	---	640	32
0,3	---	960	48
no se toma lectura	---	1120	56
no se toma lectura	---	1280	64
no se toma lectura	---	1440	72
0,61	---	1600	80
0,75	---	2000	100
se mantiene	---		
Altura de flecha final 82 cm			

10 min.
Después



Planilla de elaboración propia.

Como se puede observar en la planilla la pieza no llega a deformarse

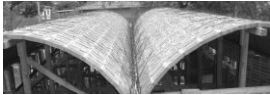


“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

*Yanina
Pérez*

CAPITULO 3

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA A UN PROYECTO LOCAL

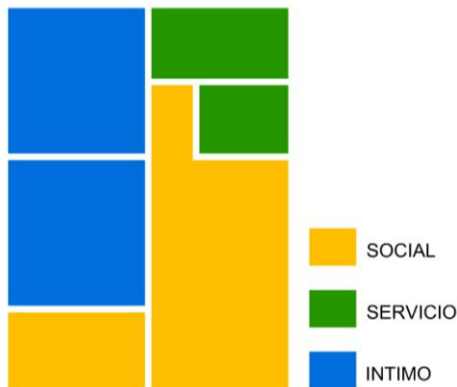


3.1 Bóvedas de Cerámica Armada en Vivienda Económica

Luego de haber experimentado la construcción de un arco de ladrillo armado mediante la aplicación de dovelas prefabricadas, haber comprobado su resistencia a las deformaciones, se procede a realizar una propuesta de tecnología alternativa mediante el uso de las bóvedas de cerámica armada para una tipología de vivienda económica. Para obtener como resultado un cuadro sobre las ventajas y desventajas que presenta dicha tecnología ante un material convencional conocido como el techo de tejas cerámicas y su análisis de costos.

3.2 Tipología de vivienda del proyecto local seleccionada

Se escoge una vivienda del modulo TIPO UBH + 2D del año 2012 provisto por la SENAVITAT que es el ente público encargado de la construcción de este tipo de viviendas económicas, se escoge esta tipología de 50 m2 por ser la más aplicable para estos menesteres.

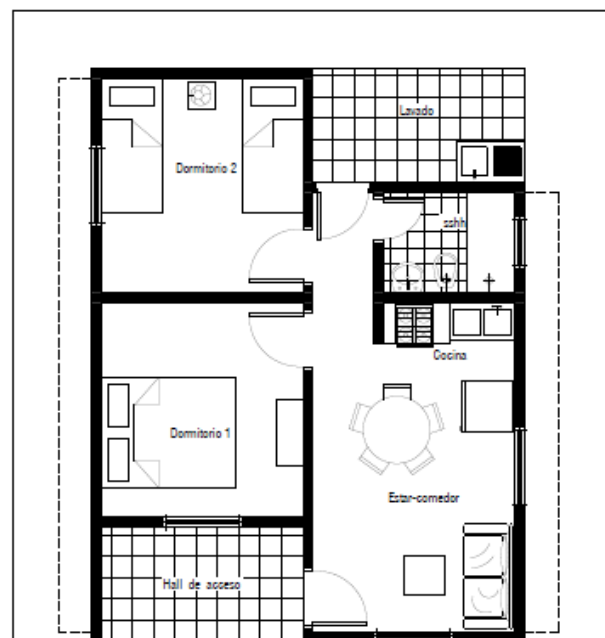



Zonificación de Vivienda Tipo

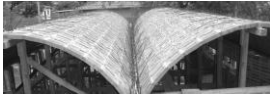


Representación Tridimensional de la Tipología

PLANTA EQUIPADA



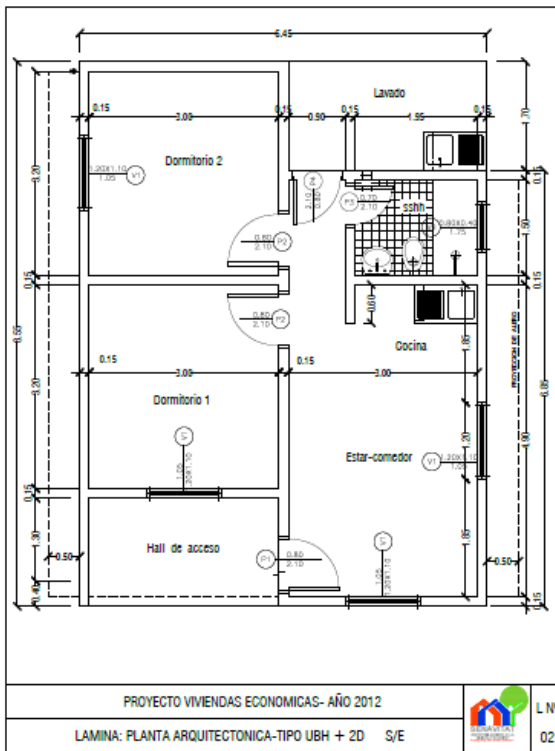
PROYECTO VIVIENDAS ECONOMICAS- AÑO 2012			L.Nº
LAMINA: PLANTA EQUIPADA-TIPO UBH + 2D S/E			01



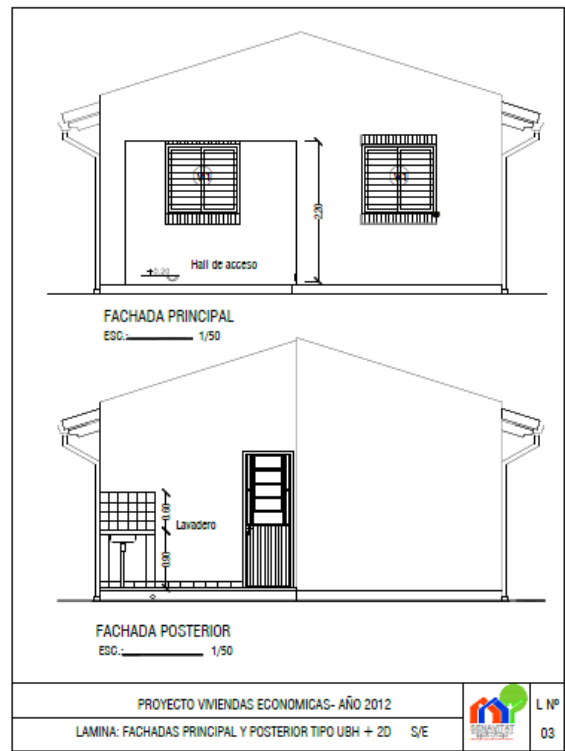
“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

Yanina Pérez

PLANTA ACOTADA



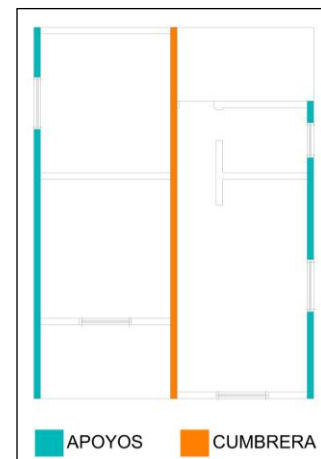
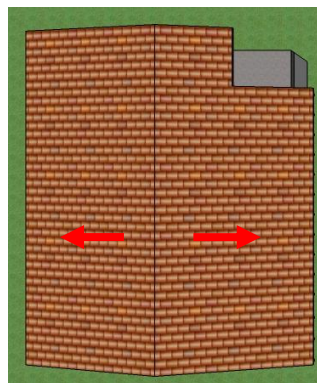
FACHADAS



Imágenes de los planos provistos por la SENAVITAT. Gráficos de Elaboración propia.

3.3 Propuesta con aplicación de Bóvedas de Cerámica Armada

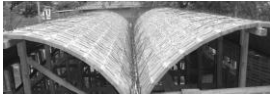
1. Primero se debe identificar la posible disposición de bóvedas corridas según las mamposterías portantes que se tuvieran, ya que es la disposición más conveniente para economizar el sistema. En este caso, la mampostería de cumbre será la de apoyo para las bóvedas.



Gráficos:

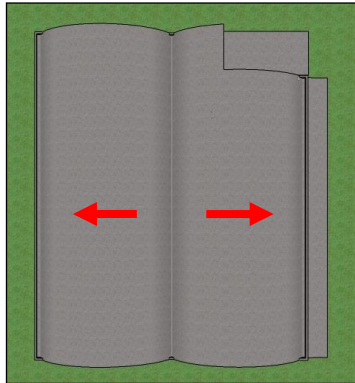
- Fachada Tipología
- Caída de Techo
- Paredes Portantes

Fuente: Elaboración propia



2. En segundo lugar, se procede a realizar el cálculo para la obtención de la curvatura del arco, con el principio de los triángulos isósceles.

Entonces se obtendrán dos bóvedas corridas de longitud 8.55 y de luz libre de 3m.

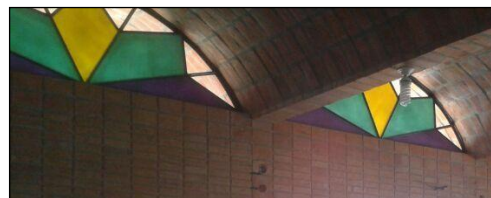


Gráficos:

-Disposición de Techo Propuesta
-Representación Tridimensional de Propuesta

Fuente:
Elaboración propia

3. Por lo tanto al obtener la curvatura se procede a elegir el ladrillo componente, de manera a que queden distribuidos exactamente en toda la longitud de la dovela. Se propone un arco compuesto por 2 dovelas ya que salva una luz suficiente que permitirá obtener dovelas de tamaño y peso conveniente para ser manejado por una sola persona.
4. Se construirán las cimbras para la prefabricación de las dovelas. El tamaño y la cantidad de la misma dependerá del tiempo que se quiera invertir en realizar en simultaneo las tareas con el desarrollo de la construcción de la vivienda. (Se realiza un análisis más adelante).
5. Se debe tener en cuenta que las mamposterías portantes quedarían con altura mínima. Mientras que en las fachadas se compensa la curvatura o se puede dejar como ventana. (Caso San Miguel), pudiendo economizar, ya que la mampostería en el arco no es portante, sino solo cumple el rol de cerramiento.



Gráficos: -Representación Tridimensional de Propuesta

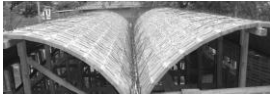
-Imagen del cerramiento de la Capilla San Miguel

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE COSTO. ESTUDIO DE FACTIBILIDADES TÉCNICAS Y ECÓNOMICAS



Se realiza un Análisis de Costo del Prototipo utilizado en la Capilla San Miguel Arcángel (referente más cercano con costos reales al año 2012).

En la planilla se puede observar un análisis que incluye el proceso completo de construcción.

ANALISIS DE COSTOS POR ARCO (DOS DOVELAS) = 1M2

IT	RUBRO	UN.	CANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
1	LADRILLOS SEMIPRENSADOS	UN.	28	550	15400
2	VARILLAS DE 6MM	ML.	6	1.485	8910
3	ALAMBRE	GL.	1	3.600	3600
4	VARILLAS DE 4.2MM (ENPARRILLADO)	UN.	1	9.850	9850
5	H°A°:	M3	0,023		
5.1	CEMENTO	M3	0,004	1.200	1500
5.2	ARENA	M3	0,008	57.500	460
5.3	PIEDRA TRITURADA 5TA	M3	0,012	198.750	2385
6	RECUBRIMIENTO Y UNION DOVELAS:	M3	0,018		
6.1	CEMENTO	M3	0,06	57.500	3450
6.2	ARENA	M3	0,012	57.500	690
7	M.O. FABRICACION DOVELAS	HS/HOMBRE	3	19.250	57750
8	M.O. MONTAJE	HS/HOMBRE	0,5	17.050	8525
9	M.O. TERMINACION	HS/HOMBRE	0,5	17.050	8525

COSTO TOTAL POR M2- (guaraníes) 121.045

OBS: NO INCLUYE ENCOFRADO , AISLACION HIDROFUGA, Y CIMBRA PARA FABRICACION DE DOVELAS

CONSTRUCCION CIMBRA POR M2: 77.833

- LADRILLO COMUN
- CEMENTO
- CAL
- REVOQUE DE TERMINACION
- M.O. CONSTRUCCION CIMBRA

Al sustituir el precio unitario del ladrillo semiprensado, por el ladrillo común, obtenemos el sigte. monto por m2 de techo de BCA suponiendo el mismo grado de terminación ya obtenido en la aplicación a la edificación local.

ANALISIS DE COSTOS POR ARCO (DOS DOVELAS) = 1M2

IT	RUBRO	UN.	CANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
1	LADRILLOS COMUNES	UN.	28	550	15400

COSTO TOTAL POR M2 115.445

OBS: NO INCLUYE ENCOFRADO , AISLACION HIDROFUGA, Y CIMBRA PARA FABRICACION DE DOVELAS



Si bien la cimbra es un tópico fundamental a la hora de fabricar las dovelas, en este presupuesto no se contemplan los gastos de la misma. Ya que el precio no es una constante, depende de la cantidad de dovelas que se quieran construir en simultáneo. El costo invertido en cimbras tanto en superficie o en cantidad, es directamente proporcional a las horas invertidas en mano de obra, a menor superficie llevara mayor horas hombres en la realización de dovelas dependiendo de la cantidad que se necesiten para realizar en simultaneo, y viceversa.

Se establece luego el costo de Techo de Tejas Cerámicas de la vivienda Económica

VIVIENDA TIPO					
IT	RUBRO	UN.	CANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
15	TECHO TEJAS ESPAÑOLAS	M2	65	206.000	13.390.000
COSTO TOTAL VIVIENDA					53.131.400

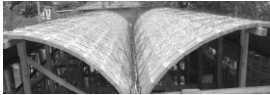
Planilla de Costos de elaboración propia. Ver detalle en Anexo

Al sustituir el rubro por las bóvedas de cerámica armada con ladrillos comunes, se consigue un nuevo costo total de vivienda.

VIVIENDA TIPO - PROPUESTA					
IT	RUBRO	UN.	CANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
	TECHO BOVEDAS DE CERAMICA ARMADA	M2	65	115.445	7.503.925
COSTO TOTAL VIVIENDA					47.245.325

Se puede observar en la planilla de rubros, que la cubierta ocupa el **17%** del monto total de la obra, y que al sustituir la tecnología, se consigue un **12%** de ahorro sobre el monto total de la vivienda. Lo que sugiere una gran ventaja económica a la hora de hacer viviendas en serie, como en este caso.

Se propone un ejemplo: Si se construyeran 30 viviendas de este tipo, se precisarían 100 dovelas por vivienda, un total de 3.000 dovelas. Con 2 cimbras de longitud de 26m. se podrían obtener semanalmente 220 dovelas, lo que permitiría conseguir todas las dovelas en un periodo de 3 meses y medio. Por

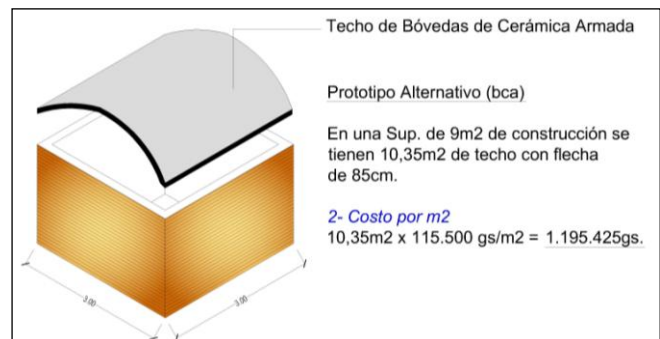


lo tanto se sugiere empezar el proceso de prefabricación de piezas en el momento de inicio de obra, así para el momento de construcción de techo las mismas ya estén listas a pie de obra.

Con este supuesto, si se duplicara la cantidad de cimbras, solo significaría el **1%** del costo de la obra total, demostrando que es una cantidad ínfima dentro del global requerido para la construcción.

Una vez demostrada la factibilidad económica de este sistema, se realiza una analogía entre los costos por m² de ambos techos (tejas y BCA) en una habitación tipo de 3x3 (Sup.9m²).

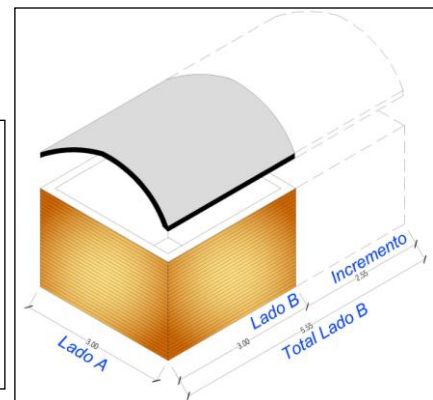
- Se establece el costo de la cubierta de tejas cerámicas.
- Luego se sustituye por el sistema de bóvedas de cerámica armada.
- Se realiza un análisis de costo, y se concluye que con la aplicación del prototipo alternativo se consigue una ventaja del **38%** en el costo.



Gráficos de Elaboración propia.

Lo que permite deducir cuanto superficie se puede incrementar si se mantuviera la misma cantidad como monto mínimo disponible para invertir por m² de construcción. Se deduce finalmente que se puede obtener un **ESPACIO MAXIMO** con un **COSTO MINIMO**.

3- Análisis	
3.1	Costo 1 - Costo 2 = Ventaja 1.928.160gs. - 1.195.425gs. = 732.735gs.
3.2	Ventaja / Costo m ² (bca) = Superficie 732.735gs. / 115.500 gs/m ² = 6,35 m ²
3.3	Sup Techo (bca) + 6,35 m ² = Sup. Total 10,35 m ² + 6,35 m ² = 16,70m ²
3.4	Sup. Total / Lado A = Total Lado B 16,70m ² / 3m = 5,55m
3.5	Lado Total B - Lado B = Incremento 5,55 m - 3 m = 2,55 m





APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE BÓVEDAS DE CERÁMICA ARMADA

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>-Reducción de costos frente a una tecnología tradicional económica como las <i>tejas cerámicas</i>.</p> <p>-Al sustituir esta tecnología por la tradicional se contribuye a mantener la forestación por evitar el uso de maderas.</p> <p>-Construir "terminando" ya que no necesita un revoque interior quedando el material a la vista.</p> <p>-La forma abovedada permite mayor espacialidad que si fuera un techo de losa, o con faldas hasta 30% de pendiente. El espacio útil es mayor, ya que por la forma curva se puede bajar la altura mínima de apoyo, lo que sería un ahorro en mampostería.</p> <p>-Al obtener la ventaja del ítem anterior se puede utilizar el dintel de las aberturas (alt. 2.20m) como encadenado superior para evitar el coceo.</p> <p>-La resistencia de un envarillado superior perimetral es suficiente para mantener la estanquidad de la cobertura.</p> <p>-El propio usuario puede realizar el trabajo, no necesita mano de obra especializada pudiendo ahorrar en ese sentido.</p> <p>-La técnica es fácil de calcular, pudiendo "jugar" con las dimensiones de las dovelas, lo que permite versatilidad y facilidad de manejo y transporte debido al peso de la pieza.</p>	<p>-La realización de la cimbra, si bien no es un aspecto negativo, requiere de un costo adicional para la fabricación en serie de las piezas. Mientras que la misma queda inutilizada luego de haber techado. (en caso de no buscar aprovechar la misma)</p> <p>-En el caso de que las bóvedas no queden simplemente apoyadas a las mamposterías, se requiere armaduras adicionales que actúen como viga intermedia.</p> <p>-El costo adicional del encofrado (puntales) para la colocación de los vértices del arco.</p>

Cuadro de elaboración propia.



CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Buscar una **tecnología apropiada**, es buscar una respuesta a la necesidad en referencia al contexto, a los usuarios y a los materiales disponibles. “La arquitectura implica la concepción de lo necesario y lo posible”, demostrando que con los recursos disponibles se pueden obtener resultados que no solo respondan a las necesidades funcionales sino que además constituyan a lo que llamamos “arquitectura” una calidad espacial, y estética donde el protagonista sea el usuario.

De acuerdo a lo desarrollado en este TFG se pudo determinar que la técnica de **Bóvedas de Cerámica Armada con dovelas prefabricadas** es factible y aplicable para cualquier tipo de edificación de este país. Pudiendo ser comprobadas mediante la construcción de la Capilla San Miguel Arcángel, que si bien al principio tuvo problemas de aceptación por ser una técnica “desconocida” por los potenciales usuarios, hoy día es vista como un espacio único, original para este tipo de edificación y además de gran valor estético.

También se pudo comprobar que es una opción válida para viviendas de interés social, ya que presenta una ventaja económica importante frente a los modelos tradicionales que hoy son utilizados en estas viviendas, pudiendo ahorrar no solo en cuanto a rubro de techo se refiera, sino además en cuanto a cerramientos verticales, ya que la bóveda por su forma misma permite mayor espacio útil, pudiendo disminuir la altura mínima de apoyo.

La resistencia estructural de este sistema supera ampliamente las expectativas ya que al someter al prototipo a una carga máxima de 2277kg. por m², tan solo sufrió una deformación de 5mm. constatando que fácilmente no se podría llegar a la rotura del material, además que la pieza sometida al esfuerzo fue solo un arco componente de la bóveda, por lo tanto la sucesión de arcos conforman un cuerpo monolítico que trabaja en conjunto lo que proporciona más resistencia a las cargas. Se vuelve a validar esta situación con una segunda prueba a las deformaciones tiempo después, donde normalmente se



supondría que la resistencia de la misma pieza utilizada en la prueba anterior no sería la misma, sin embargo se demuestra que adquiere quizá mayor resistencia tiempo después, ya que la pieza mantiene su longitud y flecha aun siendo sometida a las mismas cargas.

En cuanto al material principal componente, se concluye que si bien el ladrillo común es la opción más económica en las bóvedas, el ladrillo semiprensado presenta más ventajas estéticas ya que la terminación es más fina dejando a la vista la cara lisa, mientras que la cara cóncava permite la ventaja técnica de contener la mezcla de hormigón permitiendo que esta capa de terminación sea más fina.

Además de la ventaja económica, se considera una técnica de fácil realización, ya que las piezas prefabricadas y el montaje de las mismas pueden ser realizados por los mismos usuarios, -*“Mas quiere el hombre a su casa cuando la ha construido desde la raíz o la ha levantado de la caída y se aferra a la tierra según los cuidados que lo prodigo”* (Horacio, año 30 a.C.).

A partir de este TFG se buscará difundir esta técnica para poder ampliar el conocimiento sobre alternativas de construcción, ya que no solamente se trata de una investigación, sino que además deja como aporte un proceso constructivo que presenta una evolución desde el sistema original, pudiendo ser comprobada mediante la construcción de una edificación.

Entonces, ¿Es posible animarse y realizar una técnica alternativa? -
“¿Por qué no? Si es posible y deseable, se puede construir mediante el esfuerzo y la organización solidaria, junto a los técnicos.”

RECOMENDACIONES FINALES

Se puede constatar que si bien es una técnica fácilmente realizable por cualquier persona, es necesario contar con un mínimo de asesoría técnica, ya que en el momento del montaje la pieza necesita ser izada con cuidado. Se debe agarrar desde la base de los ladrillos y no tomarla de las varillas, lo que



ocasionaría que la pieza se parta, perdiendo su resistencia estructural y quedando inutilizada sin la capacidad de ser remendada.

Además se recomienda que los ladrillos deban ser remojados por lo menos durante de una semana, antes de la fabricación de dovelas, así se evitaría que los mismos absorban el agua de amasado, ya que esto llevaría a que las piezas se requebrajen.

Este mismo procedimiento se debe repetir una vez montado el techo, antes de proceder al cargado del hormigón. Se puede regar con manguera, dos veces al día, por lo menos durante una semana. Y luego pasar a la siguiente etapa de terminación.

El sistema ofrece muchas ventajas económicas, pero al no estar estandarizado se debe optar inteligentemente a la hora de su elección y construcción. Por eso se recomienda realizar un cálculo de tiempo y costo antes de su construcción. Teniendo en cuenta:

- La disposición de las bóvedas, ya que podría variar en costo si se apoya en paredes portantes paralelamente a lo largo de la misma, o perpendicularmente.
- La luz que cubrirán los arcos, a menor luz, menor cantidad de dovelas, y el tamaño de las mismas harán más práctico el trabajo a la hora de izarlas.
- El material componente de cada dovela, desde los ladrillos, hasta las varillas. Si bien se puede asegurar la resistencia del sistema aumentando la sección de las varillas, si se mantiene lo mínimo necesario también ofrecerá la misma resistencia requerida por el material. Al superar el espesor de la capa (mínimo 2.5cm.) directamente la estructura podría funcionar como cáscara de hormigón armado sin prescindir del encofrado de ladrillo. La capa de hormigón se coloca con el fin de rigidizar las bóvedas, volviéndola una pieza monolítica, además de evitar posibles fisuras.



BIBLIOGRAFIA

Principal

- Carlos González Lobo. **“VIVIENDA Y CIUDAD POSIBLES”** – Tecnologías para viviendas de interés social. Santafé de Bogotá, Colombia. 1998. Escala

Secundaria

- Pedro Lorenzo Gállico. **“UN TECHO PARA VIVIR”** - Tecnologías para viviendas de producción social en América Latina. Ediciones UPC.
- Arq. René Canese Azzi, Arq. Emma Gill Nessi y otros. **“TECHOS ALTERNATIVOS PARA VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL”** – Sustitución de la madera en la estructura de los techos convencionales. Proyecto de investigación ICE, FAUNA-UNA, DIPRI, UNA.
- Arq. René Canese Azzi. Seminario Iberoamericano Habyted, Cyted. **“VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS”**. Asunción, Paraguay. 2000. Arte Nuevo.
- Ríos Cabrera, Luis. **“MATERIALES ALTERNATIVOS, VIVIENDA MÍNIMAY TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA”**. Asunción, Paraguay. 1999. OEA, Facultad de ciencias y tecnología (UCA).
- RED CYTED XIV.C. **“TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA EL HABITAT POPULAR”** – Concurso Iberoamericano. 2002
- Moya Blanco, Luis **“BOVEDAS TABICADAS”** - Madrid, Centro de Publicaciones Secretaría. General Técnica Ministerio de Fomento, 2000
- Base de Datos de **SENAVITAT**.
- Ramírez Ponce, Alfonso. **“BOVEDAS DE SUSPIRO Y BARRO”**. - en *Bitácora*, revista de la Facultad de Arquitectura de la UNAM .2002
- Toca, Antonio. **“NUEVA ARQUITECTURA EN AMERICA LATINA: PRESENTE Y FUTURO”** – Editorial Gustavo Gili. México 1990



Web:

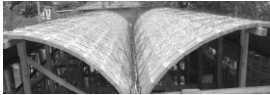
- <http://arq.unne.edu.ar/publicaciones/comunicaciones06/ponencias/jacobo1.pdf>
- <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/13.155/4712>
- http://www.google.com.py/imgres?rlz=1C1SAVU_enPY545PY546&es_sm=122&biw=1280&bih=656&tbnid=0xipg_UkwStPIM:&imgrefurl=http://es.wikipedia.org/wiki/Antoni_Gaud
- http://www.google.com.py/imgres?sa=X&rlz=1C2SAVU_enPY545PY545&biw=1280&bih=699&tbnid=HBSirlwH6YIKPM:&imgrefurl



“Bóvedas de cerámica armada con dovelas prefabricadas como tecnología alternativa para cerramientos horizontales en edificaciones del Paraguay al 2013”.

**Yanina
Pérez**

ANEXOS



Planilla de Computo y Presupuesto de vivienda Modulo TIPO UBH + 2D del año 2012

PLANILLA DE COMPUTO Y PRESUPUESTO DE OBRA

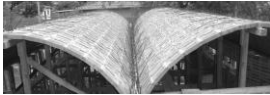
VIVIENDA TIPO

Sup.: 50m²

IT	RUBRO	UN.	CANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
1	TRABAJOS PREVIOS	GL	1	180.000	180000
2	CIMIENTO DE PIEDRA BRUTA	M3	13,4	250.000	3350000
3	AISLACION HORIZONTAL	M2	19,2	19.500	374400
4	NIVELACION 0,30	M2	12,8	95.000	1216000
5	ENVARILLADO SUPERIOR	ML	41	12.000	492000
6	MURO 0,15	M2	110,5	54.000	5967000
7	REVOQUE DE MUROS	M2	110	16.000	1760000
8	CONTRAPISO	M2	50	30.000	1500000
9	INST. SANITARIA/PLUVIAL	GL	1	4.850.000	4850000
10	INST. ELECTRICA BAJA TENSION	GL	1	5.240.000	5240000
11	CARPINTERIA DE MADERA	GL	1	5.300.000	5300000
12	REVESTIMIENTO DE AZULEJOS	M2	14	50.000	700000
13	PISO CERAMICO	M2	50	53.000	2650000
14	ZOCALO CERAMICO	ML	49	18.000	882000
15	TECHO TEJAS ESPAÑOLAS	M2	65	206.000	13390000
16	PINTURA	M2	1	4.800.000	4800000
17	OBRAS VARIAS	GL	1	480.000	480000

COSTO TOTAL

53.131.400



Sistemas utilizados por el Arq. González Lobo

1. Bóvedas de Concreto Armado sobre metal desplegado (sin cimbra):

Este sistema se constituye así en la definición de un método constructivo-proyectual alternativo apropiado y apropiable, para producir techumbres de bajo costo y de máxima capacidad espacial interna.

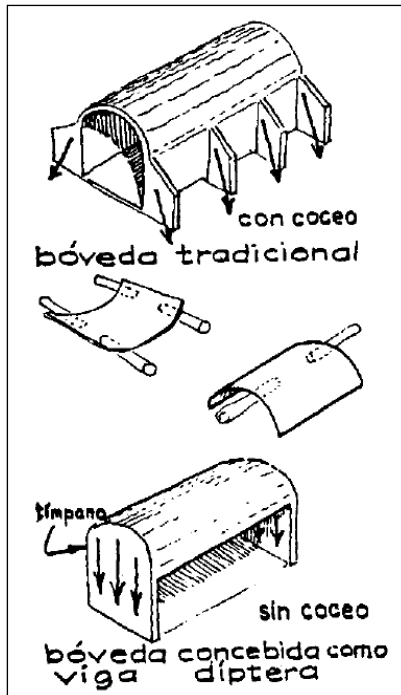
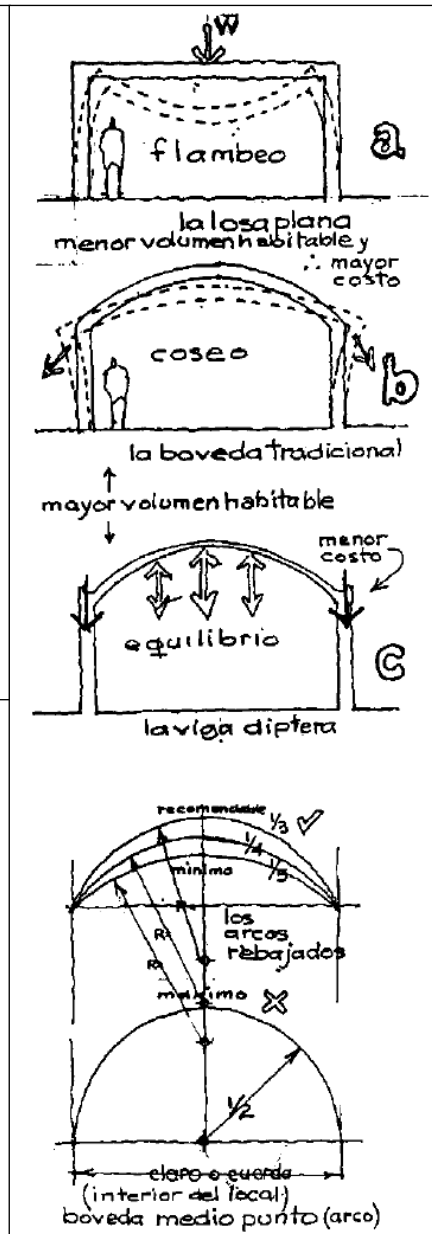


Grafico.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo)
Pág.: 48



Comparación entre losa plana, bóveda tradicional la bóveda diptera.

Ing. Eduardo Torroja

Análisis del arco que ofrece máximo volumen con mínimo desarrollo ofrece máximo

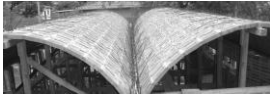
Grafico.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo)
Pág.: 48



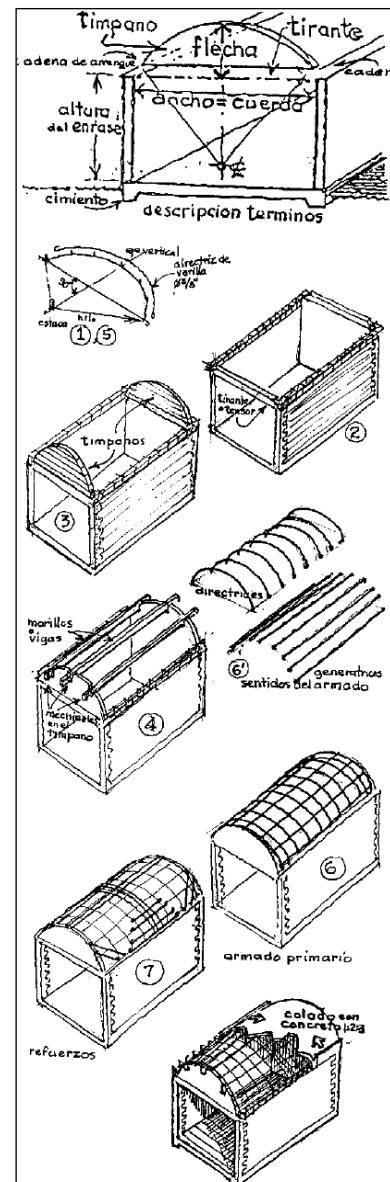
1.1 Procedimiento:

- 1- Se calcula el trazo del muro de tímpano, tal que no rebase la relación flecha-ancho 1:7 (la más económica es de 1:3)
- 2- Sobre los muros del enrase convenientes (mínimo 2.10) se coloca una cadena perimetral. Se cuela solo en los lados cortos bajos los tímpanos.
- 3- Por encima de estos, se construyen los tímpanos.
- 4- Es conveniente dejar huecos en tres lados de cada tímpano (mechinales) para pasar por ellos las tres vigas o murrillos que soportaran el armado y concreto fresco.
- 5- Se traza en el piso la curva de las directrices de la bóveda y ahí se doblan las varillas necesarias.
- 6- Se colocan las varillas sobre los murrillos o vigas, con una separación mínima de 0.50. Sobre ellas se colocan las varillas rectas “generatrices” con la misma separación y diámetro y se amarran. De este modo esta finalizada la armazón de la bóveda.
- 7- Se colocan luego los refuerzos (determinados por cálculo) por encima.
 - Bajo el armazón, se despliega un rollo de metal desplegado y se lo amarra, dejando traslapes de 10cm. Se colocan 2 puntales por viga, y se les contra ventea con torzales de alambre retorcido o tablas.
 - Se procede al colado, empleando concreto 1:2:3 con agregado grueso, un espesor de 4cm. sobre el metal desplegado y relegándolo y aplanándolo según las generatrices (rectas).
 - En las cadenas del arranque de las bóvedas se forjan las canaletas para lluvia, y se dejan empotrados alambrones para las gárgolas. Se cura el concreto durante tres días y se aplanan por las dos superficies, lográndose una cáscara de 6 cm. (mínimo) monolítica y con su acabado integral. Esta cubierta se puede impermeabilizar con varios métodos. Son muy resistentes si al aplanado superior se le agrega impermeabilizante integral.



- Las bajadas de agua pluvial se resuelven dando las pendientes necesarias a los canalones laterales y bajándose al suelo por las gárgolas, cadenas o bajadas.

Sección típica de las bóvedas



Descripción del procedimiento de construcción de las bóvedas de concreto armado sin cimbra.

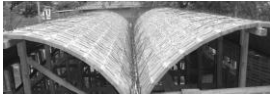
Grafico: Proceso Constructivo descrito anteriormente.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 50

Después de haber aplicado esta técnica en distintas edificaciones, se ha desarrollado la posibilidad de que las bóvedas sean armadas y forjadas en el piso (prefabricado en el sitio) y luego izadas, enderezadas y colocadas. Así se usa la mano de obra que puede trabajar en el suelo y no podría hacerlo sobre andamios y tendidos.

Descripción del procedimiento de construcción.

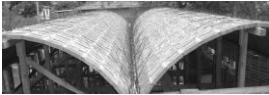
Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 50



2. Bóvedas de Concreto Armado sobre metal desplegado (sin cimbra) con piezas prefabricadas a pie de obra:

Como un segundo modo de aprovechar el sistema de hormigón armado sin cimbra sobre metal desplegado para usar la fuerza del trabajo que no podía faltar en condiciones de seguridad en lo alto de los andamios amarrando y desplegando el rollo de metal, reduciendo además el tiempo de realización de este trabajo, se ha desarrollado un método de fabricación del armazón metálico en el suelo, luego se iza y se unen a las cadenas, colocándolos como el procedimiento anterior y con iguales resultados.

- 1- En este caso, se forja un molde de tierra y cascotes en el piso, en la cercanía de la obra y con la geometría de la bóveda propuesta. Se aplana con una mezcla de cemento-arena en proporción 1:5. A este molde se lo llama “burro”.
- 2- Sobre el molde se colocan varillas directrices (curvas) previamente moldeadas en un trazo en el piso, con una separación de 70cm.
- 3- Encima de las varillas directrices se colocan las varillas rectas (generatrices) con una separación similar, y se amarran con alambre.
- 4- Se coloca sobre este armazón primario, malla electro-soldada 10-10. Con traslapes entre las secciones de malla de 2 cuadros. Por encima se colocan los refuerzos que nos indican el calculo específico (las cruces ortogonales, las cruces diagonales, los refuerzos a 45° las parábolas para el flambeo en los centros de arranque), y se forjan los tímpanos o tirantes, amarrando con alambre el armazón en conjunto.
- 5- Se saca el armazón del molde, volteándolo como una lancha y se coloca en su interior el metal desplegado.
- 6- Se iza hasta ocupar su puesto encima de los muros y soportes verticales y se procede a unir las puntas de las columnas con el armazón pre-armado, uniéndose también a las cadenas de liga sobre los muros o en los bordes



7- Se procede al colado como el caso anterior.

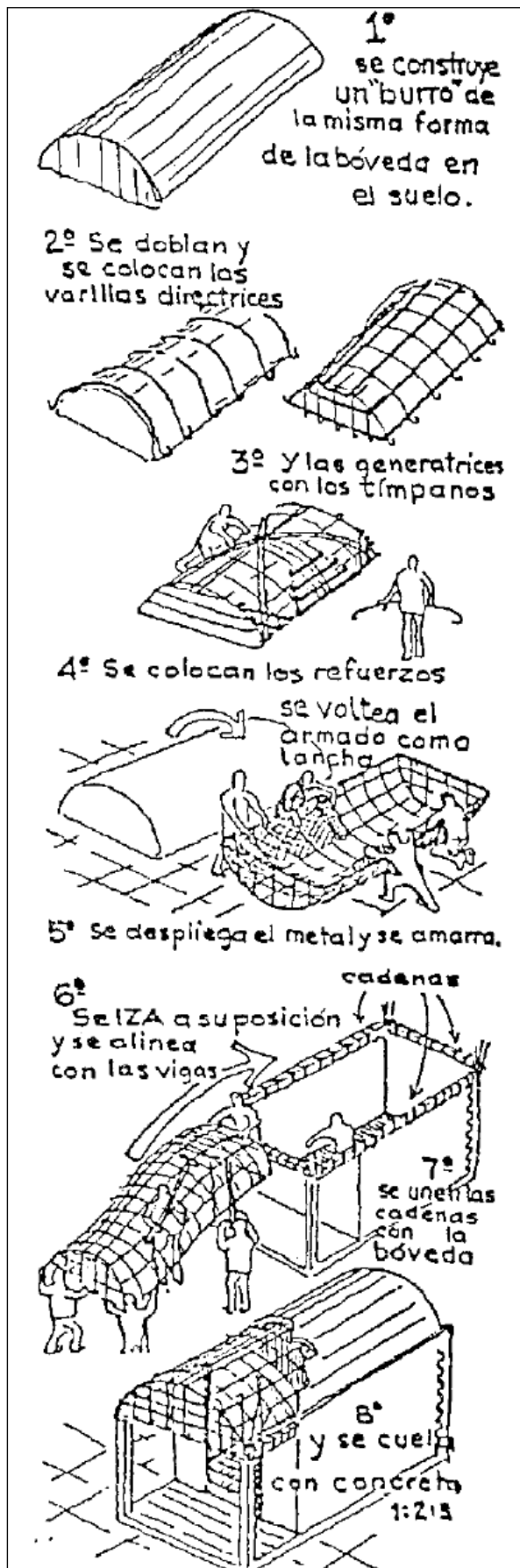


Grafico: Proceso Constructivo descrito anteriormente.

Fuente: Viviendas y Ciudades Posibles. (Carlos González Lobo) Pág.: 52